



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA POMATA – YOROHOCO (PU 675), PROVINCIA DE
CHUCUITO – PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LITZA LIRIA LUJANO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Lleno de regocijo, amor y esperanza dedico esta tesis a Dios y a cada uno de mis seres queridos. Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos, que con mucho esfuerzo, esmero y trabajo lo he logrado.

A mis padres Victor Lujano y Victoria Quispe, porque ellos han sido mis pilares para seguir adelante en mi vida profesional.

A mi esposo Freddy y a mis hijos Ismael y Benyhamin, quienes son mi motivo de superación de cada día.

A mis hermanos, porque son la razón de sentirme orgullosa de culminar esta tesis, gracias a ellos por confiar siempre en mí.

Litza Liria



AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más profundos y sinceros agradecimientos a:

A Dios nuestro señor, por ser mi guía y compañía en cada momento a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Mi Alma Mater que me ha acogido durante 5 años de mi formación académica profesional, llevándome una experiencia tan maravillosa e inolvidable.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, que me han impartido sus conocimientos, experiencias, y que estuvieron siempre dispuestos a esclarecer mis dudas.

Al M.Sc. Leonel Palomino Ascencio, que como Asesor de tesis me ha orientado, apoyado y corregido en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos de toda la vida, con la cual he formado una gran amistad y fraternidad durante toda mi carrera profesional, gracias por ser tan buenos compañeros y amigos.

A mis padres, hermanos y esposo que siempre han estado allí para apoyarme, alentarme y darme ánimo cuando las fuerzas desfallecen, depositando confianza en mí.

Quisiera también expresar mi más sentido agradecimiento a todas aquellas personas que directa o indirectamente han colaborado y contribuido con su apoyo, comentarios, sugerencia y ayuda en el desarrollo de esta tesis.

Litza Liria



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 19

1.2.1. Interrogante general..... 19

1.2.2. Interrogantes específicas 19

1.3. JUSTIFICACIÓN..... 19

1.4. HIPÓTESIS..... 21

1.4.1. Hipótesis general..... 21

1.4.2. Hipótesis específica 21

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.5.1. Objetivo general..... 21

1.5.2. Objetivos específicos 21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 22

2.2. MARCO TEÓRICO..... 24

2.2.1. Estudio geotécnico 24

2.2.2. Estudio de mecánica de suelos..... 25

2.2.2.1. Ensayos de laboratorio..... 26



2.2.2.2. Clasificación de suelos	38
2.2.3. Estudio de canteras.....	44
2.2.3.1. Características geotécnicas de canteras.....	45
2.2.3.2. Exploración	51
2.2.4. Clasificación geomecánica de roca	52
2.2.4.1. Designación de la calidad de rocas (RQD)	53
2.2.4.2. Valoración de roca (RMR)	54
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	57
2.3.1. Cantera	57
2.3.2. Caracterización.....	58
2.3.3. Estudio de suelos.....	58
2.3.4. Mecánica de suelos	59
2.3.5. Propiedades físico-mecánicas de suelos	60
2.3.6. Roca	60
2.3.7. Suelo.....	60
2.3.8. Terraplén.....	61
2.3.9. Terreno De Fundación	61

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO	62
3.1.1. Tipo de investigación	62
3.2. Revisión, recopilación y elaboración de informaciones preliminares.....	62
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	63
3.3.1. Población	63
3.3.2. Muestra.....	63
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	63
3.4.1. Variable independiente	63



3.4.2.	Variable dependiente.....	64
3.4.3.	Operación de variables.....	64
3.5.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.5.1.	Etapas de campo.....	64
3.5.2.	Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.....	66
3.5.3.	Trabajos de gabinete	68
3.5.4.	Descripción final	69
3.6.	MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	69

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.	UBICACIÓN.....	73
4.2.	ACCESIBILIDAD.....	75
4.3.	CLIMA E HIDROLOGÍA.....	76
4.4.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	77
4.5.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	77
4.5.1.	Colinas	77
4.5.2.	Llanura	78
4.5.3.	Montaña.....	78
4.5.3.1.	Montaña estructural.....	79
4.5.4.	Planicie.....	80
4.5.5.	Terrazas	80
4.5.6.	Pie de monte	81
4.5.7.	Ladera de valle.....	81
4.5.8.	Bofedales.....	82
4.5.9.	Quebradas	83
4.5.10.	Lagunas	83
4.6.	GEOLOGÍA REGIONAL	84
4.7.	GEOLOGÍA LOCAL.....	85



4.7.1. Estratigrafía local del trazo de la carretera	86
4.7.1.1. Cenozoico	86
4.7.1.2. Neógeno	86
4.7.1.3. Cuaternario	88
4.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	92
4.8.1. Fallas	92
4.8.2. Pliegues	92
4.8.3. Discordancias	93
4.9. SISMICIDAD	94
4.9.1. Sismicidad histórica	94
4.9.2. Zonificación sísmica según RNE	95

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN	97
5.1.1. Conformación de suelos por tramos	97
5.1.2. Clasificación de suelos	100
5.1.3. Caracterización de suelos	102
5.1.4. Ensayos de soporte	103
5.2. AFIRMADO DE LA VÍA	105
5.2.1. Caracterización del material de afirmado	105
5.2.2. Capacidad portante	105
5.2.3. Propuesta de tratamiento del suelo	106
5.2.3.1. Tramos de mejoramiento de terreno de fundación	106
5.3. ESTUDIO DE CANTERAS Y MATERIALES DE PRÉSTAMO	107
5.3.1. Materiales de cantera	107
5.3.2. Características geotécnicas de canteras	108
5.3.3. Ensayos de soporte	110



5.3.4.	Clasificación geo-mecánica de roca	111
5.3.5.	Fuentes de agua.....	111
VI.	CONCLUSIONES.....	112
VII.	RECOMENDACIONES.....	113
VIII.	REFERENCIAS	114
	ANEXOS.....	116

Área : Ingeniería Geotécnica.

Línea : Geología y Geotecnia de Carreteras.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03 de setiembre 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	Carta de plasticidad de Casagrande.	40
FIGURA 2:	RQD.	53
FIGURA 3:	Ubicación del área de estudio.	74
FIGURA 4:	Acceso del área de estudio.	76
FIGURA 5:	Visualización de colinas y lomadas Cerro Chalhuani.	77
FIGURA 6:	Visualización de llanuras progresiva km 20+680.	78
FIGURA 7:	Visualización de montañas al fondo CP. San Miguel de Huapaca.	79
FIGURA 8:	Visualización de montaña estructural, Cerro Siquipaca.	79
FIGURA 9:	Visualización de pampas de Mejani Km 6+000.	80
FIGURA 10:	Visualización pie de monte Cerro Ancocache.	81
FIGURA 11:	Visualización de ladera de valle prog. 23+200 lado izquierdo.	82
FIGURA 12:	Visualización de bofedales km 6+350 lado izquierdo y derecho de la vía	83
FIGURA 13:	Visualización de pequeñas lagunas Km 5+520.	84
FIGURA 14:	Mapa geológico del eje de la carretera.	91
FIGURA 15:	Visualización de un sistema de pliegues Cerro Topouma.	93
FIGURA 16:	Visualización de discordancia angular en depósitos aluviales (cantera km 24+500).	94
FIGURA 17:	Mapa de zonas sísmicas y parámetros de riesgos.	96



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1:	Normas estándar, especificaciones (ASTM, AASHTO y MTC).....	26
TABLA 2:	Tamaño de las partículas en suelos más comunes.	28
TABLA 3:	Método modificado para determinar la relación humedad – densidad de los suelos.....	33
TABLA 4:	Valores de carga unitario CBR.	36
TABLA 5:	Clasificación de los suelos para infraestructura de pavimentos.....	37
TABLA 6:	Especificaciones para el ensayo de abrasión para rocas.	38
TABLA 7:	Tipo de suelos y símbolos.....	39
TABLA 8:	Sistema de clasificación SUCS.	42
TABLA 9:	Clasificación de suelos AASHTO.....	44
TABLA 10:	Especificaciones Geotécnicas.	45
TABLA 11:	Determinación de pesos específicos y absorción (MTC E-206).....	47
TABLA 12:	Resistencia al desgaste abrasión los ángeles (MTC E-206).....	49
TABLA 13:	Especificaciones generales para la construcción de carreteras.	50
TABLA 14:	Franjas granulométricas.	50
TABLA 15:	Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.	53
TABLA 18:	Clasificación del suelo según su C.B.R.	61
TABLA 19:	Operación de variables.....	64
TABLA 21:	Requerimientos de calidad de los materiales de préstamo.....	67
TABLA 22:	Requisitos de calidad para base y sub-base.....	68
TABLA 23:	Accesibilidad.....	75
TABLA 24:	Columna estratigráfica local.	90
TABLA 25:	Clasificación de suelos de terreno de fundación de la carretera Pomata - Yorohoco.....	101



TABLA 26:	Características geotécnicas del terreno de fundación más importantes.	103
TABLA 27:	Tabla de resumen de ensayos de soporte.	103
TABLA 28:	Caracterización de material de afirmado.....	105
TABLA 29:	Capacidad portante.....	106
TABLA 30:	Nomenclatura de remplazamiento.	106
TABLA 31:	Tabla de canteras.....	108
TABLA 32:	Tabla de características geotécnicas de canteras.....	109
TABLA 33:	Tabla de características geotécnicas de canteras.....	109
TABLA 34:	Tabla de diseño de mezclas.....	110
TABLA 35:	Tabla resumen ensayos de soporte de canteras.	110
TABLA 36:	Clasificación geomecánica de rocas.....	111
TABLA 37:	Consideración de fuentes de agua.	111



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AASHTO	: American asociación state highway and transportation officials.
ASTM	: American standards and testing materials.
A1-a	: Suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado.
A1-b	: Suelos constituidos principalmente por arenas gruesas.
A-2-4	: Grava y arena gruesa con contenidos de limo.
A-4	: Suelo limoso no plástico o moderadamente plástico.
A-7-5	: Suelos arcillosos con un índice de plasticidad moderado.
A-7-6	: Suelos con un índice de plasticidad elevado.
CBR	: California Bearing ratio o Relación de Soporíte de California.
°C	: Grados Centígrados.
Cm.	: Centímetro.
C.	: Comunidad.
C.P.	: Centro Poblado.
CL	: Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad.
Di	: Densidades individuales.
De	: Proctor Modificado.
E	: Este.
EG – 2013	: Especificaciones Técnicas Generales para construcción.
gr.	: Gramos.
GC	: Grava arcillosa.
GM	: Grava limosa.
GRP	: Gobierno regional de Puno.
GW	: Grava bien graduada.
I.P.	: Índice de Plasticidad.



INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
IVP	: Instituto Vial Provincial.
Kg.	: kilogramos.
Km.	: kilómetros.
Lb.	: Libras.
L L	: Límite Líquido.
L P	: Límite Plástico.
M	: Metros.
ML	: Limo inorgánico ligeramente plástico.
M.S.N.M.	: Metros sobre el nivel del mar.
mm.	: Milímetros.
m2	: Metros cuadrados.
m3	: Metros cúbicos.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MDS	: Máxima Densidad Seca.
NE	: Noreste.
NF	: Nivel Freático.
NQ-Ba/u	: Formación Umayo
OH	: Arcilla orgánica de alta plasticidad
OL	: Limo inorgánico de baja plasticidad.
Q-T	: Formación Taraco.
Q-al	: Depósitos Aluviales.
Q-f	: Depósitos fluviales.
SC	: Arena Arcillosa.
SE	: Sur Este.



SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
SM	: Arena Limosa.
TBa	: Grupo Barroso.
TBa-ca	: Formación Casamiento.
TMa	: Grupo Maure.
Tpu	: Grupo Puno.
%	: Porcentaje de humedad.
W	: Oeste
WNW	: Oeste Noroeste



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó a lo largo del eje de la vía que pasa por los Distritos de Pomata, Zepita y Huacullani, de la Provincia de Chucuito, en la Región de Puno, tiene como objetivo general evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación y de los materiales de préstamo para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco (PU 675) de la Provincia de Chucuito – Puno. Se efectuaron 68 calicatas a una profundidad de 0.50 m y otros hasta 2.00 m. a cada 500 m. de distancia, se determinaron las características geomecánicas de los suelos de fundación y 6 canteras que podrían ser utilizadas en el proceso constructivo. Las muestras fueron analizadas y ensayadas en laboratorio para conocer su capacidad de soporte (C.B.R) y otros. Planteándose la siguiente hipótesis: Las características geotécnicas para la construcción de la carretera son adecuadas y existen materiales de préstamo favorables para el mejoramiento de esta carretera. Se concluye que los suelos de fundación presentan CBR que varían entre 8% - 26% los cuales nos indican que son regulares a buenos, donde se tienen las siguientes características geomecánicas más importantes, presentan arenas mal graduadas, arenas limosas, arenas arcillosas, arcillas de baja compresibilidad, arcillas, limos arenoso, gravas limosas, gravas arcillosas, arcillas orgánicas con una clasificación **SUCS:** SM, SC, CL, ML, GM, GC, CH, OH por lo cual dichos suelos requieren mejoramiento como terreno de fundación. En el diseño de suelos para la conformación de sub base y base granular, se tienen las siguientes canteras: ligante Km 24+500 (50%), agregado del río Yorohoco (50%) ligante Km 31+700 (50%), agregado del río Yorohoco (50%) con clasificación SUCS como: GW – GM y GW respectivamente.

Palabras Claves: Cantera, Geomecánica, Geotecnia, Propiedades físicomecánicas, Terreno de fundación.



ABSTRACT

The present research work was carried out along the axis of the road that passes through the Districts of Pomata, Zepita and Huacullani, of the Province of Chucuito, in the Region of Puno, its general objective is to evaluate the geotechnical characteristics of the terrain of foundation and loan materials for the improvement of the Pomata - Yorohoco highway (PU 675) in the Province of Chucuito - Puno. 68 pits were made at a depth of 0.50 m and others up to 2.00 m. every 500 m. away, where the geomechanical characteristics of the foundation soils for foundation purposes and 6 quarries that could be used in the construction and execution process were determined. The samples were analyzed and tested in the laboratory to know their ability to support soils (C.B.R) and others. Posing the following hypothesis: The geotechnical characteristics for the construction of the road are adequate and there are favorable loan materials for the improvement of this road. In this research work it is concluded that the foundation soils present CBR that vary between 8% - 26% which indicate that they are fair to good, where the following most important geomechanical characteristics are present, they present poorly graded sands, silty sands, clayey sands, low compressibility clays, clays, sandy silts, silty gravels, clayey gravels, organic clays with a SUCS classification: SM, SC, CL, ML, GM, GC, CH, OH for which such soils require land improvement of foundation. In the design of soils for the conformation of sub base and granular base, there are the following quarries: binder Km 24 + 500 (50%), aggregate from the Yorohoco river (50%) binder Km 31 + 700 (50%), aggregate from the Yorohoco River (50%) with SUCS classification as: GW - GM and GW respectively.

Keywords: Quarry, Geomechanics, Geotechnics, Physico-mechanical properties, Foundation ground.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son una pieza clave en el desarrollo económico y social en el territorio de cualquier país, eleva la competitividad de la economía al satisfacer las condiciones básicas de los pueblos y comunidades de cada región. Además de esto, contribuye a fortalecer los procesos de producción, distribución y comercialización, haciéndolas más competitivas.

Es de suma importancia realizar el estudio geotécnico para la evaluación e identificación del terreno de fundación, la estructura, sus propiedades, la incidencia de la estabilidad del terreno natural, las condiciones hidrológicas y drenaje que permitan determinar los parámetros adecuados para el diseño correcto de la vía POMATA – YOROHOCO.

El propósito de este trabajo de investigación es desarrollar un estudio geotécnico para la carretera POMATA – YOROHOCO, así poder brindar los criterios técnicos y apropiados para el rendimiento óptimo de las capas superiores y la superficie de rodadura de la carretera, dotándola de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño posible en términos de eficiencia técnica y económica, una obra vial bien planificada se traduce en reducción de los costos operativos, proporcionando una mayor movilidad de personas, bienes y servicios; mejorando en tiempo y contaminación del ambiente, en consecuencia brindando impulso económico a las comunidades y centros poblados por donde pasa la carretera en beneficio de la sociedad en su conjunto.

La interpretación se dará a conocer una vez obtenida los resultados de laboratorio para dar solución a los problemas que existan y esto permitirá caracterizar los diversos



suelos que se presentan en la zona de estudio, para el emplazamiento de la carretera en la cual debe considerarse: el tipo suelo, clasificación del suelo, el nivel freático y materiales de cantera, se realizaron 68 calicatas cada 500 m., en zonas estratégicas y/o variaciones litológicas de diferentes profundidades de los cuales se realizará, la descripción de calicata in-situ, de la misma forma serán tomadas las muestras para los respectivos ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La demanda de transporte en el mundo durante varios siglos constituyó a las carreteras como la mejor vía terrestre y medio de comunicación. Dentro de América Latina la evolución de la infraestructura e inversión en vías terrestres es de vital importancia para el desarrollo de cada país. La difícil y variada geografía del Perú es la primera condición que se presenta para el desarrollo del transporte terrestre, en el sector rural de nuestro país, existe un desarrollo limitado debido al estado de abandono de las vías de comunicación y de manera específica de las carreteras vecinales, situación que impide un intercambio económico, social y cultural entre el sector rural y la población urbana, siendo las carreteras vecinales ejes del desarrollo.

En la vía POMATA – YOROHOCO (PU 675) es importante considerar la variedad de investigaciones al realizar los estudios geotécnicos para poder desarrollar obras ingenieriles, usando métodos directos e indirectos y así establecer modelos geológicos y geotécnicos que serán aplicados durante la etapa del proceso constructivo de esta. La carretera en estudio, es de mucha importancia para el desarrollo integral las poblaciones afectadas, y con un futuro de interconexión vial importante dentro de la Provincia de Chucuito y la Región Puno, principalmente su conexión más directa con las Regiones de Moquegua y Tacna.



El Problema que enfrenta el presente trabajo de investigación es la falta de estudios geotécnicos, con ello el insuficiente alcance y contenido de los procedimientos que se aplican actualmente para el estudio del terreno de fundación y de los materiales de préstamo para su diseño, posterior ejecución y dar la seguridad de vía. La inestabilidad se debe a la presencia de abollamientos en suelos, siendo necesario definir las características geomecánicas a lo largo del eje de la carretera, y así determinar los criterios técnicos para el mejoramiento del terreno de fundación en los tramos críticos. Es necesario que el estudio geotécnico este coordinado con otras áreas de ingeniería.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Considerando la problemática planteada, se formula las siguientes interrogantes:

1.2.1. Interrogante general

¿Cuáles son las características geotécnicas del terreno de fundación y materiales de préstamo, para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco (PU 675), Provincia de Chucuito – Puno?

1.2.2. Interrogantes específicas

- ¿Cuáles son las características geomecánicas del terreno de fundación para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco?
- ¿Cuáles son las propiedades físico - mecánicas que presentan los materiales de préstamo para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de poder obtener información de las características geotécnica del terreno de fundación y de los materiales



de canteras que intervendrán en la construcción de la carretera POMATA YOROHOCO (PU 675), se evaluarán con los equipos de laboratorio para conocer las características físico-mecánicas, el comportamiento geomecánico de los diferentes tipos de suelos que se tengan. En muchas ocasiones no se toman en cuenta la evaluación geotécnica del área de estudio, razón por el cual, en el proceso de construcción, presentan diferentes tipos de problemas, ya sean por la presencia de aguas subterráneas, ubicación de suelos finos, etc.

Actualmente la superficie de la vía se encuentra deteriorada muestra desniveles, empozamiento de aguas pluviales por el mal estado de las cunetas; asimismo algunas alcantarillas y pontones se encuentra colapsadas y con riesgo de caerse; la mayoría de los daños se observan en temporadas de lluvias donde es muy difícil el tránsito de vehículos para el traslado de la población de Pomata al C.P. de Lampa Grande en el sector de Lampa Putuma, C.P de Collini, C.P. de San Miguel de Huapaca, sector de Huanconi, sector Alto Apacheta, Comunidad de Tarapoto, sector de Pavita, y para finalmente empalmar a la carretera Desaguadero - Mazocruz en el sector de Yorohoco; que tienen que tomar vías adyacentes y más largas para poder llegar a sus destinos; Esta población requieren urgente una solución a este problema, así como la evaluación, análisis geotécnico, geomecánico del terreno de fundación y las propiedades físico-mecánico de los materiales de préstamo. Los resultados de las pruebas y ensayos de laboratorio, deberán ser utilizadas en el diseño final del pavimento, para estabilizar correctamente la vía, así evitar problemas posteriores en la carretera y dar la seguridad necesaria para la ejecución de la obra.



1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

Las características geotécnicas para la construcción de la carretera son adecuadas y existen materiales de préstamo favorables para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco de la Provincia de Chucuito – Puno.

1.4.2. Hipótesis específica

- Las características geomecánicas del terreno de fundación son adecuadas para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco.
- Las propiedades físico – mecánicas que presentan los materiales de préstamo, son óptimas para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación y de los materiales de préstamo, para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco (PU 675) de la Provincia de Chucuito – Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar las características geomecánicas que presentan los suelos del terreno de fundación a lo largo del eje del trazo de la carretera Pomata – Yorohoco.
- Determinar las propiedades físico – mecánicas que presentan los materiales de préstamo o canteras de agregados para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

En el presente trabajo de investigación tiene como antecedentes diversos textos de diferentes autores y estudios, los cuales se encuentran relacionados con el mismo objetivo, que contiene información primaria y secundaria para la elaboración de este estudio Geotécnico.

