



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**

### **METALÚRGICA**

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



## **EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA-MACARÍ (RUTA 17 PE-3SS)**

**TRAMO I (km 00+000 – 13+500).**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**BACH. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRERA**

AUTOR

**CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO**

RECuento DE PALABRAS

**43951 Words**

RECuento DE CARACTERES

**210937 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**165 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 10, 2023 8:35 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 10, 2023 8:37 PM GMT-5**

### ● 16% de similitud general

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

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

  
ROGER GONZALES AUWAGA  
ASESOR.

  
Carlos Einstein Flores Turpo

Resumen



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de investigación  
primeramente a Dios Padre Todopoderoso  
quien me da motivos de seguir viviendo día a  
día y ser mejor persona.*

*A mis queridos padres Alberto y  
Guillermina que gracias a sus esfuerzos logré  
culminar mis estudios superiores, a mis  
hermanas y hermanos Mayra, Fancy, Alberto,  
Jorge, Arthur y Sara quienes son mi inspiración  
y motivación para seguir creciendo personal y  
profesionalmente.*

*Finalmente, se lo dedico con mucho  
cariño y amor a mi compañera de vida Berita  
Sayón quien acompaña mi vida día a día, me  
motiva y me inspira a soñar en grande.*

**Carlos Einstein Flores Turpo**



## AGRADECIMIENTOS

*Agradecer primeramente a Dios por permitirme estar vivo, tener salud y guiarme para poder ser persona de bien en este mundo.*

*A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano Puno por acogerme durante 5 años para mi formación académica profesional.*

*A mi querida escuela Profesional de Ingeniería Geológica y a mis maestros los ingenieros Roberto Zegarra, Samuel Machacca, Ronald Quiza, Ramiro Yanqui, Digmar Loza, Leonel Palomino, Luis Ortiz y Miguel Calcina con quienes compartí gratos momentos en mi formación profesional.*

*Con mucho aprecio al M. Sc. Roger Gonzales por su amistad y asesorarme en mi tesis, quien me corrigió y apoyo en todo momento en la elaboración del presente trabajo de investigación.*

*A mis compañeros de la empresa Consorcio Vial Pro y Deimount Group, en especial a los ingenieros Alfredo Alarcón, Edson Zapana, Edwin Choque, Darwin Ccapa, Ricardo Catacora y Marco Saldaña por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional y compartirme sus conocimientos en geotecnia, además, por el uso de datos para elaborar la presente tesis.*

***Carlos Einstein Flores Turpo***



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>20</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>22</b>
1.1.1 Identificación del problema.....	23
1.1.2 Valoración del problema .....	23
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>23</b>
1.2.1 Problema general.....	24
1.2.2 Problemas específicos .....	24
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>25</b>
1.5.1 Objetivo general .....	25
1.5.2 Objetivos específicos .....	25

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA



<b>2.1</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>30</b>
2.2.1	Exploración de suelos y rocas .....	31
2.2.2	Caracterización de suelos .....	31
2.2.2.1	Caracterización de la sub rasante .....	36
2.2.3	Estudio de canteras de suelo .....	37
2.2.3.1	Ensayos estándar .....	37
2.2.3.2	Ensayos especiales .....	39
2.2.4	Estabilización de suelos .....	40
2.2.4.1	Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos .....	40
2.2.4.2	Estabilización mecánica de suelos .....	44
2.2.4.3	Estabilización por sustitución de los suelos .....	44
2.2.5	Evaluación estructural por deflectometría .....	45
2.2.5.1	Ensayos de deflectometría (Deflectómetro de impacto FWD) .....	45
2.2.5.2	Deflexión benkelman .....	46
2.2.6	Sub rasante del camino.....	46
2.2.7	Terraplén .....	47
2.2.8	Afirmado .....	48
2.2.9	Pavimento.....	49
2.2.10	Pavimento flexible .....	50
2.2.10.1	Variables de diseño en el modelo AASHTO-93 .....	50
2.2.10.2	Metodología de cálculo de espesores.....	54
2.2.11	Ensayos de laboratorio .....	57
2.2.11.1	Contenido de humedad natural (ASTM D-2216, MTC E108) .....	57



2.2.11.2	Análisis granulométrico (ASTM D-422, MTC E107) .....	58
2.2.11.3	Clasificación de suelos .....	59
2.2.11.3.1	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) .....	59
2.2.11.3.2	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	60
2.2.11.4	Límites de consistencia .....	61
2.2.11.4.1	Límite líquido (ASTM D-4318, MTC E110) .....	62
2.2.11.4.2	Límite plástico (ASTM D-4318, MTC E111) .....	62
2.2.11.4.3	Índice de plasticidad (ASTM D-4318, MTC E111) ...	63
2.2.11.5	Proctor modificado (ASTM D-1557, MTC – E115).....	64
2.2.11.6	Relación de soporte de california CBR (ASTM D-1883, MTC – E132).....	65
2.2.11.7	Abrasión los ángeles .....	66

### **CÁPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>67</b>
3.1.1	Tratamiento y análisis de datos .....	67
3.1.1.1	Tipo de investigación .....	67
3.1.1.2	Diseño de la investigación .....	68
3.1.1.3	Población, muestra y análisis .....	68
3.1.1.4	Enfoque del trabajo .....	69
3.1.2	Variables .....	69
3.1.2.1	Variable independiente .....	69
3.1.2.2	Variable dependiente.....	69



3.1.2.3	Operación de variables.....	69
<b>3.2</b>	<b>EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE .....</b>	<b>70</b>
3.2.1	Evaluación geológica .....	70
3.2.2	Evaluación geotécnica.....	71
3.2.2.1	Procedimiento de extracción de muestras en subrasante .....	72
3.2.2.2	Ensayos de laboratorio de subrasante .....	73
3.2.3	Deflectometría.....	75
<b>3.3</b>	<b>EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE CANTERAS .....</b>	<b>75</b>
3.3.1	Descripción geológica de canteras .....	75
3.3.2	Evaluación geotécnica de canteras.....	75
3.3.2.1	Procedimiento de extracción de muestras en canteras .....	76
3.3.2.2	Ensayos de laboratorio de canteras .....	76
<b>3.4</b>	<b>DISEÑO DE PAVIMENTO .....</b>	<b>77</b>
<b>3.5</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>77</b>
3.5.1	Útiles de escritorio .....	77
3.5.2	Materiales para preparación de muestras .....	78
3.5.3	Equipos de escritorio (gabinete).....	78
3.5.4	Programas y softwares .....	78
3.5.5	Equipo de laboratorio de suelos .....	79
<b>3.6</b>	<b>NIVEL DE CONFIABILIDAD .....</b>	<b>79</b>

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<b>4.1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>80</b>
4.1.1	Ubicación .....	80



4.1.2	Accesibilidad.....	81
4.1.3	Aspectos climatológicos.....	82
4.1.3.1	Temperatura .....	82
4.1.3.2	Precipitación.....	83
4.1.3.3	Humedad .....	84
<b>4.2</b>	<b>EVALUACIÓN GEOLÓGICA LOCAL .....</b>	<b>85</b>
4.2.1	Unidades litoestratigráficas locales.....	85
4.2.1.1	Formación Ayabacas (Kis-ay) .....	86
4.2.1.2	Formación Vilquechico (Ks-vi) .....	86
4.2.1.3	Grupo Puno Unidad 2 (Ppe-pu2) .....	86
4.2.1.4	Formación Tinajani (Nm-ti).....	87
4.2.1.5	Formación Azángaro (Qp-az) .....	87
4.2.1.6	Depósito Aluvial (Qh-al) .....	87
4.2.1.7	Depósito Fluvial (Qh-fl).....	87
4.2.2	Geomorfología local.....	88
4.2.2.1	Unidades geomorfológicas locales.....	89
4.2.2.1.1	De carácter tectónico degradacional y erosional .....	90
4.2.2.1.2	De carácter deposicional agradacional .....	91
4.2.3	Geología estructural local .....	92
4.2.3.1	Fallas geológicas .....	93
4.2.3.2	Plegamientos: sinclinales y anticlinales.....	93
<b>4.3</b>	<b>GEODINÁMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>93</b>
4.3.1	Erosión riverena .....	94
4.3.2	Deslizamientos .....	94



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>5.1</b>	<b>EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE.....</b>	<b>95</b>
5.1.1	Descripción geotécnica de calicatas .....	97
5.1.2	Resultados de laboratorio .....	125
5.1.2.1	Capa 1 base granular .....	126
5.1.2.2	Capa 2 terreno de fundación .....	128
5.1.3	Perfil estratigráfico de la subrasante .....	131
5.1.4	Caracterización de suelos .....	131
5.1.4.1	Suelos expansivos (mediana y altamente expansivo) .....	132
5.1.4.2	Suelos saturados con W% mayor a C.H.O.....	132
5.1.4.3	Suelos desfavorables (Índice de consistencia $I_c$ ).....	132
5.1.4.4	Suelos desfavorables (Índice de compresibilidad $C_c$ ) .....	133
5.1.4.5	Mejoramiento de subrasante por clasificación.....	134
5.1.4.6	Suelos para mejoramiento por materia orgánica.....	134
5.1.4.7	Sectorización de tramos homogéneos por clasificación y CBR de diseño .....	134
5.1.5	Deflectometría.....	137
5.1.5.1	Tramificación de zonas inestables .....	138
<b>5.2</b>	<b>EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE CANTERAS .....</b>	<b>140</b>
5.2.1	Descripción geotécnica de calicatas/trincheras .....	142
5.2.1.1	Cantera Rio Macarí .....	142
5.2.1.2	Cantera Selqui .....	145
5.2.1.3	Cantera Cerro Macarí.....	148



5.2.2	Resultados de laboratorio .....	151
5.2.2.1	Cantera Rio Macarí .....	152
5.2.2.1.1	Evaluación físico y geomecánica.....	154
5.2.2.1.2	Usos y tratamiento del agregado.....	155
5.2.2.2	Cantera Selqui .....	156
5.2.2.2.1	Evaluación físico y geomecánica.....	158
5.2.2.2.2	Usos y tratamiento del agregado.....	159
5.2.2.3	Cantera Cerro Macarí.....	160
5.2.2.3.1	Evaluación físico y geomecánica.....	162
5.2.2.3.2	Usos y tratamiento del agregado.....	163
<b>5.3</b>	<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO .....</b>	<b>163</b>
5.3.1	Estudio de tráfico .....	163
5.3.2	Confiabilidad (%R) .....	164
5.3.3	Coefficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr).....	164
5.3.4	Desviación estándar combinada (So) .....	165
5.3.5	Serviciabilidad inicial Pi .....	165
5.3.6	Serviciabilidad final Pt.....	165
5.3.7	Módulo resiliente de la subrasante (Mr) .....	166
5.3.8	Metodología de cálculo de espesores .....	166
5.3.8.1	Coefficiente estructural (ai).....	166
5.3.8.2	Coefficiente de drenaje (mi).....	167
5.3.9	Cálculo de los espesores de mejoramiento.....	168
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>171</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>173</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>174</b>



**ANEXOS..... 177**

**Área:** Ingeniería Geotécnica.

**Tema:** Estudio de Suelos.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 22 de noviembre del 2023.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b>	Proceso para la identificación del tipo de suelo. .... 42
<b>Figura 2</b>	Proceso de selección del tipo de estabilización..... 43
<b>Figura 3</b>	Equipo deflectómetro FWD en la vía de estudio. .... 46
<b>Figura 4</b>	Escala de índice de serviciabilidad..... 52
<b>Figura 5</b>	Interfaz de software DISAASHTO-93 para cálculo de SN..... 54
<b>Figura 6</b>	Softwares ecuación AASHTO-93 y PAVIMR..... 54
<b>Figura 7</b>	Modelo de un pavimento flexible AASHTO-93. .... 55
<b>Figura 8</b>	Estructura de un suelo (agua, partícula de suelo y aire)..... 58
<b>Figura 9</b>	Equipos para ensayo de granulometría..... 59
<b>Figura 10</b>	Clasificación de suelos según AASHTO. .... 60
<b>Figura 11</b>	Clasificación de suelos según SUCS ASTM D2487..... 61
<b>Figura 12</b>	Equipos para ensayo de límite líquido. .... 62
<b>Figura 13</b>	Ensayo de límite plástico de un suelo. .... 63
<b>Figura 14</b>	Materiales de ensayo de roctor modificado..... 64
<b>Figura 15</b>	Materiales para ensayo de CBR. .... 65
<b>Figura 16</b>	Ubicación de la zona de estudio..... 81
<b>Figura 17</b>	Variaciones de T° máximas y mínimas en la zona de estudio. .... 83
<b>Figura 18</b>	Variaciones de precipitación mensual en R-17. .... 84
<b>Figura 19</b>	Humedad en la zona de estudio..... 85
<b>Figura 20</b>	Afloramiento de la formación Vilquechico..... 88
<b>Figura 21</b>	Distribución de unidades geomorfológicas. .... 89
<b>Figura 22</b>	Olistostromo calcáreo de la formación Ayavacas. .... 92
<b>Figura 23</b>	Suelos a nivel de subrasante km 00+000 al km13+500. .... 96



<b>Figura 24</b>	Tipos de suelos en capa granular (estrato N° 1) ruta 17.....	127
<b>Figura 25</b>	Tipos de suelos en terreno de fundación ruta 17.....	130
<b>Figura 26</b>	Valores de CBR a nivel de subrasante capa 1.....	135
<b>Figura 27</b>	Valores de CBR a nivel de subrasante capa 2.....	136
<b>Figura 28</b>	Ubicación de cantera rio Macarí.....	152
<b>Figura 29</b>	Ubicación de cantera Selqui.....	156
<b>Figura 30</b>	Ubicación de cantera cerro Macarí.....	160
<b>Figura 31</b>	Nomograma para el cálculo de ai de subrasante mejorada.....	167
<b>Figura 32</b>	Interfaz de software PAVIMR.....	169



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Categoría de subrasante CBR. ....	35
<b>Tabla 2</b> Número de calicatas para exploración de suelos. ....	36
<b>Tabla 3</b> Calicatas ejecutadas en la vía de estudio. ....	73
<b>Tabla 4</b> Especificaciones técnicas para terraplén. ....	76
<b>Tabla 5</b> Útiles de escritorio usados durante la investigación. ....	77
<b>Tabla 6</b> Materiales usados para preparación de muestras. ....	78
<b>Tabla 7</b> Equipos de escritorio usados durante la investigación. ....	78
<b>Tabla 8</b> Programas y softwares usados durante la investigación. ....	78
<b>Tabla 9</b> Equipos de laboratorio usados para tratar las muestras. ....	79
<b>Tabla 10</b> Tramos de la ruta 17. ....	81
<b>Tabla 11</b> Accesibilidad a la zona de estudio. ....	81
<b>Tabla 12</b> Temperaturas promedio máximas y mínimas del año 2022. ....	82
<b>Tabla 13</b> Precipitación promedio mensual del año 2022. ....	83
<b>Tabla 14</b> Participación de unidades geomorfológicas a nivel local. ....	89
<b>Tabla 15</b> Tipos de suelos encontrados a nivel de subrasante. ....	96
<b>Tabla 16</b> Resumen de resultados de laboratorio de subrasante. ....	125
<b>Tabla 17</b> Estudio de suelos capa de transitabilidad (M-1). ....	126
<b>Tabla 18</b> Tipos de suelos SUCS en capa de transitabilidad. ....	127
<b>Tabla 19</b> Valores de CBR para capa de transitabilidad. ....	128
<b>Tabla 20</b> Estudio de suelos en capa terreno de fundación (M-2). ....	129
<b>Tabla 21</b> Tipos de suelos SUCS en terreno de fundación (Estrato N° 2). ....	129
<b>Tabla 22</b> Valores de CBR en terreno de fundación. ....	130
<b>Tabla 23</b> Valores de IP, HN, O.C.H. Ic, Cc y CBR a nivel de subrasante. ....	131



<b>Tabla 24</b>	Criterios de potencial expansivo en suelos.....	132
<b>Tabla 25</b>	Rangos de valores de consistencia de suelos.....	133
<b>Tabla 26</b>	Criterios de índice de comprensibilidad de suelos.....	133
<b>Tabla 27</b>	Categoría de subrasante para la capa 1.....	134
<b>Tabla 28</b>	Categoría de subrasante para la capa 2.....	135
<b>Tabla 29</b>	Progresivas de mejoramiento de acuerdo al valor de CBR.....	136
<b>Tabla 30</b>	Deflexiones máximas en tramos con CBR < 6%.....	137
<b>Tabla 31</b>	Deflexiones en la progresiva km 00+000.....	138
<b>Tabla 32</b>	Deflexiones en la progresiva km 02+000.....	138
<b>Tabla 33</b>	Deflexiones en la progresiva km 04+000.....	139
<b>Tabla 34</b>	Deflexiones en la progresiva km 06+000.....	139
<b>Tabla 35</b>	Deflexiones en la progresiva km 10+000.....	140
<b>Tabla 36</b>	Zonas de mejoramiento en la vía de estudio.....	140
<b>Tabla 37</b>	Canteras correspondientes a la ruta 17.....	141
<b>Tabla 38</b>	Resultados de laboratorio de canteras.....	151
<b>Tabla 39</b>	Medidas de dispersión para canteras en la R-17.....	151
<b>Tabla 40</b>	Ficha de cantera río Macarí.....	153
<b>Tabla 41</b>	Medidas de dispersión para cantera río Macarí.....	154
<b>Tabla 42</b>	Evaluación de material para uso de TERRAPLÉN.....	154
<b>Tabla 43</b>	Evaluación de material para uso de base SUELO-CEMENTO.....	155
<b>Tabla 44</b>	Uso y tratamiento de cantera río Macarí.....	155
<b>Tabla 45</b>	Ficha de cantera Selqui.....	157
<b>Tabla 46.</b>	Medidas de dispersión para cantera Selqui.....	158
<b>Tabla 47</b>	Evaluación de material para uso de TERRAPLÉN.....	158
<b>Tabla 48</b>	Evaluación de material para suelo cemento.....	159



<b>Tabla 49</b>	Uso y tratamiento de cantera Selqui. ....	159
<b>Tabla 50</b>	Ficha de cantera cerro Macarí.....	161
<b>Tabla 51</b>	Medidas de dispersión para cantera cerro Macarí. ....	161
<b>Tabla 52</b>	Evaluación de material para uso de TERRAPLÉN. ....	162
<b>Tabla 53</b>	Uso y tratamiento de cantera erro Macarí.....	163
<b>Tabla 54</b>	Número de repeticiones acumuladas de EE de 8.2 tn.....	163
<b>Tabla 55</b>	Ejes equivalentes cuadro resumen de estación E14.....	164
<b>Tabla 56</b>	Valores recomendados de %R para una sola etapa de diseño. ....	164
<b>Tabla 57</b>	Valores de Zr para una sola etapa de diseño.....	164
<b>Tabla 58</b>	Índice de Pi según rango de tráfico.....	165
<b>Tabla 59</b>	Índice de Pt según rango de tráfico.....	165
<b>Tabla 60</b>	Tiempos de drenaje recomendados por AASHTO. ....	167
<b>Tabla 61</b>	Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	168
<b>Tabla 62</b>	Valores de módulo resiliente Mr y número estructural SN. ....	170
<b>Tabla 63</b>	Valores de espesores de mejoramiento obtenidos. ....	170
<b>Tabla 64</b>	Cuadro resumen de tramos a mejorar. ....	170



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>AASHTO</b>	: American Association State Highway and Transportation Officials.
<b>ai</b>	: Coeficiente Estructural de Capa i.
<b>ASTM</b>	: American Standards and Testing Materials.
<b>°C</b>	: Grados Centígrados.
<b>CBR</b>	: California Bearing Ratio o “Relación de Soporte de California”
<b>Cc</b>	: Índice de compresibilidad.
<b>CHO</b>	: Contenido de Humedad Óptima
<b>cm</b>	: Centímetros.
<b>DefBB</b>	: Deflexión Tipo Benkelman.
<b>Di</b>	: Espesor de la capa i.
<b>E.E.</b>	: Ejes Equivalentes.
<b>FWD</b>	: Falling Weight Deflectometer,
<b>H.N.</b>	: Humedad Natural.
<b>Ic</b>	: Índice de consistencia.
<b>I.P.</b>	: Índice de plasticidad.
<b>Kg</b>	: Kilógramo.
<b>km</b>	: Kilómetro.
<b>Lb</b>	: Libras.
<b>L.L.</b>	: Limite líquido.
<b>L.P.</b>	: Limite plástico.
<b>m</b>	: Metros.
<b>MDS</b>	: Máxima Densidad Seca.
<b>mi</b>	: Coeficiente de Drenaje de la capa i.
<b>mm</b>	: Milímetro.



<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el nivel del mar.
<b>Mr</b>	: Módulo Resiliente.
<b>MTC</b>	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metro cúbico.
<b>NTP</b>	: Normas Técnicas Peruanas.
<b>%</b>	: Porcentaje.
<b>PGV</b>	: Plan de Gestión Vial.
<b>Pt</b>	: Turba (materia orgánica).
<b>ΔPSI</b>	: Índice de Serviciabilidad.
<b>Pi</b>	: Serviciabilidad Inicial.
<b>Pt</b>	: Serviciabilidad Final.
<b>Pulg</b>	: Pulgada
<b>%R</b>	: Grado de confiabilidad.
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>SN</b>	: Número Estructural.
<b>ΔSN</b>	: Diferencia de Número Estructural.
<b>So</b>	: Desviación Estándar Combinada.
<b>SUCS</b>	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
<b>Tn</b>	: Toneladas
<b>TdR</b>	: Términos de Referencia.
<b>μm</b>	: Micrómetros.
<b>Veh</b>	: Vehículos.
<b>W</b>	: Contenido Natural de Agua.
<b>Zr</b>	: Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en los distritos de Umachiri y Macarí, provincia de Melgar departamento de Puno desde el km. 00+000 al km. 13+500 de la carretera Chuquibambilla - Macarí, en donde se presentan problemas de estabilidad en la plataforma existente, por ello se propuso como objetivo evaluar las características Geológico - Geotécnicas de los suelos a nivel de subrasante, para dar una solución en los tramos deficientes. La metodología tiene un alcance descriptivo cuantitativo, y va de acuerdo a la normatividad vigente del MTC, según el manual de carreteras, en el cual se realizaron ensayos de Proctor y Capacidad de Soporte (CBR) a cada 2 km. La vía de estudio se encuentra sobre la Formación Azángaro hasta el km. 04+000 y el resto del tramo sobre depósitos cuaternarios (aluviales – fluviales). Los resultados obtenidos mostraron dos capas a nivel de subrasante: una capa granular conformada por suelos de tipo GP – GC, GP – GM, GC – GM, SC – SM, SP – SC y con un  $CBR > 12\%$  considerados como suelos estables, por otro lado, la segunda capa está formada por suelos de fundación de tipo SC – SM, CL, CL – ML de baja plasticidad y presenta tramos con CBR menores a 6% entre los kilómetros; km 00, km 02, km 04, km 06 y km 10 que son suelos inestables, corroborado mediante ensayo de Deflectometría por impacto. Para la solución a las deficiencias de los suelos, la caracterización geotécnica determinó que las canteras cerro Macarí y río Macarí presentan un CBR de 40% los cuales cumplen las especificaciones técnicas para ser usadas como material de terraplén. De acuerdo al Módulo Resiliente (Mr) y los números estructurales (SN), se determinó para los siguientes tramos: 00+375 al 00+625; 01+750 al 02+250; 03+750 al 04+250; 05+750 al 06+250 un espesor de 25cm y en el tramo km 09+150 al 10+950 un espesor de 30cm.

**Palabras Clave:** Capacidad de soporte, Módulo resiliente, Número estructural, Subrasante y terraplén.



## ABSTRACT

This research work was carried out in the districts of Umachiri and Macarí, province of Melgar, department of Puno, from km. 00+000 to km. 13+500 of the Chuquibambilla - Macarí highway, where there are stability problems in the existing platform, so the objective was to evaluate the geological-geotechnical characteristics of the soils at the subgrade level, to provide a solution in the deficient sections. The methodology has a quantitative descriptive scope, and is in accordance with current MTC regulations, according to the highway manual, in which Proctor and bearing capacity (CBR) tests were carried out every 2 km. The study road is located on the Azángaro Formation up to km. 04+000 and the rest of the section on quaternary deposits (alluvial - fluvial). The results obtained showed two layers at the subgrade level: a granular layer formed by soils of type GP - GC, GP - GM, GC - GM, SC - SM, SP - SC and with a  $CBR > 12\%$  considered as stable soils, on the other hand, the second layer is formed by foundation soils of type SC - SM, CL, CL - ML of low plasticity and presents sections with CBR less than 6% between kilometers; km 00, km 02, km 04, km 06 and km 10 which are unstable soils, corroborated by impact Deflectometry test. For the solution to the soil deficiencies, the geotechnical characterization determined that the Macarí Hill and Macarí River quarries have a CBR of 40%, which meet the technical specifications for use as embankment material. According to the Resilient Modulus ( $M_r$ ) and the structural numbers (SN), it was determined for the following sections: 00+375 to 00+625; 01+750 to 02+250; 03+750 to 04+250; 05+750 to 06+250 a thickness of 25cm and in the section km 09+150 to 10+950 a thickness of 30cm.

**Keywords:** Bearing capacity, Resilient modulus, Structural number, Subgrade and embankment.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En el Perú es notoria la deficiencia de no recolectar información técnica relevante a la geotecnia, geomecánica, estudios de suelos y rocas; y si se recolecta buena información no se le da una buena interpretación para llegar a soluciones concisas que sean viables tanto técnica como económicamente, por ello vemos vías en pésimo estado ya sea por deficiencia estructural, mal proceso constructivo, mala calidad de materiales de préstamo entre otros factores. Es muy importante estudiar los suelos para conocer el comportamiento de las capas o estratos existentes y de esa manera determinar soluciones si encontramos fallas en estas, así entonces nos proponemos evaluar las características Geológico - Geotécnicas de los suelos de la carretera Chuquibambilla-Macarí tramo I que inicia en la progresiva Km 00+000 en la jurisdicción de Chuquibambilla (referencia centro experimental Chuquibambilla UNAP), y termina en el Km 13+500 camino hacia el pueblo de Macarí con un total de 13.5 kilómetros, por medio de mapeos geológicos, geomorfológicos, descripciones geológicas de los suelos y estudio de suelos mediante la obtención de muestras por medio de calicatas y también emplear toda la información que dispongamos para determinar los tramos inestables y luego estabilizarlos para garantizar que las propiedades geológicas-mecánicas de los suelos de fundación y subrasante sean idóneas y sostenibles para soportar las diversas cargas a que se estarán sometidas y de esta manera se cumpla con el tiempo de estimación de vida útil de 10 años de la vía de estudio.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las vías locales son los ejes del desarrollo. Un conocimiento adecuado de las propiedades de estos materiales es fundamental para el correcto diseño y construcción de



carreteras. Esto se analiza en este estudio en la Carretera Chuquibambilla – Macarí, Tramo I desde el km 0+000 hasta el km 13+500. Es muy importante conocer las propiedades de las rocas y especialmente de los suelos en relación a su comportamiento como cimentaciones y materiales de construcción. Básicamente, necesitamos saber con qué material estamos construyendo para garantizar la calidad de la carretera.

### 1.1.1 Identificación del problema

La mayoría de las veces existen zonas críticas en las vías debido a que no se toma en cuenta el diagnóstico geológico y geotécnico del área a evaluar o no se brindan interpretaciones o recomendaciones suficientes, por lo que presentan muchos inconvenientes durante el proceso constructivo, esto está relacionado con aspectos geológicos, la presencia de aguas subterráneas, la presencia de suelos de grano fino (arcillosos), la presencia de materia orgánica en conjunto, entre otros factores y es el tema de estudio que analizaremos en esta investigación.

### 1.1.2 Valoración del problema

Para la construcción de infraestructura vial, es importante conocer las principales propiedades del suelo, así como los métodos de ensayo para determinar su clasificación, con el fin de no causar problemas durante el proceso de construcción y evitar una mínima destrucción consecuente así se asegura la buena estabilización del Tramo I de la carretera Chuquibambilla – Macarí desde el km.00+000 hasta el km.13+500.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Conociendo el planteamiento del problema, se genera las siguientes interrogantes:



### 1.2.1 Problema general

¿Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos a nivel de subrasante son favorables y adecuadas para soportar la infraestructura de una base estabilizada y las cargas producidas por el tránsito vehicular en la carretera Chuquibambilla – Macarí tramo I?

### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué tipo de suelos y que características geológicas - geotécnicas presenta el perfil del suelo a nivel de subrasante?
- ¿Qué tipo de materiales y que características geológicas - geotécnicas presentan los materiales de préstamo que se usarán para la construcción de las capas?
- ¿Cuáles son los espesores de mejoramiento que debemos colocar para estabilizar los tramos deficientes?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Los suelos de fundación del tramo I del Km 00+000 al 13+500 de la carretera Chuquibambilla- Macarí, presentan un problema estructural a nivel del subsuelo que deseamos cuantificar, e identificar estas zonas críticas (inestables) ya que por medio de una inspección visual a nivel de subrasante (afirmado existente) existen tramos con deficiencias e inestabilidades ya sean por pérdida de material fino, baches, encalaminados entre otros aspectos, lo cual muestra que la capacidad de soporte del suelo no es apta para que transiten vehículos de alto tonelaje (entre 30 a 40 Tn aproximadamente) por el tramo I de la carretera Chuquibambilla – Macarí.

Ante esto, es necesario realizar este estudio de suelos de la carretera Chuquibambilla – Macarí en el tramo I para realizar un diseño de pavimento flexible a nivel de solución básica, y con los resultados obtenidos se planteó una solución factible



para mejorar la capacidad de la vía en sus tramos inestables. Además, la carretera Chuquibambilla - Macarí es una infraestructura para el desarrollo socio-económico de Macarí y Chuquibambilla esto asegura una buena calidad del tráfico e integra la red vial, permitiendo el desarrollo de actividades comerciales, ganaderas y agrícolas en beneficio de los residentes.

#### **1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Posiblemente los tramos que son considerados inadecuados e inestables en la carretera Chuquibambilla - Macarí tramo I (Km 00+000 al 13+500), requieren ser mejorados en sus propiedades físico-mecánicas a través de procedimientos mecánicos o constructivos como la adición de una capa de terraplén de espesor que tendríamos que calcular de acuerdo a los datos obtenidos de laboratorio y al diseño de pavimento flexible como solución básica tomando en cuenta las principales variables que afectan a la estructura de un suelo.

#### **1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar las características físicas y mecánicas de los suelos a nivel de subrasante (plataforma existente) del km. 00+000 al km. 13+500 de la carretera Chuquibambilla-Macarí tramo I y dar una solución a los tramos inestables.

##### **1.5.2 Objetivos específicos**

Evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo a nivel de subrasante del tramo I de la carretera Chuquibambilla – Macarí, para definir la existencia de los tramos o sectores con los suelos deficientes y sectorizar los tramos inestables.



- Caracterizar las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales de préstamo que se usaran para la construcción de las capas del pavimento en la carretera Chuquibambilla – Macarí tramo I (km. 00+000 – 13+500).
- Calcular los espesores de la capa de mejoramiento que se ejecutará en las zonas inestables de la carretera Chuquibambilla – Macarí tramo I.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se proporcionan seis artículos de investigación sobre temas similares como información general cuyas conclusiones y aspectos más relevantes se citan a continuación:

Atencio, (2019) investigó las características geotécnicas para la construcción de la carretera Calacota - Santa Rosa de Huayllata del tramo 6+000 al 14+000. La metodología empleada fue una combinación de enfoques experimental y descriptivo (...). Los resultados mostraron que los tipos de suelo predominantes eran arcillas, limos y arenas de baja plasticidad, junto con arenas limosas, gravas arcillosas y arcillas orgánicas. Además, se identificó un nivel freático a una profundidad de 1,30 metros por debajo del nivel del suelo de cimentación (...). Las mediciones de California Bearing Ratio (CBR) obtenidas oscilaron entre el 4% y el 6%, lo que entra dentro del rango de inadecuado a aceptable.

Quispe, (2016) en su tesis titulada. “Evaluación geológica - geotécnica para el proceso constructivo de la avenida Jallihuaya – Puno”, nos indica que “los suelos existentes que componen el subsuelo son inestables, blandos y de mala consistencia desde el km. 00+000 al km. 1+750, con valores de CBR de 4 a 6% por tratarse de suelos arcillosos muy extensos y con un alto contenido de humedad saturada. La cantera de mejoramiento para terraplén está compuesta por roca volcánica clástica andesítica-basáltica que cumple con los requisitos mínimos y condiciones de ASTM, AASHTO y MTC, con resultados de abrasión los ángulos 27,05% y prueba de durabilidad 16,27% (...).”.



Ochoa, (2014) señala en su tesis titulada “Estudio Geotécnico de Suelos para Diseñar la Estructura del Pavimento en la Carretera Ticaco - Candarave, Tramo Aricota – Quilahuani (km 146+500 – km 151+500)” que “su principal objetivo es realizar investigaciones geotécnicas de suelos para el diseño de estructuras de pavimento en la carretera Ticaco – Candarave, tramo Aricota–Quilahuani (km 146+500 – km 151+500)”. Teniendo como resultado las siguientes conclusiones que, “para poder diseñar la estructura de un pavimento flexible se debe tener en cuenta cuatro factores fundamentales: estudio de tráfico, estudio de suelos, datos de precipitación y un método de diseño. El diseño del pavimento va depender directamente según el tránsito proyectado para un período de diseño.”

Pomacosi, (2016) en su tesis titulada: “Evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s (puno) – Vilque – Mañazo – emp. 34a (Huataquita)”, señala que “en el subsuelo se pueden distinguir dos capas claramente definidas; La primera capa corresponde a una capa de material granular con un espesor promedio de 0,25 m (...), las capas inferiores corresponden a materiales arcillosos-limosos sin grava en algunas zonas, tales como: del km.24+000 al 30+000, de 34+000 a 46+300 y de 48+100 a 55+000; Estos sectores tienen un CBR del 4,87%, que se considera pobre para las bases de carreteras (...). Se encontraron suelos aptos para cimentaciones con un índice de consistencia mayor a 1, un índice de compresibilidad mayor a 0.20 y posible expansión con un límite líquido menor al 35% y un índice de plasticidad menor al 12%; Lo contrario de estas propiedades son los suelos que no son aptos para cimentaciones.”

Ugaz, (2006) en su tesis “Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante”, nos dice que “El objetivo del estudio es investigar el comportamiento de diversos suelos estabilizados con aditivos químicos. para su aplicación en carreteras, así como sus cambios en las propiedades de capacidad de



soporte, durabilidad, compresibilidad, permeabilidad y estabilidad volumétrica a corto y largo plazo, en diferentes condiciones climatológicas, ya que son estas cinco características principales las que se tienen que tener en cuenta durante la realización de una estabilización de suelos.”

Ulate, (2017) realizó estudios referidos a la “Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito, empleando productos no tradicionales”, en el boletín técnico, volumen N°8, 2017 de costa rica, donde nos dice que “la construcción y mantenimiento de carreteras requiere la utilización de agregados de calidad que cumplan con una serie de especificaciones técnicas, los cuales son cada vez más difíciles de encontrar y generalmente resultan costosos. Esta situación afecta principalmente a los caminos no pavimentados (grava o tierra), frecuentemente presentan problemas de transitabilidad en época lluviosa y generación de polvo en época seca, lo cual produce riesgo de seguridad vial y salud. Ante esta problemática, la utilización de productos o aditivos estabilizadores se presenta como una alternativa para hacer uso de los materiales o suelos existentes en sitio y mejorar la transitabilidad de los caminos no pavimentados en condiciones húmedas y reducir la generación de polvo en condiciones secas.”

Se toma como antecedente principal para este trabajo de investigación al MTC (2013) en su “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 revisada y corregida a junio del 2013” y también al MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” (pp. 20-43 y pp. 128-183).

También podemos citar como antecedentes los siguientes datos:



La carretera Chuquibambilla – Héctor Tejada se encuentra ubicada en la Región de Puno, en la Provincia de Melgar. La trayectoria está constituida desde: L.D. Cusco (CU-125 de Héctor Tejada) - Macarí - Emp. PE-3S (Chuquibambilla), esta carretera, dada su ubicación, permite la interacción longitudinal de parte de la sierra Puneña y su salida hacia la Provincia de Espinar (Cusco), por esta vía circulan vehículos de carga y pasajeros que tienen origen y/o destino en ciudades pertenecientes a la Provincia de Melgar. La carretera Chuquibambilla – Macarí, es una vía que se encuentra a nivel de afirmado que actualmente se encuentra en regular estado, siendo la culminación de su último mantenimiento periódico a mediados del año 2013.

Mediante Contrato de Servicios N° 017-2015-MTC/20 del 09. Feb. 2015, la consultora CONSORCIO EL ALTIPLANO elaboró el “Estudio de pre inversión a nivel Perfil de las carreteras del proyecto pro región Puno, por niveles de servicio”, el cual fue declarado viable con informe técnico N° 307-2017-MTC/20.

Con fecha 02 de agosto del 2018, el comité de selección adjudicó la Buena Pro del CONCURSO PÚBLICO N° 0067-2017-MTC/20 para la contratación del “Gestión, Mejoramiento y conservación Vial por niveles de servicio del corredor vial Pro Región Puno – PAQUETE 02: “PE-34Q, PE-34S, PE-34T, PE-3SO, PE-3SP, PE-3SS, PE-3SÑ”. Con fecha 04.09.2018 se realiza la firma del Contrato de Servicio N° 100-2018-MTC/20.2, en el cual el CONSORCIO VIAL PRO asume las obligaciones de Contratista Conservador.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

A continuación, se detallan conceptos básicos referidos al estudio de suelos, que usaremos para obtener los tramos deficientes, así como las variables de diseño y la



metodología para calcular los espesores de mejoramiento en la carretera Chuquibambilla  
– Macarí tramo I.

### 2.2.1 Exploración de suelos y rocas

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D 420-69; Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse. El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía. El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares. (p. 25).

### 2.2.2 Caracterización de suelos

Las características de los suelos de la subrasante de una vía deben ser evaluadas para considerar las condiciones de soporte de los mismos y la necesidad de su mejoramiento en el caso de que sus características no reúnan las condiciones para soportar un paquete estructural del pavimento técnica y económicamente



viable. En tal sentido determinadas características e índices suelen emplearse para el reconocimiento de la necesidad del mejoramiento, tales como:

- Suelos expansivos (Mediana y altamente expansivo).
- Suelos saturados con  $W\% > C.H.O.$
- Suelos desfavorables por índice de consistencia  $I_c$ ,
- Suelos desfavorables por índice de compresibilidad  $C_c$ .
- Mejoramiento de subrasante por clasificación.
- Suelos para mejoramiento por materia orgánica.
- Sectorización de tramos homogéneos por clasificación y CBR de diseño.

**A. Suelos expansivos (mediana y altamente expansivo):** Para la estimación del potencial de expansión de los suelos que conforman la vía, se ha utilizado medidas indirectas como la propuesta por Holtz y Gibbs – 1956, lo cual califican el grado de expansión en función de la plasticidad de los suelos. Así mismo, existen métodos empíricos para predecir el potencial de expansión correlacionando los resultados de los ensayos endometriados con las propiedades índices de los suelos (límite líquido, índice de plasticidad, densidad seca y contenido de humedad natural del suelo).

**B. Suelos saturados con  $W\%$  mayor a  $C.H.O.$ :** Los tramos con humedad superior al  $C.H.O.$  (contenido óptimo de humedad) del ensayo de Proctor Modificado son tramos críticos que requieren mejoramiento debido al suelo saturado esto se ve mayormente en zonas donde no existen buenos drenajes ya que el agua demora en evacuar y así daña al pavimento.

**C. Suelos desfavorables (Índice de consistencia  $I_c$ ):** Este criterio corresponde a determinar el estado del suelo mediante el valor del índice de consistencia, el cual corresponde a la diferencia entre el límite líquido y la humedad natural



dividido entre el índice de plasticidad. De esta manera si el índice de consistencia resulta ser negativo, es decir cuando la humedad del suelo es mayor que de la de su límite líquido, el amasado del suelo lo transforma en un barro viscoso. Consistencias relativas muy cercanas a cero (entre 0.00 a 0.075) indican un suelo con esfuerzo a rotura a compresión axial no confinada comprendido entre 0.25 a 1 kg/cm<sup>2</sup>.

- D. Suelos desfavorables (Índice de comprensibilidad  $C_c$ ):** La deformación de los suelos cohesivos, aun bajo cargas relativamente pequeñas ha sido tradicionalmente reconocida como un problema de fundamental interés, por ser causa de graves deficiencias de comportamiento. Un problema crítico que enfrenta un suelo de cimentación fino y comprensible es el que se refiere a los asentamientos que pueden producirse al recibir la sobrecarga que presentan los terraplenes. Los efectos de estos asentamientos ocasionan:
- Perdida de bombeo ya que la presión ejercida por el terraplén es mayor bajo el centro de la corona que bajo los hombros.
  - Aparición de asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal, por heterogeneidad en la cadencia del terreno de cimentación, estos producen perjuicios en la funcionalidad de la estructura, en el pavimento, en el drenaje superficial, etc.
  - Disminución de la altura del terraplén, crítico cuando se atraviesan zonas inundables.
  - Perjuicios en el comportamiento de obras de drenaje menor, que adquieran una conformación hidráulicamente conveniente y se agrietan al hundirse más en el centro que en los extremos.



- Agrietamiento en la corona del terraplén, especialmente cuando esta es muy ancha y cuando el terraplén tiene bermas.

**E. Mejoramiento de Subrasante por clasificación:** Crespo (2004), nos dice que suelos de alta plasticidad son bastante problemáticos, ya que, por su característica y origen plástico, presentan elevados índice de plasticidad, baja capacidad de soporte y alta comprensibilidad. Se caracterizan también por su alto contenido de humedad, desde el punto de vista de ingeniería, el material plástico presenta propiedades indeseables, resultando inadecuadas para obras de fundación de vías terrestres, en estos casos estos materiales deben ser reemplazados. Como son: el ML, MH, CL, CH y suelos orgánicos.