CÁRDENAS (2013). Los factores externos están relacionados, entre otros aspectos, con la topografía del terreno natural, la conformación geológica y geotécnica del mismo, el volumen y características del tránsito actual y futuro, los valores ambientales, la climatología e hidrología de la zona, los desarrollos urbanísticos existentes y previstos, los parámetros socioeconómicos del área y la estructura de las propiedades.

HERMOSA (2006). En el contexto mundial, se puede apreciar que poseen algunos estudios geotécnicos en carreteras, como el de realizar la evaluación del terreno de fundación y sus respectivas canteras ya que de estas depende el buen estado de los caminos, para así de esta manera poder tener un mejor traslado de personas, productos agrícolas, productos de primera necesidad y también de animales.

BONILLA (2018). Estudio geológico y geotécnico en el mejoramiento de la carretera Dv. Alcas, Acobamba, Huayruro – Región Huánuco. El presente estudio se realizó entre las Localidades de la Dv. Alcas, Acobamba, Huayruro, en los Distritos de San Rafael y Panao en las Provincias de Ambo y Pachitea, en la Región Huánuco, con el objetivo de realizar el estudio geológico y geotécnico en el mejoramiento de la carretera



Dv. Alcas, Acobamba, Huayruro – Región Huánuco, el tramo en estudio abarca 75+000 Km., de longitud en el tramo Lajas, Acobamba, Carampayo, Villa Tingo, Puente Huayruro que es una arteria, que permitirá mejorar las condiciones socioeconómicas de los pobladores del área de influencia. La metodología empleada en este estudio está basada en varias etapas: Recopilación y evaluación de la información existente. Descripción geológica – geotécnica en el área de estudio, ubicación y desarrollo en la excavación de pozos exploratorios (calicatas), toma de muestras alteradas e inalteradas de sub rasante, (suelo y roca), toma de muestras (rocas) en el talud existente. Ensayos de campo y laboratorio (a cargo de un especialista), análisis y evaluación de la información, trabajo de gabinete, preparación del informe realizando la compilación, integración y edición del estudio.

MAYTA (2018). El presente trabajo de investigación se realizó en el Distrito de Desaguadero- Kelluyo de la Provincia de Chucuito, en el Departamento de Puno. Se ejecutaron 76 calicatas a una profundidad de 1.50 m y otros hasta 2.60 m. a cada 250 m. de distancia, donde se determinaron las características físicas y mecánicas de los suelos de fundación con fines de cimentación y 6 canteras que podrían ser utilizadas en el proceso de la construcción y ejecución. Identificándose como problema principal “la capacidad de soporte del terreno de fundación, mediante el ensayo del CBR., y como objetivo general es evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación y canteras para la carretera Desaguadero–Kelluyo de la Provincia de Chucuito del Departamento de Puno, lográndose obtener mediante exploraciones geotécnicas las muestras necesarias, y permitirá realizar los análisis en el laboratorio.

PORTADA (2020). El estudio de la carretera Ayaviri - Purina, está ubicado entre las Provincias de Melgar y la Provincia de Azángaro, la misma que comprende en las progresivas Kilómetro 00+000 hasta el Kilómetro 19+375. Los objetivos de la presente



investigación estuvieron orientados a conocer las condiciones geológicas - geotécnicas y análisis de canteras con el fin de determinar las características físicas mecánicas de los suelos que lo conforman para poder emplearlas en la construcción de la vía. El terreno de fundación que comprenden desde las progresiva: Km 00+000 hasta Km 19+375, que corresponden a suelos (GP-GC), (GM-GP), (GC, SC), (SC-SM), (SC), identificados según la clasificación SUCS y en la clasificación AASHTO como (A-2-4), (A-1-a), (A-2-6), (A-1-b), con resistencia al esfuerzo cortante mayores al 12%.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Estudio geotécnico

El presente trabajo de investigación tiene el propósito de obtener aspectos teóricos geotécnicos de diseño las cuales incluyen la obtención de propiedades físicas, químicas y mecánicas, así como de los suelos. La geotecnia comprende la evaluación, diseño y construcción de obras donde se utilizan el suelo y/o roca y los materiales de cantera las cuales tienen un rol fundamental durante la ejecución de cada proyecto vial.

BRAJA. (2006). En términos que utiliza métodos científicos generales, la geotecnia rama es la para determinar, evaluar y aplicar las relaciones entre el entorno geológico y las obras de ingeniería. En un contexto práctico, la geotecnia comprende la evaluación, diseño y construcción de obras donde se utilizan el suelo y/o roca y los materiales de cantera. Los pioneros de la ingeniería geotécnica se apoyaron en el "método de observación", para comprender la mecánica de suelos y rocas y el comportamiento de materiales de cantera bajo cargas.



MENDOZA (2001). Mediante la geotecnia se podrán identificar riesgos naturales, como son suelos y minerales de roca expansivos, antiguos depósitos de relleno y posibles fallas que tenga el terreno.

TERZAGHI (1965). La magnitud de la diferencia entre el comportamiento de suelos reales bajo condiciones de campo, y el comportamiento pronosticado con base en la teoría, solo puede conocerse mediante la experiencia en el campo.

2.2.2. Estudio de mecánica de suelos

CRESPO (2001). En todos los estudios geotécnicos, el más relevante es la mecánica de suelos que es muy importante para determinar el grado de estabilidad y comportamiento funcional, que estarán determinados entre otros factores, por el desempeño del material suelto situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan. Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, el cual producirá deformaciones importantes, fisuras, grietas, que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

El estudio de suelos, comprende básicamente una investigación de campo a lo largo del eje de la vía. Mediante la ejecución de prospecciones de exploración (Calicatas), donde se observaron las características del terreno de fundación, para luego adquirir muestras representativas y en cantidades suficientes para ser sometidas a ensayos de laboratorio. Estos trabajos de mecánica de suelos se han desarrollado con la finalidad de investigar las características del suelo que permitan establecer los criterios de diseño de la vía.



2.2.2.1. Ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados en laboratorio de suelos fueron desarrollados con fines de determinar las propiedades físico mecánicas iniciando con la humedad natural ,análisis granulométrico por el método de tamizado, así como la determinación de sus constantes físicos como son los ensayos de determinación de limite líquido y limite plástico, las muestras y estratos extraídos del terreno de fundación sirvieron para la realización del ensayo de (CBR norma MTC E 132 -2013) con fines de diseño según las normas de carreteras” (MTC, 2013).

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos se logra tener los datos definitivos de las características del suelo para el respectivo análisis y conclusión final; en esta etapa primeramente al realizar las pruebas de clasificación de suelos (Método SUCS y AASHTO)” (MTC, 2013).

Los ensayos de laboratorio se han efectuado de acuerdo a normas estándar, siguiendo las especificaciones del ASTM, AASHTO y MTC.

TABLA 1: Normas estándar, especificaciones (ASTM, AASHTO y MTC).

ENSAYOS	ASTM	AASHTO	MTC
Contenido de humedad	D-2216	-	E-108
Análisis granulométrico	D-422	T-88	E-204
Límite líquido	D-4318	T-89	E-110
Índice de plasticidad	D-4318	T-90	E-111
Proctor Modificado	D-1557	T-180	E-115
C.B.R.	D-1883	T-193	E-132

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. 2013.



Los ensayos de laboratorio que se deben realizar son:

- **Contenido de humedad natural (ASTM D-2216)**

El contenido de humedad de una muestra indica la cantidad de agua que esta contiene, expresándola como un 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. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos y se calcula con la siguiente expresión.

$$W(\%) = \frac{(P_1 - P_2)}{(P_2 - P_3)} \times 100$$

Dónde:

$W(\%)$: Contenido de humedad expresado en porcentaje.

P_1 : Peso de la tara más el suelo húmedo.

P_2 : Peso de la tara más el suelo seco al horno.

P_3 : Peso de la tara.

- **Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422)**

HUANCA (1996). El estudio de las propiedades de los suelos, se fundamentó en que las propiedades mecánicas dependen directamente de la distribución de las partículas constituyentes según los tamaños. Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los materiales de hasta 90 mm mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.



Este ensayo de laboratorio se realiza para determinar cuantitativamente la distribución de las partículas de suelo, con la utilización de diferentes tamices que sean necesarios de acuerdo a las especificaciones técnicas que se requieran. Con este ensayo se determina si el suelo es una grava (más del 50 % retiene en el tamiz N° 4), arena (más del 50 % retiene en el tamiz N° 200) o fino (más del 50 % pasa el tamiz N° 200).

TABLA 2: Tamaño de las partículas en suelos más comunes.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	TAMAÑO (mm)
Piedra	-	>70mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra arcilla	-	< 0.0002

Fuente: Juárez B. E. 2004.

PREPARACION DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

Una vez recibido la muestra de suelo después del cuarteo y secado en estufa o cocina, se procede al pesado de la muestra y registrar dicho peso, para luego realizar el tamizado por las mallas que se requieran en las especificaciones y así obtener el peso del material retenido en cada uno de los tamices utilizados.



CÁLCULOS

Para calcular la distribución granulométrica se siguen los siguientes pasos:

- Se calcula los pesos retenidos en cada tamiz con que se utiliza para la granulometría, utilizando la siguiente formula.

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

- Posteriormente se calcula el porcentaje retenido acumulado de cada tamiz, el cual se determina con la suma sucesiva de los porcentajes retenidos de cada tamiz con el porcentaje acumulado de cada tamiz.
- Finalmente se calcula el porcentaje pasante de cada tamiz con la siguiente fórmula:

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

Este ensayo de laboratorio se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 422, concordante con las normas peruanas del MTC E – 107, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

▪ Límites de Atterberg o Límites de consistencia

Las pruebas de Atterberg tienen como objetivo determinar la plasticidad de la porción de material que pasa por el tamiz N° 40.

Las propiedades del suelo formado por partículas finamente divididas dependen en gran parte de la humedad, el agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material, cuando el



contenido de agua es muy elevado, el suelo no tiene resistencia al esfuerzo cortante, al aumentar su pérdida de agua aumenta su resistencia (Thomson, 2001).

- **Límite líquido (ASTM D-4318)**

Es el contenido de humedad expresado en porcentajes del suelo secado en el horno, cuando esto se halla en el límite entre el estado plástico y estado líquido, para situar el material en el límite líquido, en la copa de casagrande, la proporción del material que pasa por la malla N° 40 con esa humedad se debe cerrar íntimamente, a lo largo de 1cm, una abertura realizada con el ranurador, al proporcionar 25 golpes sobre la base del aparato. (Gonzales de V. L. 2002).

CÁLCULOS

Para determinar el límite líquido se usa la ecuación:

$$LL = w \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Dónde:

LL : Límite líquido.

N : Número de golpes.

W : Contenido de humedad del suelo.

Este ensayo de laboratorio se realiza de acuerdo a las normas internacionales del ASTM D 4318, concordante con las normas peruanas del MTC E – 110, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



- **Límite Plástico (ASTM D 4318)**

Determinar el límite plástico de los suelos, el cual se define como el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso del suelo seco al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y semisólido. El contenido de agua en este límite, se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo es rolado en hilo de 3.2 mm sin que se rompa en pedazos (Juárez, 1996).

CÁLCULOS

El límite plástico corresponde al promedio de las humedades de ambas determinaciones; se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y corresponde a la siguiente expresión:

$$LP = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

Este ensayo de laboratorio se realiza de acuerdo a las normas internacionales del ASTM D 4318, concordante con las normas peruanas del MTC E – 111, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- **Índice de plasticidad**

Se denomina índice de plasticidad, a la diferencia numérica entre el valor obtenido de límite líquido y límite plástico de una muestra de suelo; El índice de consistencia es más importante, dado que su valor permite conocer cuan plástico es el material (Juárez, 1996).



CÁLCULOS

El índice de plasticidad se obtiene con la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP : Índice de plasticidad del suelo.

LL : Límite líquido del suelo.

LP : Límite plástico del suelo.

▪ **Proctor modificado (ASTM D-1557)**

Este ensayo nos permite conocer la relación entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos compactados; que se realiza en un molde circular de 6" o 4" de diámetro, con un pisón de 4.54 Kg., que cae de una altura de 457 mm. Esta relación contenida de humedad y densidad del suelo, permite conocer que, un suelo que humedad necesita para alcanzar su máxima densidad; a ello se le conoce como la máxima densidad a la cual tiene un mejor comportamiento en la construcción de carreteras (Pomacosi, 2016).

Al compactar un suelo se establece un contacto más firme entre las partículas:

- a. Las partículas de menor tamaño son forzadas a ocupar los vacíos formados por las de mayor dimensión.
- b. Cuando un suelo esta compactado, aumenta su valor de capacidad de soporte y se hace más estable.
- c. Como las partículas se hallan firmemente adheridas después de la compactación, el suelo será más denso y su volumen de vacíos quedará reducidos a un mínimo.

TABLA 3: Método modificado para determinar la relación humedad – densidad de los suelos.

MÉTODO	PASANTE MALLA	MOLDE (Pulg.D)	N° DE GOLPES	N° DE CAPAS	PESO (Lbs)	H (plg) CAIDA	SUELO
A	N° 4	4	25	5	10.0	18	Grano fino
B	N° 4	6	56	5	10.0	18	Grano fino
C	N° 3/4	4	25	5	10.0	18	Grano grueso
D	N° 3/4	6	56	5	10.0	18	Grano grueso

Fuente: Juárez B. E. 2004.

La humedad óptima, es la cantidad de agua para obtener la densidad máxima de un suelo determinado y un esfuerzo determinante de compactación.

La densidad máxima, es la densidad máxima obtenida por ensayos de laboratorio con el contenido de humedad óptima.

Una vez obtenido la relación humedad - densidad en laboratorio, con este dato se realizar el ensayo de CBR. (Juárez B. E. 2004).

CÁLCULOS

Del proctor modificado se obtiene la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH) y los obtenemos de siguiente forma:

– Densidad húmeda:

$$\gamma_h = \frac{(P_m + P_{mh}) - P_m}{V} \times 100$$



Dónde:

γ_h : Densidad húmeda.

P_m : Peso del molde.

P_{mh} : Peso de la muestra húmeda.

V : Volumen del molde.

– Humedad:

$$w(\%) = \frac{P_{mh} - P_{ms}}{P_{ms}} \times 100$$

Dónde:

$w(\%)$: Contenido de humedad.

P_{ms} : Peso de la muestra seca.

P_{mh} : Peso de la muestra húmeda.

– Densidad Seca:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{w(\%) + 100} \times 100$$

Dónde:

γ_s : Densidad seca.

γ_h : Densidad húmeda.

$w(\%)$: Contenido de humedad.



Este ensayo de laboratorio se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 1557, concordante con las normas peruanas del MTC E – 115, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

▪ **Relación de Soporte de California CBR (ASTM D-1883)**

El ensayo de California Bearing Ratio (CBR), nos permite a conocer el valor de capacidad de soporte del terreno de fundación o suelo existente, donde se cimentará la estructura del pavimento; con estos resultados se zonificará las zonas donde requieren mejoramientos con enrocados, pedraplenados o con material granular; y las zonas donde tienen una capacidad de soporte bueno, en la cual no requieren ningún tipo de mejoramiento. El ensayo se realiza en un molde circular de 6” de diámetro, con un pisón de 4.54 Kg., que cae de una altura de 457 mm. Para determinar dicha capacidad de soporte se ensaya con la humedad óptima determinada con el ensayo de Proctor modificado, el cual es la máxima densidad seca el cual tiene un mejor comportamiento en la construcción de carreteras (Pomacosi, 2016).

CÁLCULOS

Determinación de la expansión:

Los especímenes son saturados por 96 horas, con una sobrecarga igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso será menor que 4.50k. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión que es:

$$E(\%) = \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura de la muestra}} \times 100$$



Las especificaciones establecen que los materiales de préstamo son para:

- Sub base granular debe de tener expansiones menores de 2%
- Base granular debe tener expansiones menores de 1%.

Cálculo del CBR:

Las lecturas tomadas, tanto de las penetraciones como la de las cargas, se representan gráficamente en un sistema de coordenadas según programa.

$$CBR = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patrón} \times 100(\%)$$

Para calcular el CBR se toma como material de comparación la roca triturada que sería el 100%.

La resistencia a la penetración que presenta a la hincas del pistón es la siguiente:

TABLA 4: Valores de carga unitario CBR.

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN		
m.m.	Pulgada	Mpa	Kg/cm ²	psi
2.54	0.1	6.9	70	1000
5.08	0.2	10.3	105	1500
7.62	0.3	13.1	133	1900
10.16	0.4	15.8	162	2300
12.7	0.5	17.9	183	2600

Fuente: MTC, 2013.

Como es bien sabido el ensayo de CBR es empleado para determinar la resistencia de los materiales empleados para subrasante, subbase y base en unas condiciones de humedad y densidad, cabe aclarar que también es empleado para materiales reciclados para emplearlo en

pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje, por esta razón el ensayo de CBR es importante los datos para el diseño de pavimentos flexibles (MTC, 2013).

TABLA 5: Clasificación de los suelos para infraestructura de pavimentos.

CBR	CLASIFICACIÓN	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
	GENERAL			
0 -3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5,A6,A7
3 -7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL,CL,ML,SC,SM,SP,GP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM,GC,W,SM,SP,GP	A1b,A2-5,A3,A2-6
	Excelente	Base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Fuente: MTC, 2013.

▪ Abrasión los ángeles

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida del servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima de la Subrasante. La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir, dependen de la granulometría del agregado grueso. En la tabla 6 se muestra el método a emplear, así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que se use deberá ser representativa de la gradación original de material suministrado para la obra y/o de cantera, (MTC, 2000).

TABLA 6: Especificaciones para el ensayo de abrasión para rocas.

MALLAS		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (GR)		
		Métodos		
Pasante	Retenido	1	2	3
3"	2 1/2"	2500+-50		
2 1/2"	2"	2500+-50		
2"	1 1/2"	2500+-50	5000+-50	
1 1/2"	1"		5000+-25	5000+-25
1"	3/4"			5000+-25
Peso total		10000+-100	10000+-100	10000+-100
N° de esferas		12	12	12
N° de revoluciones		1000	1000	1000
Tiempo (min)		30	30	30

Fuente: ASTM C-535.

CÁLCULOS

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose la diferencia entre el peso inicial y peso final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial, se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Desgaste (\%)} = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) \times 100$$

2.2.2.2. Clasificación de suelos

La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuados mediante los ensayos vistos anteriormente, tiene como objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendidos a la similitud de sus características físicas y sus propiedades geomecánicas.

Una adecuada y rigurosa clasificación permite al ingeniero de carreteras tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente suele ser suficiente conocer la granulometría y la plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Además, facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal (Pomacosi, 2016).

▪ **Sistema de clasificación unificada de los suelos (SUCS)**

Este sistema de clasificación de suelos, inicialmente fue propuesto por A. Casagrande en 1942, luego revisado y adoptado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el cuerpo de ingenieros. Este sistema de clasificación se usa en todo trabajo de geotecnia.

Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupos, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades (Pomacosi, 2016). En la siguiente tabla se muestra dichos símbolos y su significación:

TABLA 7: Tipo de suelos y símbolos.

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUB GRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrememente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánica	O	Alta plasticidad	L
Turba	Pt	Baja plasticidad	H

Fuente: Juárez B. 2004.

En función a estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno u otro tipo de suelo.

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

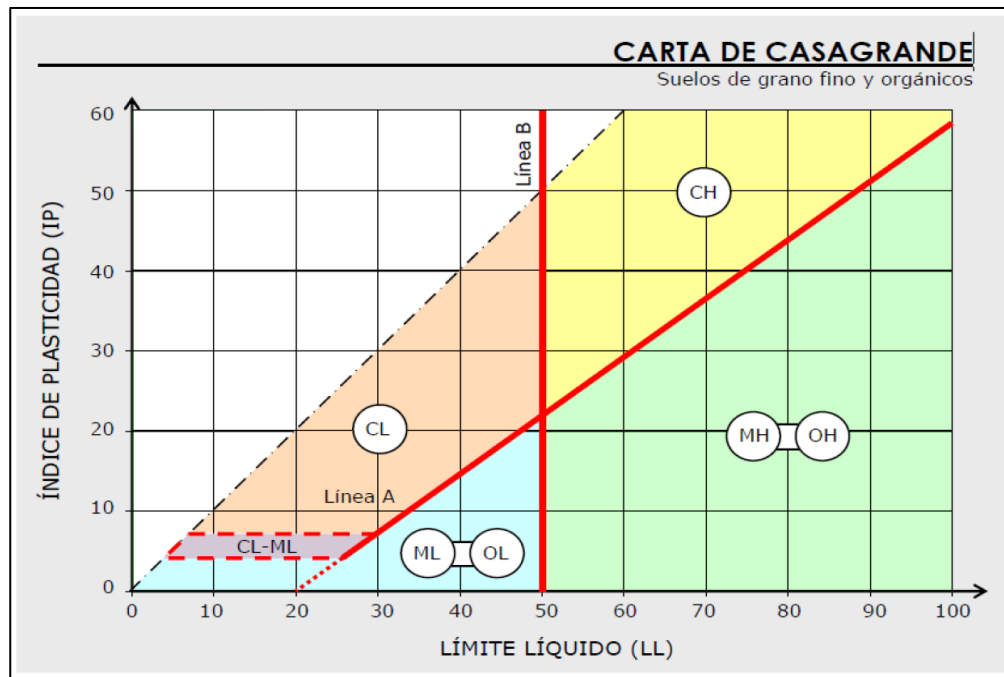


FIGURA 1: Carta de plasticidad de Casagrande.