**F. Suelos para mejoramiento por materia orgánica:** Son suelos fibrosos, orgánicos, turbosos, de comprensibilidad muy alta que se designan como las siglas Pt (Peat). Estos materiales son fácil identificación por su color, olor y otras características, como la blandura de suelo, que es propia de los bofedales, aguajales, pantanos, terrenos de cultivos, chacras, etc. Como es obvio suponer, estos materiales tienen un bajo valor de soporte, o casi nulo, que representa el valor de la resistencia mecánica del suelo (CBR). Se denomina turba cuando la materia orgánica tiene un contenido mineral muy reducido, tales depósitos se presentan sobre los materiales de limo y arcillas y con frecuencia son productos del llenado general de los lagos y cualquier corriente superficial o subterránea. Como norma general ya establecida, los suelos compuestos por turbas que contienen grandes cantidades de material orgánico y humedad, así como aquellos suelos que puedan encontrarse por debajo de los mismos que por el proceso de descomposición están comprometido con ciertos volúmenes y no pueden ser usados en subrasantes

o terraplenes y su uso en cualquier tipo de construcción debe ser evitado. Los suelos orgánicos son usualmente muy compresibles y tienen características inadecuadas para la construcción según *Jones, Joseph “Investigación de suelos para carretera”, México*. El criterio de mejoramiento en estos casos es el reemplazo total del material que se encuentra dentro de los 0.60 cm por debajo de la subrasante que presenta este tipo de suelo.

#### **G. Sectorización de tramos homogéneos por clasificación y CBR de diseño:**

Las características de la subrasante sobre las que se asienta el pavimento, están definidas en 06 categorías de subrasante en base a su capacidad de soporte CBR tal como muestra en la tabla 1 siguiente:

**Tabla 1**

*Categoría de subrasante CBR.*

CATEGORIA DE SUB RASANTE	CBR
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuado	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:** *Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (2014).*

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR igual o mayor que 6%. En caso de ser menor (subrasante inadecuada o insuficiente), se procederá a la estabilización de los suelos para lo cual se analizarán alternativas de solución de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y

económicamente (MTC, Manual de Carreteras: “Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos”. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14, 2014).

### 2.2.2.1 Caracterización de la sub rasante

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima. Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, si se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía (p. 26), ver tabla 2.

**Tabla 2**

*Número de calicatas para exploración de suelos.*

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
		Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido	
		Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
		Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido	
		Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	4 calicatas x km	
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	3 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	1 calicata x km	

**Fuente:** *Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC.*



### 2.2.3 Estudio de canteras de suelo

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” manifiesta que el interés del estudio de las fuentes de materiales de donde se extraerán agregados para diferentes usos principales como mejoramientos de suelos, terraplenes, afirmado, agregados para rellenos, subbase y base granular, agregados para tratamientos bituminosos, agregados para mezclas asfálticas y agregados para mezclas de concreto, es determinar si los agregados son o no aptos para el tipo de obra a emplear, en tal sentido se requiere determinar sus características mediante la realización de los correspondientes ensayos de laboratorio. (p. 45).

#### 2.2.3.1 Ensayos estándar

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14”, indica que se deben realizar los ensayos de laboratorio de acuerdo al uso que pretendemos dar al material de préstamo así entonces tenemos: (pp. 47-50).

**Material para Terraplenes:** Se realizan los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Humedad Natural MTC E 108.
- Límite Líquido de los suelos ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico e Índice de Plasticidad ASTM D-4318, MTC E 111.
- Determinación del Límite de Contracción, si se encuentra alta Actividad de los finos MTC E 112.
- Gravedad Específica de los Suelos, MTC E 113.



- Materia Orgánica en Suelos, MTC E 118.

**Material de Afirmado:** Se realizan los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Límite Líquido Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 111.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación de Suelos AASHTO M-145, ASTM D-3282
- Contenido Sales Solubles Totales, MTC E 219.
- Materia Orgánica en Arena ASTM C-140, MTC E 213.
- Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
- Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210.

**Material de Subbase y Base:** Se realizan los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Material que pasa la Malla N° 200 ASTM C-117, MTC E 202.
- Límite Líquido Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 111.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación de Suelos AASTHO M-145, ASTM D-3282
- Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219.
- Materia Orgánica en Arena ASTM C-140, MTC E 213.
- Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
- Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210.



### 2.2.3.2 Ensayos especiales

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que se realizarán para diferentes tipos de material:

**Material de Terraplén:** Se realizan los siguientes ensayos:

- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132; o Módulo Resiliente de suelos de sub rasante y materiales de terraplén sin tratar, ensayo AASHTO T 292; o módulo Resiliente de Materiales de suelos y agregados, ensayo AASHTO T 307.
- Relación Humedad-densidad Compactada a la Energía Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

**Material de Afirmado:** Se realizan los siguientes ensayos:

- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132.
- Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
- Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

**Material de Base:** Se realizan los siguientes ensayos:

- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132; o Módulo resiliente de materiales de base granular sin tratar, ensayo AASHTO T 292; o Módulo Resiliente de Materiales de suelos y agregados, ensayo AASHTO T 307.
- Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
- Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.
- Durabilidad del Agregado Grueso ASTM C-88, MTC E 209.



- Durabilidad del Agregado Fino ASTM C-88, MTC E 209.
- Índice de Durabilidad MTC E 214.

#### 2.2.4 Estabilización de suelos

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que la estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o Insuficiente, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.). La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

(p. 92)

##### 2.2.4.1 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

1. MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica: Para que se apoye el afirmado o la estructura del pavimento, se requiere que los últimos 0.60 m de la capa de suelos debajo del nivel de la sub rasante tenga un CBR  $\geq$

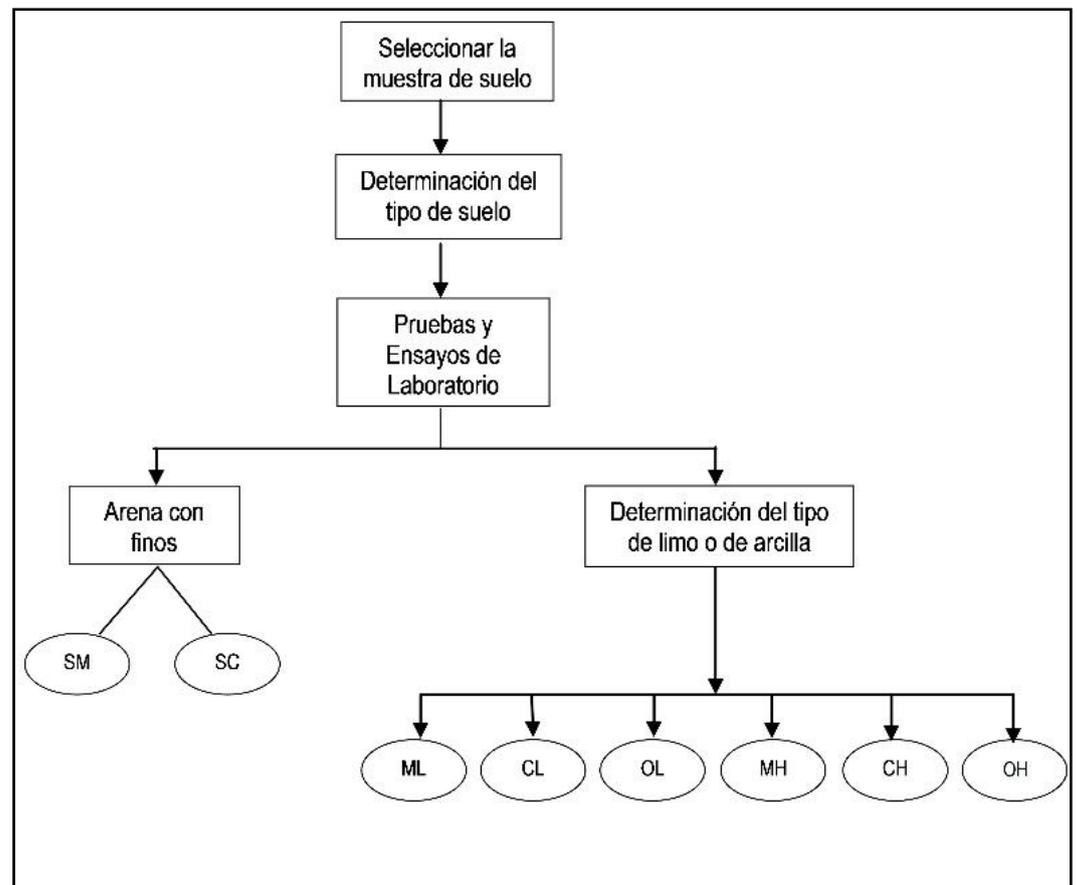


6%. Si los suelos no cumplen esta condición por tratarse de suelos de mala calidad,  $CBR < 6\%$ , es decir suelos blandos o muy compresibles o con materia orgánica o suelos Insuficientes e inadecuados; el Ingeniero Responsable considerará la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos, según la naturaleza de los mismos, efectuando estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos mediante los cuales el mencionado Ingeniero sustentará la solución adoptada precisando en su Informe Técnico que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. (p. 92).

2. MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” nos dice se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ . En caso de ser menor (sub rasante Insuficiente o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde se analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, Capas de arena, Elevar la rasante o cambiar el trazo vial sí las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas (MTC, “Manual de Carreteras: Suelos Geología,

Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14”, 2014) (p. 92)

3. Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas (MTC, “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14”, 2014) (pp. 92-93). Ver figura 1.



**Figura 1** Proceso para la identificación del tipo de suelo.

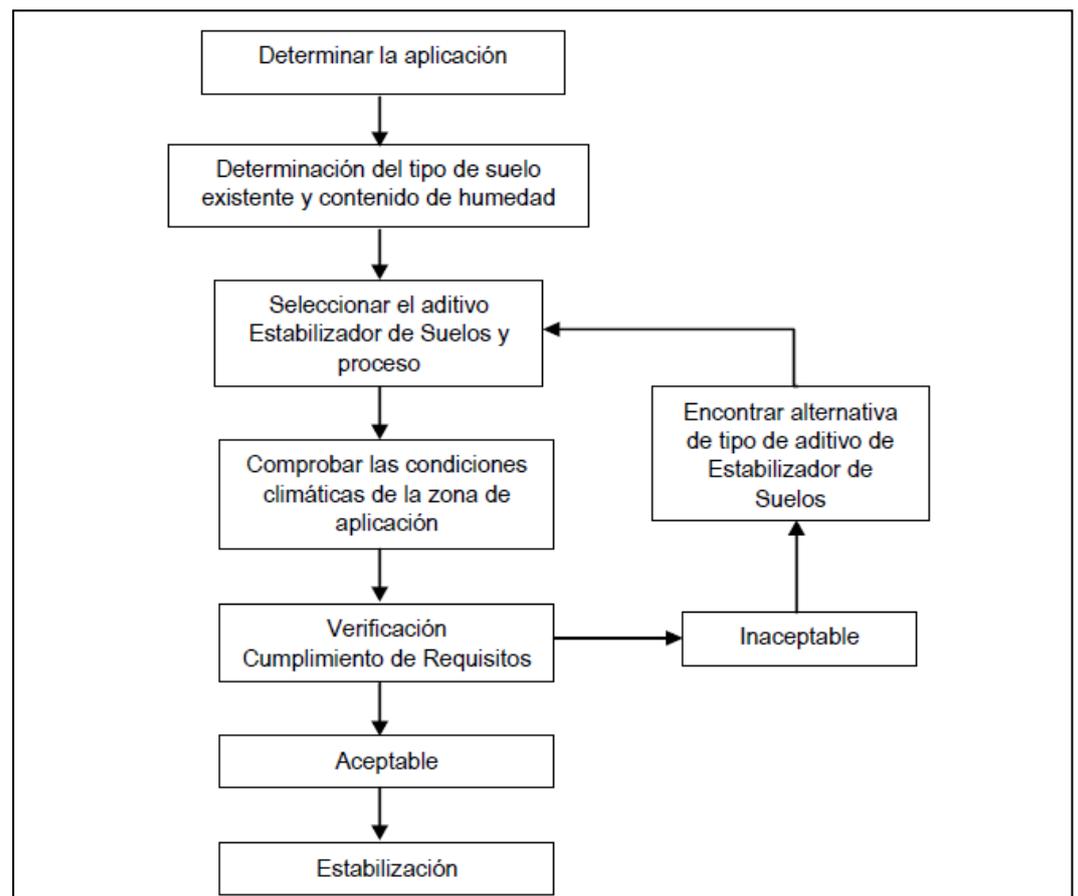
**Fuente:** Manual MTC 2014 (p. 94).

4. Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son (Ministerio de Transportes y comunicaciones MTC, “Manual de Carreteras: Suelos Geología,

Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos”. R.D. N°  
10 – 2014 – MTC/14, 2014):

- a. Tipo de suelo a estabilizar
- b. Uso propuesto del suelo estabilizado
- c. Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
- f. Disponibilidad del equipo adecuado
- g. Costos comparativos

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización: (ver figura 2).



**Figura 2** *Proceso de selección del tipo de estabilización.*

**Fuente:** *Manual MTC 2014 (p. 95).*



#### **2.2.4.2 Estabilización mecánica de suelos**

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo. (p. 98).

#### **2.2.4.3 Estabilización por sustitución de los suelos**

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que cuando se prevea la construcción de la sub rasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de sub rasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación. En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la



remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas. (pp. 98-99).

### 2.2.5 Evaluación estructural por deflectometría

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” indica que la evaluación superficial se complementa con la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones con equipos. Asimismo, en muchos casos es necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la evaluación superficial. La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación. La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento – sub rasante” frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural. La medición de deflexiones se efectuará según lo especificado en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC. (p. 171).

#### 2.2.5.1 Ensayos de deflectometría (Deflectómetro de impacto FWD)

La evaluación en el pavimento con equipo Deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer) utiliza un generador de cargas dinámicas haciendo caer una masa estándar sobre el pavimento, de tal manera que la fuerza del golpe y la duración del impacto (pulso); simulan con precisión la carga producida por un vehículo estándar de

diseño a una velocidad de 60 – 70 Km/h. La deflexión producto del impacto produce deflexiones imperceptibles para el ojo humano, pero que son registradas por sensores acelerómetros debidamente colocados a una distancia del centro de impacto, tal como se indica a continuación (ver figura 3).



**Figura 3** Equipo deflectómetro FWD en la vía de estudio.

### 2.2.5.2 Deflexión benkelman

Ocmin & Ramos (2019), indican se refiere al valor de la deflexión central, el cual es medido con equipo FWD y correlacionado al valor medido con Viga Benkelman, o corresponde directamente a la medición con Viga Benkelman en el centro de la carga, en 1/100 mm y sin decimales la Deflexión Benkelman (DefBB) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{DefBB} = 0.176 * (\text{FWD})^{1.382}$$

Donde:

DefFWD: Deflexión FWD, a 50 kN.

DefBB: Deflexión Benkelman, a 40 kN.

### 2.2.6 Sub rasante del camino

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” nos



dice que la Sub rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La sub rasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La sub rasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo Proctor modificado (MTC EM 115). (pp. 20-21).

### 2.2.7 Terraplén

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” nos dice que el terraplén es la parte de la explanación situada sobre el terreno preparado. También se conoce como relleno. La base y cuerpo del terraplén o relleno será conformado en capas de hasta 0.30m y compactadas al 90% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado. La corona es la parte superior del terraplén tendrá un espesor mínimo de 0.30m y será conformada en



capas de 0.15m, compactadas al 95% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado. (p. 20).

### 2.2.8 **Afirmado**

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14”, nos dice que el Afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas. (p. 21). Las carreteras no pavimentadas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura corresponden en general a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes de hasta 300,000 EE en un período de diez años; estas carreteras no pavimentadas pueden ser clasificadas como sigue: (p. 118).

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes. (p. 118).
- b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm. (p. 118).
- c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25 mm. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o



zarandeadas, o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado. (p. 118).

### 2.2.9 Pavimento

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” nos dice que el Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura. (p. 21).

- **Capa de Rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- **Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- **Subbase:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento. Los tipos de pavimento son los siguientes:
  - Pavimentos Flexibles
  - Pavimentos Semirrígidos

- Pavimentos Rígidos

### 2.2.10 Pavimento flexible

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14” nos dice que el pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (p. 22).

#### 2.2.10.1 Variables de diseño en el modelo AASHTO-93

MTC (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos.” R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14 nos dice que el modelo AASHTO-93 es uno de los más usados para pavimentos flexibles y su diseño es influenciado por dos factores básicos: (p. 128).

- Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento.
- Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento.

**Estudio de Tráfico:** Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18- kip o 80-kN o 8.2 tn, que se denominan Ejes Equivalentes (EE). (p. 128).

**Confiabilidad (%R):** El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad que representa la probabilidad que una determinada



estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo a lo previsto. La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación de diseño, para ello debe usarse el coeficiente estadístico conocido como desviación normal estándar ( $Z_r$ ). En términos sencillos la confiabilidad es un valor que refiere al grado de incertidumbre de que el diseño de un paquete estructural pueda llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones. (MTC, 2014). (p. 132).

**Coficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ):**

El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. (MTC, 2014). (p. 134).

**Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ ):** La Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ ), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como, por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO-93 recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de  $S_o$  comprendidos entre 0.40 y 0.50 en el presente Manual citado se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45. (MTC, 2014). (p. 136).

**Índice de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI):** La Serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI

también decrece. En el diseño del pavimento se deben elegir la Serviciabilidad inicial y final. (MTC, 2014). (p. 137). (ver figura 4).

Indice de Serviciabilidad	Calidad
5	Muy Buena
4	
3	Buena
2	Regula
1	Mala
0	Pesima

**Figura 4** Escala de indice de serviciabilidad.

**Fuente:** Guía AASHTO (MTC, 2014).

- a. **Serviciabilidad Inicial Pi.:** La Serviciabilidad Inicial es la condición de una vía recientemente construida. (MTC, 2014). (p. 137).
- b. **Serviciabilidad final Pt.:** La Serviciabilidad Final es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción. (MTC, 2014). (p. 138).

**Modulo Resiliente de la Subrasante (Mr):** El Módulo Resiliente es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, tomando en cuenta ciertas características no lineales, y es usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles y que reemplaza al valor de soporte del suelo utilizado en ediciones anteriores de este método. (MTC, 2014). (p. 131).

Heukelom & Klomp (1962) han reportado correlaciones entre el Valor Relativo de Soporte (CBR) y el módulo de resiliencia (usando pruebas de compactación dinámica). La correlación está dada por la siguiente relación:

- $M_r$  (PSI) = 1500 \* CBR, para valores de CBR < 10%. Autores: Heukelom & Klomp, (1962), Adoptada por AASHTO, (1993).
- $M_r$  (PSI) = 3000 \* (CBR)<sup>0.65</sup>, para valores de 10% < CBR < 20%

Autores: Concilio Sur Africano de Investigaciones científicas e industriales

- $M_r(\text{PSI}) = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241$ , para valores de CBR > 20%

Heukelom & Klomp, (1962), 1960, Adoptada por AASHTO 1993).

$M_r(\text{PSI}) = 2555 * (\text{CBR})^{0.64}$ , Autores: Lister & Powell, (1987) para el TRRL y adoptada por AASHTO (2002).

**Número Estructural (SN):** La metodología AASHTO-93 para diseño de pavimentos asfálticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica, la capa de base y la capa de subbase. Esta ecuación está en función de unas variables de diseño tales como el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad, el índice de serviciabilidad, entre otros. A continuación, se presenta la ecuación indicando el significado de cada variable o parámetro involucrado: (MTC, 2014). (p. 140).

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Además:

**W<sub>18</sub>** : Número Total de Ejes Equivalentes para el período de diseño.

**ΔPSI** : Diferencia entre índice de servicio inicial y final.

**P<sub>i</sub>** : Serviciabilidad inicial.

**P<sub>t</sub>** : Serviciabilidad final.

**M<sub>R</sub>** : Módulo de Resiliencia de la Subrasante (psi).

**Z<sub>R</sub>** : Coeficiente estadístico de desviación estándar.

**So** : Desviación estándar combinada de la predicción del tráfico.

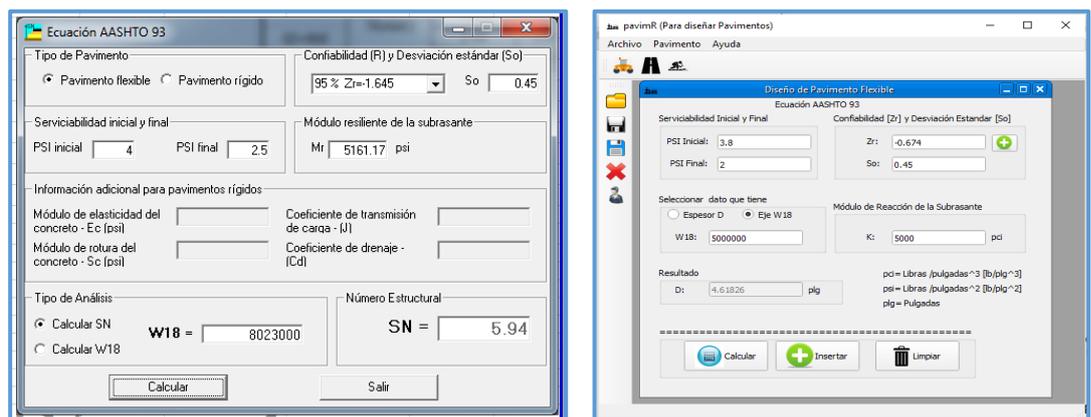
**SN** : Número Estructural.

Al resolver esta fórmula reemplazando todas las variables que tenemos obtenemos el valor del Número Estructural SN, sin embargo, esto puede ser tedioso cuando manejamos bastantes datos, por ello existen otras formas de calcular el SN ya sea por medio de plantillas de Excel o el uso de programas computacionales como el DISAASHTO-93, Ecuación AASHTO 93 o el PAVIMR (ver figuras 5 y 6).



**Figura 5** Interfaz de software DISAASHTO-93 para cálculo de SN.

**Fuente:** Software del Ing. Andrés García (García, 2015).



**Figura 6** Softwares ecuación AASHTO-93 y PAVIMR.

### 2.2.10.2 Metodología de cálculo de espesores

MTC, (2014) en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014

– MTC/14” indica que este procedimiento de cálculo para determinar en sectores localizados, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de sub rasantes Insuficientes, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre  $CBR \geq 3\%$  y  $CBR < 6\%$ , calculándose según lo siguiente: (p. 99).

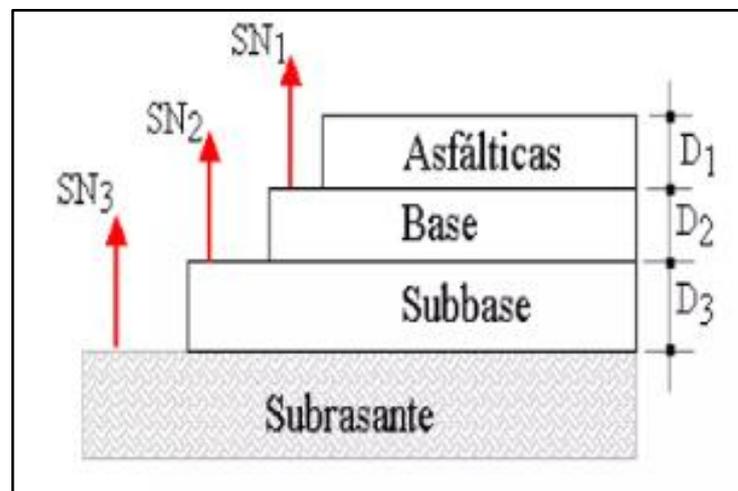
$$SN = a1*D1 + a2*D2*m2 + a3*D3*m3$$

Dónde:

$a1$ ,  $a2$  y  $a3$ : son coeficientes estructurales de la capa asfáltica, base y subbase respectivamente.

$D1$ ,  $D2$  y  $D3$ : espesor de la capa asfáltica, base y subbase respectivamente.

$m2$  y  $m3$ : coeficiente de drenaje de la base y subbase respectivamente.



**Figura 7** Modelo de un pavimento flexible AASHTO-93.

**Fuente:** (García, 2015).

- Se calculará el número estructural SN del pavimento para 10 años, el material a emplear tendrá un  $CBR \geq 10\%$  e IP menor a 10, o en todo caso será similar. Cuando en los sectores adyacentes al sector de sustitución de suelos presentan un  $CBR > 10\%$ , para el cálculo del SN

se utilizará el mayor valor de CBR de diseño, que representa el material de reemplazo, este número estructural SN calculado se denominará SNm (mejorado), luego se calculará el SN del pavimento para el CBR del material de sub rasante existente (menor a 6%), que se denominará SNe (existente). (MTC, 2014). (p. 99).

- Se realizará la diferencia algebraica de SN. (MTC, 2014). (p. 99).

$$\Delta SN = SNe - SNm$$

- Habiéndose escogido el material de reemplazo ( $CBR \geq 10\%$ ) a colocar (según SNm calculado), se obtendrán los valores correspondientes de coeficiente estructural ( $a_i$ ) y coeficiente de drenaje ( $m_i$ ), luego se procederá a obtener el espesor E, aplicando la siguiente ecuación: (MTC, 2014). (p. 99).

$$E = \frac{\Delta SN.}{a_i \times m_i}$$

Siendo:

E: Espesor de reemplazo en pulgadas.

$a_i$ : Coeficiente estructural del material a colocar.

$m_i$ : Coeficiente de drenaje del material a colocar. Usaremos esta fórmula para el cálculo de nuestros espesores en los tramos deficientes.

- **Coeficiente Estructural de la Subrasante Mejorada:** El coeficiente estructural de este material correspondería al que se relacione con el valor del CBR del material de préstamo. Para ello se hace uso de nomogramas.
- **Coeficiente de Drenaje ( $m_i$ ):** (MTC, 2014) “Este coeficiente tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura



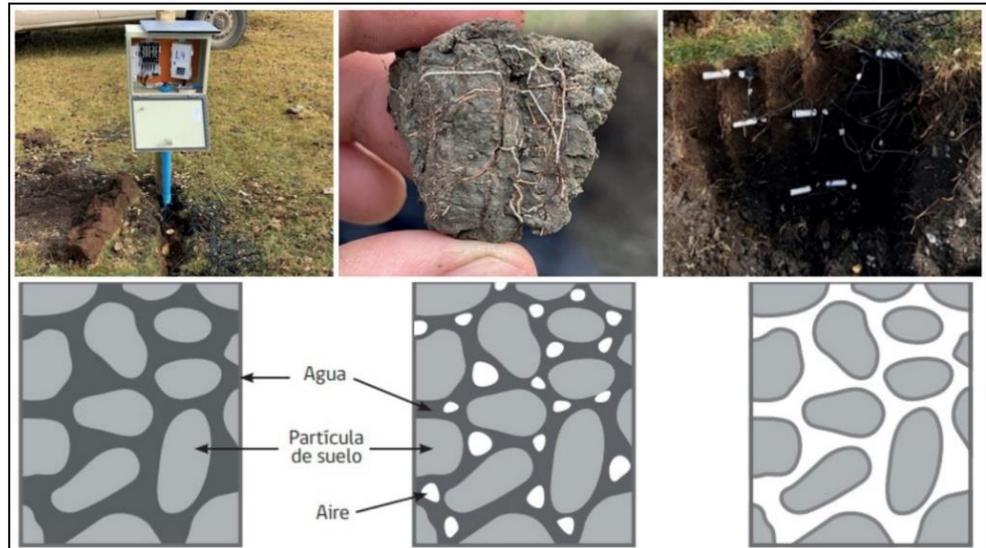
del pavimento, el valor de coeficiente de drenaje esta dado por dos variables que son:” (pp. 141-142).

- a. Calidad de drenaje.
- b. Exposición a la saturación que es el % de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

## 2.2.11 Ensayos de laboratorio

### 2.2.11.1 Contenido de humedad natural (ASTM D-2216, MTC E108)

MTC, (2016) en su Manual de Ensayo de Materiales del 2016 nos indica que el contenido de humedad de una muestra de suelo, indica la cantidad de agua que esta contiene en su estado natural, expresándola como el porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. De este modo, lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente después de obtenida la muestra, para evitar distorsiones al momento de los cálculos. Los valores hallados permiten establecer una calificación de la subrasante. Los contenidos de humedad próximos al Límite Líquido refieren un suelo muy sensitivo y de limitadas condiciones como sub rasante, mientras unos contenidos de humedad próxima al Límite Plástico refieren un buen comportamiento como sub rasante. Del mismo modo, altos contenidos de humedad implican suelos de absorción alta o retención alta y sin evacuación de las aguas que pudieran discurrir por dichos suelos. (p. 49).



**Figura 8** Estructura de un suelo (agua, partícula de suelo y aire).

### 2.2.11.2 Análisis granulométrico (ASTM D-422, MTC E107)

La granulometría es la distribución de las partículas de un suelo, de acuerdo a su tamaño, que se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N.º 200 (de diámetro 0.074 milímetros), considerándose el material que pasa dicha malla en forma global. Para conocer su distribución granulométrica por debajo de ese tamiz se hace el ensayo de sedimentación. El Análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se plantea el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo al uso que se quiera dar al agregado (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo, 2016).



**Figura 9** Equipos para ensayo de granulometría.

**Fuente:** ETSI Caminos canales y puentes. Universidad Politécnica de Madrid.

### 2.2.11.3 Clasificación de suelos

Los diferentes tipos de suelos son definidos por el tamaño de las partículas. Son frecuentemente encontrados en combinación de dos o más tipos de suelos diferentes, como, por ejemplo: arenas, gravas, limo, arcillas y limo arcilloso, etc. La determinación del rango de tamaño de las partículas (gradación) es según la estabilidad del tipo de suelo. La clasificación de suelos cohesivos implica dos tipos de ensayos para la determinación de los límites de consistencia (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo del 2016, 2016).

#### 2.2.11.3.1 Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

El sistema de clasificación para Construcción de Carreteras AASHTO, es también usado de manera general. Los suelos pueden ser también clasificados en grandes grupos, pueden ser porosos, de grano grueso o grano fino, granular o no granular y cohesivo, semi cohesivo y no cohesivo (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo, 2016).

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz Nº 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
% que pasa el Tamiz: Nº 10 Nº 40 Nº 200	50 máx. 30 máx. 15 máx.										
		50 máx.	51 máx.								
	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)  
Si el LP > 30, la clasificación es A-7-6  
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

**Figura 10** Clasificación de suelos según AASHTO.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.2.11.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Uno de los más usuales sistemas de clasificación de suelos es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual clasifica al suelo en 15 grupos, identificados por nombre y por términos simbólicos, los cuales se diferencian de acuerdo al tamaño de granos que presentan. (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo, 2016). (ver figura 11).

GRUPOS		SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRE DE GRUPO	CRITERIOS DE CLASIFICACION			
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b> (mas del 50 % es retenido en el tamiz No 200)  <b>&gt; 50% Ret.</b>  <b>Nº 200</b>	<b>GRAVAS</b> (mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No 4)	Gravas Limpias (menos de 5% de finos)	<b>GW</b>	Grava bien gradada	SOLO Granulometría	Cu > 4 y 1 < Cc < 3	
			<b>GP</b>	Grava pobremente gradada		Cu < 4 y/ó 1 > Cc > 3	
		Gravas con finos (mas de 12% de finos)	<b>GM</b>	Grava limosa	Los finos se ubican en la zona de LIMOS (ML) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
			<b>GC</b>	Grava arcillosa	Los finos se ubican en la zona de ARCILLA (CL) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
			<b>GC-GM</b>	Grava limosa arcillosa	Símbolo dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML) de la carta de plasticidad de Casagrande.		
		Gravas con 5 a 12% de finos (símbolo dual)	<b>GW-GM</b>	Grava bien gradada con limo	Granulometría( Cc, Cu) y plasticidad ( Carta de Plasticidad)  Símbolo dual		
	<b>GW-GC</b>		Grava bien gradada con arcilla				
	<b>GP-GM</b>		Grava pobremente gradada con limo				
	<b>GP-GC</b>	Grava pobremente gradada con arcilla					
	<b>ARENAS</b> (mas de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz No 4)	Arenas Limpias (poco o ningun fino)	<b>SW</b>	Arena bien gradada	SOLO Granulometría	Cu > 6 y 1 < Cc < 3	
			<b>SP</b>	Arena pobremente gradada		Cu < 6 y/ó 1 > Cc > 3	
		Arenas con finos (mas de 12% de finos)	<b>SM</b>	Arena limosa	Los finos se ubican en la zona de LIMOS (ML) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
			<b>SC</b>	Arena arcillosa	Los finos se ubican en la zona de ARCILLA (CL) en la Carta de Plasticidad de Casagrande		
			<b>SC-SM</b>	Arena limosa arcillosa	Símbolo dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML) de la carta de plasticidad de Casagrande.		
Arenas con 5 a 12 % de finos (símbolo dual)		<b>SW-SM</b>	Arena bien gradada con limo	Granulometría( Cc, Cu) y plasticidad ( Carta de Plasticidad)  Símbolo dual			
	<b>SW-SC</b>	Arena bien gradada con arcilla					
	<b>SP-SM</b>	Arena pobremente gradada con limo					
<b>SP-SC</b>	Arena pobremente gradada con arcilla						
<b>SUELOS DE GRANO FINO</b> (50 % ó mas pasa el tamiz No 200)  <b>≥50% Pasa</b>  <b>Nº 200</b>	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Limite Líquido < 50%	<b>CL</b>	Arcilla de baja plasticidad	IP >7 y cae en ó sobre la línea A			
		<b>ML</b>	Limo	IP < 4 ó cae bajo la línea A			
		<b>CL-ML</b>	Arcilla limosa	4 ≤ IP ≤ 7, Símbolo dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML).			
		<b>OL</b>	arcilla ó limo orgánico	Ubicar IP en Carta Plasticidad y verificar que : L.L (secado al horno) / L.L (sin secado al horno) < 0.75			
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Limite Líquido ≥ 50%	<b>CH</b>	Arcilla de alta plasticidad	IP cae en ó sobre la línea A			
		<b>MH</b>	Limo elástico	IP cae bajo de la línea A			
		<b>OH</b>	arcilla ó limo orgánico	Ubicar IP en Carta Plasticidad y verificar que : L.L (secado al horno) / L.L (sin secado al horno) < 0.75			
Suelos altamente orgánicos		<b>Pt</b>	Turba	Patrón principal de identificación: color oscuro a negro, olor orgánico, textura fibrosa a amorfa. No aplican ensayos			

**Figura 11** Clasificación de suelos según SUCS ASTM D2487.

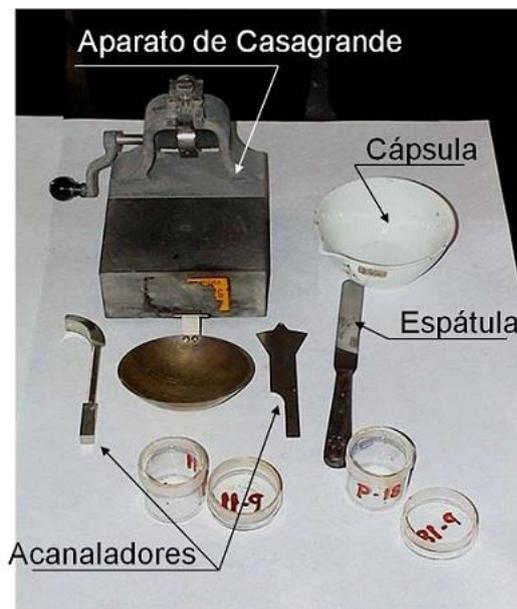
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.2.11.4 Límites de consistencia

MTC, (2016) en su Manual de Ensayo de Materiales nos indica que el límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte. (p. 72).

#### 2.2.11.4.1 Límite líquido (ASTM D-4318, MTC E110)

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo del 2016, 2016).



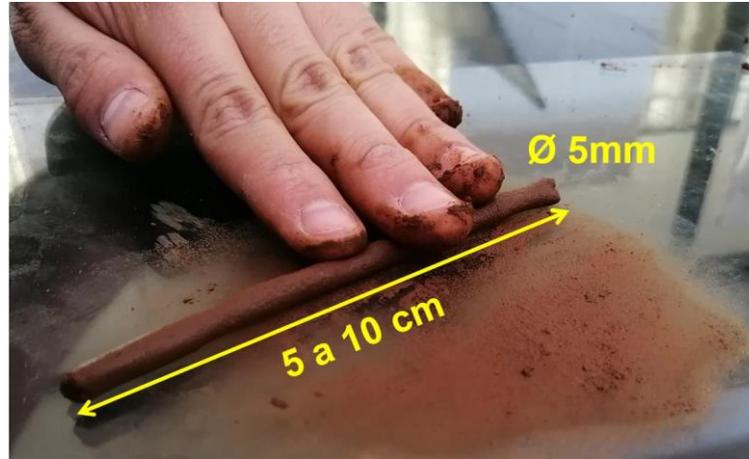
**Figura 12** Equipos para ensayo de límite líquido.

**Fuente:** ETSI Caminos canales y puentes. Universidad Politécnica de Madrid.

#### 2.2.11.4.2 Límite plástico (ASTM D-4318, MTC E111)

Se denomina límite plástico (L.P.) 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 lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo del 2016, 2016). (p. 72). Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de

clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (Guillén, 2018).



**Figura 13** Ensayo de límite plástico de un suelo.

**Fuente:** Guillén, (2018)

#### 2.2.11.4.3 Índice de plasticidad (ASTM D-4318, MTC E111)

MTC, (2016) en su manual de Ensayo de Materiales nos dice “se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico” (p. 73).

$$\mathbf{I.P. = L.L. - L.P.}$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido.

P.L. = Límite Plástico.

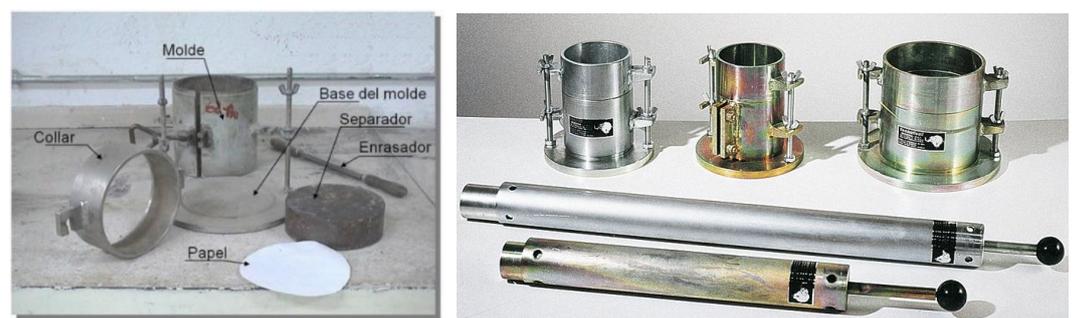
L.L. y L.P., son números enteros.

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico). (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo, 2016).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico). (MTC, Manual de ensayo de materiales Edición mayo, 2016).

#### 2.2.11.5 Proctor modificado (ASTM D-1557, MTC – E115)

MTC, (2016) en su manual de Ensayo de Materiales dice que el Proctor Modificado es un ensayo de compactación que se realiza a la base, subbase y subrasante de una vía con el objeto de definir cuál es el grado de humedad óptima con la que se obtendría la máxima densidad en un agregado. Para el desarrollo del ensayo se preparan 4 probetas, en un molde donde se vierten capas de agregado, al cual se le aplica el mismo grado de compactación, pero distintos grados de humedad. Con los datos obtenidos se genera una campana una gráfica del tipo campana de Gauss, representando en el eje de abscisa el % de humedad y en el de ordenada la densidad obtenida para cada grado de humedad. El punto de inflexión de la campana de Gauss indica la densidad y humedad óptima del agregado. (p. 105).



**Figura 14** Materiales de ensayo de roctor modificado.

**Fuente:** ETSI caminos canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

### 2.2.11.6 Relación de soporte de california CBR (ASTM D-1883, MTC – E132)

MTC, (2016) en su manual de Ensayo de Materiales nos dice que la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio), se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este método se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. (p. 248).

La duración de un ensayo de Relación de Soporte de California (California Bearing Ratio, CBR) es de 5 días como mínimo. Este es el tiempo establecido por norma. Hacerlo bien nos ayuda a medir la presión necesaria para hacer penetrar un pistón en una muestra de suelo. Y realizar está etapa en todas las etapas de la construcción es ideal.



**Figura 15** *Materiales para ensayo de CBR.*

**Fuente:** *ETSI caminos canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid.*



### 2.2.11.7 Abrasión los ángeles

MTC, (2016) en su manual de Ensayo de Materiales nos dice que la Abrasión mide la gradación normalizada del deterioro del agregado mineral resultante de una combinación de acciones como abrasión o desgaste, impacto y trituración en un tambor de acero giratorio que contiene un número fijo de bolas de acero dependiendo del tipo de gradación que se realizará. A medida que el tambor gira, la muestra y las bolas de acero son recogidas por la pestaña de acero y transportadas hasta que son arrojadas al otro lado del tambor, creando un efecto aplastante debido al impacto. Este ciclo se repite a medida que el tambor gira con su contenido. Después de un número determinado de revoluciones, el material agregado se retira del tambor, se tamiza y se mide su deterioro como porcentaje de pérdida. (p. 315).



## CÁPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La fuente de investigación es el campo con un alcance de investigación descriptivo no experimental y con enfoque cuantitativo ya que primero se desarrolla mediante la recolección de datos y muestras por medio de calicatas tal como se dan en su contexto natural, luego se realiza la medición de la calidad de las muestras obtenidas mediante ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y finalmente realizamos el análisis de datos mediante la interpretación y validación de datos obtenidos de los suelos de fundación para luego determinar una solución en los tramos que presenten inestabilidad antes de la ejecución de una base estabilizada en la carretera Chuquibambilla – Macarí Tramo I del Km 00+000 al Km 13+500. Se realizo el estudio en las siguientes etapas.

- Etapa de Gabinete I (Recopilación de información).
- Etapa de Campo I (Recolección de muestras de suelos).
- Etapa de Campo II (Mapeos de la zona de estudio).
- Etapa de Gabinete II (Ensayos de Laboratorio y análisis de resultados).
- Etapa de Informe Final (Redacción de la tesis en gabinete con la información obtenida).

##### 3.1.1 Tratamiento y análisis de datos

###### 3.1.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación tiene un alcance descriptivo, las evidencias científicas se obtienen de la interacción directa con los suelos a



nivel de subrasante en el campo, luego se describen las características y propiedades de los suelos a nivel de subrasante, se determinan los sectores inestables y con los resultados planteamos una solución a nuestro problema de investigación que tiene la carretera Chuquibambilla – Macarí.

### **3.1.1.2 Diseño de la investigación**

El diseño de esta investigación es no experimental, sigue una secuencia establecida por las normas técnicas vigentes de NTP, MTC, ASTM, AASHTO y explica los procedimientos seguidos para la obtención de los resultados que deseamos.

### **3.1.1.3 Población, muestra y análisis**

**Población:** La población de nuestra zona de estudio queda delimitada por la estratigrafía que la conforma a nivel de subsuelo (estado natural), es decir por las capas que presentan los suelos de manera natural en la carretera Chuquibambilla – Macarí Tramo I del km 00+000 al km 13+500.

**Muestra:** Las muestras serían las 28 calicatas que se ejecutaron a lo largo del tramo I del Km 00+000 al Km 13+500 de la plataforma existente, de las canteras, entre otros realizando una descripción de sus características geomecánicas in situ.

**Análisis:** Se realizó los respectivos análisis a las muestras de acuerdo a la normativa que rige el MTC, (2014) analizando y evaluando los tipos de suelos identificados en la zona de estudio, así como de los materiales de préstamo (canteras) para poderle dar una mejor funcionalidad.



#### **3.1.1.4 Enfoque del trabajo**

Este estudio está basado en los resultados de laboratorio que tenemos para lo cual se ha tramificado las zonas inestables y calculado los espesores de mejoramiento que debemos aplicar sobre la superficie existente. Para realizar la tramificación usaremos el criterio de: Sectorización de tramos homogéneos por clasificación y CBR de diseño acompañado de datos de Deflectometría y para hacer el cálculo de los espesores de mejoramiento utilizaremos parámetros y fórmulas matemáticas que nos recomienda el MTC en sus guías de pavimentos para hallar el número estructural (SN).

### **3.1.2 Variables**

#### **3.1.2.1 Variable independiente**

Condiciones Geológicas – Geotécnicas del suelo a nivel de subrasante (Plataforma existente y suelos de fundación) y materiales de préstamo en la que se encuentran naturalmente.

#### **3.1.2.2 Variable dependiente**

Las variables dependientes son los diversos valores que obtendremos a partir de los ensayos de laboratorio de la subrasante y canteras para la construcción de la carretera Chuquibambilla – Macarí.

#### **3.1.2.3 Operación de variables**

Ambas variables nos pondrán en contexto como se encuentra el suelo a nivel geológico- geotécnico y a partir de esto podremos evaluar soluciones factibles tanto técnica como económicamente viables para la



estabilización de la subrasante antes de ejecutar la construcción de la base estabilizada en la carretera Chuquibambilla - Macarí.

### **3.2 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE**

Antes de salir a campo a evaluar y caracterizar los suelos y el entorno en el que se encuentran, es necesario estar preparado y tener claro que parámetros o datos se tomaran en cuenta es por ello que para tener registro de los datos de campo se elaboró previamente en gabinete mapas de ubicación, planos base, formatos de descripción, resúmenes o cuadros resúmenes que nos ayudan o facilitan la digitalización de datos.

#### **3.2.1 Evaluación geológica**

La evaluación geológica referidos al estudio de suelos se realizó en base a la información técnica y bibliográfica tales como:

- Boletín A 58 del INGEMMET, Geología de los Cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, hoja: 30 u.
- Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayaviri (30-u) escala 1:50000 INGEMMET 2003.
- Cartas geológicas del INGEMMET.
- Se revisó e interpreto la geomorfología del terreno mediante imágenes satelitales de SAS Planet, como también información web gráfica.

En base a lo estudiado y recolectado se realizó los mapas geológicos y geomorfológicos a escala local (área de estudio) delimitando formaciones geológicas, fallas, pliegues, unidades litoestratigráficas, unidades geomorfológicas, identificando rocas y aspectos relevantes que puedan ayudar a complementar y entender el problema de estudio. Para realizar estas tareas de



mapeos se hizo uso de herramientas de campo como picota, brújula, lupa, rayador, lápices de colores, bolsas de muestreo entre otros.

### 3.2.2 Evaluación geotécnica

Con el propósito de realizar la evaluación geotécnica de los suelos a nivel de subrasante en el campo se revisó el Manual de Carreteras (suelos, geología, geotecnia y pavimentos) Sección Suelos y Pavimentos 2014 del MTC, así como también, la norma AASHTO y se realizó los procedimientos que rigen la norma vigente. Para la ejecución de los estudios de suelos se programaron los siguientes trabajos de campo:

- Inspección de la zona donde se encuentra la vía en estudio, con la finalidad de definir la estrategia para la ejecución de los estudios correspondientes.
- Excavación de calicatas, para obtener muestras que permitan conocer y evaluar las características físico-mecánicas del suelo de fundación.
- Evaluación estructural del pavimento existente y un levantamiento visual del estado superficial del pavimento.
- Procesamiento y análisis de la información recogida del trabajo de campo.

**Inspección de la zona:** Se hizo reconocimiento de las progresivas y se marcó a cada 500 metros empezando del km. 00+000.

**Excavación de calicatas:** Se llevó a cabo la ejecución de calicatas realizando un total de 28 calicatas de 1,50m de profundidad (respecto al nivel de la subrasante), ubicadas a lo largo de la carretera Chuquibambilla – Macarí, a cada 500m de distancia y en forma alternada a ambos lados izquierda y derecha, con fines de obtener el perfil estratigráfico en la carretera de estudio, muestreándose los suelos de la subrasante según las capas que tenga el pavimento a fin de obtener

las características físicas y mecánicas de los materiales de los diferentes estratos en laboratorio.

**Evaluación estructural del pavimento existente:** Se camino todo el tramo de estudio determinándose que la plataforma presenta baches, encalaminados y algunas fisuras a nivel de subrasante.

**Procesamiento y análisis de la información:** Se recolectó toda la información de la evaluación del suelo a nivel de subrasante en la carretera Chuquibambilla – Macarí para realizar las fichas de cada calicata ejecutada. Las excavaciones de las calicatas, se realizaron empleando retroexcavadora, y en cada calicata el registro de excavación indica:

- Coordenadas UTM del elipsoide WGS 84.
- Espesores y descripción (tipo de material, color, humedad, etc.), en concordancia con la norma ASTM D-2488-09 a de cada uno de los estratos encontrados.
- Vistas Fotográficas de cada calicata, donde se aprecia los estratos encontrados y la profundidad de excavación.

### **3.2.2.1 Procedimiento de extracción de muestras en subrasante**

Primero se procede a abrir la plataforma con retroexcavadora hasta que se llegue a visualizar un cambio de estrato, luego las muestras se extraen por cada capa que se encuentre y en una cantidad mínima de dos sacos por capa de tal manera que se pueda efectuar ensayos de verificación con las contra muestras si fuera necesario, la profundidad máxima será de 1.50m y después de sacar las muestras se procede a rellenar con el mismo material para luego trasladar al laboratorio y realizar los respectivos ensayos. Todos estos trabajos de investigación geotécnica no producen en ningún momento cortes totales de vías de tránsito. Solo se producirán

cortes parciales de vías de tránsito de forma temporal. A continuación, se presenta la siguiente tabla 3 de las calicatas ejecutadas, detallando la ubicación de cada calicata en progresivas, coordenadas UTM, el número de muestras o estratos que se encontró de cada calicata y su respectiva profundidad.

**Tabla 3**

*Calicatas ejecutadas en la vía de estudio.*

Calicata	Progresivas (km)	Lado	COORDENADAS UTM			Número de capas	Profundidad máxima(m)
			Este	Norte	Cota		
C-65	00+000	Der	314228	8364246	3962	2	1.50
C-64	00+500	Izq.	313859	8364053	3958	2	1.50
C-63	01+000	Der	313373	8364084	3958	2	1.50
C-62	01+500	Izq.	312900	8364243	3960	2	1.50
C-61	02+000	Der	312426	8364400	3956	2	1.50
C-60	02+500	Izq.	311954	8364562	3955	2	0.60
C-59	03+000	Der	311483	8364720	3958	2	1.50
C-58	03+500	Izq.	311015	8364886	3958	2	0.70
C-57	04+000	Der	310539	8365044	3958	2	1.50
C-56	04+500	Izq.	310071	8365206	3965	2	1.50
C-55	05+000	Der	309580	8365253	3962	2	1.50
C-54	05+500	Izq.	309084	8365318	3955	2	1.50
C-53	06+000	Der	308592	8365375	3959	2	1.50
C-52	06+500	Izq.	308097	8365443	3961	2	1.50
C-51	07+000	Der	307602	8365514	3963	2	1.50
C-50	07+500	Izq.	307115	8365607	3960	2	1.50
C-49	08+000	Der	306621	8365668	3969	2	1.50
C-48	08+500	Izq.	306138	8365723	3965	2	1.50
C-47	09+000	Der	305647	8365647	3952	2	1.50
C-46	09+500	Izq.	305153	8365726	3949	2	1.50
C-45	10+000	Der	304657	8365799	3950	2	1.50
C-44	10+500	Izq.	304163	8365875	3951	2	1.50
C-43	11+000	Der	303670	8365943	3957	2	1.50
C-42	11+500	Izq.	303219	8365928	3959	2	1.50
C-41	12+000	Der	302758	8365641	3959	2	1.50
C-40	12+500	Izq.	302272	8365600	3954	2	1.00
C-39	13+000	Der	301773	8365636	3960	2	1.50
C-38	13+500	Izq.	301277	8365685	3962	2	1.50

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.2.2.2 Ensayos de laboratorio de subrasante

Se revisó el Manual de Ensayos de Materiales del MTC 2016 para realizar los ensayos de laboratorio de manera correcta, se ejecutaron



los siguientes ensayos de laboratorio para cada calicata según los estratos que presenta:

- Apertura y descripción de la muestra.
- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422, MTC E107.
- Material que pasa la malla N° 200 ASTM C-117, MTC E202.
- Límite líquido malla N°40 ASTM D-4318, MTC E110.
- Límite plástico malla N°40 ASTM D-4318, MTC E111.
- Clasificación SUCS ASTM D2487.
- Clasificación de suelos AASHTO M-145, ASTM D-3282.
- Determinación humedad natural.
- CBR ASTM D-1883, MTC E132.
- Proctor modificado ASTM D-1557, MTC E115.

Cabe mencionar que, según los TdR y la normativa vigente, establece lo siguiente: en caso de encontrar suelos finos no plásticos dentro de la profundidad de investigación, se deberán ejecutar ensayos para determinar su densidad natural.

Los ensayos estándar de clasificación fueron realizados en todas las calicatas ejecutadas en la etapa de exploración de campo y para el caso de los ensayos especiales, por cada capa registrada, (Proctor y CBR) fueron realizados en las calicatas representativas distanciadas en cada 2.0 km. También en esta etapa se realizó la interpretación de los resultados de laboratorio obtenidos para lo cual se determinó valores de CBR < 6% en algunos tramos de la subrasante por lo que necesitan ser mejorados y en este caso se realizará la adición de una capa de tipo terraplén.

### 3.2.3 Deflectometría

A partir de los datos de CBR que se obtuvieron en la etapa de laboratorio ya sabemos en qué progresivas el CBR es menor a 6%, sin embargo, los datos de CBR están a cada 2 km de distancia y necesitamos evaluar más a detalle por lo que nos apoyaremos de datos del ensayo de Deflectometría que se tomaron cada 200 metros aproximadamente en los tramos con  $CBR < 6\%$ . Los datos se obtuvieron por medio de un Deflectómetro de impacto FWD que mide las deflexiones a 0, 300, 600, 900, 1200 y 1500 mm de distancia siendo a 0 mm la deflexión máxima.

## 3.3 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE CANTERAS

### 3.3.1 Descripción geológica de canteras

Se identifico las litologías que predominan en las diversas canteras y a que formaciones pertenecen realizando una descripción general del área que se va a explotar como material de préstamo.

### 3.3.2 Evaluación geotécnica de canteras

Para el caso de los materiales de préstamo el programa de exploración de los trabajos de campo consiste en la ejecución de prospecciones físicas a cielo abierto de calicatas, trincheras y taludes, las profundidades variaran de acuerdo al material y estratos identificados donde se consignó la descripción visual del material, humedad, compacidad, grado de fractura, grado de meteorización, color, entre otros aspectos relevantes.

Las excavaciones de las calicatas, se realizaron empleando retroexcavadora, y en cada calicata el registro de excavación indica:

- Coordenadas UTM WGS 84 de cada punto extraído.

- Profundidad y descripción (tipo de material, color, humedad, etc.), en concordancia con la norma ASTM D-2488-09.
- Vistas Fotográficas de cada calicata, donde se aprecia las calicatas realizadas y la profundidad de excavación.

### 3.3.2.1 Procedimiento de extracción de muestras en canteras

Con el objetivo de determinar las propiedades Físicas Mecánicas de los materiales de préstamo se realizó la excavación de tres calicatas/corte de talud por cantera de profundidad variable y acorde a lo evaluado en diferentes zonas de la cantera, así como la descripción de los estratos, cubicación de suelos y rocas, como también el rendimiento y determinación de canteras aptas para la construcción de las diferentes capas de la carretera Chuquibambilla - Macarí.

### 3.3.2.2 Ensayos de laboratorio de canteras

Se revisó el Manual de Ensayo de Materiales del MTC 2016 en donde nos indica que los ensayos para materiales de préstamo dependen del uso que le daremos, por lo tanto, las canteras que se usarán para el mejoramiento de terraplén deberán cumplir los siguientes requisitos tal como muestra la tabla 4.

**Tabla 4**

*Especificaciones técnicas para terraplén.*

Granulometría	Límites		CBR	Compactación
	L.L.	L.P.		
Suelos de tipo: A-1, A-2, C, D, E, F Tamaño Máx. 2 ½"	35% máx.	De 4% a 9%	40% min	Al 90% o 95% de la MDS.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.4 DISEÑO DE PAVIMENTO

Para realizar el diseño del pavimento flexible nos basamos en la metodología AASHTO-93 donde se toma en cuenta diversas variables de diseño que vimos en el capítulo II (apartado 2.2.10.1) para hallar el módulo resiliente  $M_r$  y a partir del mismo calcular el número estructural SN del pavimento, así como el SN del material de préstamo por medio del software PavimR y con esos datos finalmente determinamos el espesor de la capa de terraplén (mediante cálculos matemáticos) que asegurara la carga y diseño estructural de la base estabilizada que se colocará sobre la vía existente.

### 3.5 MATERIALES Y EQUIPOS

Para la elaboración de este trabajo de investigación se requirió de equipos de campo, útiles de oficina, equipos de escritorio, materiales en general y softwares especializados en las distintas etapas de investigación las cuales se presentan en las tablas a continuación.

#### 3.5.1 Útiles de escritorio

**Tabla 5**

*Útiles de escritorio usados durante la investigación.*

ITEM	Modelo / Marca
Libreta de campo	Rite in the Rain
Lapiceros de distintos colores	Pilot
Lápices de colores	Rotring
Borrador tipo lápiz	Rotring
Tableros	Ove
Papel bond A-4	Justus
Marcadores de colores	Stabilo
Engrapadora	Ofi
Escalímetro y escuadras	Rotring
Protactor	Minex

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.5.2 Materiales para preparación de muestras

Estos materiales son los que se usaron más en la etapa de campo, tanto en la plataforma de estudio como en las canteras de la vía de estudio. (ver tabla 6).

**Tabla 6**

*Materiales usados para preparación de muestras.*

ITEM	Modelo / Marca
Sacos de polipropileno	Iberoplast
Picos, palas	Trump
Wincha de 50m	Stanley
Flexómetros de 8m	Stanley
Picota de geólogo	Estwing
Lupa 40X	Iwamoto
GPS	Garmix
Barretas.	Trump
Cinceles de diversos tamaños	Trump
Combos	Trump
Recipientes o bandejas	Cualquiera
Brochas de diversos tamaños	Tumi

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.5.3 Equipos de escritorio (gabinete)

**Tabla 7**

*Equipos de escritorio usados durante la investigación.*

ITEM	Modelo / Marca
Cámara Fotográfica profesional	Canon
Laptop Portátil	HP i7
Impresora	Epson
Servicio de internet	Movistar
Calculadora Científica	S.U.P.E. R
Disco duro externo 1Tb	Toshiba

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.5.4 Programas y softwares

**Tabla 8**

*Programas y softwares usados durante la investigación.*

Software	Uso
AutoCAD 2020	Elaborar perfil estratigráfico, trazo de la vía.
ArcGIS 10.5	Elaboración de mapas geológicos, geomorfológicos.
PAVIMR	Calcular el número estructural SN.
SAS Planet	Descargar imágenes satelitales.
Microsoft Excel	Base de datos, realizar cálculos, gráficos.
Microsoft Word	Redacción de la tesis.

**Fuente:** *Elaboración propia.*



### 3.5.5 Equipo de laboratorio de suelos

**Tabla 9**

*Equipos de laboratorio usados para tratar las muestras.*

ITEM	Modelo / Marca
Juego completo de tamices de malla cuadrada.	Orión ASTM E11.
Balanzas digitales.	OHAUS
Equipo completo para ensayo Límites de Atterberg.	Orión ASTM D4318.
Equipo completo para ensayo de Proctor modificado	Orión ASTM D1557.
Equipo completo para ensayo de CBR.	Orión ASTM D1883.
Equipos en general: estufa, recipientes, horno y accesorios menores.	Varios
Equipo completo para ensayo Abrasión los Ángeles.	Orión

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.6 NIVEL DE CONFIABILIDAD

Los datos obtenidos en el laboratorio de suelos dependen en gran medida de los equipos que se utilizan, razón por la cual se realiza la calibración de los equipos cada 6 meses, esto por una persona calificada para dicho fin y se siguen los procedimientos establecidos en el manual de ensayo de materiales RD N°18 – 2016 – MTC 2014, de esta manera aumentamos el nivel de confiabilidad de los datos que obtenemos.



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 GENERALIDADES

La Ruta 17 codificada como PE-3SS, se ubica en la provincia de Melgar y atraviesa a los poblados de Chuquibambilla y Macarí, la zona de estudio se encuentra en el tramo I de dicha carretera y comprende del Km 00+000 al Km 13+500 con una longitud de 13.50 kilómetros. La superficie de rodadura existente es a nivel de afirmado en regular a mal estado de conservación, con anchos que varían de 4.50 m. a 5.50 metros hasta la progresiva 13+500, la vía de estudio se encuentra sobre una topografía plana que atraviesa la Formación Azángaro, depósitos fluviales y fluvio-aluviales, presenta pendientes bajas con un promedio del 2%, el drenaje longitudinal es muy escaso y el drenaje transversal posee alcantarillas además existen dos puentes en la zona de estudio el puente Chuquibambilla por donde pasa el río Santa Rosa y el puente Macarí por donde pasa el Río Macarí. En este capítulo se aborda la evaluación geológica a nivel local más relevante que se evaluó en la zona de estudio y a sus alrededores.

##### 4.1.1 Ubicación

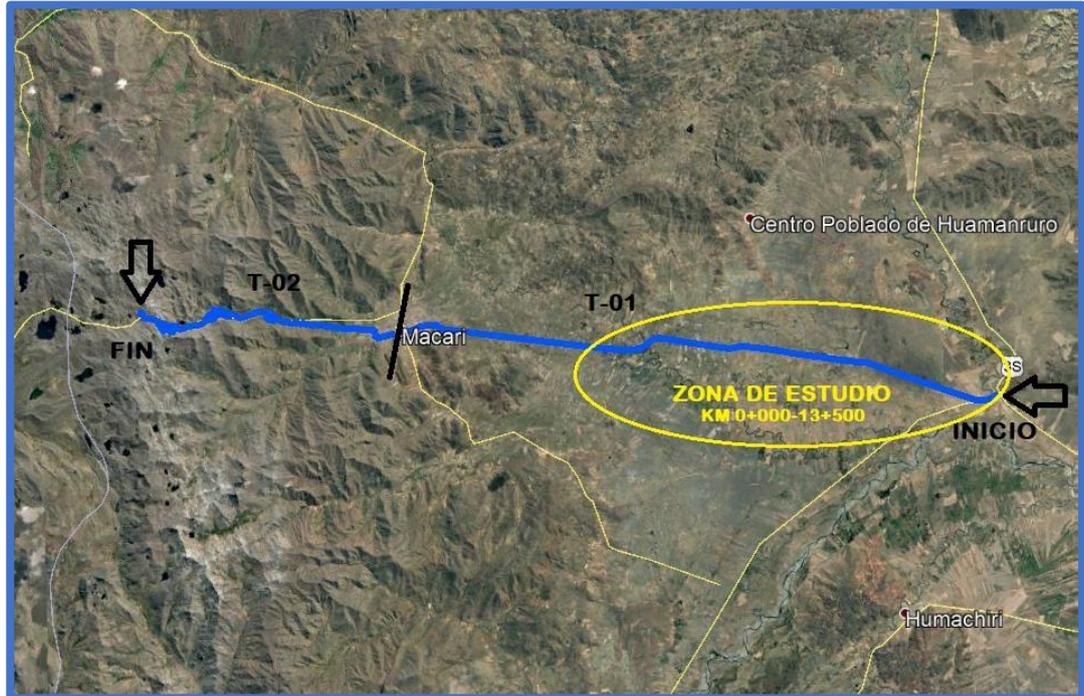
La zona de estudio está ubicado al sur este del territorio peruano, a una altitud aproximada de 3970 m.s.n.m, en la jurisdicción de los distritos de Umachiri (Chuquibambilla) y Macarí, provincia de Melgar, Departamento de Puno y comprende el tramo I del Km 00+000 al 13+500 (ver tabla 10, figura 16 y anexos planos de ubicación).

**Tabla 10**

*Tramos de la ruta 17.*

Ruta N°	Ruta Nacional	Tramo	Inicio (Km)	Fin (Km)	Long. (Km)
17	PE-3SS	T-01: Emp. PE-3S (Chuquibambilla) - Km. 22+000	0+000	22+000	22.000
17	PE-3SS	T-02: Km. 22+000 - L.D. Cusco.	22+000	31.858	9.858

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura 16** *Ubicación de la zona de estudio.*

**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.1.2 Accesibilidad

Las vías de acceso terrestre desde la ciudad de Puno para llegar a la zona de estudio del proyecto se observan en tabla 11.

**Tabla 11**

*Accesibilidad a la zona de estudio.*

ORIGEN	DESTINO	DISTANCIA. (km)	TIEMPO (min)	TIPO DE VÍA
Puno	Juliaca	43.30	49	Asfaltado
Juliaca	Pucará	64.10	60	Asfaltado
Pucará	Ayaviri	32.10	30	Asfaltado
Ayaviri	Chuquibambilla – Huamanruro	18.3	18	Asfaltado
Chuquibambilla	Macarí	13.5	10	Afirmado
<b>TOTAL</b>		<b>171.30 km</b>	<b>2h 47min</b>	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 4.1.3 Aspectos climatológicos

Entre los aspectos climatológicos más relevantes en la zona de estudio tenemos la temperatura, la precipitación y la humedad que son los que afectan directamente a la plataforma existente, y son datos recolectados por el SENAMHI de la estación meteorológica de Chuquibambilla ubicada a 200m de la vía de estudio en el km. 00+500.

#### 4.1.3.1 Temperatura

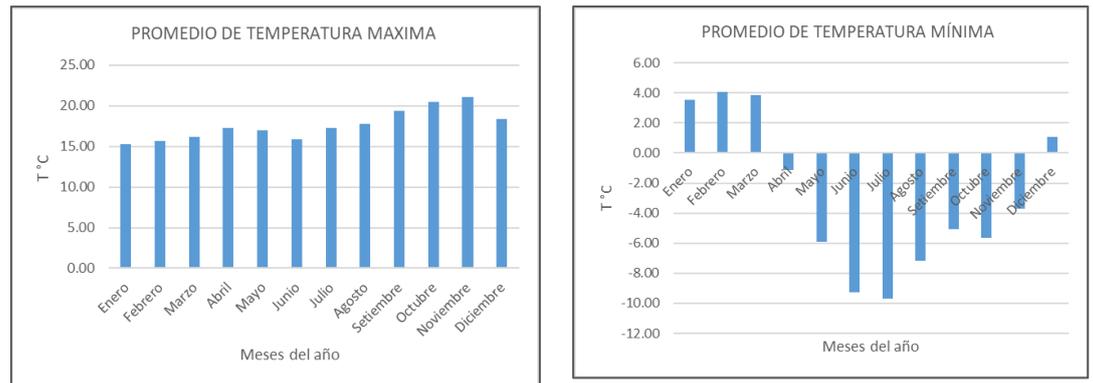
En la zona de estudio la temperatura varía de acuerdo a los meses; en enero, febrero, marzo y diciembre se tienen temperaturas por encima de los 2°C, mientras que en el resto de meses de abril a noviembre se tienen temperaturas por debajo de los 0°C. El mes más cálido del año en nuestra zona de estudio es noviembre, con una temperatura máxima promedio de 21.10 °C y mínima de -3.70 °C y el mes más frío del año es Julio, con una temperatura mínima promedio de -9.71 °C y máxima de 17.31 °C (SENAMHI, 2022), ver tabla 12 y figura 17.

**Tabla 12**

*Temperaturas promedio máximas y mínimas del año 2022.*

ESTACION: CHUQUIBAMBILLA		
Mes	T° Prom. máx.	T° Prom. Min
Enero	15.31	3.55
Febrero	15.71	4.09
Marzo	16.14	3.85
Abril	17.22	-1.15
Mayo	17.01	-5.90
Junio	15.90	-9.28
Julio	17.31	-9.71
Agosto	17.81	-7.16
Setiembre	19.35	-5.08
Octubre	20.46	-5.63
Noviembre	21.10	-3.70
Diciembre	18.32	1.09

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura 17** Variaciones de T° máximas y mínimas en la zona de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.3.2 Precipitación

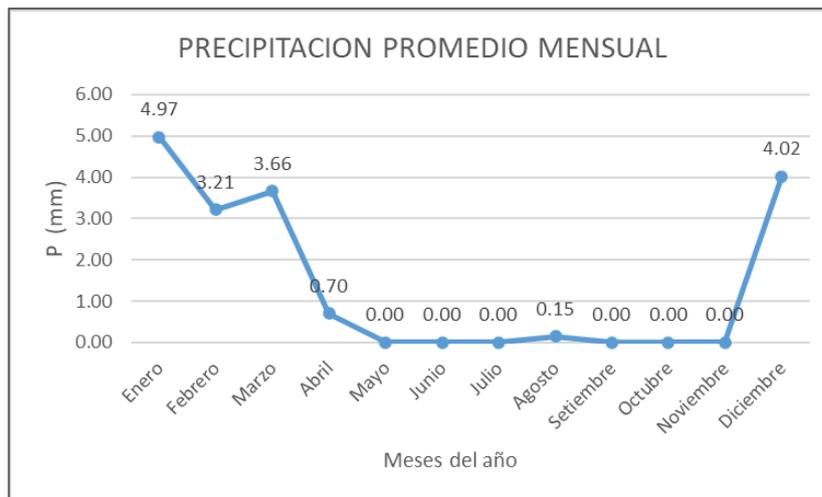
La temporada más lluviosa en la zona de estudio se da en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre con precipitaciones de 3 a 5mm mientras que de los meses de abril a noviembre presenta precipitaciones ocasionales de 0 a 0.70mm (SENAMHI, 2022), ver tabla 13 y figura 18.

**Tabla 13**

*Precipitación promedio mensual del año 2022.*

ESTACION: CHUQUIBAMBILLA	
Mes	Precipitación (mm)
Enero	4.97
Febrero	3.21
Marzo	3.66
Abril	0.70
Mayo	0.00
Junio	0.00
Julio	0.00
Agosto	0.15
Setiembre	0.00
Octubre	0.00
Noviembre	0.00
Diciembre	4.02

**Fuente:** Elaboración propia.



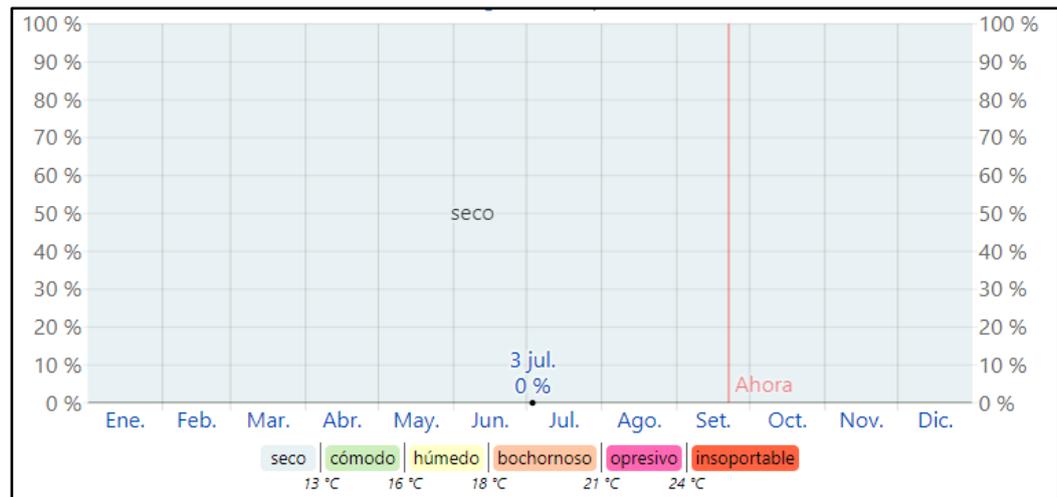
**Figura 18** Variaciones de precipitación mensual en R-17.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Se recomienda realizar los trabajos de movimiento de tierras para mejoramiento de la carretera Chuquibambilla – Macarí en los meses de mediados de abril hasta noviembre.

#### 4.1.3.3 Humedad

La humedad se calcula en función del punto de rocío. Los puntos de rocío más bajos se sienten más secos y los puntos de rocío más altos se sienten más húmedos. La humedad percibida en Macarí se mide como el porcentaje de tiempo que la humedad es bochornosa, opresiva o insoportable; no varía significativamente durante el año y permanece constante en 0 % (SENAMHI, 2022), ver figura 19.



**Figura 19** Humedad en la zona de estudio.

**Fuente:** © [WeatherSpark.com](http://WeatherSpark.com)

## 4.2 EVALUACIÓN GEOLÓGICA LOCAL

La carretera Chuquibambilla – Macarí se encuentra sobre materiales de origen cuaternarios de la Formación Azángaro, Depósitos Aluviales, Depósitos Fluvio-aluviales y Depósitos Fluviales lo que hace que sus suelos de fundación presenten material de ríos (arcillas, arenas y gravas), presenta una geomorfología plana con pie de montes aluviales y debido a ello no presenta riesgos por deslizamiento. A continuación, se detallan los principales aspectos geológicos de la zona alrededor de la vía de estudio.

### 4.2.1 Unidades litoestratigráficas locales

La lito-estratigrafía del entorno en donde se encuentra la vía del km 00+000 al km 13+500 según los datos recogidos de mapeo geológico y estructural de los trabajos de campo de la fase II, comprende formaciones geológicas con edades comprendidas entre el Paleozoico hasta el Cuaternario (ver anexos Plano Geológico Local).

Se tienen siete unidades estratigráficas alrededor de nuestra vía de estudio de las cuales la carretera Chuquibambilla – Macarí se encuentra sobre la

formación Azángaro en sus primeros 4 kilómetros y sobre depósitos de origen aluvial - fluviales en el resto del tramo.

#### **4.2.1.1 Formación Ayabacas (Kis-ay)**

En la zona de estudio se encuentra conformada por calizas masivas deformadas color gris a gris claro y marrón intercaladas con estratos de limoarcillitas rojas, a nivel de superficie se tiene cubierto por vegetación en su mayoría y clastos redondeados de caliza de diferentes tamaños; la formación Ayabacas aflora al sur del km. 13+500 en los cerros Colopata y Pucarapata junto a la formación Vilquechico donde se evidencian plegamientos en la parte alta del cerro y al norte en el cerro Huamanruro cubierto por vegetación.

#### **4.2.1.2 Formación Vilquechico (Ks-vi)**

Conformada por areniscas laminares, clastos de calizas y limoarcillitas abigarradas de color verdoso y arcillitas rojas en capas delgadas, aflora a la altura del Km 13+500 hacia el sur aproximadamente a 5 kilómetros en la parte media - alta del cerro Colopata y las capas se encuentran plegadas (sinclinales). (ver figura 20).

#### **4.2.1.3 Grupo Puno Unidad 2 (Ppe-pu2)**

Se encuentra conformado por una secuencia intercalada de conglomerados con matriz arenosa, areniscas feldespáticas, areniscas cuarzosas y limoarcillitas rojizas, esta formación se encuentra a la altura del Km 11+000 hacia el norte aproximadamente unos 3 kilómetros en el Cerro Condorhuasa, limita al oeste con la formación Ayabacas y al sureste con la formación Tinajani.



#### **4.2.1.4 Formación Tinajani (Nm-ti)**

Conformada por areniscas de grano medio a grueso y conglomerados en una matriz arenosa de color rojiza y limoarcillitas en capas gruesas de 5 metros, esta formación aflora al norte y sur de la zona de estudio a la altura del Km 00+000 y Km 08+500 en los Cerros Pan de Azúcar, Cerro Huarichapa, Cerro Chuquibambilla, parte alta del Cerro Canahuire, señal Cerro Umachiri y Cerro Jatun Orco.

#### **4.2.1.5 Formación Azángaro (Qp-az)**

Conformada por sedimentos de limos laminados, limoarcillitas y capas de arenisca, la vía de estudio se encuentra sobre esta formación del km 00+500 al km 04+500 y también aflora en las Pampas San Juan, Pampa Antavilque y Pampa Umachiri. Al sur se evidencian zonas de cultivo en el Fundo Santa Maria, mientras que al norte presenta una ligera pendiente.

#### **4.2.1.6 Depósito Aluvial (Qh-al)**

Compuestas por una secuencia de gravas granodecrecientes hacia el tope de composición polimíctica con formas subredondeadas, en matriz areno limosa, producto del soterramiento de clastos y fragmentos de roca de la zona de influencia. Estos depósitos se encuentran en las Pampas Tinaya y Potrero; la vía de estudio se encuentra sobre este tipo de depósitos (km 04+500 al 11+200 y km 12+400) hasta la ciudad de Macarí.

#### **4.2.1.7 Depósito Fluvial (Qh-fl)**

Conformado por gravas polimícticas recientemente erosionadas con matriz arenosa y clastos bien redondeados de calizas, areniscas y limonitas, se encuentra atravesando transversalmente a la vía de estudio en

el km 00+250 y km 11+200 al km 12+400 junto con los ríos Macarí y Santa Rosa.



**Figura 20** Afloramiento de la formación Vilquechico.

**Fuente:** INGENMET.

#### 4.2.2 Geomorfología local

En el presente trabajo de investigación se describen las geoformas más importantes, los cuales predominan en el área estudiada y son los que han dado el relieve que observamos en la actualidad. Dentro del marco fisiográfico descrito se han identificado varias unidades geomorfológicas en cuyo modelado externo han participado agentes como el clima, la lluvia, el hielo y las corrientes fluviales; las geoformas también están asociadas a la litología y estructuras como pliegues y fallas.

En el aspecto geotécnico la plataforma de la carretera construida entre el km 0+000 al km 13+500 se encuentra emplazada sobre una geomorfología plana (Orografía Tipo 1), ligeramente ondulada.

#### 4.2.2.1 Unidades geomorfológicas locales

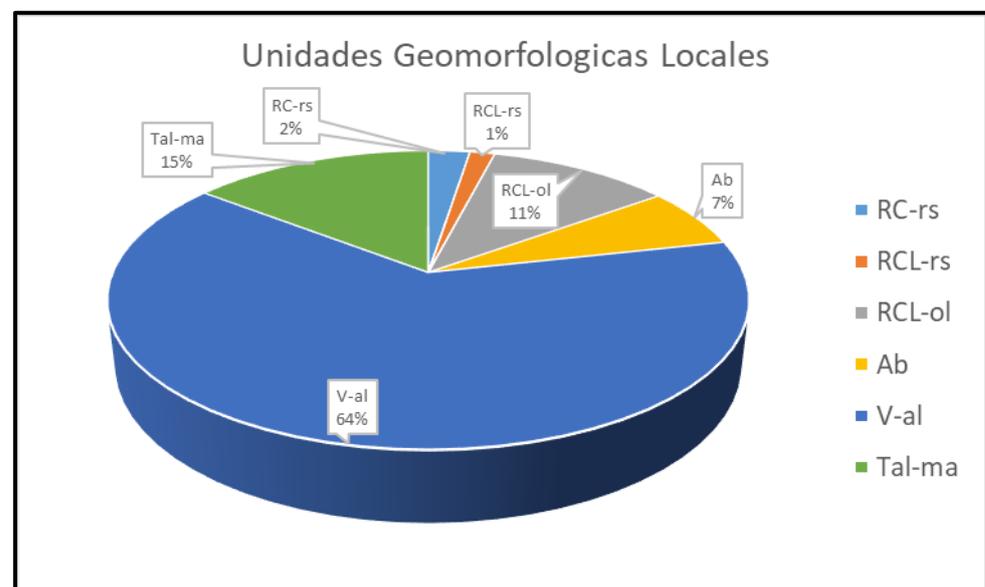
Tomando como fuente al INGENMET (Geocatmin), se determinó 6 unidades geomorfológicas a nivel local, ver tabla 14, figura 21 y anexos Plano geomorfológico local.

**Tabla 14**

*Participación de unidades geomorfológicas a nivel local.*

Unidad Geomorfológica	Descripción	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
<b>RC-rs</b>	Colina en roca sedimentaria.	4290000	4.29	2.50
<b>RCL-rs</b>	Colina y lomada en roca sedimentaria.	2574000	2.57	1.50
<b>RCL-ol</b>	Colina y lomada con olistostroma.	18876000	18.88	11.00
<b>Ab</b>	Abanico de pie de monte.	11154000	11.15	6.50
<b>V-al</b>	Pie de monte aluvial.	109824000	109.82	64.00
<b>Tal-ma</b>	Terraza aluvial con meandros abandonados.	24882000	24.88	14.50
<b>TOTAL</b>		<b>171600000</b>	<b>171.60</b>	<b>100.00</b>

**Fuente:** *Elaboración Propia.*



**Figura 21** *Distribución de unidades geomorfológicas.*

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Como se observa el mayor porcentaje de superficie lo tiene la unidad geomorfológica Pie de monte Aluvial con 64%, seguido de terrazas aluviales con meandros abandonados con 15%, esto debido a que la



mayoría de la topografía es plana y los ríos Santa Rosa y Macarí presentan meandros pronunciados.

Se tienen 2 tipos principales de geoformas:

#### **4.2.2.1.1 De carácter tectónico degradacional y erosional**

##### **a) Unidad colinas**

Una colina es igualmente una elevación natural del terreno con desnivel en cotas inferior a 300 m respecto del nivel de base local, cuyas laderas se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente.

*Colina en roca sedimentaria (RC-rs):* Esta subunidad geomorfológica representa el 2.50% de la superficie a nivel local de la zona de estudio con un relieve moldeado sobre roca sedimentaria conformado por calizas, areniscas y limonitas; esta unidad aflora al norte de la vía en estudio en las formaciones Muñani y Tinajani, mientras que al sur aflora sobre las formaciones Ayabacas y Vilquechico.

##### **b) Unidad colinas y lomadas**

Son elevaciones del terreno de similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, y gradientes entre 8% y 16%.

*Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs):* Esta subunidad geomorfológica representa el 1.50% de la superficie a nivel local de la zona de estudio con un relieve moldeado sobre roca sedimentaria conformado por calizas, conglomerados y areniscas; esta unidad aflora al sureste de la ciudad de Macarí en las formaciones Ayabacas y Tinajani.



***Colina y lomada con olistostroma (RCL-ol):*** Esta subunidad geomorfológica representa el 11.00% de la superficie a nivel local de la zona de estudio con un relieve moldeado sobre roca sedimentaria esta unidad aflora al noreste de la ciudad de Macarí sobre las formaciones Ayabacas, Grupo Puno y Tinajani (ver figura 22).

#### **4.2.2.1.2 De carácter deposicional agradacional**

##### **a) Unidad pie de montes**

Corresponde a planicies moderadamente inclinadas, constituida por rocas sedimentarias correspondientes principalmente a las Formación Geológica Azángaro.

***Abanico de pie de monte (Ab):*** Esta subunidad geomorfológica representa el 6.50% de la superficie a nivel local de la zona de estudio con un relieve plano sobre depósitos cuaternarios y sobre la base de la Formación Vilquechico a 10 kilómetros al sur de la ciudad de Macarí y a la altura del río Santa Rosa hacia el norte del km00+000 de la vía de estudio.

***Pie de monte aluvial (V-al):*** Esta subunidad geomorfológica representa el mayor porcentaje dentro de nuestra zona de estudio con 64% de la superficie a nivel local, con un relieve llano sobre depósitos de tipo Cuaternario Aluvial reciente conformados por suelos no consolidados, esta unidad aflora en todas las pampas de la carretera Chuquibambilla- Macarí y nuestra vía de estudio se encuentra sobre esta unidad morfológica.

##### **b) Planicies, terrazas y otros**

Extensión plana por encima de una llanura de inundación representando una parte de un lecho antiguo abandonado seguido del

hundimiento del lecho de un curso de agua. Se puede tener así bien una terraza rocosa, desprovista de una capa aluvial, o bien una terraza aluvial. Litológicamente está constituida por detritos de rocas sedimentarias correspondientes principalmente a las formaciones geológicas que se encuentran en las partes altas y pertenecen a depósitos cuaternarios asociados a cauces de ríos.