Fuente: (Bañon B. L. 1998).

De la Figura 1, Se puede deducir que: la Línea A separa los limos y las arcillas; los que tienen un IP que den arriba de la línea A son arcillas y los que den por debajo vienen a ser limos. Muy particularmente los que tengan IP entre 4 y 7 tienen doble simbología.

De igual manera con la línea B, diferencia entre suelos de baja plasticidad y suelos de alta plasticidad que son representados por el límite líquido.

- **Clasificación de gravas y arenas:** Para el sistema unificado de clasificación de suelos las gravas y arenas están clasificadas de acuerdo al tamaño del grano y

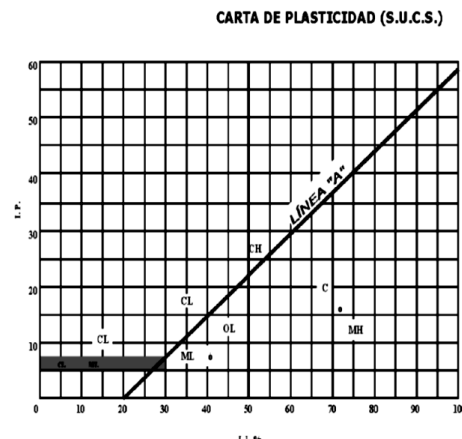


su distribución. Estas a su vez pueden ser clasificados en: Gravas bien graduadas (GW), gravas mal graduadas (GP), gravas limosas (GM), o gravas arcillosas (GC); de igual manera las arenas pueden ser clasificadas como: Arena bien graduada (SW), arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), o arena arcillosa (SC). Gravas y arenas con una pequeña pero importante cantidad de finos (5% y 12%) puede tener una clasificación doble arena bien graduada – arena arcillosa (SW-SC).

- **Clasificación de limos y arcillas:** En este sistema se considera los suelos divididos en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcilla inorgánica (C), limos y arcillas orgánicas (O); cada uno de estos suelos se subdividen a su vez según su límite líquido en dos grupos, cuya frontera es $LL = 50\%$, si el límite líquido del suelo es menor de 50% se le añade el símbolo general la letra L (Baja compresibilidad), si es mayor de 50% se añade la letra H (alta compresibilidad), obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

TABLA 8: Sistema de clasificación SUCS.

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ Las partículas de 0,074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL, PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. $Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		* GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		d			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL, PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	SW		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
	SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	* SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
	d				
	SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0,074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.		LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido menor de 50		ML
		CL			Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatómicos, más elásticos.		
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		



Fuente: Alfonso M (2002).

▪ **Clasificación de la asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes (AASHTO)**

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por los geotécnicos Terzaghi y Hogentogler en 1928. Inspirado en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta



el A-7, a su vez algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2 tiene cuatro sub grupos.

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (**IG**), expresado como un numero entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz # 200 ASTM.

$$\mathbf{IG} = 0.2(a) + 0.005(a*c) + 0.01 (b*d)$$

Donde:

- a. Es el porcentaje de suelos, pasante del tamiz # 200, comprendidos entre 35 % a 75 %. Se expresa como numero entero con un valor entre 0 a 40.
- b. Es el porcentaje de suelos, pasante del tamiz # 200, comprendidos entre 15 % a 55 %. Es un numero entero con un valor entre 0 a 40.
- c. Es el valor de Limite Liquido comprendido entre el 40 a 60. Se expresa como un numero entero con un valor entre 0 a 20.
- d. Es el valor de Índice Plástico comprendido entre 10 a 30. Se expresa como un numero entero con un valor entre 0 a 20.

El índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice igual o mayor a 20, un suelo no utilizable para carreteras.

En la siguiente tabla 9, se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo y subgrupo, de los suelos existentes.

TABLA 9: Clasificación de suelos AASHTO.

DIVISION GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM # 200)							Materiales Limo - Arcillosos (pasa más del 35% por el tamiz ASTM # 200)				
GRUPO		A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANALISIS GRANULOMETRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	# 10	50 max.											
	# 40	30 max.	50 max.	51 min.									
	# 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM # 40)													
Limite Líquido			NP	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.		
	Índice Plástico	6 max.		10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.		
INDICE DE GRUPO	0		0	0		4 max.		8 max.	12 max.	16 max.	20 max.		
TIPOLOGIA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos rcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA							ACEPTABLE A MALA					

Para la clasificación de A-7-5: se tiene que tener en cuenta de IP<LL-30
Para la clasificación de A-7-6: se tiene que tener en cuenta de IP>LL-30

Fuente: Alfonso M (2002).

2.2.3. Estudio de canteras

Uno de los factores más importantes que inciden directamente en la calidad de la obra, es el estudio de canteras, al evaluar una cantera para su uso como material de relleno y afirmado deberán tenerse en cuenta lo siguiente:

- Es importante determinar la cubicación del material de la cantera, se debe indicar el volumen disponible (Delgado, 1996).
- Verificar la libre disponibilidad para la extracción del material de la cantera, se presentará documento que acredite la libre disponibilidad (Delgado, 1996).
- Deberá especificarse el método de explotación de la cantera, para lo cual se debe presupuestar el equipo e insumos necesarios para su explotación. En caso que sea necesario el uso de explosivos se deberá hacer usando calambucos, así

mismo el zarandeo del material de modo de eliminar material grueso mayor de 2 (Delgado, 1996).

- Se debe identificar los puntos de agua, los cuales deben tener un volumen suficiente para el riego en el compactado (Geoconsul, 2012).
- En caso que el material de cantera no cumpla con los parámetros establecidos, se deberá presentar alternativas de intercambio de material granular y/o ligante de acuerdo al caso, de modo que la graduación de la curva granulométrica este dentro de los rangos recomendados (Geoconsul, 2012).

2.2.3.1. Características geotécnicas de canteras

Los ensayos de laboratorio que se han efectuado de acuerdo a normas estándar, siguiendo las especificaciones del Método de ensayo, ASTM, AASHTO como se muestran en la siguiente tabla 10.

TABLA 10: Especificaciones Geotécnicas.

ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	ASTM	AASHTO
Contenido de humedad	MTC E 108	0-2216	
Granulometría	MTC E 204	C-136	T27
Límites de consistencia	MTC E 111	D-4318	T89
Peso específico	MTC E 206	C-127	T85
Proctor modificado	MTC E 115	0-1557	T180
C.B.R.	MTC E 132	D-1883	T193
Abrasión los ángeles	MTC E 207	C-131	T96

Fuente: Elaboración propia.



- **Ensayos estándar**

Ensayos para terraplenes

- Humedad natural MTC E 108
- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- 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, 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

Los ensayos de laboratorio que se deben realizar son:

- **Peso específico y absorción de agregados gruesos MTC E 206**

Este ensayo de laboratorio está basado en las Normas ASTM C 127 Y AASHTO T85, los mismos que han sido adaptados, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad.

El objetivo de este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz N° 4).

Equipos:

Balanzas, con capacidad igual o superior a 5000 g, según el tamaño máximo de la muestra para ensayo (Tabla 7), con sensibilidad de 0.5 g para pesos hasta de 5000 g, o 0.0001 veces el peso de la muestra, para pesos superiores.

Canastillas metálicas, como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3 mm. Para agregados con tamaño máximo inferior a 38 mm (1 1/2") se utilizaron canastillas con capacidades de 4 a 7 dm³ y para tamaños superiores canastillas con capacidades de 8 a 16 dm³ (litros).

Preparación de la muestra

Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la tabla 11, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

TABLA 11: Determinación de pesos específicos y absorción (MTC E-206)

mm	pulg	Cant. mínima Kg
Hasta 12.5	½	2
19.00	¾	3
25.00	1	4
37.50	1 ½	5
50.00	2	8
63.00	2 ½	12
75.00	3	18
90.00	3 ½	25

Fuente: Cesar T. (2018).



Procedimiento

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en una estufa 100° - 110 °c y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 horas.

Cuando se vayan a utilizar los valores de la absorción y pesos específicos en concretos hidráulicos con agregados normalmente empleados en estado húmedo, se puede prescindir del secado hasta peso constante. Además, si los agregados se han mantenido con su superficie continuamente mojada hasta el ensayo, pueden también suprimirse las 24 horas de inmersión en agua. Los valores obtenidos para la absorción y el peso específico aparente con agregados en el estado de saturados con superficie seca, pueden ser significativamente más altos si antes de mojarlos se ha omitido el secado previo, se seca entonces la muestra en horno a 100° - 110 °c, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.

- **Ensayo abrasión los ángeles**

Este ensayo se realiza a los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2"). Este modo operativo está basado en las Normas ASTM C 131, AASHTO T 96 y ASTM C 535, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad.

El objetivo de este ensayo se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los ángeles, el método se emplea para determinar la resistencia

al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva. Para la abrasión de agregados gruesos el cilindro lleva en sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaquetadura que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 390 g y 445 g y dependerá de la granulometría del ensayo, A, B, C D, según se indica en la tabla 12.

TABLA 12: Resistencia al desgaste abrasión los ángeles (MTC E-206)

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso total (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	3330 ± 20
C	8	4584 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente: MTC - 2013.

Procedimiento

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de los ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (N° 12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (N°12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C.

De acuerdo a las especificaciones generales para la construcción de carreteras (EG-2013) según el MTC, los ensayos fundamentales y sus frecuencias para afirmado.

TABLA 13: Especificaciones generales para la construcción de carreteras.

ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS VIALES						
ENSAYOS FRECUENTES	PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS	MÉTODO DE ENSAYO	NORMA ASTM	NORMA AASHTO	FRECUENCIA	LUGAR DE MUESTREO
	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 27	1 cada 750m ³	Cantera
	Límites de consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89	1 cada 750m ³	Cantera
	Abrasión los ángeles	MTC E 207	D 131	T 96	1 cada 2000m ³	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	1 cada 2000m ³	Cantera
	Densidad – Humedad	MTC E115	D 1557	T 180	1 cada 750m ³	Pista
	Compactación	MTC E 117	D 1556	T 191	1 cada 250m ³	Pista
		MTC E 124	D 2922	T 238		

Fuente: MTC - 2013.

También la norma señala que para afirmados se debe cumplir con los siguientes requisitos: Que los materiales granulares para la construcción del afirmado deberán ajustarse a las siguientes franjas granulométricas como se muestra en la tabla 14.

TABLA 14: Franjas granulométricas.

TAMIZ	A-1	A-2
50 mm (2")	100	-
37.5 mm (1 1/2")	100	-
25 mm (1")	90 – 100	100
19 mm (3/4")	65 – 100	80 – 100
9.5 mm (3/8")	45 - 80	65 – 100
4.75 mm (N°4)	30 – 65	50 – 85
2.0 mm (N°10)	22 – 52	33 – 67
425 µm (N°40)	15 – 35	20 - 45
4.5 µm (N°200)	5 - 20	5 - 20

Fuente: AASHTO M - 147.



Así mismo, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

2.2.3.2. Exploración

La exploración de las canteras o fuentes de materiales debe cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto.

El número mínimo de calicatas será de 6 de 3.0 m de profundidad o alternativamente 12 calicatas de 1.5 m de profundidad por hectárea por medio de sondeos, calicatas y/o trincheras. Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, mínimo 06 pruebas por tipo de ensayo a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, afirmados, concreto, etc Geoconsul, 2012).

▪ Muestreo de canteras

Es necesario ubicar materiales aparentes para su empleo en diferentes capas del pavimento y obras de arte, observándose todos los lugares donde existen materiales sedimentarios en el sub-suelo y en zonas que geológicamente pudieran ser fuentes de rocas en descomposición o de materiales granulares aparentes para la construcción del pavimento y de las obras definidas en un estudio (Herrera, 1999).



- **Explotación de canteras**

Referente a ver la calidad de las canteras, conocer si cumplirá con las condiciones de las especificaciones del material que se busca, asimismo se deberá conocer la suficiente potencia rendimiento del mismo, el estado de los accesos y su situación legal (Lahee, 1979).

Las canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio (Lambe, 1989).

- **Tipos de cantera**

Cantera de suelos. Estas canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia). Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, sondeos y/o trincheras de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio (Judd, 1972).

Cantera de roca. Las características del afloramiento rocoso como fracturamiento, volumen, dimensionamiento de los bloques y la metodología del procesamiento de explotación (método de voladura, chancado, etc) (Radnor, 2005).

2.2.4. Clasificación geomecánica de roca

La clasificación geomecánica tiene como objetivo proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples, y observaciones de campo.

2.2.4.1. Designación de la calidad de rocas (RQD)

La Designación de la calidad de Rocas (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso, basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

TABLA 15: Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.

RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988.

El diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm, y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo.

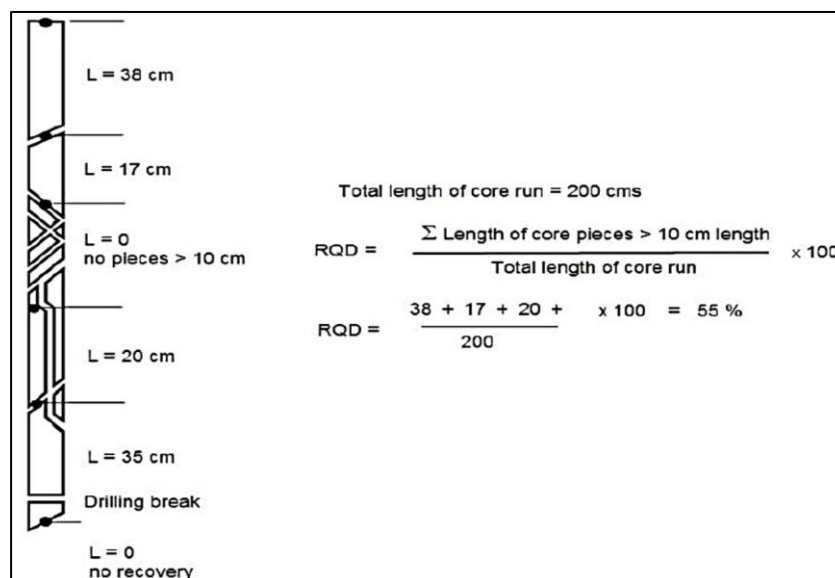


FIGURA 2: RQD.

Fuente: Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988.



Si no se disponen de sondeos, una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 JV \rightarrow JV > 4.5$$

$$\text{RQD} = 100 \quad \rightarrow JV \leq 4.5$$

Donde: JV es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3 .

También se tiene otra forma de hallar el RQD, es tomar una línea con cinta métrica en el entorno de la estación geo mecánica o entre varias de ellas alineadas (tomaremos en general tantas zonas como diferenciadas estimemos, aunque habitualmente será suficiente con un par de ellas si el macizo es muy semejante en toda la longitud investigada).

Medimos todas las juntas que interceptan nuestra línea “grosso modo”, siendo este el parámetro “ λ ”. Para la determinación del RQD del macizo. Aplicaremos la formulación de Priest y Hudson que requiere de λ . (juntas por metro lineal)

$$\text{RQD} = 100 e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Donde: λ es el número de juntas por metro lineal.

2.2.4.2. Valoración de roca (RMR)

La valoración del macizo rocoso (Rock Mass Rating), introducido por Bieniawski (1976), es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb.



En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

$$c = 5 \text{ RMR (KPa)}$$

$$\phi = 5 + \frac{\text{RMR}}{2} \text{ (deg)}$$

Donde:

c: es la cohesión

Φ : es el ángulo de fricción.

El **RMR** es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

1° Resistencia del material intacto, que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.

2° RQD

3° Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.

4° Condición de las discontinuidades, que incluye:

- Longitud de la discontinuidad
- Abertura
- Rugosidad
- Relleno
- Alteración

5° Presencia de agua subterránea.

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el **RMR** se obtiene como a suma de todos ellos.

$$\mathbf{RMR} = (1^\circ) + (2^\circ) + (3^\circ) + (4^\circ) + (5^\circ)$$

Una vez obtenido el **RMR** para el macizo, se pueden obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo de fricción.

Hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR76, del año 1976, y el RMR89, del año 1989. La diferencia es en los valores que se les asignan a los parámetros de presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades y RQD conjuntamente con el espaciado de las discontinuidades. Se muestra la diferencia entre valores que se le dan a los parámetros según el criterio.

TABLA 16: Diferencia de valores entre RMR₇₆ y RMR₈₉.

PARÁMETRO	RMR ₇₆	RMR ₈₉
RQD y Espaciado de las discontinuidades	8 - 50	8 - 40
Condición de las discontinuidades	0 - 25	0 - 30
Presencia de agua subterránea	0 - 10	0 - 15

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976.

TABLA 17: Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR₈₉.

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-	75-90%	50-75%	25-50%	25%			
	Valor	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	< 6 cm			
	Valor	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0	1-5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
		Valor	15	10	7	4	0		

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Cantera

Una cantera es fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción civil, estructuras, vías,



presas y embalses, entre otros. Por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto.

2.3.2. Caracterización

Es la descripción cuantitativa y cualitativa de los suelos, para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. (Chura, W. 2016).

2.3.3. Estudio de suelos

El estudio del sitio donde se proyecta construir un puente, una carretera, etc. Y particularmente la operación de obtención de muestras, se deja muchas veces en manos de personal poco experimentados.

El estudio del suelo no debe limitarse al lugar por donde pasará una carretera, o donde se levantará un terraplén. El estudio del sitio debe comprender los principales accidentes naturales del terreno; asimismo el conocimiento de las características de la región: si es o no una zona lluviosa.

Los factores que intervienen en la formación de los suelos podríamos resumirlos a los siguientes:

- La materia de origen, o roca madre, de la cual se ha originado el suelo.
- El agua.
- La topografía del lugar.
- El clima de la región.
- Temperatura
- Los organismos existentes.
- El ser humano



El suelo es, por lo tanto, una función de estas variables: roca madre, agua, topografía, clima, organismos y el ser humano.

Las principales características de los suelos son los siguientes:

- Su composición química y mineralógica.
- Tamaño de sus partículas.
- Peso específico.
- Contenido de humedad.

La composición química y mineralógica de los suelos es la principal característica, pues las propiedades de un suelo están íntimamente relacionadas con su contenido de metales o metaloides. Los principales elementos que se encuentran en las rocas, no en estado libres, sino combinados con el oxígeno. Asimismo, como quiera que el tamaño de las partículas es la primera característica que se observa y la menos difícil de medirla (Valle R. R. 1997).

2.3.4. Mecánica de suelos

La llamada precisamente “Mecánica de Suelos” es un fruto característico de la ingeniería de nuestro tiempo: fue a principios de este siglo, en 1913, en los Estados Unidos y en Suecia, donde se intentó por primera vez, en forma sistemática y organizada, realizar estudios que corrigieran vicios seculares en el tratamiento de los suelos. Poco después, un hombre extraordinario de nuestro tiempo, un hombre de auténtico y genio, hizo investigaciones en un laboratorio muy modesto, con el auxilio de sus cajas de puros, en una Universidad en el cercano Oriente. Allí nació verdaderamente la Mecánica de Suelos (Juárez B. E. 1996).



2.3.5. Propiedades físico-mecánicas de suelos

La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físico mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva. (Juárez B. E. 1996).

2.3.6. Roca

Es un agregado natural duro y compacto de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. (González de Vallejo, 2002).

Agregado natural compuesto de partículas de uno o más minerales, con fuertes uniones cohesivas, que no pueden ser disgregados o excavados con herramientas manuales, originada en forma natural por procesos geológicos. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2012).

2.3.7. Suelo

Se denomina suelo a todo agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta junto con el agua y aire que ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas.

conjunto de partículas minerales o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, pero a veces de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire. (UNE-EN ISO 14689-1).

2.3.8. Terraplén

Los terraplenes son grandes acumulaciones de tierra adecuadamente tratadas y compactadas para asegurar su estabilidad y servir de soporte a la vía; se construyen en zonas de cota inferior a la prevista en proyecto mediante aportes de tierras, pudiendo aprovecharse las extraídas en zonas de desmonte; siempre que sean aptas o emplear tierras de préstamo traídas de zonas cercanas.

Es lógico pensar que en un terraplén la distribución tensional de cada uno de sus puntos varía con la profundidad, debido sin duda a la progresiva disipación de las cargas de tráfico ocasionada por el aumento de la sección resistente. Este hecho se traduce en que la calidad exigible a un suelo decrece a medida que nos alejamos del firme sustentador del tráfico, foco generador de las tenciones (Bañon, B. L. 1998).

2.3.9. Terreno De Fundación

Se denomina suelo de fundación a la capa de suelo a la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el pavimento.

Es aquel que sirve de fundación o soporte determinado el movimiento de tierra o compacto, de su capacidad de soporte (C.B.R) depende en gran parte del espesor que debe tener un pavimento o mejorar su condición.

TABLA 18: Clasificación del suelo según su C.B.R.

TERRENO DE FUNDACIÓN	C.B.R.
Pobre	2 -5
Regular	5 – 10
Bueno	10 - 20
Muy bueno	20 – 40
Excelente	40 - 80

Fuente: Juárez B. E. 1996.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología que se desarrolló en el presente trabajo de investigación es analítico - descriptivo, realizada mediante la recopilación de datos en campo para su posterior análisis e interpretación; Estos datos los obtendremos en el software Excel, con este programa podremos tener una base de datos y resultados; donde fácilmente se podrá interpretar los distintos ensayos de laboratorio necesarios para la pronta ejecución de la carretera Pomata – Yorohoco (PU 675) de la Provincia de Chucuito – Puno.