***Terraza aluvial con meandros abandonados (Tal-ma):*** Esta subunidad geomorfológica representa el 14.50% de la superficie a nivel local de la zona de estudio con un relieve asociado a los cauces de los ríos Macarí, Llallimayo y Santa Rosa en sus tramos donde presentan meandros, conformados por gravas y arenas no consolidados.

***Lagunas:*** A nivel local, existen pequeñas lagunas en las partes altas de la unidad montaña asociados a morrenas. Esto se aprecia en los kilómetros finales de la ruta 17 al oeste de la ciudad de Macarí.



**Figura 22** Olistostromo calcáreo de la formación Ayavacas.

**Fuente:** INGENMET.

#### 4.2.3 Geología estructural local

A nivel local en la etapa de mapeo geológico se han identificado fallas, plegamientos y contactos geológicos.



#### **4.2.3.1 Fallas geológicas**

A nivel local se identificaron tres fallas la primera falla que es inferida de unos 12 kilómetros con una orientación de N50°E, que viene del centro poblado de Llalli Nuevo y recorre paralelo al río Llallimayo hasta llegar al fundo Chajo, la segunda una falla inversa que delimita las formaciones del Grupo Puno y Chagrapi al noreste de la zona de estudio con una orientación de E-W y buzamiento de 70° hacia el norte; y la tercera una falla inferida con rumbo N50°W, que va junto al río Santa Rosa pasando por la estación Chuquibambilla.

#### **4.2.3.2 Plegamientos: sinclinales y anticlinales**

Se ha identificado plegamientos de tipo sinclinal sobre la formación Vilquechico (Ks-vi) al sur del km 13+500 en la parte media del cerro Colopata con estratos de arenisca plegados; además sobre la cima del cerro Colopata se observa un anticlinal sobre la Formación Ayabacas (Kis-ay) con estratos de caliza plegados de 35° aproximadamente.

### **4.3 GEODINÁMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El Valle de Macarí presenta una geomorfología plana, con relieves suaves y geodinámicamente poco activa. A esto debemos sumar la acción antrópica, la cual incide directamente en sobre los distintos factores que dominan la geodinámica externa, con el consecuente aumento de la escorrentía superficial, mayor erosión, y activación de deslizamientos. El principal agente geodinámico que inciden sobre el área del proyecto es la erosión riverense tal y como se describen a continuación:



#### 4.3.1 **Erosión riverena**

Principalmente los ríos Macarí, Llallimayo y Santa Rosa colectan todas las aguas pluviales de las zonas altas del tramo occidental de la ruta 17, transportando en la época de lluvias, una cantidad importante de aguas pluviales y sedimentos, esto hace que se formen meandros a lo largo de todo su recorrido. Este efecto suele ocasionar la socavación de la vía y como resultado se tiene zonas donde la subrasante se encuentra lavada (perdida de finos).

#### 4.3.2 **Deslizamientos**

En la zona de estudio se tiene poca probabilidad de que ocurran deslizamientos esto debido a la topografía plana sobre la que se encuentra la vía de estudio, por lo que no conllevaría un riesgo potencial esto debido a que las topografías accidentadas se encuentran a más de 5 kilómetros de la vía, por lo tanto, el nivel de riesgo por deslizamientos es nulo o escaso.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de la siguiente manera: en la primera parte la evaluación geotécnica de los suelos a nivel de subrasante, una segunda parte que trata la evaluación geotécnica de canteras que se usarán como materiales de préstamo para el mejoramiento y la tercera parte que corresponde a los cálculos de espesores de mejoramiento.

#### 5.1 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE

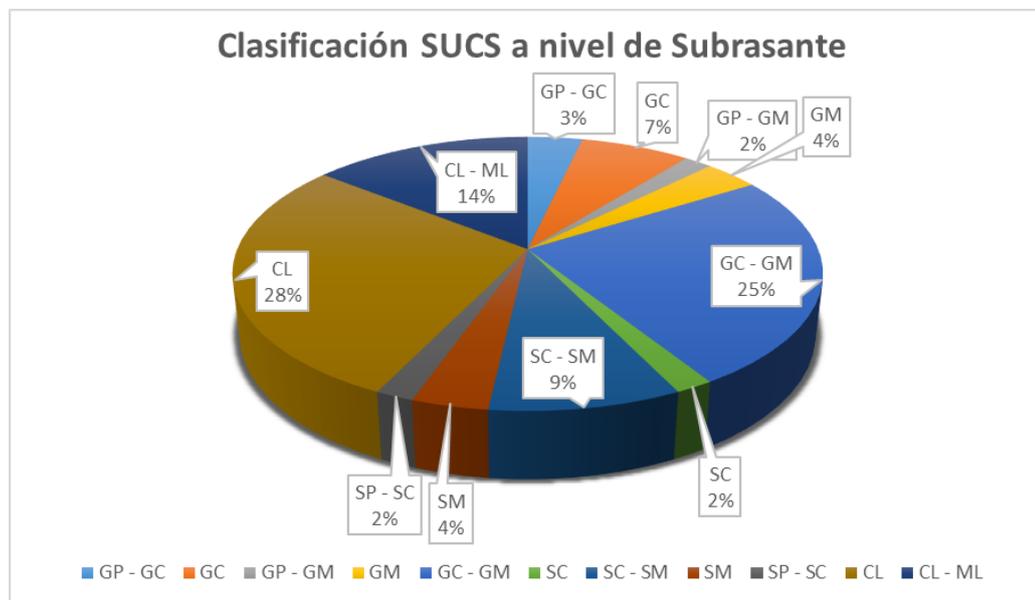
A nivel de subrasante, en la carretera Chuquibambilla – Macarí del km 00+000 al 13+500 se realizaron 28 calicatas empezando de la progresiva 00+000 con una codificación de CA-65 y terminando en la progresiva 13+500 con una codificación de CA-38, el suelo presenta dos estratos que conforman la subrasante, la primera capa se presenta del nivel superficial de la rasante hasta los 0.30 a 0.50 metros de profundidad y la segunda capa es terreno de fundación, se han identificado hasta 11 tipos de suelos según la clasificación SUCS, los estratos de subrasante predominantes corresponden al 42.86% al tipo de suelos finos (arcillas), posteriormente presenta el 16.07% de suelos arenosos y 41.07% de suelos gravosos, ver tabla 15 y figura 23).

**Tabla 15**

*Tipos de suelos encontrados a nivel de subrasante.*

Tipo de suelo (Subrasante)	SUCS	Descripción	Participación en el sector (%)		
GRAVAS	GP - GC	Grava pobremente gradada con arcilla y arena	2	3.57	41.07
	GC	Grava arcillosa con arena	4	7.14	
	GP - GM	Grava pobremente gradada con limo y arena	1	1.79	
	GM	Grava limosa con arena	2	3.57	
	GC - GM	Grava limo arcillosa con arena	14	25.00	
ARENAS	SC	Arena Arcillosa	1	1.79	16.07
	SC - SM	Arena limo arcillosa	5	8.93	
	SM	Arena limosa con grava	2	3.57	
	SP - SC	Arena pobremente gradada con arcilla y grava	1	1.79	
ARCILLAS	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad	16	28.57	42.86
	CL - ML	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad	8	14.29	
<b>TOTAL</b>			<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** *Elaboración Propia.*



**Figura 23** *Suelos a nivel de subrasante km 00+000 al km13+500.*

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 5.1.1 Descripción geotécnica de calicatas

#### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.	<b>LADO:</b>	DER.
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 00+000	<b>COORDENADA ESTE:</b>	314228.0
<b>CALICATA</b>	: CA - 65	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364246.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA		
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
				C - 65		
0.00	M-1	GC - GM A-1-a (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 46.6 % de grava gruesa a fina, semi angular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 38.3 % de arena gruesa a fina y 15.1 % de finos (L.L.=23, L.P.=17 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 5.63 %.	GC - GM	A-1-a (0)	
1.50	M-2	CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 8.4 % de arena gruesa a fina y 91.6 % de finos (L.L.=30, L.P.=20 e I.P.=10), con un contenido de humedad de 21.06 %.	CL	A-4 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 00+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 64	<b>COORDENADA ESTE:</b>	313859.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364053.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
				NIVEL FREÁTICO (m.)		
0.00	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 40.8 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 39.4 % de arena gruesa a fina y 19.8 % de finos (L.L.=22, L.P.=18 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 6.97 %.	GC - GM	A-1-b (0)	
0.30						
1.50	M-2	CL A-6 (9)	Arcilla de baja plasticidad, contiene 0.3 % de grava gruesa a fina, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/8", contiene 14 % de arena gruesa a fina y 85.7 % de finos (L.L.=29, L.P.=18 e I.P.=11), con un contenido de humedad de 19.74 %.	CL	A-6 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 01+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 63	<b>COORDENADA ESTE:</b>	313373.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364084.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.35	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 39.4 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 36.6 % de arena gruesa a fina y 24 % de finos (L.L.=22, L.P.=17 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 5.90 %.	GC - GM	A-1-b (0)	<b>C - 63</b>
1.50	M-2	CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad, contiene 2.2 % de grava gruesa a fina, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/8", contiene 6.3 % de arena gruesa a fina y 91.5 % de finos (L.L.=29, L.P.=19 e I.P.=10), con un contenido de humedad de 18.67 %.	CL	A-4 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIT: muestra inalterada en tubo  
MIB: muestra inalterada en bloque



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 01+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 62	<b>COORDENADA ESTE:</b>	312900.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364243.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
						C - 62
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 40.5 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 39.1 % de arena gruesa a fina y 20.4 % de finos (L.L.=22, L.P.=16 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 3.37 %.	GC - GM	A-1-b (0)	
1.50	M-2	CL A-6 (10)	Arcilla de baja plasticidad con arena, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 16.4 % de arena gruesa a fina y 83.6 % de finos (L.L.=33, L.P.=19 e I.P.=14), con un contenido de humedad de 17.65 %.	CL	A-6 (10)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 02+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 61	<b>COORDENADA ESTE:</b>	312426.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364400.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GC A-2-4 (0)	Grava arcillosa con arena, contiene 41.9 % de grava gruesa a fina, semi angular, semi compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 40 % de arena gruesa a fina y 18 % de finos (L.L.=22, L.P.=15 e I.P.=7), con un contenido de humedad de 8.70 %.	GC	A-2-4 (0)	
0.50						
1.50	M-2	CL A-6 (9)	Arcilla de baja plasticidad, contiene 0.2 % de grava gruesa a fina, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 1/2", contiene 2.7 % de arena gruesa a fina y 97.1 % de finos (L.L.=34, L.P.=22 e I.P.=12), con un contenido de humedad de 17.09 %.	CL	A-6 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 02+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 60	<b>COORDENADA ESTE:</b>	311954.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364562.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GC - GM A-1-a (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 44.6 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 40.8 % de arena gruesa a fina y 14.6 % de finos (L.L.=18, L.P.=14 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 4.17 %.	GC - GM	A-1-a (0)	C - 60
0.30						
1.50	M-2	CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 13.6 % de arena gruesa a fina y 86.5 % de finos (L.L.=26, L.P.=18 e I.P.=8), con un contenido de humedad de 16.76 %.	CL	A-4 (9)	

**ENSAYOS IN SITU**

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 03+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 59	<b>COORDENADA ESTE:</b>	311483.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364720.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
				NIVEL FREÁTICO (m.)		
0.00	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 43.8 % de grava gruesa a fina, semi angular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 34 % de arena gruesa a fina y 22.2 % de finos (L.L.=18, L.P.=14 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 5.40 %.	GC - GM	A-1-b (0)	
0.30						
1.50	M-2	CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad con arena, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 16.9 % de arena gruesa a fina y 83.1 % de finos (L.L.=30, L.P.=20 e I.P.=10), con un contenido de humedad de 18.69 %.	CL	A-4 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 03+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 58	<b>COORDENADA ESTE:</b>	311015.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8364886.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	ENSAYOS IN SITU
0.00	M-1	SP - SC A-1-a (0)	Arena pobremente gradada con arcilla y grava, contiene 38.3 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 49.8 % de arena gruesa a fina y 11.9 % de finos (L.L.=17, L.P.=13 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 5.37 %.	SP - SC	A-1-a (0)	C - 58
0.30						
1.50	M-2	CL A-6 (8)	Arcilla de baja plasticidad con arena, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N°8, contiene 26.7 % de arena gruesa a fina y 73.3 % de finos (L.L.=29, L.P.=18 e I.P.=11), con un contenido de humedad de 17.34 %.	CL	A-6 (8)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 04+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 57	<b>COORDENADA ESTE:</b>	310539.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365044.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
				NIVEL FREÁTICO (m.)		
0.00	M-1	GC - GM A-1-a (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 44.1 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 40.6 % de arena gruesa a fina y 15.4 % de finos (L.L.=19, L.P.=14 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 5.93 %.	GC - GM	A-1-a (0)	
0.30						
1.50	M-2	CL A-6 (9)	Arcilla de baja plasticidad con arena, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 21.7 % de arena gruesa a fina y 78.3 % de finos (L.L.=31, L.P.=20 e I.P.=11), con un contenido de humedad de 19.16 %.	CL	A-6 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 04+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 56	<b>COORDENADA ESTE:</b>	310071.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365206.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GM A-1-b (0)	Grava limosa con arena, contiene 43.8 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, No Plástico, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 43.6 % de arena gruesa a fina y 12.5 % de finos (L.L.=16, L.P.=13 e I.P.=3), con un contenido de humedad de 5.73 %.	GM	A-1-b (0)	C - 56
0.40						
1.50	M-2	CL A-6 (8)	Arcilla de baja plasticidad con arena, contiene 0.8 % de grava gruesa a fina, semiangular, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/8", contiene 27.2 % de arena gruesa a fina y 72 % de finos (L.L.=30, L.P.=19 e I.P.=11), con un contenido de humedad de 17.94 %.	CL	A-6 (8)	

**ENSAYOS IN SITU**

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 05+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 55	<b>COORDENADA ESTE:</b>	309580.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365253.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 40.1 % de grava gruesa a fina, semi angular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 39 % de arena gruesa a fina y 20.9 % de finos (L.L.=20, L.P.=14 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 7.07 %.	GC - GM	A-1-b (0)	C - 55
0.40						
1.50	M-2	CL A-6 (9)	Arcilla de baja plasticidad con arena, contiene 4.0 % de grava gruesa a fina, semiangular, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 1/2", contiene 19 % de arena gruesa a fina y 77 % de finos (L.L.=33, L.P.=22 e I.P.=11), con un contenido de humedad de 21.43 %.	CL	A-6 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 05+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 54	<b>COORDENADA ESTE:</b>	309084.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365318.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	GP - GM A-1-a (0)	Grava pobremente gradada con limo y arena, contiene 45.6 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 42.9 % de arena gruesa a fina y 11.4 % de finos (L.L.=15, L.P.=NP e I.P.=NP), con un contenido de humedad de 5.37 %.	GP - GM	A-1-a (0)	<b>C - 54</b>
1.50	M-2	CL - ML A-4 (6)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, contiene 4.2 % de grava gruesa a fina, semiangular, blando, Baja Plasticidad, dilatancia lenta, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 2", contiene 33.3 % de arena gruesa a fina y 62.4 % de finos (L.L.=20, L.P.=16 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 14.11 %.	CL - ML	A-4 (6)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 06+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 53	<b>COORDENADA ESTE:</b>	308592.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365375.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 41.5 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 41 % de arena gruesa a fina y 17.5 % de finos (L.L.=20, L.P.=15 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 5.53 %.	GC - GM	A-1-b (0)	<b>C - 53</b>
1.50	M-2	CL A-4 (6)	Arcilla arenosa de baja plasticidad, blanda, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 36 % de arena gruesa a fina y 64 % de finos (L.L.=25, L.P.=18 e I.P.=7), con un contenido de humedad de 18.28 %.	CL	A-4 (6)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 06+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 52	<b>COORDENADA ESTE:</b>	308097.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365443.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	SM A-1-b (0)	Arena limosa con grava, contiene 36.6 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 49.8 % de arena gruesa a fina y 13.6 % de finos (L.L.=15, L.P.=NP e I.P.=NP), con un contenido de humedad de 4.07 %.	SM	A-1-b (0)	<b>C - 52</b>
1.50	M-2	CL - ML A-4 (9)	Arcilla limosa de baja plasticidad, blando, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 12.2 % de arena gruesa a fina y 87.8 % de finos (L.L.=23, L.P.=18 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 16.93 %.	CL - ML	A-4 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 07+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 51	<b>COORDENADA ESTE:</b>	307602.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365514.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	GM A-4 (2)	Grava limosa con arena, contiene 34.4 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 22.4 % de arena gruesa a fina y 43.2 % de finos (L.L.=15, L.P.=NP e I.P.=NP), con un contenido de humedad de 5.73 %.	GM	A-4 (2)	<b>C - 51</b>
1.50	M-2	CL - ML A-4 (5)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, contiene 0.6 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 1/2", contiene 41.8 % de arena gruesa a fina y 57.6 % de finos (L.L.=21, L.P.=15 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 15.19 %.	CL - ML	A-4 (5)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 07+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 50	<b>COORDENADA ESTE:</b>	307115.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365607.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.45	M-1	SM A-1-b (0)	Arena limosa con grava, contiene 42.4 % de grava gruesa a fina, semi angular, semi compacto, No Plástico, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 2", contiene 44.1 % de arena gruesa a fina y 13.5 % de finos (L.L.=16, L.P.=15 e I.P.=1), con un contenido de humedad de 5.97 %.	SM	A-1-b (0)	<b>C - 50</b>
1.50	M-2	CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad con arena, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N°8, contiene 20.6 % de arena gruesa a fina y 79.4 % de finos (L.L.=24, L.P.=16 e I.P.=8), con un contenido de humedad de 15.64 %.	CL	A-4 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 08+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 49	<b>COORDENADA ESTE:</b>	306621.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365668.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	SC - SM A-1-b (0)	Arena limo arcillosa con grava, contiene 35.9 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 2", contiene 45 % de arena gruesa a fina y 19 % de finos (L.L.=17, L.P.=13 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 5.47%.	SC - SM	A-1-b (0)	<b>C - 49</b>
1.50	M-2	CL - ML A-4 (4)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, blando, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 45.5 % de arena gruesa a fina y 54.6 % de finos (L.L.=20, L.P.=14 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 12.87 %.	CL - ML	A-4 (4)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 08+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 48	<b>COORDENADA ESTE:</b>	306138.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365723.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 43.3 % de grava gruesa a fina, semi angular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 39.4 % de arena gruesa a fina y 17.4 % de finos (L.L.=25, L.P.=19 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 5.33 %.	GC - GM	A-1-b (0)	<b>C - 48</b>
1.50	M-2	SC - SM A-4 (2)	Arena limo arcillosa, contiene 2.1 % de grava gruesa a fina, semi angular, semi compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 52.4 % de arena gruesa a fina y 45.6 % de finos (L.L.=21, L.P.=17 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 10.12 %.	SC - SM	A-4 (2)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 09+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 47	<b>COORDENADA ESTE:</b>	305647.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365647.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GC - SM A-1-b(o)	Grava arcillosa con arena, contiene 52.2 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 31.8 % de arena gruesa a fina y 16 % de finos (L.L.=26, L.P.=18 e I.P.=8), con un contenido de humedad de 6.60 %.	GC - SM	A-1-b(o)	C - 47
0.45						
1.50	M-2	SM A-2-4 (0)	Arena limo arcillosa, contiene 13 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 1", contiene 43.9 % de arena gruesa a fina y 43.1 % de finos (L.L.=21, L.P.=17 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 11.53 %.	SC - SM	A-2-4 (0)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa      MAS: muestra alterada en saco      MIT: muestra inalterada en tubo  
MIB: muestra inalterada en bloque



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 09+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 46	<b>COORDENADA ESTE:</b>	305153.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365726.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.35	M-1	GC A-2-4 (0)	Grava arcillosa con arena, contiene 45.3 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 39.9 % de arena gruesa a fina y 14.8 % de finos (L.L.=26, L.P.=19 e I.P.=7), con un contenido de humedad de 5.00 %.	GC	A-2-4 (0)	<b>C - 46</b>
1.50	M-2	CL - ML A-4 (5)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, contiene 7.9 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 1", contiene 36.5 % de arena gruesa a fina y 55.6 % de finos (L.L.=22, L.P.=16 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 11.40 %.	CL - ML	A-4 (5)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIT: muestra inalterada en tubo  
MIB: muestra inalterada en bloque



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 10+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 45	<b>COORDENADA ESTE:</b>	304657.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365799.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	SC - SM A-1-b (0)	Arena limo arcillosa con grava, contiene 35.8 % de grava gruesa a fina, semi angular, semi compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 2", contiene 40.6 % de arena gruesa a fina y 23.6 % de finos (L.L.=25, L.P.=20 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 7.20%.	SC - SM	A-1-b (0)	<b>C - 45</b>
1.50	M-2	CL A-4 (8)	Arcilla de baja plasticidad con arena, contiene 1.3 % de grava gruesa a fina, semiangular, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/4", contiene 27.3 % de arena gruesa a fina y 71.4 % de finos (L.L.=30, L.P.=20 e I.P.=10), con un contenido de humedad de 13.98 %.	CL	A-4 (8)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 10+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 44	<b>COORDENADA ESTE:</b>	304163.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365875.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 44.3 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 39.5 % de arena gruesa a fina y 16.2 % de finos (L.L.=25, L.P.=20 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 5.43 %.	GC - GM	A-1-b (0)	C - 44
0.30						
1.50	M-2	CL A-6 (9)	Arcilla de baja plasticidad, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de N° 8, contiene 7.5 % de arena gruesa a fina y 92.5 % de finos (L.L.=34, L.P.=22 e I.P.=12), con un contenido de humedad de 14.97 %.	CL	A-6 (9)	

**ENSAYOS IN SITU**

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 11+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 43	<b>COORDENADA ESTE:</b>	303670.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365943.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.30	M-1	GP - GC A-2-4 (0)	Grava pobremente gradada con arcilla y arena, contiene 45.8 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 43 % de arena gruesa a fina y 11.3 % de finos (L.L.=25, L.P.=18 e I.P.=7), con un contenido de humedad de 6.17 %.	GP - GC	A-2-4 (0)	<b>C - 43</b>
1.50	M-2	CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad con arena, contiene 5.6 % de grava gruesa a fina, semiangular, blando, Baja Plasticidad, dilatancia nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/4", contiene 17% de arena gruesa a fina y 77.1 % de finos (L.L.=29, L.P.=20 e I.P.=9), con un contenido de humedad de 12.1 %.	CL	A-4 (9)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 11+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 42	<b>COORDENADA ESTE:</b>	303219.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365928.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		
				SUCS	AASHTO	
0.00	M-1	GC - GM A-1-a (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 49.7 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 1", contiene 34.6 % de arena gruesa a fina y 15.7 % de finos (L.L.=23, L.P.=18 e I.P.=5), con un contenido de humedad de 4.47 %.	GC - GM	A-1-a (0)	C - 42
0.40						
1.50	M-2	CL - ML A-4 (5)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, contiene 1.6 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/4", contiene 38.4 % de arena gruesa a fina y 59.9 % de finos (L.L.=28, L.P.=22 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 11.16 %.	CL - ML	A-4 (5)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 12+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 41	<b>COORDENADA ESTE:</b>	302758.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365641.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.40	M-1	GC - GM A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 44 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 1 1/2", contiene 36.5 % de arena gruesa a fina y 19.6 % de finos (L.L.=26, L.P.=20 e.I.P.=6), con un contenido de humedad de 3.27 %.	GC - GM	A-1-b (0)	<b>C - 41</b>
1.50	M-2	SC - SM A-4 (1)	Arena limo arcillosa, contiene 0.8 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 1/4", contiene 60.7 % de arena gruesa a fina y 38.5 % de finos (L.L.=20, L.P.=16 e I.P.=4), con un contenido de humedad de 9.88 %.	SC - SM	A-4 (1)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 12+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 40	<b>COORDENADA ESTE:</b>	302272.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365600.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
				NIVEL FREÁTICO (m.)		
0.00	M-1	SP - SM A-1-b(o)	Grava limo arcillosa con arena, contiene 49.8 % de grava gruesa a fina, semiangular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 33.2 % de arena gruesa a fina y 17 % de finos (L.L.=28, L.P.=22 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 4.27 %.	GC - GM	A-1-b (0)	
0.50						
1.50	M-2	SM A-2-4 (0)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, contiene 3 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 1/2", contiene 27.4 % de arena gruesa a fina y 69.5 % de finos (L.L.=24, L.P.=18 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 12.91 %.	CL - ML	A-4 (7)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 13+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA</b>	: CA - 39	<b>COORDENADA ESTE:</b>	301773.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365636.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
				NIVEL FREÁTICO (m.)		
0.00	M-1	GP - GC A-1-a (0)	Grava pobremente gradada con arcilla y arena, contiene 56.1 % de grava gruesa a fina, semi angular, compacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 2", contiene 32 % de arena gruesa a fina y 11.9 % de finos (L.L.=26, L.P.=20 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 4.10%.	GP - GC	A-1-a (0)	
0.50						
1.50	M-2	SC A-4 (3)	Arena arcillosa, contiene 7.7 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad mediana y con tamaño máximo de 1", contiene 43.5 % de arena gruesa a fina y 48.8 % de finos (L.L.=27, L.P.=20 e I.P.=7), con un contenido de humedad de 11.47 %.	SC	A-4 (3)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Km 13+500	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA</b>	: CA - 38	<b>COORDENADA ESTE:</b>	301277.0
<b>MATERIAL</b>	: PLATAFORMA	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8365685.0
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 – 1.50		

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m.)		CALICATA Nro.
						<b>C - 38</b>
				SIMBOLOGIA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.00 0.40	M-1	GC A-2-4 (0)	Grava arcillosa con arena, contiene 42.7 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia rápida moderada, tenacidad baja y con tamaño máximo de 1", contiene 38.5 % de arena gruesa a fina y 18.8 % de finos (L.L.=26, L.P.=19 e I.P.=7), con un contenido de humedad de 5.13 %.	GC	A-2-4 (0)	
1.50	M-2	CL - ML A-4 (7)	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad, contiene 2.3 % de grava gruesa a fina, semiangular, semicompacto, Baja Plasticidad, dilatancia lenta nula, tenacidad mediana alta y con tamaño máximo de 3/4", contiene 31.1 % de arena gruesa a fina y 66.6 % de finos (L.L.=23, L.P.=17 e I.P.=6), con un contenido de humedad de 15.85 %.	CL - ML	A-4 (7)	

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa    MAS: muestra alterada en saco    MIB: muestra inalterada en bloque  
MIT: muestra inalterada en tubo



## 5.1.2 Resultados de laboratorio

**Tabla 16**

*Resumen de resultados de laboratorio de subrasante.*

RESUMEN DE ESTUDIO DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE																				
PROGRESIVAS (Km)	N°	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA							LÍMITES DE C. CLASIFICACIÓN H.N.				PROCTOR		CBR (0.1%)		
					2"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	L L	L P	IP	AASHTO	SUCS	%		M.D.S. (gr/cc)	O.C.H. (%)
00+000	CA-65	M-1	0.00 - 0.50 Der.	100.0	88.9	70.6	53.4	44.3	28.5	15.1	23	17	6	A-1-a (0)	GC - GM	5.6	2.14	7.48	23.8	
		M-2	0.50 - 1.50 Der.					98.6	96.8	91.6	30	20	10	A-4 (9)	CL	21.1	1.79	14.97	4.8	
00+500	CA-64	M-1	0.00 - 0.30 Izq.	100.0	81.7	70.0	59.2	53.2	43.2	19.8	22	18	4	A-1-b (0)	GC - GM	7.0	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.			100.0	99.7	98.6	96.3	85.7	29	18	11	A-6 (9)	CL	19.7	--	--	--	
01+000	CA-63	M-1	0.00 - 0.35 Der.	100.0	85.4	72.8	60.6	52.0	38.1	24.0	22	17	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.9	--	--	--	
		M-2	0.35 - 1.50 Der.			100.0	97.8	97.0	96.1	91.5	29	19	10	A-4 (9)	CL	18.7	--	--	--	
01+500	CA-62	M-1	0.00 - 0.30 Izq.	100.0	88.4	70.9	59.5	51.0	37.8	20.4	22	16	6	A-1-b (0)	GC - GM	3.4	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.					99.4	94.9	83.6	33	19	14	A-6 (10)	CL	17.7	--	--	--	
02+000	CA-61	M-1	0.00 - 0.50 Der.	100.0	92.8	74.6	58.1	47.2	32.9	18.0	22	15	7	A-2-4 (0)	GC	8.7	2.17	8.17	20.2	
		M-2	0.50 - 1.50 Der.					99.9	99.8	98.6	97.1	34	22	12	A-6 (9)	CL	17.1	1.77	15.49	5.5
02+500	CA-60	M-1	0.00 - 0.30 Izq.	100.0	86.7	69.8	55.4	45.0	28.5	14.6	18	14	4	A-1-a (0)	GC - GM	4.2	--	--	--	
		M-2	0.30 - 0.60 Izq.					99.4	97.7	86.5	26	18	8	A-4 (9)	CL	16.8	--	--	--	
03+000	CA-59	M-1	0.00 - 0.30 Der.	100.0	89.2	72.4	56.2	45.3	37.3	22.2	18	14	4	A-1-b (0)	GC - GM	5.4	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Der.					99.5	95.8	83.1	30	20	10	A-4 (9)	CL	18.7	--	--	--	
03+500	CA-58	M-1	0.00 - 0.30 Izq.		86.9	72.4	61.7	47.3	27.3	11.9	17	13	4	A-1-a (0)	SP - SC	5.4	--	--	--	
		M-2	0.30 - 0.70 Izq.					98.9	86.2	73.3	29	18	11	A-6 (8)	CL	17.3	--	--	--	
04+000	CA-57	M-1	0.00 - 0.30 Der.	100.0	85.8	69.2	55.9	47.1	29.6	15.4	19	14	5	A-1-a (0)	GC - GM	5.9	2.13	7.87	28.9	
		M-2	0.30 - 1.50 Der.					96.8	84.6	78.3	31	20	11	A-6 (9)	CL	19.2	1.80	14.78	5.1	
04+500	CA-56	M-1	0.00 - 0.40 Izq.	100.0	81.3	67.2	56.2	48.0	31.1	12.5	16	13	3	A-1-b (0)	GM	5.7	--	--	--	
		M-2	0.40 - 1.50 Izq.			100.0	99.2	96.8	84.0	72.0	30	19	11	A-6 (8)	CL	17.9	--	--	--	
05+000	CA-55	M-1	0.00 - 0.40 Der.	100.0	83.2	72.6	59.9	48.3	32.8	20.9	20	14	6	A-1-b (0)	GC - GM	7.1	--	--	--	
		M-2	0.40 - 1.50 Der.					99.6	96.0	91.3	81.7	33	22	11	A-6 (9)	CL	21.4	--	--	--
05+500	CA-54	M-1	0.00 - 0.30 Izq.	100.0	85.5	71.0	54.4	44.0	30.4	11.4	15	NP	NP	A-1-a (0)	GP - GM	5.4	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.					98.5	95.8	93.2	84.3	62.4	20	16	4	A-4 (6)	CL - ML	14.1	--	--
06+000	CA-53	M-1	0.00 - 0.30 Der.	100.0	86.9	72.0	58.5	49.4	33.7	17.5	20	15	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.5	2.12	7.85	26.1	
		M-2	0.30 - 1.50 Der.					99.6	97.8	64.0	25	18	7	A-4 (6)	CL - ML	18.3	1.87	13.13	4.7	
06+500	CA-52	M-1	0.00 - 0.30 Izq.		93.4	78.8	63.4	52.7	37.2	13.6	15	NP	NP	A-1-b (0)	SM	4.1	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.					98.6	97.4	87.8	23	18	5	A-4 (9)	CL - ML	16.9	--	--	--	
07+000	CA-51	M-1	0.00 - 0.30 Der.	100.0	87.8	76.5	65.6	61.3	53.8	43.2	15	NP	NP	A-4 (2)	GM	5.7	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Der.					99.8	99.4	97.8	93.7	57.6	21	15	6	A-4 (5)	CL - ML	15.2	--	--
07+500	CA-50	M-1	0.00 - 0.45 Izq.	100.0	87.5	71.5	57.6	47.7	34.6	13.5	16	15	1	A-1-b (0)	SM	6.0	--	--	--	
		M-2	0.45 - 1.50 Izq.					99.4	97.8	79.4	24	16	8	A-4 (9)	CL	15.6	--	--	--	
08+000	CA-49	M-1	0.00 - 0.30 Izq.	100.0	84.7	74.2	64.1	57.0	42.6	19.0	17	13	4	A-1-b (0)	SC - SM	5.5	2.05	7.06	13.5	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.					99.8	96.9	54.6	20	14	6	A-4 (4)	CL - ML	12.9	1.96	10.72	7.5	
08+500	CA-48	M-1	0.00 - 0.30 Izq.		84.2	64.6	56.7	49.6	33.9	17.4	25	19	6	A-1-b (0)	GC - GM	5.3	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.		100.0	99.0	97.9	94.5	76.5	45.6	21	17	4	A-4 (2)	SC - SM	10.1	--	--	--	
09+000	CA-47	M-1	0.00 - 0.45 Der.	100.0	77.6	58.0	47.8	41.9	28.8	16.0	26	18	8	A-2-4 (0)	GC	6.6	--	--	--	
		M-2	0.45 - 1.50 Der.					99.1	94.4	87.0	67.7	43.1	21	17	4	A-4 (2)	SC - SM	11.5	--	--
09+500	CA-46	M-1	0.00 - 0.35 Izq.	100.0	76.8	64.0	54.7	48.0	32.6	14.8	26	19	7	A-2-4 (0)	GC	5.0	--	--	--	
		M-2	0.35 - 1.50 Izq.					98.8	95.4	92.1	90.2	84.8	55.6	22	16	6	A-4 (5)	CL - ML	11.4	--
10+000	CA-45	M-1	0.00 - 0.30 Der.	100.0	87.7	74.1	64.2	57.3	40.7	23.6	25	20	5	A-1-b (0)	SC - SM	7.2	2.01	7.48	12.7	
		M-2	0.30 - 1.50 Der.					100.0	99.4	98.7	97.9	95.3	71.4	30	20	10	A-4 (8)	CL	14.0	1.95
10+500	CA-44	M-1	0.00 - 0.30 Izq.		86.2	69.3	55.7	46.4	31.5	16.2	25	20	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.4	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Izq.					99.85	98.37	92.50	34	22	12	A-6 (9)	CL	15.00	--	--	--	
11+000	CA-43	M-1	0.00 - 0.30 Der.		87.9	65.5	54.2	47.0	35.1	11.3	25	18	7	A-2-4 (0)	GP - GC	6.2	--	--	--	
		M-2	0.30 - 1.50 Der.		100.0	96.2	94.4	91.3	86.6	77.1	29	20	9	A-4 (9)	CL	12.1	--	--	--	
11+500	CA-42	M-1	0.00 - 0.40 Izq.		94.2	67.8	50.3	38.5	30.9	15.7	23	18	5	A-1-a (0)	GC - GM	4.5	--	--	--	
		M-2	0.40 - 1.50 Izq.		100.0	99.0	98.4	97.0	91.6	59.9	28	22	6	A-4 (5)	CL - ML	11.2	--	--	--	
12+000	CA-41	M-1	0.00 - 0.40 Der.		90.2	70.1	56.0	45.4	32.3	19.6	26	20	6	A-1-b (0)	GC - GM	3.3	2.11	7.30	25.2	
		M-2	0.40 - 1.50 Der.					99.2	98.8	93.5	38.5	20	16	4	A-4 (1)	SC - SM	9.9	2.04	7.17	9.6
12+500	CA-40	M-1	0.00 - 0.50 Izq.	100.0	81.9	63.0	50.2	42.7	30.9	17.0	28	22	6	A-1-b (0)	GC - GM	4.3	--	--	--	
		M-2	0.50 - 1.00 Izq.					99.1	97.0	90.4	86.4	69.5	24	18	6	A-4 (7)	CL - ML	12.9	--	--
13+000	CA-39	M-1	0.00 - 0.50 Der.	100.0	80.7	58.5	43.9	38.5	26.1	11.9	26	20	6	A-1-a (0)	GP - GC	4.1	--	--	--	
		M-2	0.50 - 1.50 Der.					99.5	96.7	92.3	85.6	71.8	48.8	27	20	7	A-4 (3)	SC	11.5	--
13+500	CA-38	M-1	0.00 - 0.40 Izq.		96.6	71.9	57.3	46.7	35.2	18.8	26	19	7	A-2-4 (0)	GC	5.1	--	--	--	
		M-2	0.40 - 1.50 Izq.		100.0	99.1	97.7	93.6	85.2	66.6	23	17	6	A-4 (7)	CL - ML	15.9	--	--	--	
<b>Número de datos</b>					20	36	44	45	56	56	56	56	53	53	-	-	56	14	14	14
<b>Suma</b>					2000	3217	3529	3233	4026	3476	2489	1344	938	361	-	-	587.6	27.9	142.7	191.8
<b>Xp (Promedio)</b>					<b>100.0</b>	<b>89.4</b>	<b>80.2</b>	<b>71.8</b>	<b>71.9</b>	<b>62.1</b>	<b>44.5</b>	<b>24.0</b>	<b>17.7</b>	<b>6.8</b>	-	-	<b>10.5</b>	<b>2.0</b>	<b>10.2</b>	<b>13.7</b>
<b>MIN</b>					100.0	76.8	58.0	43.9	38.5	26.1	11.3	15.0	13.0	1.0	-	-	3.3	1.8	7.1	4.1
<b>MAX</b>					100.0	100.0	100.0	99.8	99.9	98.6	97.1	34.0	22.0	14.0	-	-	21.4	2.2	15.5	28.9
<b>DES. ESTANDAR</b>					0.00	6.93	14.54	20.00	24.67	29.03	29.63	5.08	2.55	2.75	-	-	5.63	0.14	3.36	9.25
<b>VARIANZA</b>					0.0	48.0	211.4	400.0	608.7	842.8	878.0	25.9	6.5	7.6	-	-	31.7	0.0	11.3	85.6
<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>					0.0	7.7	18.1	27.8	34.3	46.8	66.7	21.2	14.4	40.4	-	-	53.7	7.1	33.0	67.5

**Fuente:**

En las 28 calicatas ejecutadas no se identificaron nivel freático y se realizaron ensayos de laboratorio de acuerdo al manual del MTC y para ensayos especiales de Proctor y CBR se realizó cada 2 km, a continuación, se presenta el análisis correspondiente de la tabla 16 para la capa 1 (base granular) y capa 2 suelo de fundación.

### 5.1.2.1 Capa 1 base granular

Conformada por suelos granulares de espesor que varía desde los 0.30 m hasta los 0.50 m y con un tamaño máximo de partícula de 2.5”, esta capa soporta las cargas de tráfico vehicular existente y es necesario realizar un mejoramiento en tramos puntuales antes de colocar una base de suelo-cemento, (ver tablas 17, 18 y figura 24).