3.1.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo analítico descriptivo; Respecto a las propiedades físico- mecánicas que presentan el terreno de fundación y los materiales de canteras.

3.2. Revisión, recopilación y elaboración de informaciones preliminares

Para el presente trabajo de investigación, se realizó la planificación de este según la metodología a aplicar, se revisó y recopiló información bibliográfica relacionada al tema a investigar.

Se tomó en consideración bibliografía como: trabajos de investigación, tesis, artículos; para así obtener una visión del estado de conocimiento en relación al estudio geotécnico para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco, la metodología relacionada a las características geomecánicas de los suelos del terreno de fundación y las



propiedades físico – mecánicas de los materiales de préstamo, para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco (PU-675).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población considerada para este trabajo de investigación, está comprendida por toda la extensión de la carretera Pomata – Yorohoco que consta de 33.672 Km que están considerados para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco (PU 675), Provincia de Chucuito de la Región de Puno.

3.3.2. Muestra

Como muestra en el presente trabajo de investigación, se ha tomado en consideración a la obtención de materiales de cada calicata realizada, desde el inicio Pomata hasta el final Yorohoco a cada 500m a lo largo de la vía, por las características del terreno ya que se observa uniformidad, consecuentemente se obtuvo 68 calicatas. Para la ubicación de estas se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS) y la respectiva descripción de sus características geomecánicas in-situ.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

Características Geotécnicas del terreno de fundación.

3.4.2. Variable dependiente

Estudio geotécnico para el mejoramiento de la carretera Pomata – Yorohoco (PU 675) provincia de Chucuito - Puno.

3.4.3. Operación de variables

TABLA 19: Operación de variables.

VARIABLES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTOS
V. independiente Características geotécnicas del terreno de fundación y de canteras.	Contenido de humedad	Clasificación SUCS AAHSTO	(%) de humedad
	Granulometría		Tabla SUCS
	Límites de consistencia		Tabla AAHSTO
			L.L
		L.P	
		I.P	
	Densidad máxima seca compactada	Proctor	Ensayo de Proctor modificado
	Capacidad de carga	C.B.R	Ensayo de C.B.R
Gravedad específica y absorción de finos.	Peso específico	Ensayo de peso específico y absorción de grava	
Calidad del suelo empleado	Cantidad de finos	Ensayo de equivalente de arena	
Resistencia a la trituración pétreo	Durabilidad de la roca	Ensayo abrasión los ángeles	
V. dependiente Estudio geotécnico	Terreno de fundación	Certificados de laboratorio	Laboratorio de suelos y rocas.
	Canteras o materiales de préstamo		Softwares

Fuente: Elaboración propia.

3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Etapa de campo

La recolección de datos de campo constituye la parte más importante para el estudio geotécnico de la carretera Pomata - Yorohoco. Cuya técnica empleada en el presente trabajo de investigación es la observación y la recolección de muestras del



terreno de fundación, que consiste en realizar calicatas a cada 500m. a lo largo de toda la extensión de la carretera y observar detalladamente el perfil estratigráfico que se presente, para su posterior análisis en laboratorio y clasificación de suelos.

En esta etapa se realizó el reconocimiento de la plataforma existente de todo el tramo de carretera en construcción; asimismo se realiza el replanteo topográfico a lo largo del tramo, con la ubicación y monumentación de los BMs, con la colocación y pintado de progresivas cada veinte (20) metros en las tangentes y a cada diez (10) metros en curvas.

De igual manera se realizó el reconocimiento para la ubicación de los lugares donde se apertura las calicatas a cielo abierto de acuerdo a los diferentes tipos de suelos para su posterior muestreo en cantidades suficiente. En cada calicata aperturada se realizará la descripción detallada de manera visual del perfil estratigráfico que presenta en cada una de ellos, también si se tiene presencia de material orgánico, nivel freático, humedad natural, etc.

Las muestras obtenidas serán distribuidas o alteradas en cantidades suficientes, para ser enviadas al laboratorio de mecánica de suelos y realizar los ensayos correspondientes para determinar sus características físico-mecánicas.

Asimismo, se realizará el reconocimiento de los sectores donde se tomarán como materiales de préstamo; y su respectiva apertura de calicatas y muestreo de materiales, para su posterior envío al laboratorio de suelos para la realización de sus ensayos



3.5.2. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

Esta etapa de trabajo consiste en realizar y procesar las muestras distribuidas o alteradas, dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos.

Los ensayos de laboratorio que se realizaron son de acuerdo a normas nacionales e internacionales como las normas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) y Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO); los cuales son los siguientes:

Ensayos en terreno de fundación

- Contenido de humedad natural MTC E-108.
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E-107.
- Determinación del límite líquido del suelo MTC E-110.
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC E-111.
- Proctor modificado MTC E-115.
- CBR de suelos MTC E-132.

Ensayos de laboratorio en canteras y especificaciones

- Contenido de humedad MTC E-108
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E-107.
- Determinación del límite líquido del suelo MTC E-110.
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC E-111.
- Proctor modificado MTC E-115.
- CBR de suelos MTC E-132.
- Equivalente de arena MTC E-114.

- Abrasión los ángeles MTC E-207.

Los Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas:

TABLA 20: Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular (MTC. ASTM D 1241).

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

También el material deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad (tabla 21):

TABLA 21: Requerimientos de calidad de los materiales de préstamo.

ENSAYO	NORMA MTC	NORMA ASTM	NORMA AASHTO	REQUERIMIENTO	
				< 3000 msnm	> 3000 msnm
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % màx	25 % màx
Índice Plàstico	MTC E 111	D 4318	T 89	6 % màx	4 % màx
Abrasi3n	MTC E 207	C 131	T 96	50 % màx	50 % màx
C.B.R.	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mìn	40 % mìn
Equiv. de arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % mìn	35 % mìn

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

De acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcci3n de Carreteras (EG-2013) segùn el MTC, los ensayos fundamentales y sus frecuencias para los materiales de capa base y sub-base deberàn cumplir con los son los siguientes requisitos de calidad:

TABLA 22: Requisitos de calidad para base y sub-base.

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de Ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de Muestreo
Base	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 27	1 cada 750 m ³	Cantera
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89	1 cada 750 m ³	Cantera
	Abrasión Los Angeles	MTC E 207	C 131	T 96	1 cada 2000 m ³	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	1 cada 2000 m ³	Cantera
Sub-base	Equivalente de arena	MTC E 114	D 2419	T 176	1 cada 2000 m ³	Cantera
	Densidad – Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	1 cada 750 m ²	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T 191 T 238	1 cada 250 m ²	Pista

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

Son estos ensayos especiales que se requieren para conocer las características físico mecánicas de los suelos que intervendrán en la construcción de la carretera.

3.5.3. Trabajos de gabinete

De acuerdo a los resultados de campo y obtenidos en laboratorio, se evaluó y clasificaron todos los estratos existentes en cada una de las calicatas, con los cuales posteriormente se zonificarán en sub tramos.

En esta etapa de gabinete, por su clasificación y demás características, se zonificará por correlación en varios sub tramos, para el mejor entendimiento y planificación en el movimiento de tierras, y los sectores que requieren mejoramiento, con lo cual se determinan las profundidades necesarias para mejorar su capacidad de soporte de los suelos de fundación.



Así mismo con los resultados de campo y laboratorio de suelos, se realizará los perfiles estratigráficos de las calicatas realizadas y su descripción correspondiente.

También se realizó el reconocimiento de canteras y zonas donde se requiere muros de contención, los cuales satisfacen las especificaciones técnicas generales de carreteras EG- 2000.

3.5.4. Descripción final

Toda la información obtenida de campo y laboratorio han sido plasmadas en este trabajo de investigación que consta de 5 capítulos y sus respectivas conclusiones y recomendaciones, así mismo se presentarán los anexos de ensayos de laboratorio y otro. En gabinete para observar los resultados obtenidos y se utilizaron los siguientes softwares como: Microsoft Excel, AutoCAD, ARCGIS 10.8 y otros.

3.6. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

Los materiales que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, son los siguientes:

- Formatos de registro.
- Planos.
- Ábacos y tablas.
- Libreta de notas.
- Tableros acrílicos A4.
- Útiles de escritorio.
- Bolsas de muestreo.

Los instrumentos y herramientas que se utilizaron para la recolección de muestras:

- GPS.



- Wincha de 50m.
- Flexómetro.
- Brújula Brunton.
- Martillo de geólogo.
- Lupa de geólogo.
- Protractor ruler.
- Retroexcavadora.
- Pala.

Los equipos utilizados en este trabajo de investigación son los siguientes:

- Estación total.

Equipos de mecánica de suelos para los ensayos.

- Juego de tamices de ensayo (90-80-63-32-16-8-4-2-1-0,5-0,25- 0,125- 0,063) con tapa y fondo herméticos.
- Aparato de limite líquido (Casagrande). Esta de operación manual.
- Acanalador.
- Molde de compactación de 66.33mm de altura de 7kg y 9kg estándar o modificado respectivamente.
- Martillo de compactación cara plana circular de 50.8mm. de diámetro de peso 4.5Kg y 8Kg estándar o modificado respectivamente.
- Prensa para ensayos manual digital con celda de carga 5000Kg e indicador digital, dial de 0.001” de penetración con un fijador mecánico manual.
- Molde de metal cilíndrico de 152.4mm, de diámetro 177.8mm y de altura 7”.
Equipo de CBR.



- Disco espaciador de metal de forma circular de 150.8mm y de 61.37mm de diámetro.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de $49.63 \pm 0,13$ mm ($1,954 \pm 0,005$ "") de diámetro, área de 19.35 cm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobre cargas precisas de acuerdo con el numeral 3.4, pero nunca menor de 101.6 mm (4").
- Máquina de desgaste de los Ángeles.
- Esferas de acero de 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
- Tuvo Irrigador de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
- Sistema de sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire.
- Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
- Recipiente para almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente
- Espátula de hoja flexible de unos 75 a 100mm (3"-4") y 20mm (3/4") de ancho aproximadamente.
- Calibrador barra de metal de 10.00 ± 0.2 mm de espesor y de 50mm (2") de largo aproximadamente.



- Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo.
- Pisón de metal. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica.
- Recipiente metálico. De estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de 85 ± 5 ml.
- Cronometro o reloj. Lecturas en minutos y segundos.
- Equipo de corte directo.
- Balanza con sensibilidad de 0.01gr
- Horno para el secado de muestras.
- Poza de agua.
- Recipientes metálicos y de plástico de todos los tamaños
- Brochas
- Espátulas
- Cepillos metálicos y de plástico.
- Lentes de seguridad.
- Cámara fotográfica.
- Laptop.
- Softwares especializados.
- Memoria flash USB.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA

Región : Puno
Provincia : Chucuito
Distritos : Pomata, Zepita y Huacullani
Kilometraje : Km 00+000 – Km 33+672

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Inicio (Pomata)

Latitud sur 16° 17' 01"
Longitud oeste 69° 17' 73"
Altitud 3827.00 m.s.n.m.