**Tabla 17**  
*Estudio de suelos capa de transitabilidad (M-1).*

PROGRESIVAS (Km)	N°	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	ESPESOR DE CAPA	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		HUMEDAD NATURAL	PROCTOR		CBR (0.1”)	
						% QUE PASA			L L	L P	I P	AASHTO	SUCS	%	M.D.S.	O.C.H	95%	
						2”	No. 4	No. 200						(gr/cc)	(%)			
00+000	CA-65	M-1	0.00 - 0.50	Der.	0.5	100.0	53.4	15.1	23	17	6	A-1-a (0)	GC - GM	5.6	2.14	7.48	23.8	
00+500	CA-64	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3	100.0	59.2	19.8	22	18	4	A-1-b (0)	GC - GM	7.0	--	--	--	
01+000	CA-63	M-1	0.00 - 0.35	Der.	0.35	100.0	60.6	24.0	22	17	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.9	--	--	--	
01+500	CA-62	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3	100.0	59.5	20.4	22	16	6	A-1-b (0)	GC - GM	3.4	--	--	--	
02+000	CA-61	M-1	0.00 - 0.50	Der.	0.5	100.0	58.1	18.0	22	15	7	A-2-4 (0)	GC	8.7	2.17	8.17	20.2	
02+500	CA-60	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3	100.0	55.4	14.6	18	14	4	A-1-a (0)	GC - GM	4.2	--	--	--	
03+500	CA-58	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3		61.7	11.9	17	13	4	A-1-a (0)	SP - SC	5.4	--	--	--	
04+000	CA-57	M-1	0.00 - 0.30	Der.	0.3	100.0	55.9	15.4	19	14	5	A-1-a (0)	GC - GM	5.9	2.13	7.87	28.9	
04+500	CA-56	M-1	0.00 - 0.40	Izq.	0.4	100.0	56.2	12.5	16	13	3	A-1-b (0)	GM	5.7	--	--	--	
06+000	CA-53	M-1	0.00 - 0.30	Der.	0.3	100.0	58.5	17.5	20	15	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.5	2.12	7.85	26.1	
06+500	CA-52	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3		63.4	13.6	15	NP	NP	A-1-b (0)	SM	4.1	--	--	--	
07+000	CA-51	M-1	0.00 - 0.30	Der.	0.3	100.0	65.6	43.2	15	NP	NP	A-4 (2)	GM	5.7	--	--	--	
07+500	CA-50	M-1	0.00 - 0.45	Izq.	0.45	100.0	57.6	13.5	16	15	1	A-1-b (0)	SM	6.0	--	--	--	
08+000	CA-49	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3	100.0	64.1	19.0	17	13	4	A-1-b (0)	SC - SM	5.5	2.05	7.06	13.5	
08+500	CA-48	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3		56.7	17.4	25	19	6	A-1-b (0)	GC - GM	5.3	--	--	--	
09+000	CA-47	M-1	0.00 - 0.45	Der.	0.45	100.0	47.8	16.0	26	18	8	A-2-4 (0)	GC	6.6	--	--	--	
09+500	CA-46	M-1	0.00 - 0.35	Izq.	0.35	100.0	54.7	14.8	26	19	7	A-2-4 (0)	GC	5.0	--	--	--	
10+000	CA-45	M-1	0.00 - 0.30	Der.	0.3	100.0	64.2	23.6	25	20	5	A-1-b (0)	SC - SM	7.2	2.01	7.48	12.7	
10+500	CA-44	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	0.3		55.7	16.2	25	20	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.4	--	--	--	
11+000	CA-43	M-1	0.00 - 0.30	Der.	0.3		54.2	11.3	25	18	7	A-2-4 (0)	GP - GC	6.2	--	--	--	
11+500	CA-42	M-1	0.00 - 0.40	Izq.	0.4		50.3	15.7	23	18	5	A-1-a (0)	GC - GM	4.5	--	--	--	
12+000	CA-41	M-1	0.00 - 0.40	Der.	0.4		56.0	19.6	26	20	6	A-1-b (0)	GC - GM	3.3	2.11	7.30	25.2	
12+500	CA-40	M-1	0.00 - 0.50	Izq.	0.5	100.0	50.2	17.0	28	22	6	A-1-b (0)	GC - GM	4.3	--	--	--	
13+000	CA-39	M-1	0.00 - 0.50	Der.	0.5	100.0	43.9	11.9	26	20	6	A-1-a (0)	GP - GC	4.1	--	--	--	
13+500	CA-38	M-1	0.00 - 0.40	Izq.	0.4		57.3	18.8	26	19	7	A-2-4 (0)	GC	5.1	--	--	--	
<b>Número de datos</b>						28.00	20	28	28	28	25	25	--	--	28	7	7	7
<b>Suma</b>						10.10	2000	1591	495	598	421	132	--	--	154	15	53	150
<b>Xp (Promedio)</b>						0.36	100.0	56.8	17.7	21.4	16.8	5.3	--	--	5.5	2.1	7.6	21.5
<b>MIN</b>						0.30	100.0	43.9	11.3	15.0	13.0	1.0	--	--	5.6	2.1	7.5	23.8
<b>MAX</b>						0.50	100.0	65.6	43.2	28.0	22.0	8.0	--	--	8.7	2.2	8.2	28.9

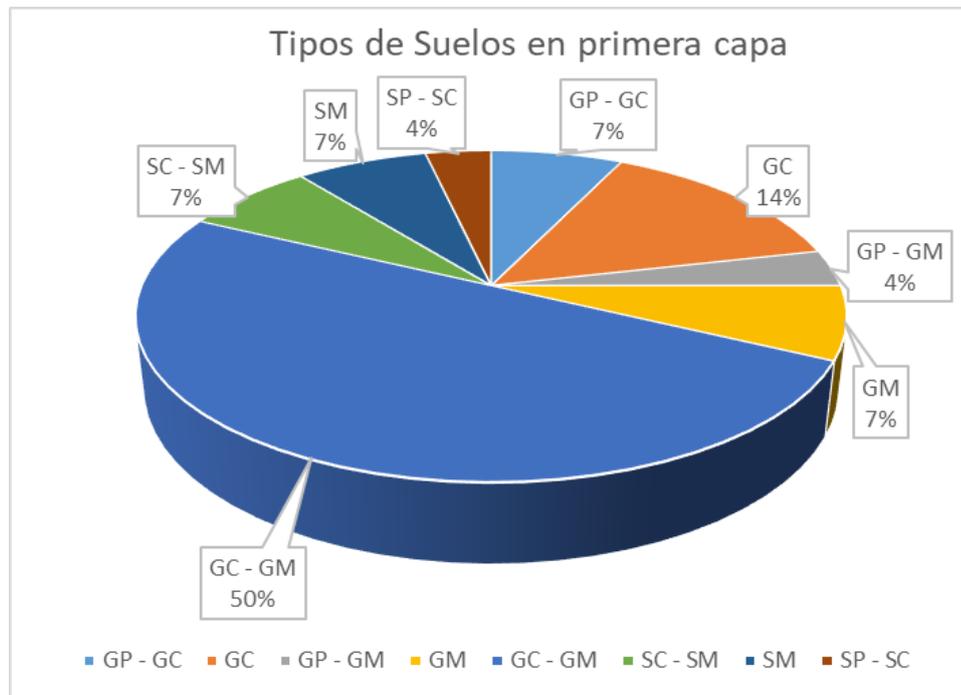
DESV. ESTANDAR	0.08	0.00	4.95	6.16	4	2.69	1.51	--	--	1.19	0.06	0.38	6.30
VARIANZA	0.01	0.0	24.5	37.9	17	7.2	2.3	--	--	1.4	0.0	0.1	39.7
COEF. DE VARIACIÓN	21.13	0.00	8.71	34.79	19.34	15.96	28.68	--	--	21.65	2.69	5.02	29.31

**Tabla 18**

*Tipos de suelos SUCS en capa de transitabilidad.*

Tipo de suelo (Estrato 1)	SUCS	Descripción	Participación en el sector (%)	
GRAVAS	GP - GC	Grava pobremente gradada con arcilla y arena	2	7.14
	GC	Grava arcillosa con arena	4	14.29
	GP - GM	Grava pobremente gradada con limo y arena	1	3.57
	GM	Grava limosa con arena	2	7.14
	GC - GM	Grava limo arcillosa con arena	14	50.00
ARENAS	SC - SM	Arena limo arcillosa	2	7.14
	SM	Arena limosa con grava	2	7.14
	SP - SC	Arena pobremente gradada con arcilla y grava	1	3.57
<b>TOTAL</b>			<b>28</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** *Elaboración Propia.*



**Figura 24** *Tipos de suelos en capa granular (estrato N° 1) ruta 17.*

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Como se logra observar en la figura 24 presentada, predominan los suelos gravosos de tipo GC-GM, seguidos de suelos GC y GM, además la capa granular no presenta tipos de suelos arcillosos lo que ayuda en su comportamiento estructural y geomecánico, esto queda evidenciado por los valores de CBR que se obtuvieron de los ensayos de laboratorio tal y como se muestran en la tabla 19 siguiente.

**Tabla 19**

*Valores de CBR para capa de transitabilidad.*

PROGRESIVAS (Km)	CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA		LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL	PROCTOR		CBR (0.1")	
					No. 4	No. 200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS	%	M.D.S. (gr/cc)	O.C.H (%)	95%	100%
00+000	CA-65	M-1	0.00 - 0.50	Der.	53.4	15.1	23	17	6	A-1-a (0)	GC - GM	5.6	2.14	7.48	23.8	33.9
02+000	CA-61	M-1	0.00 - 0.50	Der.	58.1	18.0	22	15	7	A-2-4 (0)	GC	8.7	2.17	8.17	20.2	29.3
04+000	CA-57	M-1	0.00 - 0.30	Der.	55.9	15.4	19	14	5	A-1-a (0)	GC - GM	5.9	2.13	7.87	28.9	41.1
06+000	CA-53	M-1	0.00 - 0.30	Der.	58.5	17.5	20	15	5	A-1-b (0)	GC - GM	5.5	2.12	7.85	26.1	37.3
08+000	CA-49	M-1	0.00 - 0.30	Der.	64.1	19.0	17	13	4	A-1-b (0)	SC - SM	5.5	2.05	7.06	13.5	20.8
10+000	CA-45	M-1	0.00 - 0.30	Der.	64.2	23.6	25	20	5	A-1-b (0)	SC - SM	7.2	2.01	7.48	12.7	19.0
12+000	CA-41	M-1	0.00 - 0.40	Der.	56.0	19.6	26	20	6	A-1-b (0)	GC - GM	3.3	2.11	7.30	25.2	35.8
<b>Número de datos</b>					7	7	7	7	7	--	--	7	7	7	7	7
<b>Suma</b>					410.3	128.2	152.0	114.0	38.0	--	--	41.7	14.7	53.2	150.5	217.2
<b>Xp (Promedio)</b>					<b>58.6</b>	<b>18.3</b>	<b>21.7</b>	<b>16.3</b>	<b>5.4</b>	--	--	<b>6.0</b>	<b>2.1</b>	<b>7.6</b>	<b>21.5</b>	<b>31.0</b>
<b>MIN</b>					53.4	15.1	17.0	13.0	4.0	--	--	3.3	2.0	7.1	12.7	19.0
<b>MAX</b>					64.2	23.6	26.0	20.0	7.0	--	--	8.7	2.2	8.2	28.9	41.1
<b>DESV. ESTANDAR</b>					4.13	2.89	3.25	2.81	0.98	--	--	1.67	0.06	0.38	6.30	8.41
<b>VARIANZA</b>					17.0	8.4	10.6	7.9	1.0	--	--	2.8	0.0	0.1	39.7	70.7
<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>					7.0	15.8	15.0	17.3	18.0	--	--	28.0	2.7	5.0	29.3	27.1

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Como se dijo al principio de este capítulo trabajaremos con el valor de CBR al 95%, esto debido a que en campo para lograr una compactación del 100% todo tendría que ser perfecto de acuerdo a los diseños de laboratorio y esto es muy difícil de conseguir por muchos factores, por ello la norma sugiere trabajar con el valor del CBR al 95% de la máxima densidad seca. Para nuestro caso la base granular tiene un valor de CBR que varía de 12.7% a 28.9% en todo el tramo de estudio del Km 00+000 al Km 13+500 y un valor de CBR promedio de 21.5% (Suelo estable).

### 5.1.2.2 Capa 2 terreno de fundación

Conformada por suelos de material fino, principalmente de suelos arcillo arenosos y arenas arcillosas, con un 14.29% de material arenoso y 85.71% de materiales arcilloso y espesores que no pudieron ser determinados puesto que nuestras calicatas tienen una profundidad de 1.50 metros y el suelo de fundación continua hacia abajo excepto en las calicatas CA-60, CA-58 y CA-40 con profundidad de excavación de 0.60m, 0.70m y 1.00m respectivamente, ver tablas 20, 21 y figura 25.

**Tabla 20**

*Estudio de suelos en capa terreno de fundación (M-2).*

PROGRESIVAS (Km)	N°	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	ESPESOR DE CAPA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA			LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		HUMEDAD NATURAL	PROCTOR		CBR (0.1")		
						3/4"	No. 4	No. 200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS	%	M.D.S. (gr/cc)	O.C.H (%)	95%	100%	
00+000	CA-65	M-2	0.50 - 1.50	Der.	1.00	-	-	91.6	30	20	10	A-4 (9)	CL	21.1	1.79	14.97	4.8	7.8	
00+500	CA-64	M-2	0.30 - 1.50	Izq.	1.20	-	99.7	85.7	29	18	11	A-6 (9)	CL	19.7	--	--	--	--	
01+000	CA-63	M-2	0.35 - 1.50	Der.	1.15	-	97.8	91.5	29	19	10	A-4 (9)	CL	18.7	--	--	--	--	
04+000	CA-57	M-2	0.30 - 1.50	Der.	1.20	-	-	78.3	31	20	11	A-6 (9)	CL	19.2	1.80	14.78	5.1	8.5	
04+500	CA-56	M-2	0.40 - 1.50	Izq.	1.10	-	99.2	72.0	30	19	11	A-6 (8)	CL	17.9	--	--	--	--	
06+000	CA-53	M-2	0.30 - 1.50	Der.	1.20	-	-	64.0	25	18	7	A-4 (6)	CL	18.3	1.87	13.13	4.7	7.4	
06+500	CA-52	M-2	0.30 - 1.50	Izq.	1.20	-	-	87.8	23	18	5	A-4 (9)	CL - ML	16.9	--	--	--	--	
07+000	CA-51	M-2	0.30 - 1.50	Der.	1.20	-	99.4	57.6	21	15	6	A-4 (5)	CL - ML	15.2	--	--	--	--	
07+500	CA-50	M-2	0.45 - 1.50	Izq.	1.05	-	-	79.4	24	16	8	A-4 (9)	CL	15.6	--	--	--	--	
08+000	CA-49	M-2	0.30 - 1.50	Der.	1.20	-	-	54.6	20	14	6	A-4 (4)	CL - ML	12.9	1.96	10.72	7.5	11.6	
08+500	CA-48	M-2	0.30 - 1.50	Izq.	1.20	100.0	97.9	45.6	21	17	4	A-4 (2)	SC - SM	10.1	--	--	--	--	
09+000	CA-47	M-2	0.45 - 1.50	Der.	1.05	99.1	87.0	43.1	21	17	4	A-4 (2)	SC - SM	11.5	--	--	--	--	
09+500	CA-46	M-2	0.35 - 1.50	Izq.	1.15	98.8	92.1	55.6	22	16	6	A-4 (5)	CL - ML	11.4	--	--	--	--	
10+000	CA-45	M-2	0.30 - 1.50	Der.	1.20	100.0	98.7	71.4	30	20	10	A-4 (8)	CL	14.0	1.95	13.20	4.1	6.8	
10+500	CA-44	M-2	0.30 - 1.50	Izq.	1.20	-	-	92.50	34	22	12	A-6 (9)	CL	15.00	--	--	--	--	
11+000	CA-43	M-2	0.30 - 1.50	Der.	1.20	100.0	94.4	77.1	29	20	9	A-4 (9)	CL	12.1	--	--	--	--	
11+500	CA-42	M-2	0.40 - 1.50	Izq.	1.10	100.0	98.4	59.9	28	22	6	A-4 (5)	CL - ML	11.2	--	--	--	--	
12+000	CA-41	M-2	0.40 - 1.50	Der.	1.10	-	99.2	38.5	20	16	4	A-4 (1)	SC - SM	9.9	2.04	7.17	9.6	14.8	
12+500	CA-40	M-2	0.50 - 1.00	Izq.	0.50	-	97.0	69.5	24	18	6	A-4 (7)	CL - ML	12.9	--	--	--	--	
13+000	CA-39	M-2	0.50 - 1.50	Der.	1.00	99.5	92.3	48.8	27	20	7	A-4 (3)	SC	11.5	--	--	--	--	
13+500	CA-38	M-2	0.40 - 1.50	Izq.	1.10	100.0	97.7	66.6	23	17	6	A-4 (7)	CL - ML	15.9	--	--	--	--	
<b>Numero de datos</b>						28.00	8	17	28	28	28	--	--	28	7	7	7	7	
<b>Suma</b>						29.70	797.4	1642.4	1994.1	746.0	517.0	229.0	--	--	434.0	13.2	89.5	41.3	66.0
<b>Xp (Promedio)</b>						1.06	<b>99.7</b>	<b>96.6</b>	<b>71.2</b>	<b>26.6</b>	<b>18.5</b>	<b>8.2</b>	--	--	<b>15.5</b>	<b>1.9</b>	<b>12.8</b>	<b>5.9</b>	<b>9.4</b>
<b>MIN</b>						0.30	98.8	87.0	38.5	20.0	14.0	4.0	--	--	21.1	1.8	15.0	4.8	6.8
<b>MAX</b>						1.20	100.0	99.8	97.1	34.0	22.0	14.0	--	--	21.4	2.0	15.5	9.6	14.8
<b>DESV. ESTANDAR</b>						0.24	0.48	3.44	16.29	5	2.19	2.91	--	--	3.35	0.10	2.95	1.95	2.84
<b>VARIANZA</b>						0.06	0.2	11.8	265.2	21	4.8	8.4	--	--	11.2	0.0	8.7	3.8	8.1
<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>						23.07	0.5	3.6	22.9	17	11.8	35.5	--	--	21.6	5.5	23.1	33.1	30.1

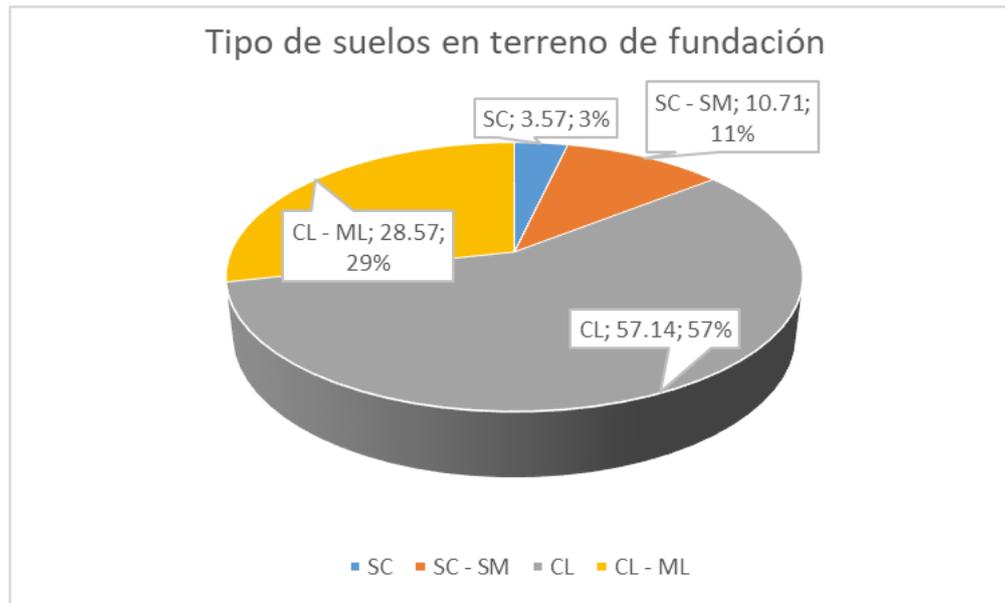
**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Tabla 21**

*Tipos de suelos SUCS en terreno de fundación (Estrato N° 2).*

Tipo de suelo (Estrato 2)	SUCS	Descripción	Participación en el sector (%)		
ARENAS	SC	Arena Arcillosa	1	3.57	14.29
	SC - SM	Arena limo arcillosa	3	10.71	
ARCILLAS	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad	16	57.14	85.71
	CL - ML	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad	8	28.57	
<b>TOTAL</b>			<b>28</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** *Elaboración Propia.*



**Figura 25** Tipos de suelos en terreno de fundación ruta 17.

Como se logra observar en la figura 25, el suelo de fundación presenta tipos de suelos arcillosos (CL, CL-ML) en alto porcentaje (85.71%), lo que no ayuda en su comportamiento estructural y geomecánico, esto queda evidenciado por los valores bajos de CBR que se obtuvieron de los ensayos de laboratorio tal y como se muestran en la tabla 22 siguiente.

**Tabla 22**

Valores de CBR en terreno de fundación.

PROGRESIVAS (Km)	CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA		LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN AASHTO	SUCS	HUMEDAD NATURAL %	PROCTOR		CBR (0.1")		
					No. 4	No. 200	LL	LP	IP				M.D.S. (gr/cc)	O.C.H. (%)	95%	100%	
00+000	CA-65	M-2	0.50 - 1.50	Der.	-	91.6	30	20	10	A-4 (9)	CL	21.1	1.79	14.97	4.8	7.8	
02+000	CA-61	M-2	0.50 - 1.50	Der.	99.8	97.1	34	22	12	A-6 (9)	CL	17.1	1.77	15.49	5.5	9.2	
04+000	CA-57	M-2	0.30 - 1.50	Der.	-	78.3	31	20	11	A-6 (9)	CL	19.2	1.80	14.78	5.1	8.5	
06+000	CA-53	M-2	0.30 - 1.50	Der.	-	64.0	25	18	7	A-4 (6)	CL	18.3	1.87	13.13	4.7	7.4	
08+000	CA-49	M-2	0.30 - 1.50	Der.	-	54.6	20	14	6	A-4 (4)	CL - ML	12.9	1.96	10.72	7.5	11.6	
10+000	CA-45	M-2	0.30 - 1.50	Der.	98.7	71.4	30	20	10	A-4 (8)	CL	14.0	1.95	13.20	4.1	6.8	
12+000	CA-41	M-2	0.40 - 1.50	Der.	99.2	38.5	20	16	4	A-4 (1)	SC - SM	9.9	2.04	7.17	9.6	14.8	
<b>Número de datos</b>						3	7	7	7	7	-	-	7	7	7	7	7
<b>Suma</b>						297.7	495.5	190.0	130.0	60.0	-	-	112.3	13.2	89.5	41.3	66.0
<b>Xp (Promedio)</b>						<b>99.2</b>	<b>70.8</b>	<b>27.1</b>	<b>18.6</b>	<b>8.6</b>	-	-	<b>16.0</b>	<b>1.9</b>	<b>12.8</b>	<b>5.9</b>	<b>9.4</b>
<b>MIN</b>						98.7	38.5	20.0	14.0	4.0	-	-	9.9	1.8	7.2	4.1	6.8
<b>MAX</b>						99.8	97.1	34.0	22.0	12.0	-	-	21.1	2.0	15.5	9.6	14.8
<b>DESV. ESTANDAR</b>						0.52	20.56	5.55	2.76	2.94	-	-	3.94	0.10	2.95	1.95	2.84
<b>VARIANZA</b>						0.3	422.7	30.8	7.6	8.6	-	-	15.5	0.0	8.7	3.8	8.1
<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>						0.5	29.0	20.4	14.9	34.3	-	-	24.6	5.5	23.1	33.1	30.1

**Fuente:** Elaboración Propia.

Para nuestro caso el terreno de fundación tiene un valor de CBR que varía de 4.1% (valor mínimo en el Km 10+000) a 9.6% (valor máximo en el Km 12+000) en el tramo de estudio del Km 00+000 al Km 13+500 y un valor de CBR promedio de 5.9%.

### 5.1.3 Perfil estratigráfico de la subrasante

Con los datos obtenidos de los espesores de las capas y la clasificación SUCS de los suelos de la subrasante (capas 1 y 2) se procedió a realizar el perfil estratigráfico de la carretera Chuquibambilla – Macarí Tramo I del Km 00+000 al Km 13+500, dando como resultados a nivel de subrasante en su mayoría suelos de Grava Arcillosa a Grava Limosa con variación en tamaños granulares (GC-GM) y en las progresivas 03+500, 06+500, 07+500 al 08+000 y 10+000 suelos de Arena Arcillosa a Arena Limosa con una cantidad apreciable de materiales finos (SC-SM). Ver ANEXOS Perfil estratigráfico Km 00+000 al Km13+500.

### 5.1.4 Caracterización de suelos

A lo largo de la carretera en estudio se han detectado algunos sectores susceptibles a mejorar las condiciones del suelo de la subrasante. Para ello se han corroborado los criterios mencionados en el Capítulo II sobre caracterización de suelos para definir los sectores inestables en la carretera Chuquibambilla -Macarí, ver tabla 23.

**Tabla 23**

*Valores de IP, HN, O.C.H. Ic, Cc y CBR a nivel de subrasante.*

PROGRESIVAS (Km)	CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	LÍMITES DE CONSISTENCIA			HUMEDAD NATURAL		PROCTOR		SUCS	CBR (0.1") 95%
					LL	LP	IP	%	O.C.H (%)	Ic	Cc		
00+000	CA-65	M-1	0.00 - 0.50	Der.	23	17	6	5.6	7.48	2.90	0.12	GC - GM	23.8
		M-2	0.50 - 1.50	Der.	30	20	10	21.1	14.97	0.89	0.18	CL	4.8
02+000	CA-61	M-1	0.00 - 0.50	Der.	22	15	7	8.7	8.17	1.90	0.11	GC	20.2
		M-2	0.50 - 1.50	Der.	34	22	12	17.1	15.49	1.41	0.22	CL	5.5
04+000	CA-57	M-1	0.00 - 0.30	Der.	19	14	5	5.9	7.87	2.62	0.08	GC - GM	28.9
		M-2	0.30 - 1.50	Der.	31	20	11	19.2	14.78	1.08	0.19	CL	5.1
06+000	CA-53	M-1	0.00 - 0.30	Der.	20	15	5	5.5	7.85	2.90	0.09	GC - GM	26.1
		M-2	0.30 - 1.50	Der.	25	18	7	18.3	13.13	0.96	0.14	CL	4.7
08+000	CA-49	M-1	0.00 - 0.30	Izq.	17	13	4	5.5	7.06	2.88	0.06	SC - SM	13.5
		M-2	0.30 - 1.50	Izq.	20	14	6	12.9	10.72	1.19	0.09	CL - ML	7.5
10+000	CA-45	M-1	0.00 - 0.30	Der.	25	20	5	7.2	7.48	3.56	0.14	SC - SM	12.7
		M-2	0.30 - 1.50	Der.	30	20	10	14.0	13.20	1.60	0.18	CL	4.1
12+000	CA-41	M-1	0.00 - 0.40	Der.	26	20	6	3.3	7.30	3.78	0.14	GC - GM	25.2
		M-2	0.40 - 1.50	Der.	20	16	4	9.9	7.17	2.53	0.09	SC - SM	9.6

Número de datos

14 14 14 14 14 14 14 14 - 14

Suma	342.00	244.00	98.00	154.03	142.68	30.20	1.82	-	191.77
Xp (Promedio)	<b>24.43</b>	<b>17.43</b>	<b>7.00</b>	<b>11.00</b>	<b>10.19</b>	<b>2.16</b>	<b>0.13</b>	-	<b>13.70</b>
MIN	17.00	13.00	4.00	3.30	7.06	0.89	0.06	-	4.08
MAX	34.00	22.00	12.00	21.06	15.49	3.78	0.22	-	28.92
DESV. ESTANDAR	5.20	2.93	2.66	5.99	3.36	0.99	0.05	-	9.25
VARIANZA	27.03	8.57	7.08	35.86	11.31	0.97	0.00	-	85.60
COEF. DE VARIACIÓN	21.28	16.80	38.00	54.43	32.99	45.74	36.03	-	67.54

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

#### 5.1.4.1 Suelos expansivos (mediana y altamente expansivo)

La clasificación del grado de expansión se hace en función de la plasticidad de los suelos según Holtz & Gibbs (1956), donde los resultados se comparan con la tabla 24.

**Tabla 24**

*Criterios de potencial expansivo en suelos.*

Potencial de expansión	Índice de Plasticidad (%)
Muy alto	$I_p > 37$
Alto	$12 < I_p < 37$
Medio	$12 < I_p < 18$
<b>Bajo</b>	<b><math>I_p \leq 12</math></b>

**Fuente:** *Holtz y Gibbs (1956).*

Para nuestro caso los valores de índice de plasticidad que se muestran en la tabla 23, se encuentran en un rango de 4% a 12% lo cual nos da un resultado de potencial de expansión bajo así que este parámetro no influye en la inestabilidad de nuestra vía de estudio.

#### 5.1.4.2 Suelos saturados con W% mayor a C.H.O

En la carretera Chuquibambilla - Macarí los contenidos de humedad natural que se muestran en la tabla 23, no difieren mucho de los contenidos de humedad óptimos en la primera capa, mientras que para la segunda capa los contenidos de humedad natural son mayores al óptimo con una variación del 1% al 4% lo cual es aceptable.

#### 5.1.4.3 Suelos desfavorables (Índice de consistencia $I_c$ )

El Índice de Consistencia se calcula con la fórmula siguiente:

$$I_c = (LL - W) / IP$$

Dónde:

**Ic:** Índice de consistencia.

**LL:** Limite liquido del suelo %.

**W:** Humedad natural del suelo %.

**IP:** Índice de plasticidad del suelo %.

Los rangos de la caracterización del estado de un suelo en función a su Índice de Consistencia se presentan en la tabla siguiente: (ver tabla 25).

**Tabla 25**

*Rangos de valores de consistencia de suelos.*

<b>Ic</b>	<b>Consistencia del suelo</b>
0.00-0.25	Muy blanda
0.25-0.50	Blanda
0.50-0.75	Rígida
<b>0.75-1.00</b>	<b>Muy rígido</b>
<b>&gt;1.00</b>	<b>Dura</b>

**Fuente:** Crespo (1999) *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*.

Para nuestra vía de estudio el índice de consistencia Ic que se muestran en la tabla 23, varía en los rangos de 0.9 a 3.8 que lo clasifica como un suelo de consistencia muy rígida a consistencia dura a nivel de sus dos capas, lo que indica que son suelos estables.

#### **5.1.4.4 Suelos desfavorables (Índice de compresibilidad Cc)**

Según Carlos Crespo Villalaz, muestra un cuadro en el que determina el grado de compresibilidad de un suelo en función al índice de compresibilidad (ver tabla 26).

$$Cc = 0.009 * (LL - 10)$$

**Tabla 26**

*Criterios de índice de compresibilidad de suelos.*

<b>Cc</b>	<b>Grado de compresibilidad</b>
<b>0.00 - 0.19</b>	<b>Bajo</b>
0.20 - 0.39	Medio
Mayor a 0.40	Alto

**Fuente:** *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (Crespo, 2004).

Para nuestra vía de estudio los valores del Índice de Compresibilidad que se muestran en la tabla 23, están comprendidos entre 0.06 y 0.22 lo cual lo clasifica como un suelo de compresibilidad baja es decir que la subrasante no sufre deformación alguna por las cargas que soporta (deformación ínfima).

#### 5.1.4.5 Mejoramiento de subrasante por clasificación

En nuestra vía de estudio no existen suelos del tipo ML, MH y CH, pero sí suelos de tipo CL con baja plasticidad por lo tanto es necesario mejorar este tipo de suelos en la carretera Chuquibambilla - Macarí tramo I (ver Tabla 23).

#### 5.1.4.6 Suelos para mejoramiento por materia orgánica

Como se vio en la sección de resultados de laboratorio los suelos que tenemos en nuestra vía de estudio son suelos gravosos, suelos arenosos y suelos arcillosos de este último solo se tiene dos clases según la clasificación SUCS; suelos de tipo CL y CL-ML sin contenido de materia orgánica por lo tanto el criterio de suelos para mejoramiento por materia orgánica no aplica en nuestra investigación.

#### 5.1.4.7 Sectorización de tramos homogéneos por clasificación y CBR de diseño

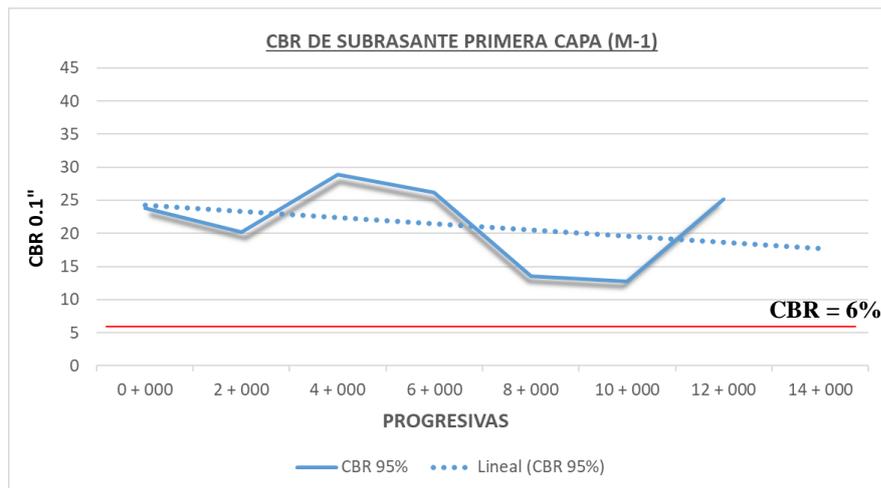
En la carretera Chuquibambilla - Macarí tramo I, la primera capa de la subrasante del Km 00+000 al Km 13+500 tiene valores de CBR por encima del mínimo permitido ( $CBR \geq 6\%$ ) y esto hace que la categoría de la subrasante sea  $S_3$  a  $S_4$  (subrasante buena a muy buena), así que presenta materiales aptos que lo hacen una capa estable (ver tabla 27 y figura 26).

**Tabla 27**

*Categoría de subrasante para la capa 1.*

CATEGORIA DE SUBRASANTE	CBR
$S_0$ : Sub rasante Inadecuado	$CBR < 3\%$
$S_1$ : Sub rasante Insuficiente	De $CBR > 3\%$ A $CBR < 6\%$
$S_2$ : Sub rasante Regular	De $CBR > 6\%$ A $CBR < 10\%$
$S_3$ : Sub rasante Buena	De $CBR > 10\%$ A $CBR < 20\%$
$S_4$ : Sub rasante Muy Buena	De $CBR > 20\%$ A $CBR < 30\%$
$S_5$ : Sub rasante Excelente	$CBR > 30\%$

**Fuente:** *Elaboración Propia.*



**Figura 26** Valores de CBR a nivel de subrasante capa 1.

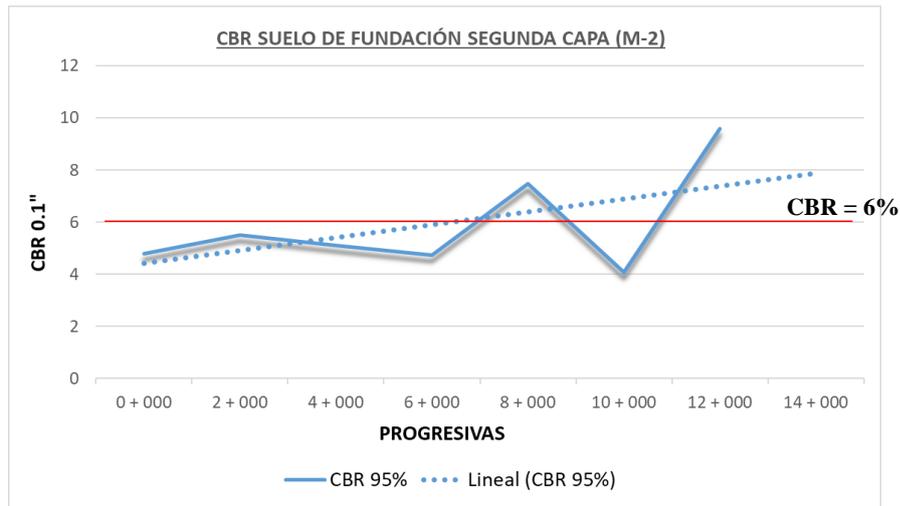
Por otro lado, la segunda capa de la subrasante en nuestro tramo de estudio tiene valores de CBR por debajo y encima del 6% lo que hace que la categoría de la subrasante sea  $S_1$  a  $S_2$  (subrasante insuficiente a subrasante regular), así que no presenta materiales aptos y es una capa inestable que necesita ser mejorada en sus tramos deficientes en este caso con una adición de capa de terraplén (se opta por elevar la rasante debido al estudio hidrológico ya que el tramo se encuentra en una topografía plana), con material de préstamo granular de cantera (ver tabla 28 y figura 27).

**Tabla 28**

*Categoría de subrasante para la capa 2.*

CATEGORIA DE SUBRASANTE	CBR
$S_0$ : Sub rasante Inadecuado	CBR < 3%
$S_1$ : Sub rasante Insuficiente	De CBR >3% A CBR < 6%
$S_2$ : Sub rasante Regular	De CBR > 6% A CBR < 10%
$S_3$ : Sub rasante Buena	De CBR > 10% A CBR < 20%
$S_4$ : Sub rasante Muy Buena	De CBR > 20% A CBR < 30%
$S_5$ : Sub rasante Excelente	CBR > 30%

**Fuente:** *Elaboración Propia.*



**Figura 27** Valores de CBR a nivel de subrasante capa 2.

A partir de la figura anterior podemos resumir las progresivas de mejoramiento en la siguiente tabla 29.

**Tabla 29**

*Progresivas de mejoramiento de acuerdo al valor de CBR.*

PROGRESIVAS (Km)	CALICAT A	CAPA	PROF. (m)	TIPO DE SUELO		CBR 95%	SOLUCIÓN PLANTEADA
				SUCS	DESCRIPCION SUCS		
00+000	CA-65	M-2	0.50 - 1.50	CL	Arcilla de baja plasticidad	4.8	Elevar la rasante
02+000	CA-61	M-2	0.50 - 1.50	CL	Arcilla de baja plasticidad	5.5	Elevar la rasante
04+000	CA-57	M-2	0.30 - 1.50	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	5.1	Elevar la rasante
06+000	CA-53	M-2	0.30 - 1.50	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad	4.7	Elevar la rasante
08+000	CA-49	M-2	0.30 - 1.50	CL - ML	Arcilla limo arenosa de baja plasticidad	7.5	No aplica
10+000	CA-45	M-2	0.30 - 1.50	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	4.1	Elevar la rasante
12+000	CA-41	M-2	0.40 - 1.50	SC - SM	Arena limo arcillosa	9.6	No aplica

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Como primera impresión podríamos deducir que con los valores de CBR obtenidos necesitaríamos un mejoramiento del Km 00+000 al Km 07+000 y del Km 09+000 al Km 11+000 que hacen un total de 9 kilómetros de mejoramiento, sin embargo económicamente esto no es viable ya que esta opción tiene que ser evaluada más a detalle ya que nuestros valores de CBR están a cada 2 kilómetros de distancia por lo que nos apoyaremos de datos del ensayo de Deflectometría que se tomaron cada 200 metros aproximadamente en los tramos con  $CBR < 6\%$  (ver tabla 29).

### 5.1.5 Deflectometría

**Tabla 30**

*Deflexiones máximas en tramos con CBR < 6%.*

MÁXIMAS DEFLEXIONES EN TRAMOS CON CBR < 6%								
PROG.	INFLUENCIA	LADO	CARGA (kN)	Deflexiones	Deflexiones a	Deflexión Benkelman	TIPO SUPERFICIE	SOLUCION PLANTEADA
				( $\mu\text{m}$ ) CENTRO	40kN ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO			
00+000	00+000	Carril derecho	50.81	969	763	70	Afirmado	Eleva rasante CBR < 6%
	00+199	Carril derecho	51.21	772	603	51	Afirmado	
	00+398	Carril derecho	51.01	1459	1144	123	Afirmado	
	00+597	Carril derecho	49.11	2145	1747	221	Afirmado	
	00+796	Carril derecho	50.11	1033	825	78	Afirmado	
	00+995	Carril derecho	51.41	589	458	35	Afirmado	
	01+194	Carril derecho	50.01	1003	802	75	Afirmado	
02+000	01+393	Carril derecho	50.21	1400	1115	119	Afirmado	Eleva rasante CBR < 6%
	01+592	Carril derecho	50.41	652	517	41	Afirmado	
	01+791	Carril derecho	51.31	516	402	29	Afirmado	
	01+990	Carril derecho	50.61	726	574	47	Afirmado	
	02+189	Carril derecho	50.01	820	656	57	Afirmado	
	02+388	Carril derecho	50.11	1371	1094	116	Afirmado	
	02+587	Carril derecho	49.91	583	467	36	Afirmado	
02+786	Carril derecho	50.41	1329	1054	110	Afirmado		
04+000	02+985	Carril derecho	50.41	729	578	48	Afirmado	Eleva rasante CBR < 6%
	03+184	Carril derecho	50.11	1095	874	85	Afirmado	
	03+383	Carril derecho	50.31	716	569	47	Afirmado	
	03+582	Carril derecho	50.71	553	436	32	Afirmado	
	03+781	Carril derecho	51.11	998	781	73	Afirmado	
	03+980	Carril derecho	50.31	1186	943	94	Afirmado	
	04+179	Carril derecho	49.91	1515	1214	134	Afirmado	
	04+378	Carril derecho	49.11	955	778	72	Afirmado	
04+577	Carril derecho	50.11	752	600	50	Afirmado		
06+000	04+776	Carril derecho	49.51	1027	830	79	Afirmado	Eleva rasante CBR < 6%
	04+975	Carril derecho	50.21	755	601	51	Afirmado	
	05+174	Carril derecho	49.61	1233	994	101	Afirmado	
	05+373	Carril derecho	48.71	1083	889	87	Afirmado	
	05+572	Carril derecho	49.91	752	603	51	Afirmado	
	05+771	Carril derecho	49.31	1405	1140	122	Afirmado	
	05+970	Carril derecho	51.11	795	622	53	Afirmado	
	06+169	Carril derecho	50.01	1604	1283	144	Afirmado	
06+368	Carril derecho	49.71	1138	916	90	Afirmado		
10+000	06+567	Carril derecho	49.71	977	786	73	Afirmado	Eleva rasante CBR < 6%
	06+766	Carril derecho	50.51	893	707	63	Afirmado	
	06+965	Carril derecho	50.51	1132	896	88	Afirmado	
	08+955	Carril derecho	49.31	1088	883	86	Afirmado	
	09+154	Carril derecho	49.11	1264	1029	106	Afirmado	
	09+353	Carril derecho	47.71	1304	1093	116	Afirmado	
	09+552	Carril derecho	49.61	1265	1020	105	Afirmado	
	09+751	Carril derecho	49.21	1816	1476	175	Afirmado	
	09+950	Carril derecho	49.61	1434	1156	125	Afirmado	
	10+149	Carril derecho	49.51	1458	1178	128	Afirmado	
	10+348	Carril derecho	48.91	1478	1209	133	Afirmado	
10+547	Carril derecho	48.91	1714	1402	163	Afirmado		
10+746	Carril derecho	48.01	2279	1899	248	Afirmado		
10+945	Carril derecho	49.11	1893	1542	186	Afirmado		
11+144	Carril derecho	50.41	1053	835	80	Afirmado		

**Fuente:** *Estudio de Deflectometría 2018 Plan de Mejoramiento Ruta 17 CVPro.*

### 5.1.5.1 Tramificación de zonas inestables

Tal y como se indicó anteriormente nos apoyaremos de los resultados de Deflexión Máxima en las zonas donde las calicatas han obtenido CBR deficiente para sectorizar la zona del mejoramiento, se ha tenido en cuenta las Deflexiones máximas de cada tramo (en negrita) es ahí donde realizaremos el mejoramiento.

- **En el tramo 00+000:** Las deflexiones no son altas por lo cual se consideró un mejoramiento solo en tramo de 250 metros, al estar delimitado por el inicio de la ruta y continuar en las progresivas siguientes el mismo tipo de subrasante, por lo tanto, según la tabla adjunta el mejoramiento se hará del Km 00+375 al Km 00+625 (ver tabla 31).

**Tabla 31**

*Deflexiones en la progresiva km 00+000.*

PROG.	INFLUENCIA	LADO	CARGA (kN)	Deflexiones	Deflexiones a	Deflexión Benkelman	TIPO SUPERFICIE	SOLUCION PLANTEADA
				( $\mu\text{m}$ )	40kN			
				D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO	D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO			
	00+000	Carril derecho	50.81	969	763	70	Afirmado	
	00+199	Carril derecho	51.21	772	603	51	Afirmado	
	00+398	Carril derecho	51.01	1459	1144	123	Afirmado	
<b>00+000</b>	00+597	Carril derecho	49.11	2145	1747	221	Afirmado	Elevar rasante CBR < 6%
	00+796	Carril derecho	50.11	1033	825	78	Afirmado	
	00+995	Carril derecho	51.41	589	458	35	Afirmado	
	01+194	Carril derecho	50.01	1003	802	75	Afirmado	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- **En el tramo 02+000** las deflexiones no son altas por lo cual se consideró un mejoramiento solo en tramo de 500 metros, siendo la subrasante similar en las proximidades, por lo tanto, el sector de mejoramiento será del Km 01+750 al Km 02+250 (ver tabla 32).

**Tabla 32**

*Deflexiones en la progresiva km 02+000.*

PROG.	INFLUENCIA	LADO	CARGA (kN)	Deflexiones	Deflexiones a	Deflexión Benkelman	TIPO SUPERFICIE	SOLUCION PLANTEADA
				( $\mu\text{m}$ )	40kN			
				D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO	D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO			
	01+393	Carril derecho	50.21	1400	1115	119	Afirmado	Elevar rasante CBR < 6%
<b>02+000</b>	01+592	Carril derecho	50.41	652	517	41	Afirmado	
	01+791	Carril derecho	51.31	516	402	29	Afirmado	

01+990	Carril derecho	50.61	726	574	47	Afirmado
02+189	Carril derecho	50.01	1371	1094	116	Afirmado
02+388	Carril derecho	50.11	820	656	57	Afirmado
02+587	Carril derecho	49.91	583	467	36	Afirmado
02+786	Carril derecho	50.41	1329	1054	110	Afirmado
02+985	Carril derecho	50.41	729	578	48	Afirmado

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- **En el tramo 04+000** las deflexiones no son altas por lo cual se consideró un mejoramiento solo en tramo de 500 metros, siendo la subrasante similar en las proximidades, por lo tanto, el sector de mejoramiento será del Km 03+750 al Km 04+250 (ver tabla 33).

**Tabla 33**

*Deflexiones en la progresiva km 04+000.*

PROG.	INFLUENCIA	LADO	CARGA (kN)	Deflexiones		Deflexión Benkelman	TIPO SUPERFICIE	SOLUCION PLANTEADA
				( $\mu\text{m}$ )	Deflexiones a 40kN			
				D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO	D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO			
	03+184	Carril derecho	50.11	1095	874	85	Afirmado	
	03+383	Carril derecho	50.31	716	569	47	Afirmado	
	03+582	Carril derecho	50.71	553	436	32	Afirmado	
	03+781	Carril derecho	51.11	998	781	73	Afirmado	
<b>04+000</b>	03+980	Carril derecho	50.31	1186	943	94	Afirmado	Elevar rasante
	04+179	Carril derecho	49.91	1515	1214	134	Afirmado	CBR < 6%
	04+378	Carril derecho	49.11	955	778	72	Afirmado	
	04+577	Carril derecho	50.11	752	600	50	Afirmado	
	04+776	Carril derecho	49.51	1027	830	79	Afirmado	
	04+975	Carril derecho	50.21	755	601	51	Afirmado	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- **En el tramo 06+000** las deflexiones altas comprenden 3 subtramos, por lo cual se consideró un mejoramiento solo en tramo de 500 metros, siendo la subrasante similar en las proximidades, por lo tanto, el sector de mejoramiento será del Km 05+750 al Km 06+250 (ver tabla 34).

**Tabla 34**

*Deflexiones en la progresiva km 06+000.*

PROG.	INFLUENCIA	LADO	CARGA (kN)	Deflexiones		Deflexión Benkelman	TIPO SUPERFICIE	SOLUCION PLANTEADA
				( $\mu\text{m}$ )	Deflexiones a 40kN			
				D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO	D0 ( $\mu\text{m}$ ) CENTRO			
	05+174	Carril derecho	49.61	1233	994	101	Afirmado	
	05+373	Carril derecho	48.71	1083	889	87	Afirmado	
<b>06+000</b>	05+572	Carril derecho	49.91	752	603	51	Afirmado	Elevar rasante
	05+771	Carril derecho	49.31	1405	1140	122	Afirmado	CBR < 6%
	05+970	Carril derecho	51.11	795	622	53	Afirmado	
	06+169	Carril derecho	50.01	1604	1283	144	Afirmado	

06+368	Carril derecho	49.71	1138	916	90	Afirmado
06+567	Carril derecho	49.71	977	786	73	Afirmado
06+766	Carril derecho	50.51	893	707	63	Afirmado
06+965	Carril derecho	50.51	1132	896	88	Afirmado

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- Finalmente, en el tramo 10+000 se ha encontrado deflexiones altas por encima del valor de 1000  $\mu\text{m}$ , por lo que el mejoramiento se considera desde el Km 09+150 al Km 10+950 (ver tabla 35).

**Tabla 35**

*Deflexiones en la progresiva km 10+000.*

PROG. INFLUENCIA	LADO	CARGA (kN)	Deflexiones	Deflexiones a	Deflexión Benkelman	TIPO SUPERFICIE	SOLUCION PLANTEADA	
			( $\mu\text{m}$ )	40kN				
			D0 ( $\mu\text{m}$ )	D0 ( $\mu\text{m}$ )				
			CENTRO	CENTRO				
08+955	Carril derecho	49.31	1088	883	86	Afirmado		
09+154	Carril derecho	49.11	1264	1029	106	Afirmado		
09+353	Carril derecho	47.71	1304	1093	116	Afirmado		
09+552	Carril derecho	49.61	1265	1020	105	Afirmado		
09+751	Carril derecho	49.21	1816	1476	175	Afirmado		
<b>10+000</b>	09+950	Carril derecho	49.61	1434	1156	125	Afirmado	Elevar rasante CBR < 6%
	10+149	Carril derecho	49.51	1458	1178	128	Afirmado	
	10+348	Carril derecho	48.91	1478	1209	133	Afirmado	
	10+547	Carril derecho	48.91	1714	1402	163	Afirmado	
	10+746	Carril derecho	48.01	2279	1899	248	Afirmado	
	10+945	Carril derecho	49.11	1893	1542	186	Afirmado	
	11+144	Carril derecho	50.41	1053	835	80	Afirmado	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Así entonces queda sectorizada nuestra vía de estudio:

**Tabla 36**

*Zonas de mejoramiento en la vía de estudio.*

Progresiva	Calicata N°	Muestra N°	Zona de mejoramiento	
			Inicio	Fin
00+000	C-65	M-2	<b>00+375</b>	<b>00+625</b>
02+000	C-61	M-2	<b>01+750</b>	<b>02+250</b>
04+000	C-57	M-2	<b>03+750</b>	<b>04+250</b>
06+000	C-53	M-2	<b>05+750</b>	<b>06+250</b>
08+000	C-49	M-2	No aplica CBR > 6%	
10+000	C-45	M-2	<b>09+150</b>	<b>10+950</b>
12+000	C-41	M-2	No aplica CBR > 6%	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

## 5.2 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE CANTERAS

Los materiales de préstamo que se usaron en la ejecución de la carretera Chuquibambilla – Macarí provienen principalmente de tres canteras que se ubican a lo

largo de la carretera, Cantera Río Macarí, Cantera Selqui y cantera Cerro Macarí, estas fueron evaluadas geológica y mecánicamente previamente para su aprobación final de uso, ver tabla 37. En caso se llegará a usar otra cantera para el proceso constructivo (adicional a las que mencionamos), esta deberá ser evaluada y validada que cumpla todas las especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC de acuerdo al uso que le daremos.

**Tabla 37**

*Canteras correspondientes a la ruta 17.*

RUTA	DESCRIPCIÓN	RUTA NACIONAL	CANTERA	ORIGEN	ESTE (X)	NORTE (Y)	PROGRESIVA (KM)
RUTA 17	Em. PE-3S (Chuquibambilla) - Macarí - L.D. Cusco (CU-125 de Héctor Tejada).	PE-3SS	CANTERA RIO MACARÍ	RIO	296138	8371554	18+480
			CANTERA SELQUI	SUELO-TALUD	296098	8771542	19+540
			CANTERA CERRO MACARÍ	ROCA ALTERADA	296256	8366248	20+720

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Cabe indicar que las muestras representativas fueron extraídas en cantidad suficiente (mínimo 150 kg), de tal manera que se pueda efectuar ensayos de verificación con las contra muestras, si fuera necesario. A continuación, se presenta las canteras a utilizarse, detallando la ubicación de cada cantera, así como el número de muestras que se tomó de cada una con su respectiva profundidad.

## 5.2.1 Descripción geotécnica de calicatas/trincheras

### 5.2.1.1 Cantera Rio Macarí

#### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA RÍO MACARÍ Km. 20+720	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: CA - 1	<b>COORDENADA ESTE:</b>	294401.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE RÍO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8366141.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 1.50		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	M-1	GW A-1-a (0)	Constituido por Grava bien gradada con arena, redondeada y sub redondeada, con presencia de arena y piedra con un tamaño máximo de 6"; contiene 69.4% de grava, 26.1% de arena y 4.5% de finos (L. L=18.0, L. P=N.P e I. P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color plomo, en estado suelto, consistencia dura y resistente a la abrasión. Sin cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 5 cm, con un 10% de bolones; según la identificación e inspección visual en campo.	GW	A-1-a (0)	
1.50						

#### OBSERVACIONES

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA RÍO MACARÍ Km. 20+720	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: CA - 2	<b>COORDENADA ESTE:</b>	294514.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE RÍO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8366172.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 1.50		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	M-2	GW A-1-a (0)	Constituido por Grava bien gradada con arena, redondeada y subredondeada, con presencia de arena y piedra con un tamaño máximo de 6"; contiene 68.7% de grava, 27% de arena y 4.3% de finos (L. L=19.0, L. P=N.P e I. P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color plomo, en estado suelto, consistencia dura y resistente a la abrasión. Sin cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 5 cm, con un 10% de bolones; según la identificación e inspección visual en campo	GW	A-1-a (0)	
1.50						

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA RÍO MACARÍ Km. 20+720	<b>LADO:</b>	IZQ.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: CA - 3	<b>COORDENADA ESTE:</b>	294600.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE RÍO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8366230.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 1.50		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	M-3	GP A-1-a (0)	Constituido por Grava pobremente gradada con arena, redondeada y sub redondeada, con presencia de arena y piedra con un tamaño máximo de 6"; contiene 54.5% de grava, 42.6% de arena y 2.9% de finos (L. L=20.0, L. P=N.P e I. P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color plomo, en estado suelto, consistencia dura y resistente a la abrasión. Sin cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 5 cm, con un 10% de bolones; según la identificación e inspección visual en campo	GP	A-1-a (0)	
1.50						

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo



### 5.2.1.2 Cantera Selqui

#### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA SELQUI Km. 20+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: Talud - 1	<b>COORDENADA ESTE:</b>	296100.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE CERRO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8371498.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 5.00		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	T-1	GP-GC A-2-6 (0)	Constituido por "Bolonerías", en un volumen total de 50%; de 12"-6" (15%), de 6"-4" (10%) y de 4"-2" (20%); de angulosidad "Sub angular". El material restante representa un volumen de 60% y conformado por una "Grava pobremente gradada con arcilla y arena" la cual clasifica en el sistema SUCS como "GP-GC" y en el ASSHTO como "A-2-6 (0)"; presenta un L.L.=30, un I.P.=13, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón", una compacidad "Suelta" y una cementación "Débil". El material está compuesto por material fino pasante la malla N°200 (7%), arena de gruesa a fina (17%) y grava de gruesa a fina (76%) de tamaño máximo 2" y una angulosidad "Sub angular".	GP-GC	A-2-6 (0)	
5.00						

#### OBSERVACIONES

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA SELQUI Km. 20+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: Talud - 2	<b>COORDENADA ESTE:</b>	296138.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE CERRO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8371554.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 10.00		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	T-2	GC A-2-6 (1)	Constituido por "Bolonerías", en un volumen total de 20%; de 12"-6" (0%), de 6"-4" (15%) y de 4"-2" (5%); de angulosidad "Sub angular". El material restante representa un volumen de 80% y conformado por una "Grava arcillosa" la cual clasifica en el sistema SUCS como "GC" y en el ASSHTO como "A-2-6 (1)"; presenta un L.L.=38, un I.P.=17, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Beige", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil". El material está compuesto por material fino pasante la malla N°200 (24%), arena de gruesa a fina (14%) y grava predominantemente gruesa (62%) de tamaño máximo 2" y una angulosidad "Sub angular".	GC	A-2-6 (1)	T - 2
10.00						

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA SELQUI Km. 20+000	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: Talud - 3	<b>COORDENADA ESTE:</b>	296120.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE CERRO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8371562.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 10.00		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	T-3	GC A-2-6 (0)	Constituido por "Bolonerías", en un volumen total de 25%; de 12"-6" (0%), de 6"-4" (10%) y de 4"-2" (15%); de angulosidad "Sub angular". El material restante representa un volumen de 65% y conformado por una "Grava arcillosa con arena" la cual clasifica en el sistema SUCS como "GC" y en el ASSHTO como "A-2-6 (0)"; presenta un L.L.=30, un I.P.=13, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil". El material está compuesto por material fino pasante la malla N°200 (23%), arena de gruesa a fina (26%) y grava predominantemente gruesa (51%) de tamaño máximo 2" y una angulosidad "Sub angular".	GC	A-2-6 (0)	T - 3
10.00						

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



### 5.2.1.3 Cantera Cerro Macarí

#### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA CERRO MACARÍ Km. 18+480	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: Talud - 1	<b>COORDENADA ESTE:</b>	296275.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE CERRO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8366340.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 4.00		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	T-1	GM A-1-b (0)	Constituido por Grava limosa, angular y subangular, con presencia limo con arena y piedra con un tamaño máximo de 12"; contiene 51.8% de grava, 22.9% de arena y 25.3% de finos (L. L=18.0, L. P=N.P e I. P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color marrón, en estado semi-compacto, consistencia semi dura y baja resistente a la abrasión. con cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 15 cm, con un 10% de bolones y bloques un 10%; según la identificación e inspección visual en campo.	GM	A-1-b (0)	T - 1
4.00						

#### OBSERVACIONES

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA CERRO MACARÍ Km. 18+480	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: Talud - 2	<b>COORDENADA ESTE:</b>	296249.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE CERRO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8366314.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 4.10		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	T-2	GM A-1-b (0)	Constituido por Grava limosa, angular y subangular, con presencia limo con arena y piedra con un tamaño máximo de 12"; contiene 43.8% de grava, 31.5% de arena y 24.7% de finos (L. L=18.0, L. P=N.P e I. P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color marrón, en estado semicompacto, consistencia semi dura y baja resistente a la abrasión. con cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 15 cm, con un 10% de bolones y bloques un 10%; según la identificación e inspección visual en campo.	GM	A-1-b (0)	
4.10						

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: RUTA 017 - PE-3SS: EMP. PE - 3S (Chuquibambilla) – Macarí.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: CANTERA CERRO MACARÍ Km. 18+480	<b>LADO:</b>	DER.
<b>CALICATA / TRINCHERA</b>	: Talud - 3	<b>COORDENADA ESTE:</b>	296203.0
<b>MATERIAL</b>	: MATERIAL DE CERRO	<b>COORDENADA NORTE:</b>	8366293.0
<b>PROFUND. Y/O ALTURA</b>	: 0.00 – 3.50		

ALTURA (m)	MUESTRA	TIPO	DESCRIPCION DEL ESTRATO	SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	T-3	GP-GM A-1-a (0)	Constituido por Grava pobremente gradada con limo y arena, angular y subangular, con presencia limo con arena y piedra con un tamaño máximo de 12"; contiene 64.6.8% de grava, 28.5% de arena y 6.9% de finos (L. L=19.0, L. P=N.P e I. P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color marrón, en estado semi-compacto, consistencia semi dura y baja resistente a la abrasión. con cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 15 cm, con un 10% de bolones y bloques un 10%; según la identificación e inspección visual en campo	GP-GM	A-1-a (0)	
3.50						

**OBSERVACIONES**

TIPO DE MUESTRA:

MAB: muestra alterada en bolsa

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo



## 5.2.2 Resultados de laboratorio

**Tabla 38**

*Resultados de laboratorio de canteras.*

CANTERA	PROG (Km)	CALICATA	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA									LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN		
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 100	No. 200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
RIO MACARI	18+480	C-1	0.00 - 1.50	Izq.	96.68	86.40	77.53	67.21	49.22	30.54	17.77	9.18	6.20	4.49	18.00	NP	NP	A-1-a (0)	GW
RIO MACARI	18+480	C-2	0.00 - 1.50	Izq.	96.64	87.94	79.03	67.50	49.98	31.30	18.30	9.73	6.13	4.31	19.00	NP	NP	A-1-a (0)	GW
RIO MACARI	18+480	C-3	0.00 - 1.50	Izq.	97.32	89.14	78.24	71.09	56.28	45.50	33.79	11.24	4.27	2.87	20.00	NP	NP	A-1-a (0)	GP
SELQUI	19+540	C-1	0.00 - 5.00	Der.	100.00	-	70.00	64.00	38.00	24.00	16.00	10.00	8.00	7.00	30.20	17.00	13.00	A-2-6 (0)	GP-GC
SELQUI	19+540	C-2	0.00 - 10.00	Der.	100.00	-	74.00	65.00	48.00	38.00	33.00	27.00	25.00	24.00	38.00	21.00	17.00	A-2-6 (1)	GC
SELQUI	19+540	C-3	0.00 - 10.00	Der.	100.00	-	89.00	83.00	64.00	49.00	40.00	30.00	25.00	23.00	30.00	17.00	13.00	A-2-6 (0)	GC
C. MACARI	20+720	C-1	0.00 - 4.00	Der.	98.02	94.68	85.99	78.42	63.24	48.26	39.55	31.31	28.43	25.31	18.00	NP	NP	A-1-b (0)	GM
C. MACARI	20+720	C-2	0.00 - 4.10	Der.	100.00	97.48	88.74	79.34	65.39	56.22	48.56	39.02	34.21	24.72	18.00	NP	NP	A-1-b (0)	GM
C. MACARI	20+720	C-3	0.00 - 3.50	Der.	98.92	90.38	81.63	71.66	53.89	35.44	20.67	10.99	8.42	6.91	19.00	NP	NP	A-1-a (0)	GP - GM

CANTERA	PROG (Km)	CALICATA	PROF. (m)	LADO	HLN(%)	MAXIMA DENS. SECA (gr/cc)	HUMED. ÓPTIMO (%)	CBR		ABRASIÓN	DURABILIDAD		Contenido de Sulfatos Fino	SALES SOLUBLES	
								95%	100%		GRUESO	FINO		GRUESO	FINO
RIO MACARI	18+480	C-1	0.00 - 1.50	Izq.	4.56	2.17	7.44	48.01	69.61	30.14	8.54	9.09	0.00	0.03	0.02
RIO MACARI	18+480	C-2	0.00 - 1.50	Izq.	5.69	2.19	7.34	44.43	67.31	29.01	8.04	9.34	0.00	0.03	0.02
RIO MACARI	18+480	C-3	0.00 - 1.50	Izq.	5.15	2.18	7.50	45.30	64.77	31.28	7.70	8.21	0.00	0.04	0.02
SELQUI	19+540	C-1	0.00 - 5.00	Der.	3.12	1.99	9.20	42.60	65.24	31.79	4.80	11.80	0.04	0.04	0.02
SELQUI	19+540	C-2	0.00 - 10.00	Der.	10.88	1.99	9.00	45.81	68.49	33.21	4.70	7.70	0.03	0.03	0.03
SELQUI	19+540	C-3	0.00 - 10.00	Der.	7.39	1.99	9.10	42.65	62.80	35.89	5.10	9.70	0.04	0.03	0.02
C. MACARI	20+720	C-1	0.00 - 4.00	Der.	3.70	2.15	6.24	34.77	54.18	51.14	16.20	18.38	0.01	0.05	0.03
C. MACARI	20+720	C-2	0.00 - 4.10	Der.	5.20	2.15	6.24	32.15	60.04	52.28	15.98	18.79	0.01	0.06	0.03
C. MACARI	20+720	C-3	0.00 - 3.50	Der.	4.10	2.15	6.24	36.30	58.30	52.90	16.92	18.80	0.01	0.05	0.04

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Los ensayos de laboratorio se realizaron según el uso que se pretende dar a la cantera, para nuestro caso buscamos un material para ser usado como terraplén.

**Tabla 39**

*Medidas de dispersión para canteras en la R-17.*

CANTERA	PROG (Km)	CALICATA	PROF. (m)	CLASIFICACIÓN		MAX. DENS. SECA (gr/cc)	HUMED. ÓPTIMO (%)	CBR	
				AASHTO	SUCS			95%	100%
R. MACARÍ	18+480	C-1	0.00 - 1.50	A-1-a (0)	GW	2.17	7.44	48.01	69.61
R. MACARÍ	18+480	C-2	0.00 - 1.50	A-1-a (0)	GW	2.19	7.34	44.43	67.31
R. MACARÍ	18+480	C-3	0.00 - 1.50	A-1-a (0)	GP	2.18	7.50	45.30	64.77
SELQUI	19+540	C-1	0.00 - 5.00	A-2-6 (0)	GP-GC	1.99	9.20	42.60	65.24
SELQUI	19+540	C-2	0.00 - 10.00	A-2-6 (1)	GC	1.99	9.00	45.81	68.49
SELQUI	19+540	C-3	0.00 - 10.00	A-2-6 (0)	GC	1.99	9.10	42.65	62.80
C. MACARÍ	20+720	C-1	0.00 - 4.00	A-1-b (0)	GM	2.15	6.24	34.77	54.18
C. MACARÍ	20+720	C-2	0.00 - 4.10	A-1-b (0)	GM	2.15	6.24	32.15	60.04
C. MACARÍ	20+720	C-3	0.00 - 3.50	A-1-a (0)	GP - GM	2.15	6.24	36.30	58.30

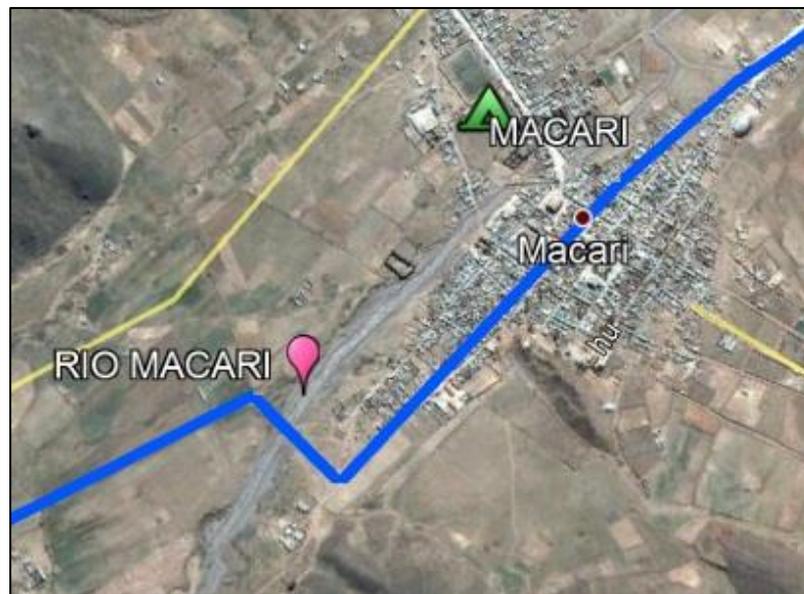
Número de datos	-	-	9	9	9	9
Suma	-	-	19.0	68.3	372.0	570.7
Xp (Promedio)	-	-	<b>2.1</b>	<b>7.6</b>	<b>41.3</b>	<b>63.4</b>
MIN	-	-	2.0	6.2	32.2	54.2
MAX	-	-	2.2	9.2	48.0	69.6
DESV. ESTANDAR	-	-	0.09	1.25	5.54	5.09
VARIANZA	-	-	0.0	1.6	30.7	26.0
COEF. DE VARIACIÓN	-	-	4.2	16.4	13.4	8.0

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Es importante aclarar que de todos los datos de laboratorio que obtuvimos el parámetro más importante que usaremos es el valor del CBR (Valor de soporte) a 0.1” y al 95% de la Máxima Densidad Seca para el cálculo del módulo resiliente  $M_r$  y número estructural SN del material de mejoramiento y con este dato hallar los espesores en cada tramo. Para nuestro caso el CBR promedio de las tres canteras es 41.3% según la tabla 39 adjunta por lo que usaremos un valor de CBR = 40% para el material de préstamo a usarse.

### 5.2.2.1 Cantera Rio Macarí

La cantera se ubica a 0.74 km del distrito de Macarí provincia de Melgar, departamento de Puno. En el kilómetro 18+480, con un acceso de trocha existente en el lado derecho en buen estado de 0.2 kilómetros (ver figura 28).



**Figura 28** Ubicación de cantera rio Macarí.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la cantera se realizaron 03 calicatas/trincheras de 1.50 metros de profundidad cada una, el material de cantera Río Macarí está constituido por Grava bien gradada con arena, redondeada y sub

redondeada, con presencia de arena y piedra la cual clasifica en el sistema SUCS como GW en la parte baja y GP en la parte alta, con un tamaño máximo de 6"; contiene 69.4% de grava, 26.1% de arena y 4.5% de finos (L.L=18.0, L.P=N.P e I.P=N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color plomo, en estado suelto, consistencia dura y resistente a la abrasión. Sin cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 5 cm, con un 10% de bolones; según la identificación e inspección visual en campo se ha realizado una ficha de cantera donde se describe la ubicación, la progresiva, el acceso, la litología, longitud, área de explotación, volumen, época de explotación, forma de explotación, características de la cantera y posibles usos. (ver tabla 40).

**Tabla 40**  
*Ficha de cantera río Macarí.*

<b>RUTA:</b>	<i>Ruta N.º 17: Em. PE-3S (Chuquibambilla) - Macarí - L.D. Cusco (CU-125 de Héctor Tejada).</i>	
<b>CANTERA:</b>	CANTERA RIO MACARI	
<b>PROGRESIVAS DE TRAZO DEFINITIVO (KM)</b>	18+480	
<b>PROPIETARIO:</b>	Salvador Mamani (Padre) Leonardo Mamani Tacurí (Hijo representante)	
<b>UBICACIÓN:</b>	SE UBICA A 0.74 KM DEL DISTRITO DE MACARI DE LA PROVINCIA DE MELGAR, DEPARTAMENTO DE PUNO.	
<b>ACCESO:</b>	LADO DERECHO, TROCHA EXISTENTE EN BUEN ESTADO DE 0.2 KILOMETROS.	
<b>TIPO:</b>	RIO	
<b>USOS</b>	TERRAPLEN, OTTA SEAL, SC: SUELO CEMENTO, MATERIAL DE CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND.	
<b>POTENCIA BRUTA:</b>	31,365.08	
<b>POTENCIA UTILIZABLE:</b>	28,902.92	
<b>POTENCIA DESECHABLE:</b>	3,907.30	
<b>AREA M2:</b>	10,000.00	
<b>RENDIMIENTO:</b>	T: TERRAPLEN.....95% SC: SUELO CEMENTO.....95% OTTA SEAL.....95% MCCP: MATERIAL DE CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND.....80%	
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>USOS/REDIMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
	T: TERRAPLEN.....95% SC: SUELO CEMENTO.....95% OTTA SEAL.....95% MCCP: MATERIAL DE CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND.....80%	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO ZARANDEO, TRITURACION SEGÚN LO REQUERIDO. ZARANDEO, TRITURACION Y/O LAVADO SEGÚN LO REQUERIDO.
<b>PERIODO DE USO</b>	EPOCA DE ESTIAJE	
<b>TIPO DE EXPLOTACION</b>	CONVENCIONAL	

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

La cantera Rio Macarí se encuentra sobre depósitos aluviales, presenta una granulometría con 35.8% de muestra que pasa la malla N°4, así mismo presenta una humedad promedio de 5.1%, con una MDS de 2.18 gr/cc, una humedad optima de 7.4%, abrasión los Ángeles de 30% y un CBR de 45.9%, ver tabla 41.

**Tabla 41**

*Medidas de dispersión para cantera rio Macarí.*

RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO CANTERA RÍO MACARÍ RUTA 17 PE-3SS																					
CANTERA	PROG (Km)	N°	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA			LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN		H.N(%)	MAXI MA DENS. SECA (gr/cc)	HUMED. ÓPTI		CBR		ABRASIÓN	DURABILIDAD	
					N° 4	N° 200	N° 40	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS			95%	100%	GRUESO	FINO			
RIO MACARI	18+480	C-1	0.00 - 1.50	Izq	96.6	30.54	4.49	18.00	NP	NP	A-1-a (0)	GW	4.56	2.17	7.44	48.01	69.61	30.14	8.54	9.09	
RIO MACARI	18+480	C-2	0.00 - 1.50	Izq	96.6	31.30	4.31	19.00	NP	NP	A-1-a (0)	GW	5.69	2.19	7.34	44.43	67.31	29.01	8.04	9.34	
RIO MACARI	18+480	C-3	0.00 - 1.50	Izq	97.3	45.50	2.87	20.00	NP	NP	A-1-a (0)	GP	5.15	2.18	7.50	45.30	64.77	31.28	7.70	8.21	
<b>Numero de datos</b>					3	3	3	-	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Suma</b>					290.6	107.3	11.7	-	-	-	-	-	15.4	6.5	22.3	137.7	201.7	90.4	24.3	26.6	
<b>Xp (Promedio)</b>					<b>96.9</b>	<b>35.8</b>	<b>3.9</b>	-	-	-	-	-	<b>5.1</b>	<b>2.2</b>	<b>7.4</b>	<b>45.9</b>	<b>67.2</b>	<b>30.1</b>	<b>8.1</b>	<b>8.9</b>	
<b>MIN</b>					96.6	30.5	2.9	-	-	-	-	-	4.6	2.2	7.3	44.4	64.8	29.0	7.7	8.2	
<b>MAX</b>					97.3	45.5	4.5	-	-	-	-	-	5.7	2.2	7.5	48.0	69.6	31.3	8.5	9.3	
<b>DESV. ESTANDAR</b>					0.38	8.42	0.89	-	-	-	-	-	0.56	0.01	0.08	1.86	2.42	1.13	0.42	0.59	
<b>VARIANZA</b>					0.1	70.9	0.8	-	-	-	-	-	0.3	0.0	0.0	3.5	5.9	1.3	0.2	0.3	
<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>					0.4	23.5	22.8	-	-	-	-	-	11.0	0.4	1.1	4.1	3.6	3.8	5.3	6.7	

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

### 5.2.2.1.1 Evaluación físico y geomecánica

El uso de la Cantera Rio Macarí ha sido verificado y validado considerando el Manual de Especificaciones técnicas para la construcción (EG-2013). En este sentido se presentan cuadros resúmenes de verificación para cada uno de los usos en el proyecto. (ver tablas 42 y 43).

**Tabla 42**

*Evaluación de material para uso de TERRAPLÉN.*

Especificaciones técnicas Generales				RIO MACARÍ		
Normativa	Ensayos	Método de ensayo	Requerimiento <3000 msnm	Requerimiento >3000 msnm	RESULTADO ESTADO NATURAL (%)	Observación
	Índice de Plasticidad			<10	NP	Cumple
Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013)	Granulometría	MTC E 204	-	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3	A-1-a (0)	Cumple
	Desgaste de los Angeles	MTC E 207	-	60% máx.	30.13	Cumple

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** El material de la Cantera Río Macarí, cumple con los requisitos para ser usado como material de terraplén, según las Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013).

**Tabla 43**

*Evaluación de material para uso de base SUELO-CEMENTO.*

Especificaciones técnicas Generales					CANTERA RIO MACARÍ			
Normativa	Ensayos		Norma MTC	Norma NTP	Requerimiento <3000 msnm >3000 msnm	RESULTADO	Observación	
Manual de especificaciones técnicas (MTC 2013)	Durabilidad	Sulfato de Sodio	MTC E 207	NTP 400.016	- 10	-	-	
		Sulfato de Magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	- 15% máx.	<b>8.80%</b>	<b>Cumple</b>	
	Agregado Fino	Índice de Plasticidad	MTC E 111	NTP 339.129	18% máx.	<b>NP</b>	<b>Cumple</b>	
		Limpieza	MTC E 212	NTP 400.015	40% máx.	<b>NP</b>	<b>Cumple</b>	
	Características químicas	Contenido de sulfatos expresado como SO <sub>4</sub> =%		-	NTP 400.042	1.2% máx.	<b>0.0023</b>	<b>Cumple</b>
		Dureza	Desgaste Abrasión los Angeles	MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40% máx.	<b>30.00%</b>	<b>Cumple</b>
	Agregado Grueso	Pérdida en ensayos	Sulfato de Sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12% máx.	-	-
		Durabilidad	de solidez en sulfatos %	MTC E 209	NTP 400.016	18% máx.	<b>8.20%</b>	<b>Cumple</b>

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** El material de la Cantera Río Macarí, Cumple con los requisitos para ser usado en suelo cemento, según las Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013).

#### 5.2.2.1.2 Usos y tratamiento del agregado

Teniendo en cuenta el cuadro de la granulometría global y la evaluación del material por cada uso, se tiene el siguiente resumen: (ver tabla 44).

**Tabla 44**

*Uso y tratamiento de cantera río Macarí.*

Cuadro de los usos y tratamientos de material		
Usos	Tratamiento	Rendimiento (%)
T	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO	95%
SC	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO	95%

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** T: Terraplén

SC: Suelo Cemento

### 5.2.2.2 Cantera Selqui

La cantera se ubica a 6.00 km del centro poblado de Macarí, distrito de Macarí, provincia de Melgar, departamento de Puno. En el kilómetro 19+540, con un acceso de trocha existente en el lado derecho en buen estado de 6.10 km (ver figura 29).



**Figura 29** Ubicación de cantera Selqui.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la cantera se realizaron 03 trincheras/corte de talud de diferentes alturas, la primera de 5.00m las dos restantes de 10.00m, el material encontrado en la cantera Selqui, está compuesto por: "Bolonerías", en un volumen total de 50% con tamaños de partícula de 12"-6" (5%), de 6"-4" (13%) y de 4"-2" (17%); de angulosidad "Sub angular". El material restante representa un volumen de 60% y conformado por una "Grava pobremente gradada con arcilla y arena a grava arcillosa" la cual clasifica en el sistema SUCS como "GP-GC o GC" y en el ASSHTO como "A-2-6 (0)"; presenta un L.L.=30, un I.P.=15, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Beige-Marrón", una compacidad "medianamente suelta" y una cementación "Débil". El

material está compuesto por material fino pasante la malla N°200 (18%), arena de gruesa a fina (17%) y grava de gruesa a fina (65%) de tamaño máximo 2" y una angulosidad "Sub angular". Según la identificación e inspección visual en campo se ha realizado una ficha de cantera donde se describe la ubicación, la progresiva, el acceso, la litología, longitud, área de explotación, volumen, época de explotación, forma de explotación, características de la cantera y posibles usos (ver tabla 45).

**Tabla 45**

*Ficha de cantera Selqui.*

<b>RUTA:</b>	<i>Ruta N.º 17: Em. PE-3S (Chuquibambilla) - Macarí - L.D. Cusco (CU-125 de Héctor Tejada).</i>	
<b>CANTERA:</b>	CANTERA SELQUI	
<b>PROGRESIVAS DE TRAZO DEFINITIVO (KM)</b>	19+540	
<b>PROPIETARIO:</b>	Simón Macedo Morales	
<b>UBICACIÓN:</b>	SE UBICA A 6.00 KM DEL CENTRO POBLADO DE MACARI, DISTRITO DE MACARI, PROVINCIA DE MELGAR, DEPARTAMENTO DE PUNO.	
<b>ACCESO:</b>	LADO DERECHO, TROCHA EXISTENTE EN BUEN ESTADO DE 6.10 KILOMETROS.	
<b>TIPO:</b>	SUELO-TALUD	
<b>USOS</b>	SC: SUELO CEMENTO, TERRAPLEN.	
<b>POTENCIA BRUTA:</b>	28,985.72	
<b>POTENCIA UTILIZABLE:</b>	24,261.05	
<b>POTENCIA DESECHABLE:</b>	5,937.72	
<b>AREA M2:</b>	10,000.00	
<b>RENDIMIENTO:</b>	T: TERRAPLEN.....95% SC: SUELO CEMENTO.....95%	
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>USOS</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
	T: TERRAPLEN.....95% SC: SUELO CEMENTO.....95%	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO
<b>PERIODO DE USO</b>	TODO EL AÑO	
<b>TIPO DE EXPLOTACION</b>	CONVENCIONAL	

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

La cantera Selqui se encuentra dentro de la Formación Ayabacas, presenta una granulometría que está dentro de los límites de la curva granulométrica con 37.00% de material que pasa la malla N°4, así mismo presenta una humedad natural promedio de 7.10%, con una máxima densidad seca de 1.99 gr/cc, una humedad optima de 9.1%, abrasión los Ángeles de 33.60% y un CBR de 43.7% (ver tabla 46).

**Tabla 46.**

*Medidas de dispersión para cantera Selqui.*

RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO CANTERA SELQUI RUTA 17 PE-3SS																				
CANTERA	PROG (Km)	N°	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA			LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		H.N.(%)	MAXIMA DENS. SECA (gr/cc)	HUMED. ÓPTIMO (%)	CBR		DURABILIDAD		
					̄ <sub>4</sub>	No. 4	No. 200	L.L	L.P	I.P	AASHTO	SUCS				95%	100%	ABRASIÓN	A.G.	A.F.
SELQUI	19+540	C-1	0.00 - 5.00	Der.	100	24	7	30.2	17.0	13.0	A-2-6 (0)	GP-GC	3.1	1.99	9.2	42.6	65.2	31.8	4.8	11.8
SELQUI	19+540	C-2	0.00 - 10.00	Der.	100	38	24	38.0	21.0	17.0	A-2-6 (1)	GC	10.9	1.99	9.0	45.8	68.5	33.2	4.7	7.7
SELQUI	19+540	C-3	0.00 - 10.00	Der.	100	49	23	30.0	17.0	13.0	A-2-6 (0)	GC	7.4	1.99	9.1	42.7	62.8	35.9	5.1	9.7
<b>Número de datos</b>					3	3	3	-	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Suma</b>					300.0	111.0	54.0	-	-	-	-	-	21.4	6.0	27.3	131.1	196.5	100.9	14.6	29.2
<b>Xp (Promedio)</b>					<b>100.0</b>	<b>37.0</b>	<b>18.0</b>	-	-	-	-	-	<b>7.1</b>	<b>2.0</b>	<b>9.1</b>	<b>43.7</b>	<b>65.5</b>	<b>33.6</b>	<b>4.9</b>	<b>9.7</b>
<b>MIN</b>					100.0	24.0	7.0	-	-	-	-	-	3.1	2.0	9.0	42.6	62.8	31.8	4.7	7.7
<b>MAX</b>					100.0	49.0	24.0	-	-	-	-	-	10.9	2.0	9.2	45.8	68.5	35.9	5.1	11.8
<b>DESV. ESTANDAR</b>					0.00	12.53	9.54	-	-	-	-	-	3.88	0.00	0.10	1.84	2.85	2.08	0.21	2.05
<b>VARIANZA</b>					0.0	157.0	91.0	-	-	-	-	-	15.1	0.0	0.0	3.4	8.1	4.3	0.0	4.2
<b>COEF. DE VARIACIÓN</b>					0.0	33.9	53.0	-	-	-	-	-	54.5	0.1	1.1	4.2	4.4	6.2	4.3	21.1

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

### 5.2.2.2.1 Evaluación físico y geomecánica

El uso de la Cantera Selqui ha sido verificado y validado considerando el Manual de Especificaciones técnicas para la construcción (EG-2013). En este sentido se presentan cuadros resúmenes de verificación para cada uno de los usos de la cantera en el proyecto.

**Tabla 47**

*Evaluación de material para uso de TERRAPLÉN.*

Normativa	Especificaciones técnicas Generales			CANTERA SELQUI		
	Ensayos	Método de ensayo	Requerimiento		Resultado	
			<3000 msnm	>3000 msnm	Estado Natural (%)	Observación
Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013)	Índice de Plasticidad		<10		14.333	No Cumple
	Granulometría	MTC E 204	-	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3	A-2-6 (1)	Cumple
	Desgaste de los Ángeles	MTC E 207	-	60% máx.	34.07	Cumple

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** El material de la Cantera Selqui cumple con los requisitos para ser usado en Terraplén, según las Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013).

**Tabla 48**

*Evaluación de material para suelo cemento*

Normativa	Ensayos		Especificaciones técnicas Generales		CANTERA SELQUI				
			Norma MTC	Norma NTP	Requerimiento <3000 msnm	>3000 msnm	RESULTADO	Observación	
Manual de especificaciones técnicas (MTC 2013)	Durabilidad	Sulfato de Sodio	MTC E 207	NTP 400.016	-	10	-	-	
		Sulfato de Magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	-	15% máx.	9.73%	Cumple	
	Agregado Fino	Limpieza	Índice de Plasticidad	MTC E 111	NTP 339.129	18% máx.		14.33%	Cumple
			Límite Líquido	MTC E 212	NTP 400.015	40% máx.		NP	Cumple
	Características químicas	Contenido de sulfatos expresado como SO <sub>4</sub> =%		-	NTP 400.042	1.2% máx.		0.008	Cumple
		Dureza	Desgaste Abrasión los Ángeles	MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40% máx.		32.66%	Cumple
	Agregado Grueso	Durabilidad	Pérdida en ensayos de solidez	Sulfato de Sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12% máx.	-	-
			sulfatos % máximo >3000 msnm	Sulfato de Magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	18% máx.		4.86%

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** El material de la Cantera Selqui, cumple con los requisitos para ser usado en suelo cemento, según las Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013), ver tablas 47 y 48.

#### 5.2.2.2 Usos y tratamiento del agregado

Teniendo en cuenta el cuadro de la granulometría global y la evaluación del material por cada uso, se tiene el siguiente cuadro resumen: (ver tabla 49).

**Tabla 49**

*Uso y tratamiento de cantera Selqui.*

Cuadro de los usos y tratamientos de material		
Usos	Tratamiento	Rendimiento (%)
T	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO	95%
SC	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO	95%

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** SC: Suelo Cemento

T: Terraplén

### 5.2.2.3 Cantera Cerro Macarí

La cantera se ubica a 0,5 km del centro poblado de Macarí, distrito de Macarí, provincia de Melgar, departamento de Puno. En el kilómetro 20+720, con un acceso de trocha existente en el lado izquierdo en buen estado de 0.10 kilómetros. (ver figura 30).