Final (Empalme carretera Desaguadero - Mazocruz)

Latitud sur 16° 33' 45"
Longitud oeste 69° 19' 72"
Altitud 4040.00 m.s.n.m.

COORDENADAS UTM Zona: 19 L Hemisferio: Sur

Inicio (Pomata)

Este: 469618.8
Norte: 8198871.9

Final (Empalme carretera Desaguadero - Mazocruz)

Este: 465871.1
Norte: 8168506.1

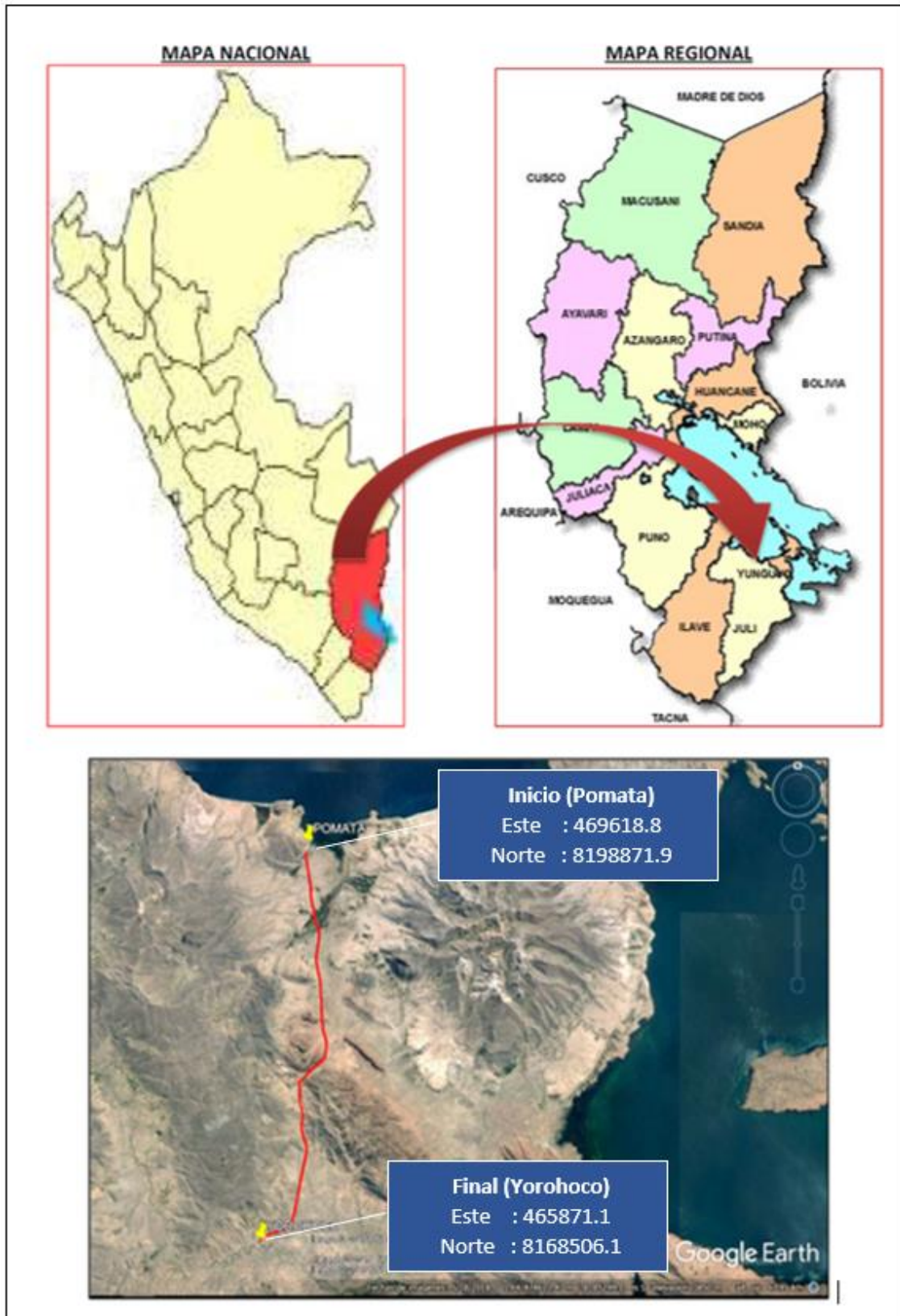


FIGURA 3: Ubicación del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia, Vista Google Earth.



4.2. ACCESIBILIDAD

El acceso al área de estudio desde la ciudad de Lima es por vía terrestre y aérea:

El acceso por vía terrestre es Lima - Arequipa – Juliaca – Puno – Chucuito – Platería – Acora – Ilave – Juli – Pomata - sector Pueblo Libre – sector Yorohoco. la vía de acceso no se encuentra en su totalidad asfaltada.

El acceso por vía aérea Lima - Juliaca y de esta a la ciudad Puno – Chucuito – Platería – Acora – Ilave – Juli – Pomata - sector Pueblo Libre - sector Yorohoco. por vía terrestre.

TABLA 23: Accesibilidad.

PARTIDA	LLEGADA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Hrs)	VÍA	FRECUENCIA	SERVICIO DE TRANSPORTE
Lima	Juliaca	843	1.50	Aérea	2 vuelos al día	Avión
Juliaca	Puno	41.6	0.42	Terrestre	Constante	Combi, Bus.
Puno	Pomata	104.4	1.38	Terrestre	Constante	Combi, Bus.
Pomata	Sector Pueblo libre	4	0.15	Terrestre	-	Particular.

Fuente: Elaboración propia.

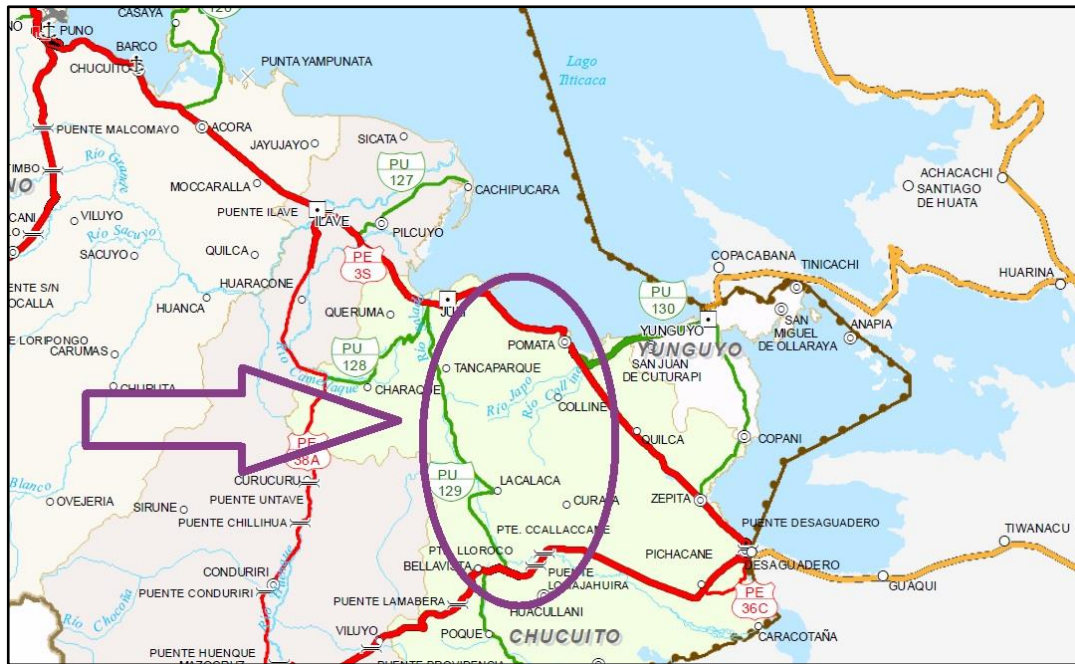


FIGURA 4: Acceso del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia, Mapa de vías del MTC.

Desde la ciudad de Puno al área de estudio, se llega por vía terrestre asfaltado PE 3S (Puno – Ilave – Juli – Pomata) con un recorrido aproximado de 104 km., cuyo desvío en el sector pueblo libre del Distrito de Pomata se ha considerado como inicio de la carretera en estudio Prog. 0+000, pasando por el C.P. de Lampa Grande sector Lampa Putuma Prog. 4+440, C.P de Collini Prog. 7+ 830, C.P. San Miguel de Huapaca Prog. 16+000, sector Huanconi Prog. 19+400, sector Alto Apacheta Prog. 20+620, Comunidad Tarapoto Prog. 23+160 y finalmente empalmar a la carretera Desaguadero - Mazocruz en el sector de Yorohoco Prog. 33+672 considerando fin de la carretera.

4.3. CLIMA E HIDROLOGÍA

Las condiciones climáticas en el ámbito geográfico que abarca el presente estudio, corresponden al tipo semi-seco y frío en su generalidad. Durante el año las estaciones climáticas son prácticamente dos: Una húmeda caracterizado por sus precipitaciones pluviales (noviembre a marzo) época apropiado y recomendable para la construcción de

estructuras de concreto; y la otra época seca caracterizado por la ausencia de lluvias y baja temperatura nocturna (Senamhi, 2018).

4.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En el área del presente trabajo de investigación la geomorfología local fue realizada a una escala de 1/5000, en el cual nos muestra cinco unidades geomorfológicas resaltantes que se describen a continuación: (Ver anexo C, Plano N°04).

4.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

4.5.1. Colinas

Son cadenas de elevaciones bajas menores a 300 m con superficiales planas a subredondeadas y cadenas con pendientes moderadas.

En la zona de estudio geomorfológicamente se caracteriza por presentar relieves de pendientes moderadas a suaves de una topografía ondulada, conformada por cerros erosionados por las numerosas quebradas existentes. Está generalmente constituida por el Grupo Puno materiales de areniscas arcósicas y conglomerados Km 22+550.



FIGURA 5: Visualización de colinas y lomadas Cerro Chalhuani.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Llanura

Esta unidad geomorfológica está cubierta por vegetación herbácea. Constituye llanuras aluviales tanto de origen fluvial como lacustres o combinadas debido a que en determinados tiempos ha sufrido un relleno parcial, en temporadas de lluvias produciendo un anegamiento continuo produciendo suelos hidromórficos denominado bofedal generada posiblemente por procesos tectónicos. Litológicamente se encuentran conformados por sedimentos de origen fluvial como son arcillas, limos.