**Figura 30** Ubicación de cantera cerro Macarí

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la cantera se realizaron 03 trincheras/corte talud de diferentes alturas, la primera de 4.00m, la segunda de 4.10m y la tercera de 3.50m, el material encontrado en la cantera Cerro Macarí, está constituido por Grava limosa, angular y subangular, con presencia de limo con arena y piedra la cual clasifica en el sistema SUCS como GP-GM, con un tamaño máximo de 12"; contiene 51.8% de grava, 22.9% de arena y 25.3% de finos, (L=18.0, L.P = N.P e I.P = N.P), dilatancia rápida moderada, tenacidad baja; color rojizo a marrón, en estado semi-compacto, consistencia semi dura y baja resistencia a la abrasión con cobertura vegetal, y presenta una limpieza mínima de 15 cm, con un 10% de bolones y bloques un 10%. Según la identificación e inspección visual en campo se realizó la ficha de cantera donde se describe la ubicación, la progresiva, el acceso, área de

explotación, volumen, época de explotación, forma de explotación, características de la cantera y posibles usos (ver tabla 50).

**Tabla 50**

*Ficha de cantera cerro Macarí.*

<b>RUTA:</b>	<i>Ruta N.º 17: Em. PE-3S (Chuquibambilla) - Macarí - L.D. Cusco (CU-125 de Héctor Tejada).</i>	
<b>CANTERA:</b>	CANTERA CERRO MACARI	
<b>PROGRESIVAS DE TRAZO DEFINITIVO (KM)</b>	20+720	
<b>PROPIETARIO:</b>	Municipalidad Distrital de Macarí	
<b>UBICACIÓN:</b>	SE UBICA A 0,5 KM DEL CENTRO POBLADO DE MACARI, DISTRITO DE MACARI, PROVINCIA DE MELGAR, DEPARTAMENTO DE PUNO.	
<b>ACCESO:</b>	LADO IZQUIERDO, TROCHA EXISTENTE EN BUEN ESTADO DE 0.10 KILOMETROS.	
<b>TIPO:</b>	ROCA ALTERADA	
<b>USOS</b>	TERRAPLEN	
<b>POTENCIA BRUTA:</b>	94,135.23	
<b>POTENCIA UTILIZABLE:</b>	75,214.05	
<b>POTENCIA DESECHABLE:</b>	22,681.88	
<b>AREA M2:</b>	10,000.00	
<b>TRATAMIENTO</b>	T: TERRAPLEN.....95%	
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>USOS</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
	T: TERRAPLEN.....95%	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO
<b>PERIODO DE USO</b>	TODO EL AÑO	
<b>TIPO DE EXPLOTACION</b>	CONVENCIONAL	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

La cantera Cerro Macarí se encuentra dentro de la formación Vilquechico, presenta una granulometría que está dentro de los límites de la curva granulométrica con 46.6% de material que pasa la malla N°4, así mismo presenta una humedad natural promedio de 4.3%, con una máxima densidad seca de 2.15 gr/cc, una humedad óptima de 6.24%, abrasión los Ángeles de 52.1% y un CBR de 34.40%, ver tabla 51.

**Tabla 51**

*Medidas de dispersión para cantera cerro Macarí.*

RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO CANTERA CERRO MACARÍ RUTA 17 PE-3SS																			
CANTERA	PROG (Km)	CALICATA	PROF. (m)	LADO	GRANULOMETRÍA % QUE PASA			LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		H.N.(%)	MAXIMA DENS. SECA (gr/cc)	HUMED. ÓPTIMO (%)	CBR		DURABILIDAD	
					̄s	No. 4	No. 200	L.L	L.P	IP	AASHTO	SUCS				ABRASIÓN		A.G.	A.F.
																95%	100%		
C. MACARI 20+720	C-1	0.00 - 4.00	Der.	98.0	48.3	25.3	18.00	NP	NP	A-1-b (0)	GM	3.7	2.15	6.24	34.8	54.2	51.1	16.2	18.4
C. MACARI 20+720	C-2	0.00 - 4.10	Der	100.0	56.2	24.7	18.00	NP	NP	A-1-b (0)	GM	5.2	2.15	6.24	32.2	60.0	52.3	16.0	18.8
C. MACARI 20+720	C-3	0.00 - 3.50	Der.	98.9	35.4	6.9	19.00	NP	NP	A-1-a (0)	GP - GM	4.1	2.15	6.24	36.3	58.3	52.9	16.9	18.8

Numero de datos	3	3	3	-	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3
Suma	296.9	139.9	56.9	-	-	-	-	-	13.0	6.4	18.7	103.2	172.5	156.3	49.1	56.0
Xp (Promedio)	99.0	46.6	19.0	-	-	-	-	-	4.3	2.1	6.2	34.4	57.5	52.1	16.4	18.7
MIN	98.0	35.4	6.9	-	-	-	-	-	3.7	2.1	6.2	32.2	54.2	51.1	16.0	18.4
MAX	100.0	56.2	25.3	-	-	-	-	-	5.2	2.1	6.2	36.3	60.0	52.9	16.9	18.8
DES. ESTANDAR	0.99	10.48	10.46	-	-	-	-	-	0.78	0.00	0.00	2.10	3.01	0.89	0.49	0.24
VARIANZA	1.0	109.9	109.4	-	-	-	-	-	0.6	0.0	0.0	4.4	9.1	0.8	0.2	0.1
COEF. DE VARIACIÓN	1.0	22.5	55.1	-	-	-	-	-	17.9	0.0	0.0	6.1	5.2	1.7	3.0	1.3

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

### 5.2.2.3.1 Evaluación físico y geomecánica

El uso de la Cantera Cerro Macarí han sido verificado y validado considerando el Manual de Especificaciones técnicas para la construcción (EG-2013). En este sentido se presentan cuadros resúmenes de verificación para cada uno de los usos de la cantera en la ejecución del proyecto (ver tabla 52).

**Tabla 52**

*Evaluación de material para uso de TERRAPLÉN.*

Especificaciones técnicas Generales			CERRO MACARÍ			
Normativa	Ensayos	Método de ensayo	Requerimiento		Resultado	Observación
			<3000 msnm	>3000 msnm	Estado Natural (%)	
	Índice de Plasticidad			<10	NP	Cumple
Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013)	Granulometría	MTC E 204	-	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3	A-1-a (0)	Cumple
	Desgaste de los Ángeles	MTC E 207	-	60% máx.	52.10	Cumple

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** El material de la cantera Cerro Macarí cumple con los requisitos para ser usado en Terraplén, según las Especificaciones técnicas Generales para la Construcción (MTC 2013).

### 5.2.2.3.2 Usos y tratamiento del agregado

Teniendo en cuenta el cuadro de la granulometría global y la evaluación del material por cada uso, se tiene el siguiente cuadro resumen: (ver tabla 53).

**Tabla 53**

*Uso y tratamiento de cantera erro Macarí.*

Cuadro de los Usos y Tratamientos de Material		
Usos	Tratamiento	Rendimiento (%)
T	ZARANDEO SEGÚN LO REQUERIDO	95%

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

**Nota:** T: Terraplén

## 5.3 DISEÑO DEL PAVIMENTO

### 5.3.1 Estudio de tráfico

La carretera Chuquibambilla – Macarí se encuentra categorizada como  $T_{P2}$  considerado por la guía AASHTO como caminos de bajo volumen de tránsito debido a que circulan menos de 200 vehículos / día (ver tabla 54).

**Tabla 54**

*Número de repeticiones acumuladas de EE de 8.2 tn.*

TIPOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO ESPRESADOS EN EE
$T_{P0}$	> 75 000 EE
	≤ 150 000EE
$T_{P1}$	> 150 000 EE
	≤ 300 000EE
$T_{P2}$	> 300 000 EE
	≤ 500 000EE
$T_{P3}$	> 500 000 EE
	≤ 750 000EE
$T_{P4}$	> 750 000 EE
	≤ 1 000 000EE

**Fuente:** *Manual MTC, guía AASHTO-93.*

Dentro del informe de diseño de pavimentos según los TdR y PGV de la Ruta 17 se ha contemplado que el período de análisis se realizará para 10 años en una sola etapa, con lo cual se ha determinado que el nivel de tráfico esperado de la vía de estudio corresponde a un ESAL de  $6.15E+05$  (ver tabla 55).

**Tabla 55**

*Ejes equivalentes cuadro resumen de estación E14.*

Año	E14 - Ingreso a Macarí Km. 19+000	
	Emp. PE-3S (Chuquibambilla)	L.D. Cusco (Vinto)
	FCx PLL	FC
2018	3.36E+04	1.96E+04
2019	3.38E+04	1.97E+04
2020	7.01E+04	4.08E+04
2021	1.14E+05	6.63E+04
2022	1.59E+05	9.19E+04
2023	2.06E+05	1.19E+05
2024	2.53E+05	1.46E+05
2025	3.03E+05	1.75E+05
2026	3.55E+05	2.05E+05
2027	4.15E+05	2.40E+05
2028	4.79E+05	2.77E+05
2029	5.46E+05	3.16E+05
2030	6.15E+05	3.57E+05

**Fuente:** *Estudio de Tráfico 2018 Plan de Mejoramiento Ruta 17 CVPro.*

### 5.3.2 Confiabilidad (%R)

**Tabla 56**

*Valores recomendados de %R para una sola etapa de diseño.*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD
Caminos de bajo volumen de tránsito.	$T_{P0}$	75000	150000	65%
	$T_{P1}$	150001	300000	70%
	$T_{P2}$	300001	500000	75%
	$T_{P3}$	500001	750000	80%
	$T_{P4}$	750001	1000000	80%

**Fuente:** *Manual MTC, guía AASHTO-93.*

Como se puede apreciar para una vía con tráfico de tipo  $T_{P2}$  como lo es la carretera Chuquibambilla – Macarí le corresponde un nivel de confiabilidad recomendado de 75%, ver tabla 56.

### 5.3.3 Coeficiente estadístico de desviación estándar normal ( $Z_r$ )

**Tabla 57**

*Valores de  $Z_r$  para una sola etapa de diseño.*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		%R	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL ( $Z_r$ )
Caminos de bajo volumen de tránsito.	$T_{P0}$	75000	150000	65%	-0.385
	$T_{P1}$	150001	300000	70%	-0.524
	$T_{P2}$	300001	500000	75%	-0.674
	$T_{P3}$	500001	750000	80%	-0.842
	$T_{P4}$	750001	1000000	80%	-0.842

**Fuente:** *Manual MTC, guía AASHTO-93.*

Para un nivel de confiabilidad de 75% le corresponde un valor de  $Z_r = -0.674$ .

#### 5.3.4 Desviación estándar combinada ( $S_o$ )

Según recomendación de la guía AASHTO-93 para los diseños de pavimentos flexibles se recomienda el valor de  $S_o = 0.45$ .

#### 5.3.5 Serviciabilidad inicial $P_i$

**Tabla 58**

*Índice de  $P_i$  según rango de tráfico.*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL $P_i$
Caminos de bajo volumen de tránsito.	$T_{P1}$	150001	300000	3.80
	$T_{P2}$	300001	500000	3.80
	$T_{P3}$	500001	750000	3.80
	$T_{P4}$	750001	1000000	3.80

**Fuente:** *Manual MTC, guía AASHTO-93.*

Como se puede apreciar para una vía con tráfico de tipo  $T_{P2}$  como lo es la carretera Chuquibambilla – Macarí le corresponde un Índice de Serviciabilidad inicial de 3.80.

#### 5.3.6 Serviciabilidad final $P_t$

**Tabla 59**

*Índice de  $P_t$  según rango de tráfico.*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL $P_t$
Caminos de bajo volumen de tránsito.	$T_{P1}$	150001	300000	2.00
	$T_{P2}$	300001	500000	2.00
	$T_{P3}$	500001	750000	2.00
	$T_{P4}$	750001	1000000	2.00

**Fuente:** *Manual MTC, guía AASHTO-93.*

Como se puede apreciar en la tabla 59, para una vía con tráfico de tipo  $T_{P2}$  como lo es la carretera Chuquibambilla – Macarí le corresponde un Índice de Serviciabilidad final de 2.00.

### 5.3.7 Módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ )

Para esta investigación se usa la siguiente fórmula:  $M_r$  (PSI) =  $2555 * (CBR)^{0.64}$  Autores: Lister y Powell, 1987 para el TRRL y adoptada por AASHTO 2002.

### 5.3.8 Metodología de cálculo de espesores

Como ya vimos en el marco teórico Capítulo II, los espesores se hallan con

la fórmula: 
$$E = \frac{\Delta SN.}{a_i \times m_i}$$

Siendo:

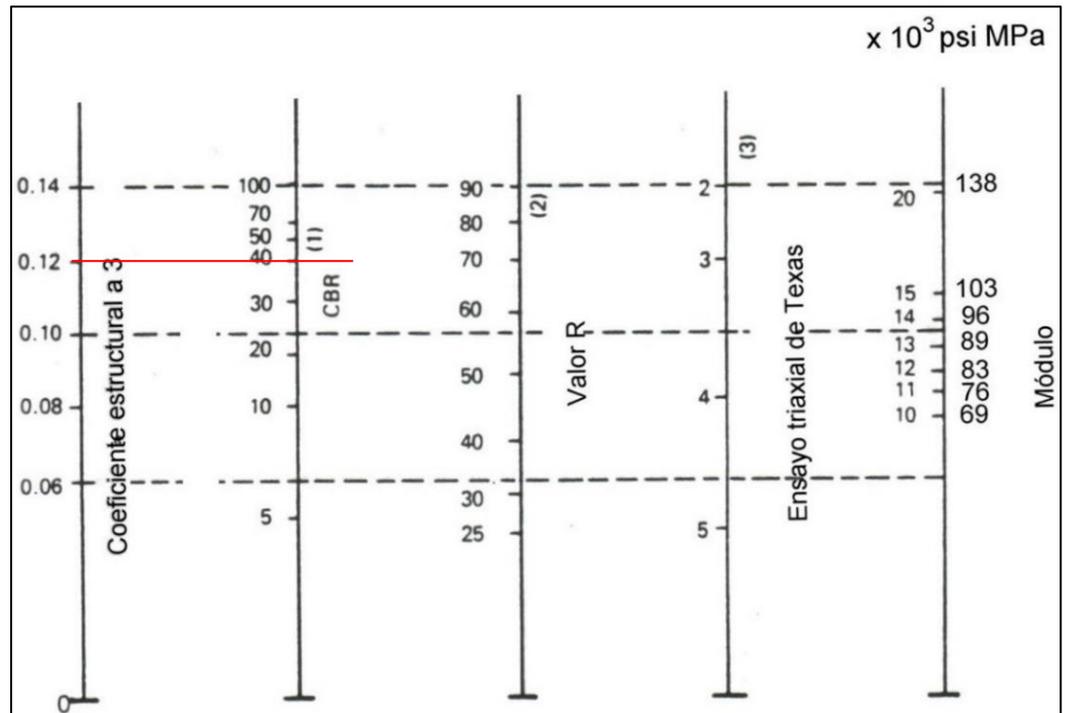
E: Espesor de reemplazo en pulgadas.

$a_i$ : Coeficiente estructural del material a colocar (cantera).

$m_i$ : Coeficiente de drenaje del material a colocar (cantera).

#### 5.3.8.1 Coeficiente estructural ( $a_i$ )

Para nuestro caso usaremos Material de préstamo de la cantera Cerro Macarí y Rio Macarí en la construcción del terraplén, por lo que usaremos un valor de CBR = 40% el cual corresponde a una subrasante excelente. Para hallar el valor del coeficiente estructural hacemos uso del nomograma para una subbase granular, ver figura 31.



**Figura 31** Nomograma para el cálculo de  $a_i$  de subrasante mejorada.

**Fuente:** Manual MTC, guía AASHTO-93.

Como se observa del nomograma anterior para un material granular de CBR = 40% tendrá un equivalente a un coeficiente estructural de  $a_i = 0.12$  “1/plg”, ver figura 31.

### 5.3.8.2 Coeficiente de drenaje (mi)

Para la carretera Chuquibambilla – Macarí se tiene una calidad de drenaje buena, esto se evidencia visualmente en la vía de estudio que el agua evacua de un día para otro.

**Tabla 60**

*Tiempos de drenaje recomendados por AASHTO.*

CALIDAD DE DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

**Fuente:** Manual MTC, guía AASHTO-93.

Los niveles de humedad próximos a la saturación solo se dan en épocas de lluvia y ya vimos en el **Capítulo IV** dentro de aspectos climatológicos de precipitación que los meses principales de lluvia en la zona de estudio son diciembre, enero, febrero, marzo y parte de abril lo cual hace que el pavimento este expuesto más de 4 meses o más del 25% de tiempo respecto al año, por lo tanto, el coeficiente de drenaje que usaremos es de  $m_i = 1.00$ , ver tabla 61.

**Tabla 61**

*Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles.*

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION.			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

**Fuente:** *Manual MTC, guía AASHTO-93.*

### 5.3.9 Cálculo de los espesores de mejoramiento

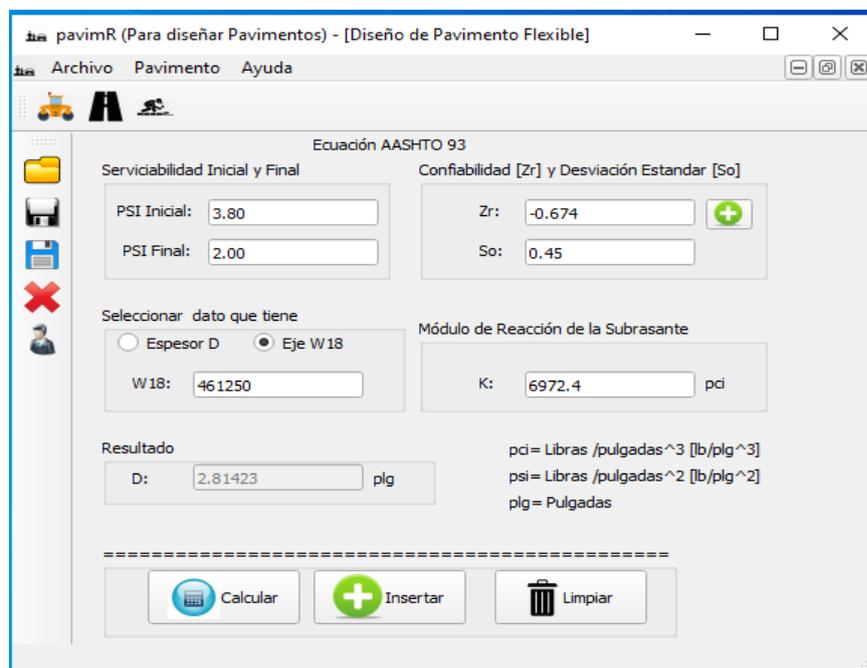
Ya tenemos definido nuestras progresivas de mejoramiento para la carretera Chuquibambilla – Macarí del Km 00+000 al Km13+500, ahora debemos realizar los cálculos de espesores en base a todos los datos de las variables que ya definimos y son:

- **ESAL:** 6.15E+05 o 615000
- **Confiabilidad %R:** 75%, calculamos el ESAL para %R=75%
- $ESAL (75\%) = 615000 * 0.75 = 461250 = 4.61E+05$
- **Coefficiente de Desv. Estand. Zr:** -0.674
- **Desv. Estand. Combinada So:** 0.45
- **Serviciabilidad Inicial Pi:** 3.80 PSI
- **Serviciabilidad final Pt:** 2.00 PSI

- **Índice de Serviciabilidad  $\Delta$ PSI:**  $3.80 - 2.00 = 1.80$  PSI
- **Coefficiente Estructural de subrasante a4:** 0.12
- **Coefficiente de Drenaje m4:** 1.00

**PASO 1:** Calculamos el Módulo Resiliente  $M_r$  de la subrasante y del material de préstamo con la formula  $M_r(\text{PSI}) = 2555 * (\text{CBR})^{0.64}$  para cada progresiva.

**PASO 2:** Calculamos el Número Estructural SN con el software PAVIMR. Colocaremos los datos de entrada para la progresiva 00+000 y luego presionamos el botón calcular obteniendo  $SN=2.814$ , realizamos lo mismo para las demás progresivas.



**Figura 32** Interfaz de software PAVIMR.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Así entonces siguiendo los pasos 1 y 2 obtenemos los siguientes resultados:

**Tabla 62**

Valores de módulo resiliente  $M_r$  y número estructural  $SN$ .

NÚMERO ESTRUCTURAL DE SUBRASANTE INADECUADO										
PROG.	ESAL	TIPO DE TRÁFICO	CBR 95 %	R(%)	Zr	So	Pi	Pt	Mr	SNe
00+000	4.61E+05	TP2	4.8	75%	-0.674	0.45	3.80	2.00	6,972.4	<b>2.814</b>
02+000	4.61E+05	TP2	5.5	75%	-0.674	0.45	3.80	2.00	7,607.2	<b>2.723</b>
04+000	4.61E+05	TP2	5.1	75%	-0.674	0.45	3.80	2.00	7,248.3	<b>2.773</b>
06+000	4.61E+05	TP2	4.7	75%	-0.674	0.45	3.80	2.00	6,879.1	<b>2.828</b>
10+000	4.61E+05	TP2	4.1	75%	-0.674	0.45	3.80	2.00	6,303.4	<b>2.923</b>

NÚMERO ESTRUCTURAL DE MATERIAL DE PRÉSTAMO										
TRAMO	ESAL	TIPO DE TRAFICO	CBR 95 %	R(%)	Zr	So	Pi	Pt	Mr	SNm
-	4.61E+05	TP2	40.0	75%	-0.674	0.45	3.80	2.00	27,083.8	<b>1.660</b>

Fuente: *Elaboración propia.*

**PASO 3:** Calculamos los espesores de mejoramiento con la formula:  $D_4 = \frac{\Delta SN}{ai \cdot mi}$  y redondeamos a valores cercanos por encima del número decimal (ver tablas 63 y 64).

**Tabla 63**

Valores de espesores de mejoramiento obtenidos.

Descripción	00+000	02+000	04+000	06+000	10+000
SN subrasante bueno (SNm)	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
SN subrasante inadecuado (SNe)	2.814	2.723	2.773	2.828	2.923
Diferencial $\Delta SN$ requerido (SNe – SNm)	1.154	1.063	1.113	1.168	1.263
Coefficiente estructural granular (ai)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Coefficiente de drenaje (mi)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mejoramiento granular D4 (Pulg)	9.62	8.86	9.28	9.73	10.53
Mejoramiento granular D4 (cm)	24.43	22.50	23.56	24.72	26.73
Espesor adoptado (cm)	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>30</b>

Fuente: *Elaboración propia.*

Finalmente, las zonas de mejoramiento por adición de capa son:

**Tabla 64**

Cuadro resumen de tramos a mejorar.

Progresiva	Calicata N°	Zonas de mejoramiento				Solución planteada
		Inicio	Fin	Longitud (m)	Espesor (cm)	
00+000	C-65	00+375	00+625	250	25	Elevar la rasante
02+000	C-61	01+750	02+250	500	25	Elevar la rasante
04+000	C-57	03+750	04+250	500	25	Elevar la rasante
06+000	C-53	05+750	06+250	500	25	Elevar la rasante
08+000	C-49	-	-	-	-	No aplica CBR > 6%
10+000	C-45	09+150	10+950	1,800	30	Elevar la rasante
12+000	C-41	-	-	-	-	No aplica CBR > 6%
<b>TOTAL</b>				<b>3550 m</b>		

Fuente: *Elaboración propia.*



## VI. CONCLUSIONES

- La evaluación de las condiciones geológicas de la carretera Chuquibambilla – Macarí, tramo I del Km 00+000 al 13+500 se encuentra sobre la formación Azángaro que está conformada por material no consolidado de limos y areniscas, además por depósitos cuaternarios de origen aluvial y fluvial, ambos conformados por gravas poco consolidadas, polimícticas con forma sub redondeadas en matriz arenosa. La geomorfología de la zona de estudio pertenece a vertientes aluviales con pendientes sub horizontales. La evaluación de las condiciones geotécnicas, demuestran 2 capas a nivel de subrasante: la primera con base granular conformada por suelos gravosos (82.14%) de tipo GP – GC, GC, GP – GM, GM, GC – GM y suelos arenosos (17.86%) de tipo SC – SM, SM, SP – SC según la clasificación SUCS, con valores de capacidad de soporte CBR mayores a 6%, que lo hacen una capa estable; la segunda capa como terreno de fundación está conformada por suelos arenosos (14.29%) de tipo SC, SC – SM y suelos arcillosos (85.71%) de tipo CL, CL – ML de baja plasticidad, según SUCS y valores de capacidad de soporte CBR menores a 6% (km 00, km 02, km 04, km 06 y km 10), requieren ser mejorados con adición de capa de tipo terraplén.
- La caracterización de las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales de préstamo que se usarán en la construcción de la carretera Chuquibambilla – Macarí tramo I tienen las siguientes características: geológicamente la cantera Rio Macarí se encuentra sobre material de depósitos Fluviales conformada por suelos de grava bien gradada con arena redondeada y sub redondeada la cual clasifica en el sistema SUCS como GW-GP y A-1-a (0) en el sistema AASHTO, no presenta I.P, tiene una abrasión los Ángeles de 30% y un CBR de 45.9% el cual puede ser usado como material para terraplén y suelo-cemento. La cantera Selqui geológicamente se encuentra dentro de la formación Ayabacas conformada por suelos de grava pobremente gradada con



arcilla y arena a grava arcillosa la cual clasifica en el sistema SUCS como GP-GC o GC y A-2-6 (0) en el sistema ASSHTO, presenta IP de 15%, tiene abrasión los Ángeles de 33.60% y un CBR de 43.7%, el cual puede ser usado como material para terraplén y suelo-cemento. La cantera Cerro Macarí geológicamente se encuentra dentro de la formación Vilquechico, conformada por suelos de grava limosa, angular y subangular, con presencia de limo con arena hasta bloques, se clasifican según SUCS como GP-GM y en el sistema AASHTO como A-1-a (0), no presenta I.P, tiene una abrasión los Ángeles de 52.1% y un CBR de 34.40% la cual puede ser usada solo como material para terraplén.

- Los espesores calculados para estabilizar la subrasante, según valores del módulo resiliente y número estructural de la evaluación geotécnica para la carretera Chuquibambilla - Macarí, determinaron cinco tramos inestables (km 00+375 al 00+625, km 01+750 al 02+250, 03+750 al 04+250, 05+750 al 06+250), los cuales requieren 25cm de capa terraplén y del km 09+150 al 10+950 requiere 30cm de capa terraplén.



## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar ensayos para la obtención de CBR a cada kilómetro esto con el fin de tener más datos y verificar más a detalle la subrasante ya que es nuestro parámetro principal para calificar la calidad del suelo existente, así mismo se recomienda complementar los estudios de suelos con ensayos de deflectometría con viga Benkelman.
- Se debe tener en cuenta que el material de cantera no es homogéneo por ende suele variar los datos de la Máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (O.C.H), para lo cual se recomienda realizar controles de frecuencia cada  $1000m^3$  o cuando notemos que el material cambia.
- Se recomienda realizar el control de calidad al momento de ejecutar la construcción de la carretera con máquinas de construcción de buena calidad (motoniveladora, rodillo y cisterna de agua) y que cumplan los parámetros establecidos por el MTC, de nada sirve realizar un buen diseño de pavimento flexible si no se cumplen los diseños y procedimientos establecidos para su construcción, también se recomienda un mantenimiento rutinario, preventivo y correctivo durante el periodo de duración a fin de garantizar la permanencia de la vía.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atencio, L. (2019). Evaluación geotécnica de la carretera Calacota - Santa Rosa de Huayllata tramo 6+000 AL 14+000, distrito de Ilave - El Collao - Puno. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13319>
- Cerrón, F., & Chacaltana, C. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayaviri (30-u) escala 1:50000*. INGEMMET, Lima, Perú.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y Cimentaciones / Mechanics of Grounds and Laying of Foundations*. Quinta edición Editorial Limusa. México.
- De La Cruz, N. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Vellile, Yauri, Ayaviri y Azángaro hojas: 30-s, 30-t, 30-u y 30-v. Boletín N°58 Serie A: Carta Geológica Nacional*. INGEMMET, Lima, Perú.
- García, A. (2015). *Diseño de Pavimento Asfáltico por el Método AASHTO-93 Empleando el software DISAASHTO-93*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Garnica, P., Pérez, N., & Gómez, J. (2001). *Módulos de Resiliencia en suelos finos y materiales Granulares. Instituto Mexicano del transporte publicación técnica N°142*. Sanfandila, Qro, México.
- Guillén, C. (2018). *Determinación de los Límites Líquidos y Plásticos de Suelos. (Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales LMSE)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual para el Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. MTC Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Lima, Perú.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras - "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" EG-2013 revisada y corregida a junio del 2013*. Lima, Perú.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: "Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos". Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14*. Lima, Perú.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales Edición mayo del 2016*. Lima, Perú.
- Ochoa, M. (2014). "Estudio Geotécnico de Suelos para Diseñar la Estructura del Pavimento en la Carretera Ticaco - Candarave, Tramo Aricota – Quilahuani (km 146+500 – km 151+500)". (*Tesis de grado*). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2807>
- Ocmin, A., & Ramos, C. (2019). DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL REFUERZO EN LA CARRETERA LIMA – CHOSICA KM 35+535 AL KM 39+500. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2808>
- Pomacosi, W. (2016). Evaluación geotécnica de la carretera Emp. 3s (puno)–Vilque–Mañazo–Emp. 34a (Huataquita). (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4192>
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (2019). *Glosario con los Principales Términos Geológicos y Geomorfológicos*. Valparaíso, Chile.
- Portada, L. (2020). Determinación de la condición geológico – geotécnico de la carretera Ayaviri – Purina tramo Km 00+000 hasta 19+375. (*Tesis de Pregrado*).



- Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13972>
- Quispe, C. (2016). “Evaluación geológica - geotécnica para el proceso constructivo de la avenida Jallihuaya – Puno”. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3798>
- Ramirez, R. (2017). *Software: PavimR V 0.1*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- SENAMHI. (2022). Dirección de Redes de Observación y Datos estación meteorológica de Chuquibambilla. En *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú* . Chuquibambilla, Melgar, Puno.
- Soriano Hoyuelos, M. (2012). *Unidad 4 GEODINÁMICA Tema 9 GEOMORFOLOGÍA APLICADA*. Universidad de A Coruña, España.
- Ugaz, R. (2006). “Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante”. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/3163>
- Ulate, A. (2017). “Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito, empleando productos no tradicionales”. *Boletín Técnico PITRA - LanammeUCR Volumen 8 N°2, Mayo 2017*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/908>



## WEBGRAFÍA

- ✓ <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- ✓ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- ✓ [www.repositorio.unap.pe](http://www.repositorio.unap.pe)
- ✓ © [WeatherSpark.com](http://WeatherSpark.com)

## ANEXOS

### ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO

### ANEXO 2. PLANOS

- ✓ PLANO DE UBICACION RUTA 17 (PE-3SS).
- ✓ PLANO DE UBICACIÓN CALICATAS (Km 00+000 al Km 13+500).
- ✓ PLANO GEOLÓGICO LOCAL.
- ✓ PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL.
- ✓ PERFIL ESTRATIGRÁFICO Km 00+000 AL Km 13+500.
- ✓ PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERAS.
- ✓ SECCIÓN TIPO TERRAPLÉN.
- ✓ TRAMOS DE MEJORAMIENTO EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA  
– MACARÍ.

### ANEXO 3. CERTIFICADOS DE ENSAYOS

- ✓ CERTIFICADOS DE SUBRASANTE.
- ✓ CERTIFICADOS DE CANTERAS.

## ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO



**FOTOGRAFÍAS 1 Y 2:** Proceso de producción de agregado en cantera Cerro Macarí zarandeando material para terraplén.



**FOTOGRAFÍA 3 Y 4:** Proceso de acumulación de agregado en la cantera Río Macarí para terraplén.



**FOTOGRAFÍA 5 Y 6:** Proceso de perfilado sin aporte de material previo a la colocación de la capa de terraplén. A la izquierda, nótese los baches en la plataforma existente que evidencian fallos a nivel de subsuelo.



**FOTOGRAFÍA 7 Y 8:** Proceso de batido de material de terraplén en plataforma del km.01+750 al km 02+250.



**FOTOGRAFÍA 09 Y 10:** A la izquierda se observa el proceso de compactación de terraplén del km 03+750 al 04+250. A la derecha se observa muestreo de material para envió a laboratorio.



**FOTOGRAFÍA 11 Y 12:** Proceso de conformación, perfilado y compactación de la capa terraplén del km. 05+750 al km. 06+250.



**FOTOGRAFÍA 13 Y 14:** Proceso de conformación y compactación de la capa terraplén del km. 09+150 al km. 10+950.



**FOTOGRAFÍA 15 Y 16:** Controles de compactación en capa de terraplén por método cono de arena en el km. 02+000 y km. 04+000 respectivamente, esto se realiza cada 100 metros lineales y para cada capa con una compactación mínima de 95%.

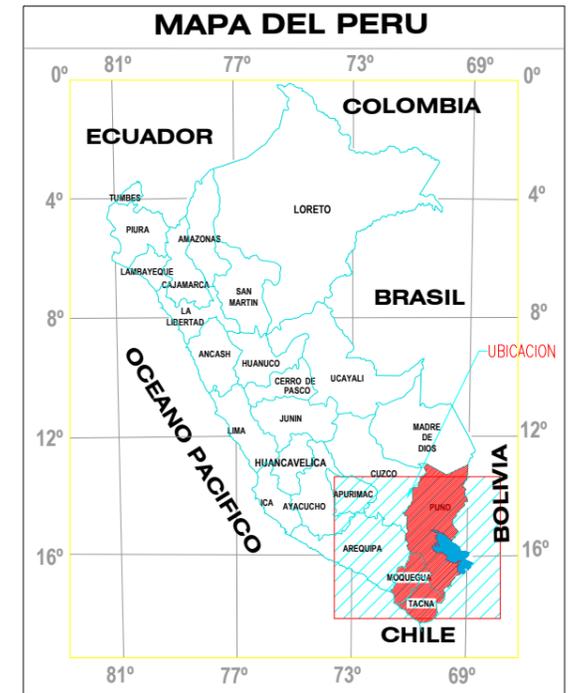


**FOTOGRAFÍA 17:** Verificación de los tramos estabilizados con terraplén por medio de ensayo de viga Benkelman del km. 01+750 al km. 02+250.

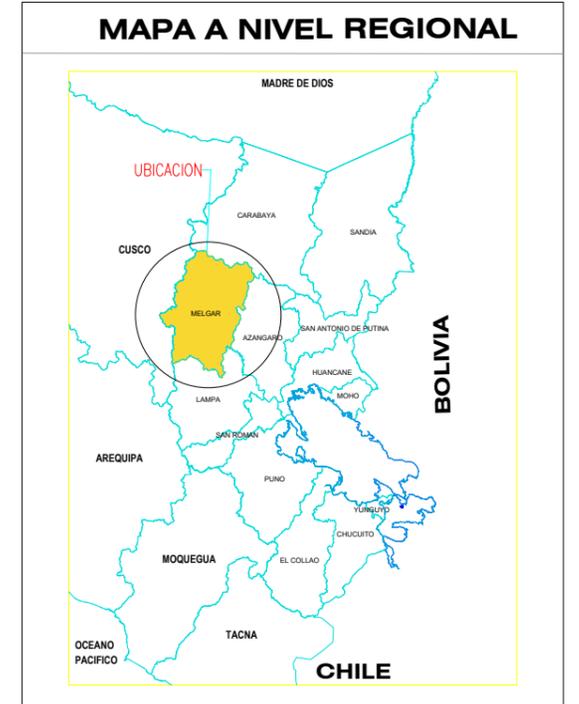
# PLANO DE UBICACION RUTA 17 (PE-3SS)



Ruta	Ruta Nacional	Tramo	PROGRESIVA (km)		Long. (km)	NOMBRE		Coordenadas			
			Inicio	Final		Inicio	Final	Inicio		Final	
17	PE-3SS	T01 Emp. 3S (Chuquibambilla) - Km. 22+000	0+000	22+000	22.000	Emp. 3S (Chuquibambilla)	Km. 22+000	8364270.29	314247.70	8366280.77	293151.65
		T02 Km. 22+000 - L. D. Cusco (Vinto)	22+000	31+858	9.858	Km. 22+000	L. D. Cusco (Vinto)	8366280.77	293151.65	8366467.52	287398.06



LOCALIZACION  
Esc. 1:500000  
0 200 400 600 800 1000Km  
1:500000 ESCALA GRAFICA



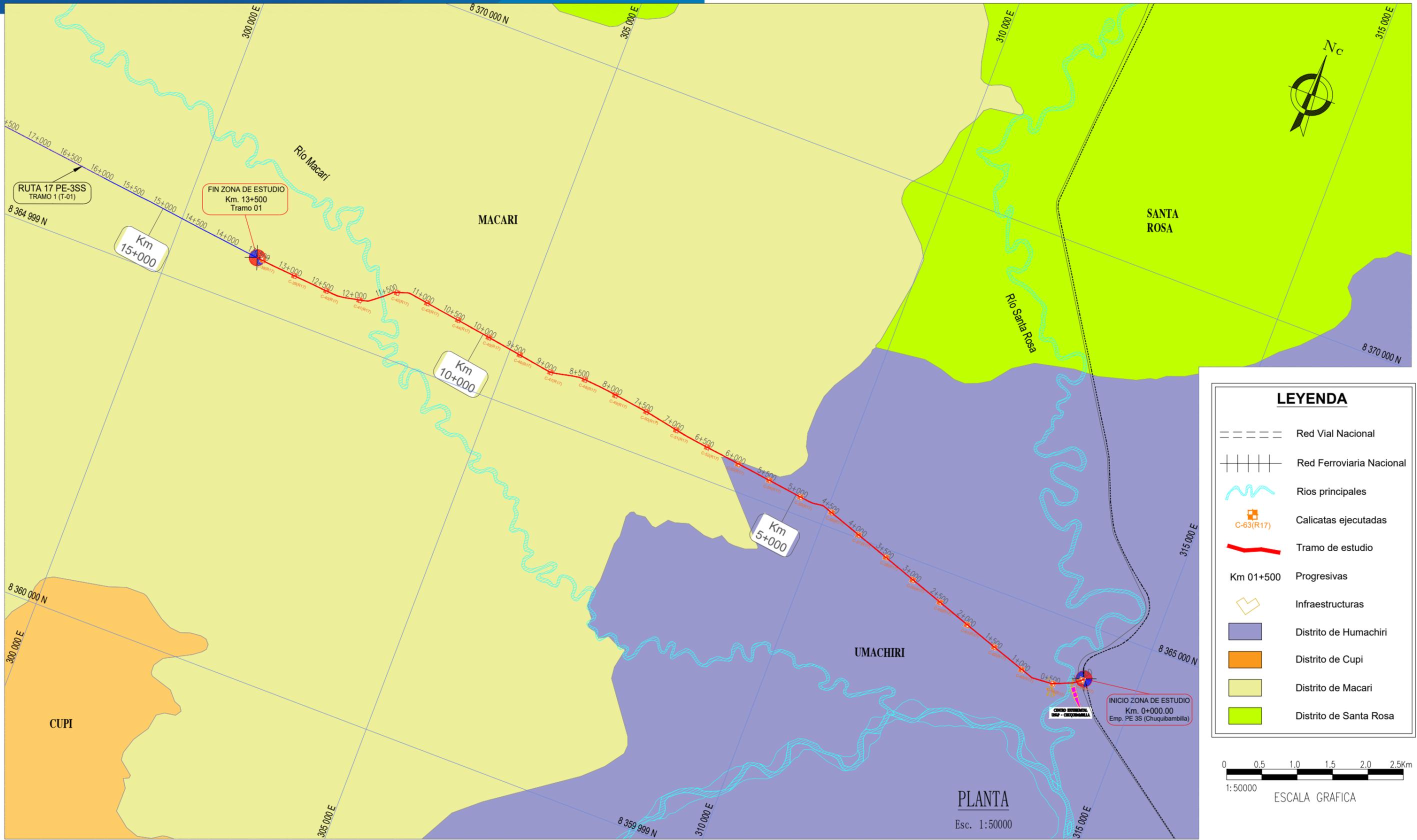
UBICACION  
Esc. 1:500000  
0 20 40 60 80 100m  
1:500000 ESCALA GRAFICA

**LEYENDA**

	Red Vial Nacional
	Red Ferroviaria Nacional
	Drenajes (rios)
	Distritos

PLANTA  
Esc. 1:50000  
0 1 2 3 4 5Km  
1:50000 ESCALA GRAFICA

# PLANO DE UBICACIÓN CALICATAS (Km 00+000 al Km 13+500)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARI (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (km 00+000-13+500).

PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS

ELABORADO POR: Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO

REVISADO POR: M.Sc ROGER GONZALES ALIAGA

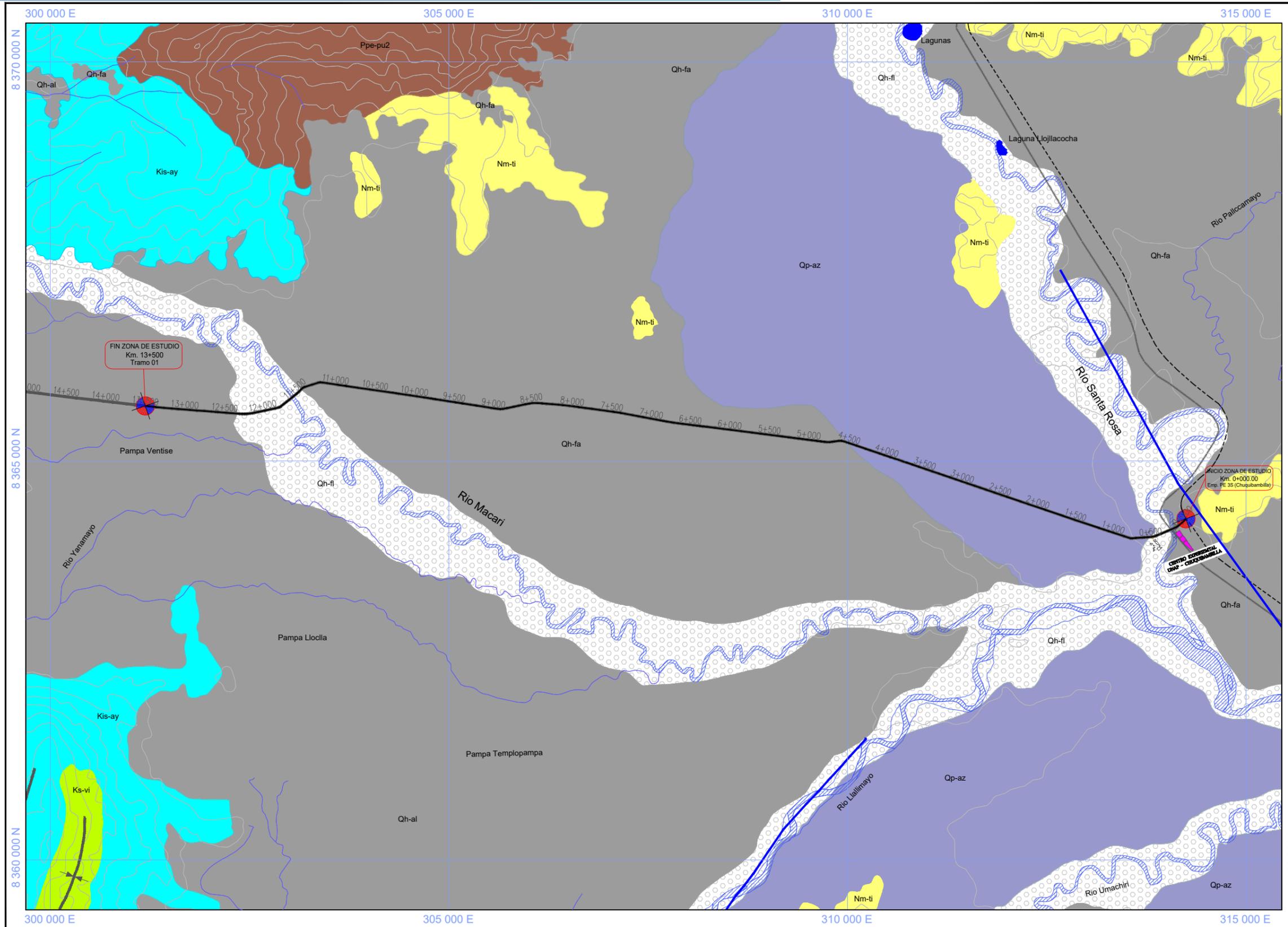
DATUM: WGS-84 19S

FECHA: Octubre 2023

LÁMINA N°

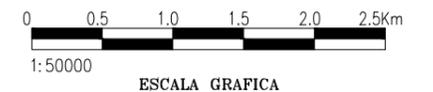
2

ESCALA: 1/50000



**LEYENDA**

- Depósitos Fluviales
- Depósito Fluvioaluvial
- Cuaternario Aluvial
- Formación Azángaro
- Formación Tinajani
- Grupo Puno
- Formación Vilquechico
- Formación Ayavacas
- Lagunas
- Ríos principales
- Ríos
- Curvas de nivel
- Ruta 17 (Zona de estudio)
- Red Vial Nacional
- Red Ferroviaria Nacional
- Sincinal
- Fallas



PLANTA  
Esc. 1:50000



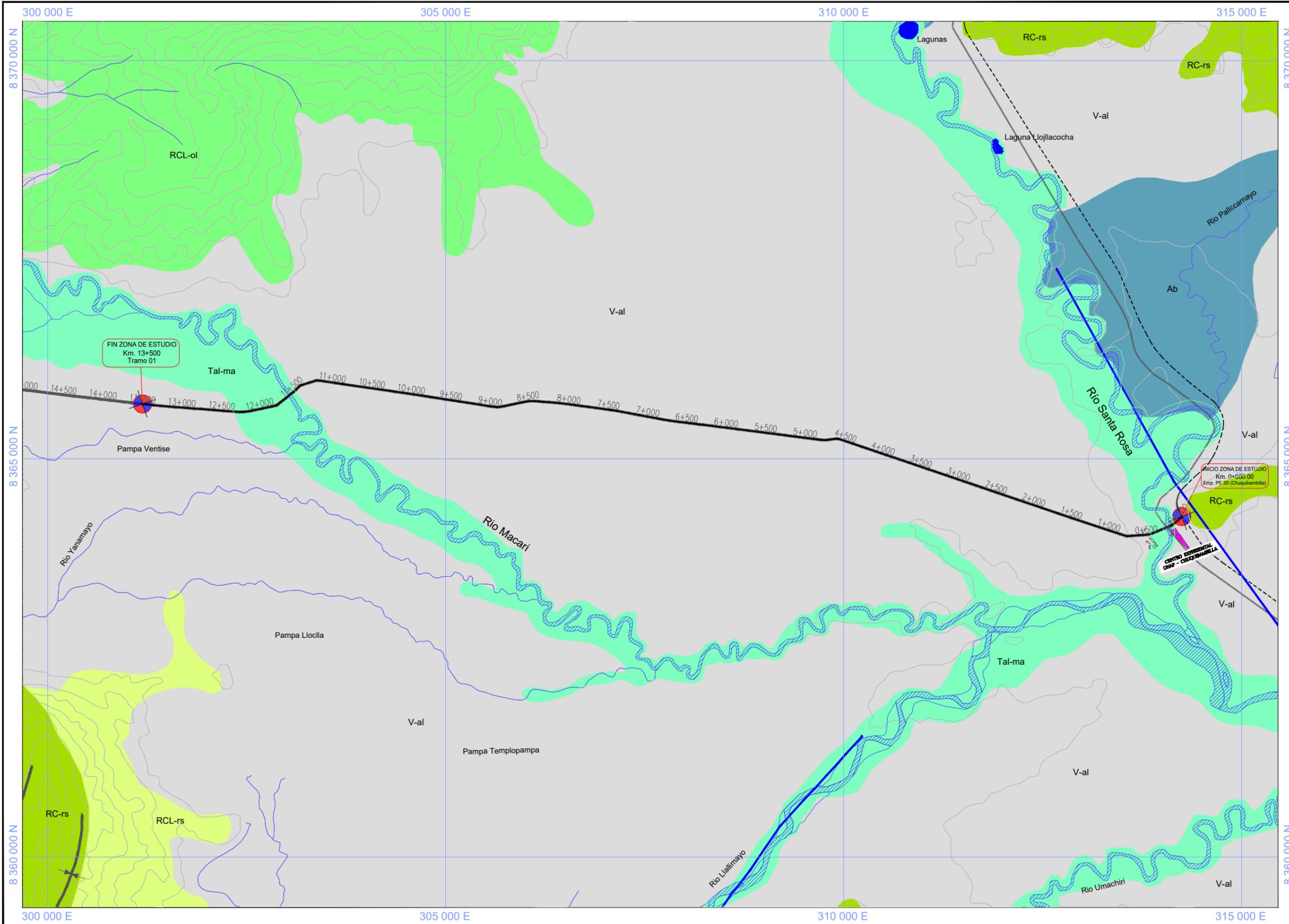
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS  
A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA  
CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARI (RUTA 17 PE-3SS)  
TRAMO I (km 00+000-13+500).

PLANO GEOLÓGICO LOCAL		LÁMINA N°
ELABORADO POR: Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO		3
REVISADO POR: M.Sc. ROGER GONZALES ALIAGA		
DATUM: WGS-84 19S	FECHA: Octubre 2023	ESCALA: 1/50000

# PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL



## UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

GEOFORMA	SUB-UNIDAD MORFOLOGICA
DE CARACTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	<b>RC-rs</b> Colina en roca sedimentaria
	<b>RCL-rs</b> Colina y lomada en roca sedimentaria
	<b>RCL-ol</b> Colina y lomada con olistostroma
DE CARACTER DEPOSICIONAL AGRADACIONAL	<b>Ab</b> Abanico de pie de monte
	<b>V-al</b> Vertiente o piedemonte aluvial
	<b>Tal-ma</b> Terraza Aluvial con meandros abandonados
	<b>Lg</b> Lagunas
	Ríos principales
Ríos	

## LEYENDA

	Vía de Estudio
	Curvas de nivel
	Red Vial Nacional
	Red Ferroviaria Nacional
	Sinclinal
	Fallas



PLANTA  
Esc. 1:50000



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARI (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (km 00+000-13+500).

PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL

ELABORADO POR: Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO

REVISADO POR: M.Sc ROGER GONZALES ALIAGA

DATUM: WGS-84 19S

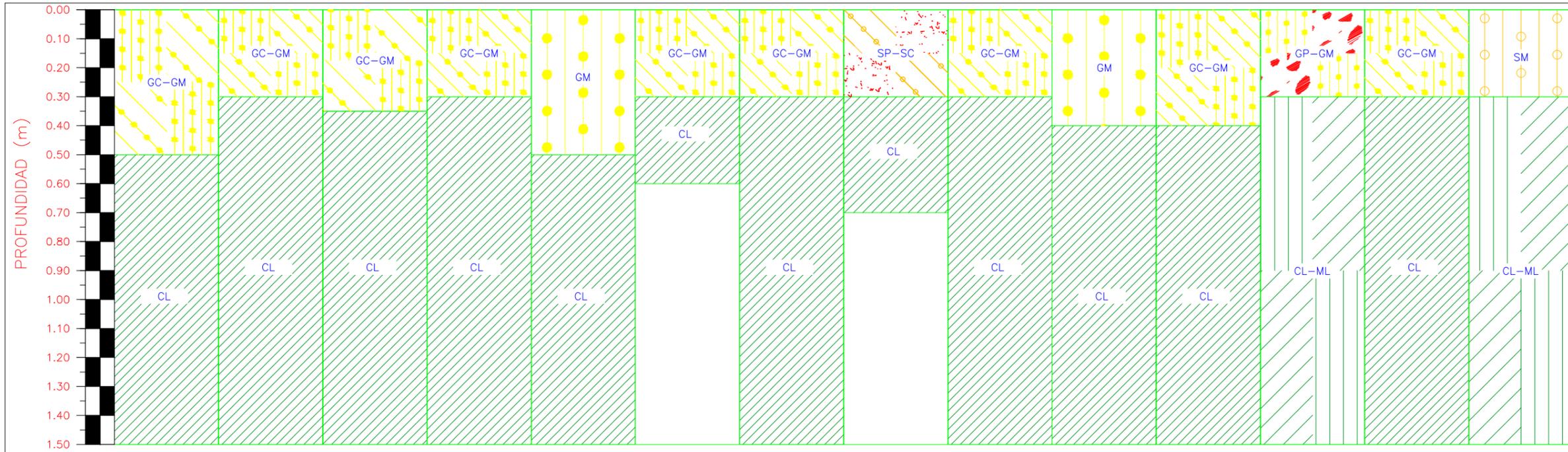
FECHA: Octubre 2023

LÁMINA N°

4

ESCALA: 1/50000

PERFIL ESTRATIGRÁFICO Km 00+000 AL Km 06+500



LEYENDA

- GC: GRAVA ARCILLOSA. GRAVA CON UNA CANTIDAD APRECIABLE DE MATERIAL FINO.
- GM: GRAVA LIMOSA. MEZCLA GRAVA Y ARENA LIMOSA. GRAVA CON POCO O NADA DE MATERIAL FINO. VARIACIÓN EN TAMAÑOS GRANULARES.
- GP: GRAVA MAL GRADUADA. MEZCLA GRAVA Y ARENA CON POCO O NINGUN FINO. VARIACIÓN EN TIPO Y TAMAÑO GRANULAR.
- GW: GRAVA BIEN GRADUADA. MEZCLA DE GRAVA Y ARENA. POCO O NADA DE MATERIAL FINO. VARIACIÓN EN MATERIAL GRANULAR.
- SC: ARENA ARCILLOSA. ARCILLA CON GRAVA. ARENA CON UNA CANTIDAD APRECIABLE DE MATERIAL FINO.
- SM: ARENA LIMOSA. MATERIAL FINO SIN PLASTICIDAD O CON PLASTICIDAD MUY BAJA.
- CL: ARCILLAS INORGÁNICAS DE MEDIA O BAJA PLASTICIDAD. ARCILLAS ARENOSAS, GRAVILLOSAS, LIMOSAS. MATERIAL FLOJO.
- ML: LIMOS ORGÁNICOS Y ARENAS MUY FINAS. POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLOSAS O LIMO ARCILLOSA CON LIGERA PLASTICIDAD.
- SP: ARENA MAL GRADADA CON GRAVA.
- ROCA
- BOLONERIA

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE CALICATAS EJECUTADAS

N° DE CALICATA	C-65	C-64	C-63	C-62	C-61	C-60	C-59	C-58	C-57	C-56	C-55	C-54	C-53	C-52
PROGRESIVA	km 00+000	km 00+500	km 01+000	km 01+500	km 02+000	km 02+500	km 03+000	km 03+500	km 04+000	km 04+500	km 05+000	km 05+500	km 06+000	km 06+500
ESTE	314228	313859	313373	312900	312426	311954	311483	311015	310539	310071	309580	309084	308592	308097
NORTE	8364246	8364053	8364084	8364243	8364400	8364562	8364720	8364886	8365044	8365206	8365253	8365318	8365375	8365443
<b>MUESTRA 1</b>														
PROF.(m)	0.00 - 0.50	0.00 - 0.30	0.00 - 0.35	0.00 - 0.30	0.00 - 0.50	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.40	0.00 - 0.40	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30
N°4	53.4	59.2		59.5	58.1	55.4	56.2	61.7	55.9	56.2	59.9	54.4	58.5	63.4
N°200	15.1	19.8		20.4	18.0	14.6	22.2	11.9	15.4	12.5	20.9	11.4	17.5	13.6
L.L.	23	22		22	22	18	18	17	19	16	20	15	20	15
L.P.	17	18		16	15	14	14	13	14	13	14	NP	15	NP
I.P.	6	4		6	7	4	4	4	5	3	6	NP	5	NP
H. NATURAL(%)	5.5	7.0		17.7	3.5	8.6	4.3	5.6	6.0	5.7	7.0	5.2	5.7	4.3
AASHTO	A-1-a (0)	A-1-b (0)		A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)
SUCS	GC - GM	GC - GM		GC - GM	GC	GC - GM	GC - GM	SP - SC	GC - GM	GM	GC - GM	GP - GM	GC - GM	SM
M.D.S	2.14	--		--	2.17	--	--	--	2.13	--	--	--	2.12	--
O.C.H.	7.48	--		--	8.17	--	--	--	7.87	--	--	--	7.85	--
C.B.R. AL 95%	23.8	--		--	20.2	--	--	--	28.9	--	--	--	26.1	--
C.B.R. 100%	33.9	--		--	29.3	--	--	--	41.1	--	--	--	37.3	--
<b>MUESTRA 2</b>														
PROF.(m)	0.50 - 1.50	0.30 - 1.50	0.35 - 1.50	0.30 - 1.50	0.50 - 1.50	0.30 - 0.60	0.30 - 1.50	0.30 - 0.70	0.30 - 1.50	0.40 - 1.50	0.40 - 1.50	0.30 - 1.50	0.30 - 1.50	0.30 - 1.50
N°4		99.7		97.8	99.8		99.8		99.2	99.2	96.0	95.8	95.8	97.8
N°200		85.7		85.7	85.7		85.7		72.0	72.0	77.0	62.4	64.0	87.8
L.L.		29		29	34		26		31	30	33	20.0	25	23
L.P.		18		19	19		18		20	19	22	16.0	18	18
I.P.		11		10	12		8		11	11	11	4.0	7	5
H. NATURAL(%)		19.7		18.7	17.7		16.8		19.2	17.9	21.4	14.1	18.3	16.9
AASHTO		A-6 (9)		A-4 (9)	A-6 (9)		A-4 (9)		A-6 (9)	A-6 (8)	A-6 (9)	A-4 (6)	A-4 (6)	A-4 (9)
SUCS		CL		CL	CL		CL		CL	CL	CL	CL - ML	CL	CL - ML
M.D.S		--		--	1.77		--		1.80	--	--	--	1.87	--
O.C.H.		--		--	15.49		--		14.78	--	--	--	13.13	--
C.B.R. AL 95%		--		--	5.5		--		5.1	--	--	--	4.7	--
C.B.R. 100%		--		--	9.2		--		8.5	--	--	--	7.4	--



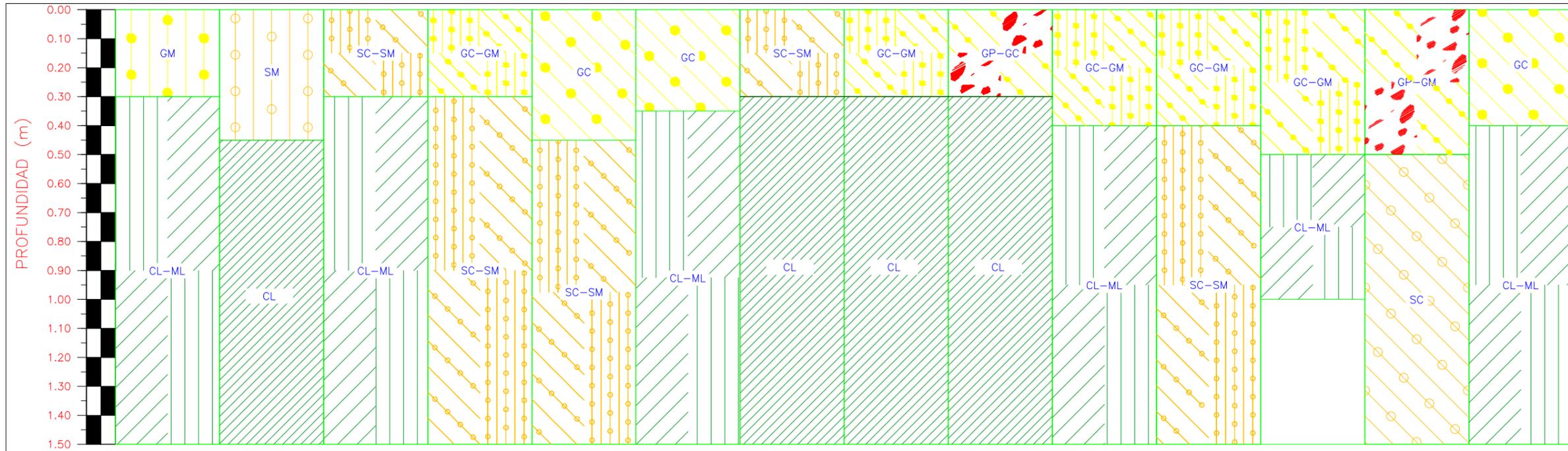
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARI (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (KM 00+000-13+500).

PERFIL ESTRATIGRÁFICO Km 00+000 - Km 06+500 LÁMINA N° 5  
ELABORADO POR: Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO  
REVISADO POR: M.Sc ROGER GONZALES ALIAGA  
DATUM: WGS-84 19S FECHA: Octubre 2023 ESCALA: Indicada

PERFIL ESTRATIGRÁFICO Km 06+500 AL Km 13+500



LEYENDA

- GC**  
GRAVA ARCILLOSA.  
GRAVA CON UNA CANTIDAD  
APRECIABLE DE MATERIAL  
FINO.
- GM**  
GRAVA LIMOSA.  
MEZCLA GRAVA Y ARENA  
LIMOSA. GRAVA CON POCO  
O NADA DE MATERIAL  
FINO. VARIACIÓN EN  
TAMAÑOS GRANULARES.
- GP**  
GRAVA MAL GRADUADA.  
MEZCLA GRAVA Y ARENA  
CON POCO O NINGUN  
FINO. VARIACIÓN EN TIPO  
Y TAMAÑO GRANULAR
- GW**  
GRAVA BIEN GRADUADA.  
MEZCLA DE GRAVA Y  
ARENA. POCO O NADA DE  
MATERIAL FINO. VARIACIÓN  
EN MATERIAL GRANULAR.
- SC**  
ARENA ARCILLOSA.  
ARCILLA CON GRAVA.  
ARENA CON UNA CANTIDAD  
APRECIABLE DE MATERIAL  
FINO
- SM**  
ARENA LIMOSA.  
MATERIAL FINO SIN  
PLASTICIDAD O CON  
PLASTICIDAD MUY BAJA.
- CL**  
ARCILLAS INORGÁNICAS DE  
MEDIA O BAJA PLASTICIDAD.  
ARCILLAS ARENOSAS,  
GRAVILLOSAS, LIMOSAS.  
MATERIAL FLOJO.
- ML**  
LIMOS ORGÁNICOS Y ARENAS  
MUY FINAS. POLVO DE ROCA,  
ARENAS FINAS LIMOSAS O  
ARCILLOSAS O LIMO  
ARCILLOSA CON LIGERA  
PLASTICIDAD.
- SP**  
ARENA MAL  
GRADADA  
CON GRAVA.
- ROCA**
- BOLONERIA**

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE CALICATAS EJECUTADAS

N° DE CALICATA	C-51	C-50	C-49	C-48	C-47	C-46	C-45	C-44	C-43	C-42	C-41	C-40	C-39	C-38
PROGRESIVA	km 07+000	km 07+500	km 08+000	km 08+500	km 09+000	km 09+500	km 10+000	km 10+500	km 11+000	km 11+500	km 12+000	km 12+500	km 13+000	km 13+500
ESTE	307602	307115	306621	306138	305647	305153	304657	304163	303670	303219	302758	302272	301773	301277
NORTE	8365514	8365607	8365668	8365723	8365647	8365726	8365799	8365875	8365943	8365928	8365641	8365600	8365636	8365685
PROF.(m)	0.00 - 0.30	0.00 - 0.45	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.45	0.00 - 0.35	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.40	0.00 - 0.40	0.00 - 0.50	0.00 - 0.50	0.00 - 0.40
N°4	65.6	57.6	64.1	56.7	47.8	54.7	64.2	55.7	54.2	50.3	56.0	50.2	43.9	57.3
N°200	43.2	13.5	19.0	17.4	16.0	14.8	23.6	16.2	11.3	15.7	19.6	17.0	11.9	18.8
L.L.	15.0	16	17.0	25	26	26	25	25	25	23	26	28	26	26
L.P.	NP	15	13.0	19	18	19	20	20	18	18	20	22	20	19
I.P.	NP	1	4.0	6	8	7	5	5	7	5	6	6	6	7
H. NATURAL(%)	5.8	6.0	5.2	5.1	6.8	5.2	7.0	5.0	6.2	4.6	3.4	4.2	4.1	5.0
AASHTO	A-4 (2)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-2-4 (0)
SUCS	GM	SM	SC - SM	GC - GM	GC	GC	SC - SM	GC - GM	GP - GC	GC - GM	GC - GM	GC - GM	GP - GC	GC
M.D.S	--	--	2.049	--	--	--	2.01	--	--	--	2.11	--	--	--
O.C.H.	--	--	7.1	--	--	--	7.48	--	--	--	7.30	--	--	--
C.B.R. AL 95%	--	--	13.51	--	--	--	12.7	--	--	--	25.2	--	--	--
C.B.R. 100%	--	--	20.76	--	--	--	19.0	--	--	--	35.8	--	--	--
PROF.(m)	0.30 - 1.50	0.45 - 1.50	0.30 - 1.50	0.30 - 1.50	0.45 - 1.50	0.35 - 1.50	0.30 - 1.50	0.30 - 1.50	0.30 - 1.50	0.40 - 1.50	0.40 - 1.50	0.50 - 1.00	0.50 - 1.50	0.40 - 1.50
N°4	99.4	79.4	54.6	45.6	43.1	55.6	71.4	92.50	77.1	59.9	38.5	69.5	48.8	66.6
N°200	57.6	21	20	21	21	22	30	34	29	28	20	24	27	23
L.L.	21	16	14	17	17	16	20	22	20	22	16	18	20	17
L.P.	15	16	14	17	17	16	20	22	20	22	16	18	20	17
I.P.	6	8	6	4	4	6	10	12	9	6	4	6	7	6
H. NATURAL(%)	15.2	15.6	12.9	10.1	11.4	11.3	14.0	14.97	12.1	11.2	9.9	12.9	11.7	15.9
AASHTO	A-4 (5)	A-4 (9)	A-4 (4)	A-4 (2)	A-4 (2)	A-4 (5)	A-4 (8)	A-6 (9)	A-4 (9)	A-4 (5)	A-4 (1)	A-4 (7)	A-4 (3)	A-4 (7)
SUCS	CL - ML	CL	CL - ML	SC - SM	SC - SM	CL - ML	CL	CL	CL	CL - ML	SC - SM	CL - ML	SC	CL - ML
M.D.S	--	--	1.96	--	--	--	1.95	--	--	--	2.04	--	--	--
O.C.H.	--	--	10.72	--	--	--	13.20	--	--	--	7.17	--	--	--
C.B.R. AL 95%	--	--	7.5	--	--	--	4.1	--	--	--	9.6	--	--	--
C.B.R. 100%	--	--	11.6	--	--	--	6.8	--	--	--	14.8	--	--	--



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS  
A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA  
CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARI (RUTA 17 PE-3SS)  
TRAMO I (KM 00+000-13+500).

PERFIL ESTRATIGRÁFICO Km 06+500 - Km 13+500

ELABORADO POR: Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO

REVISADO POR: M.Sc ROGER GONZALES ALIAGA

DATUM: WGS-84 19S

FECHA: Octubre 2023

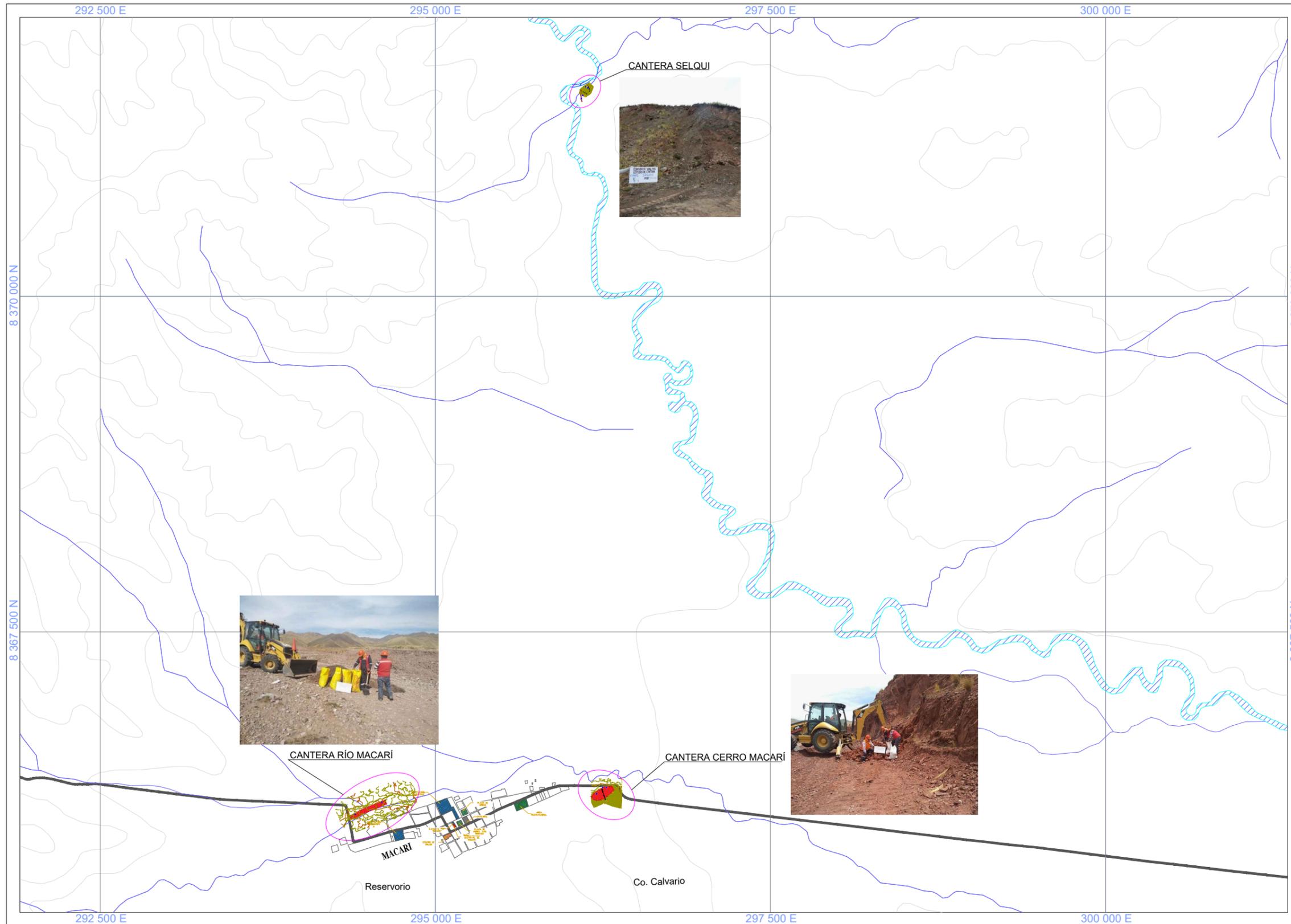
LÁMINA N°

5

2 de 2

ESCALA: Indicada

# PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERAS CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARÍ



**LEYENDA**

- Ruta 17 (Zona de estudio)
- Curvas de nivel
- Red Vial Nacional
- Red Ferroviaria Nacional
- Ríos principales
- Ríos
- Canteras



PLANTA  
Esc. 1:30000



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA unap.edu.pe

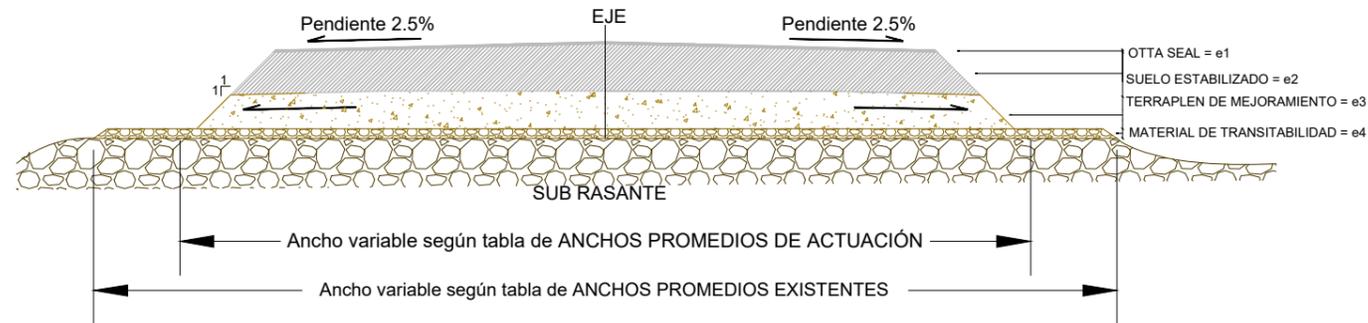


TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARÍ (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (KM 00+000-13+500).

<b>PLANO UBICACIÓN DE CANTERAS</b>		LÁMINA N°
ELABORADO POR: Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO		6
REVISADO POR: M.Sc ROGER GONZALES ALIAGA		
DATUM: WGS-84 19S	FECHA: Octubre 2023	ESCALA: 1/30000

No olvide citar adecuadamente esta tesis

SECCIÓN TIPO TERRAPLÉN



SECTORES DE MEJORAMIENTO SEGÚN ESTUDIOS BÁSICOS

Progresiva (km al km)	Longitud (m)	TRAMO	Ancho Inf (m)	Ancho Sup (m)	Ancho Prom (m)	Terraplén Espesor (m)	
Según estudio de suelos (Mejoramiento)							
00+375	00+625	250.00	1	5.73	5.23	5.48	0.25
01+750	02+250	500.00	1	5.73	5.23	5.48	0.25
03+750	04+250	500.00	1	4.75	4.25	4.50	0.25
05+750	06+250	500.00	1	4.79	4.28	4.55	0.25
09+150	10+950	1800.00	1	4.83	4.23	4.53	0.30

ZONAS URBANAS				
PROGRESIVAS			DESCRIPCIÓN	TIPO DE SUPERFICIE
PROG. INICIAL	PROG. FINAL	LONG (m)		
0+000	0+560	560m	Zona Urbana - C. P. Chuquibambilla	Afirmado

SECCIÓN TIPO - MEDIA LADERA

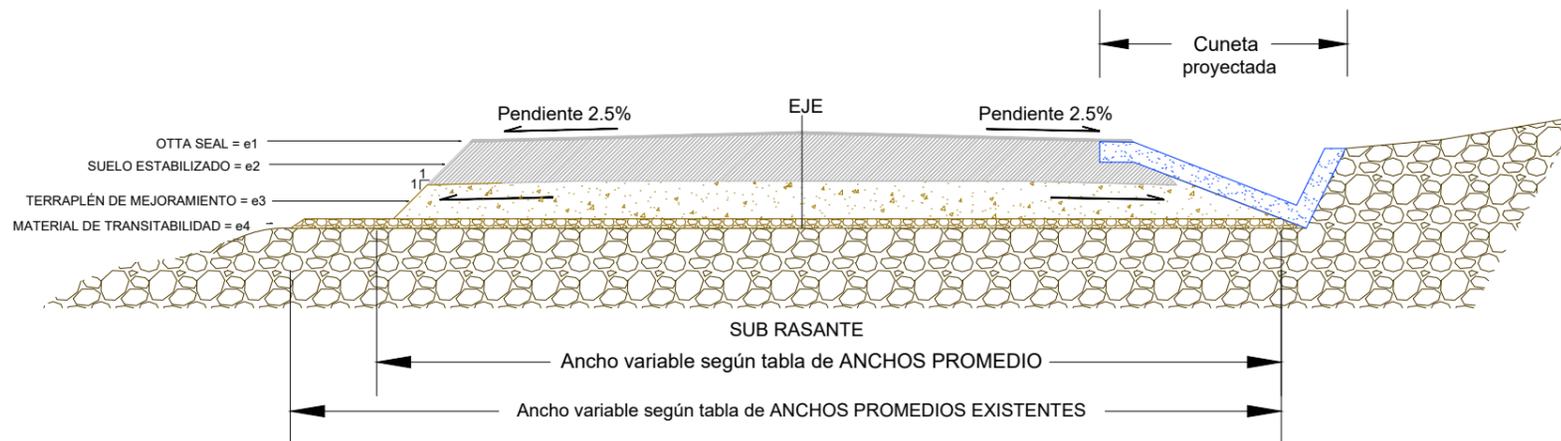


TABLA DE ANCHOS PROMEDIOS EXISTENTES

TRAMO	PK INICIO	PK FIN	LONGITUD (m)	ANCHO PROM. (m)
T-01	00+000	02+500	2.500.00	5.73
	02+500	06+000	3.500.00	4.75
	06+000	13+500	12.500.00	4.83

TABLA DE ANCHOS PROMEDIOS PROPUESTOS (e2)

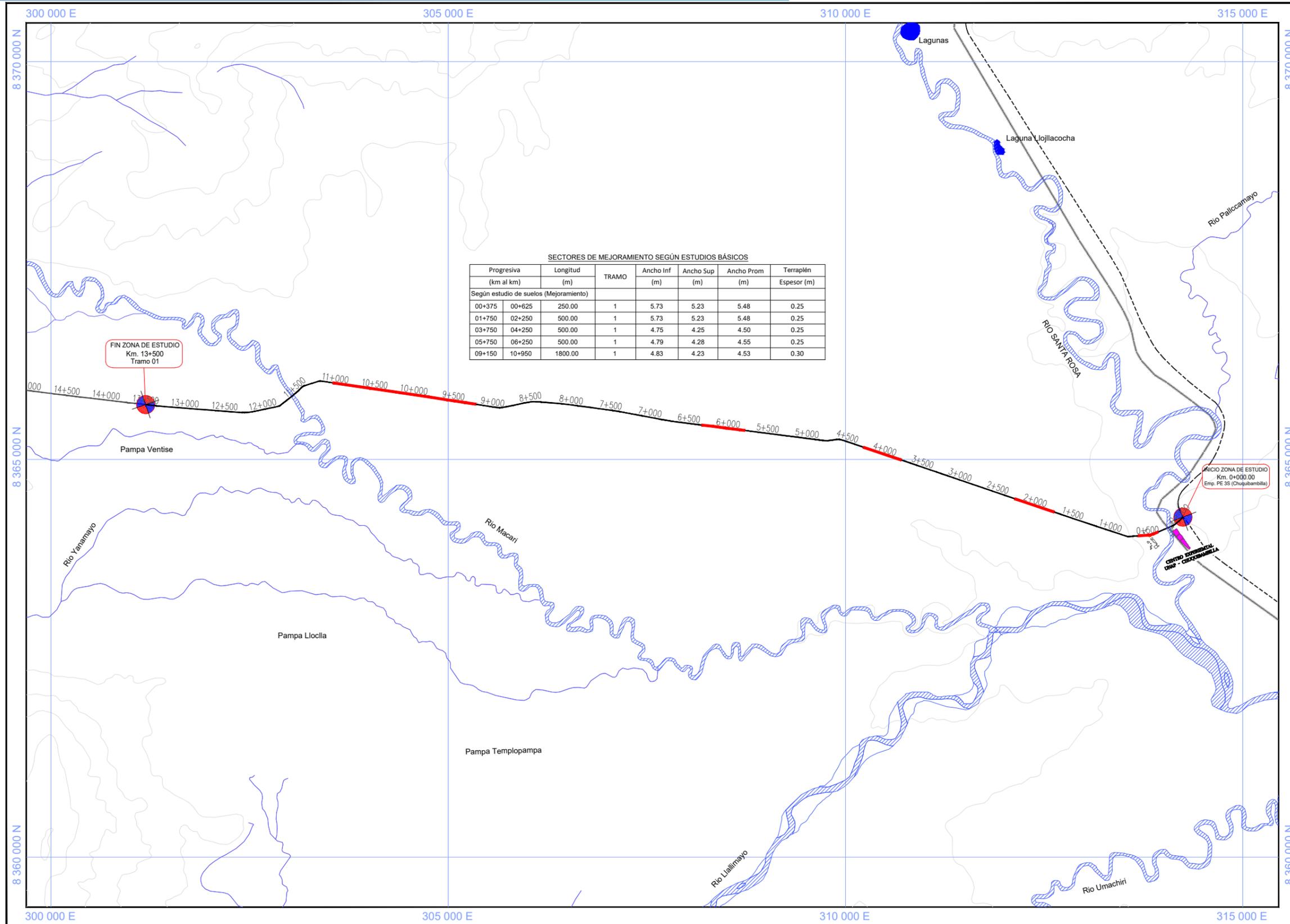
Progresiva (km al km)	Longitud (m)	Ancho Inf (m)	Ancho Sup (m)	Ancho Prom (m)	
T-01					
0+000	0+250	250.00	5.23	4.63	4.93
0+250	1+750	1500.00	5.73	5.13	5.43
1+750	2+250	500.00	5.23	4.63	4.93
2+250	2+500	250.00	5.73	5.13	5.43
2+500	3+750	1250.00	4.75	4.15	4.45
3+750	4+250	500.00	4.25	3.65	3.95
4+250	5+750	1500.00	4.75	4.15	4.45
5+750	6+000	250.00	4.25	3.65	3.95
6+000	6+250	250.00	4.33	3.73	4.03
6+250	9+150	2900.00	4.83	4.23	4.53
9+150	10+950	1800.00	4.23	3.63	3.93
10+950	13+500	2550.00	4.83	4.23	4.53

RUTA	TRAMO	CARRETERA	RUTA NACIONAL	TRAMOS DE MEJORAMIENTO					
				PROGRESIVAS		e1	e2	e3	e4
				INICIO	FIN	Otta seal (cm)	Suelo cemento (cm)	Material Transitabilidad (cm)	Afirmado existente (cm)
17	T1	Emp. PE-3S (Chuquibambilla) Km 00+000 - Km 13+500	PE-3SS	0+000	13+500	*	30.00	15.00	5.00

\* Ver estudio de PAVIMENTOS



# TRAMOS DE MEJORAMIENTO EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARÍ



SECTORES DE MEJORAMIENTO SEGÚN ESTUDIOS BÁSICOS

Progresiva (km al km)	Longitud (m)	TRAMO	Ancho Inf (m)	Ancho Sup (m)	Ancho Prom (m)	Terraplén Espesor (m)	
Según estudio de suelos (Mejoramiento)							
00+375	00+625	250.00	1	5.73	5.23	5.48	0.25
01+750	02+250	500.00	1	5.73	5.23	5.48	0.25
03+750	04+250	500.00	1	4.75	4.25	4.50	0.25
05+750	06+250	500.00	1	4.79	4.28	4.55	0.25
09+150	10+950	1800.00	1	4.83	4.23	4.53	0.30

### LEYENDA

- Red Vial Nacional
- +++ Red Ferroviaria Nacional
- ~ Rios principales
- ~ Rios
- █ Zonas de Mejoramiento
- Km 01+500 Progresivas
- Infraestructuras
- ~ Curvas de nivel
- Ruta 17 (Zona de estudio)

PLANTA  
Esc. 1:50000



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA - MACARÍ (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (KM 00+000-13+500).

ZONAS DE MEJORAMIENTO	
ELABORADO POR:	Bach. CARLOS EINSTEIN FLORES TURPO
REVISADO POR:	M.Sc ROGER GONZALES ALIAGA
DATUM:	WGS-84 19S
FECHA:	Octubre 2023

LÁMINA N°  
**8**  
ESCALA: 1/50000



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Carlos Einstein Flores Turpo  
identificado con DNI 73300084 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

“EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN

EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA-MACARÍ (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (km 00+000 – 13+500).

” Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de noviembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Carlos Einstein Flores Turpo  
identificado con DNI 73300084 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

**"EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE PARA SU ESTABILIZACIÓN  
EN LA CARRETERA CHUQUIBAMBILLA-MACARÍ (RUTA 17 PE-3SS) TRAMO I (km 00+000 – 13+500).**

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de noviembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella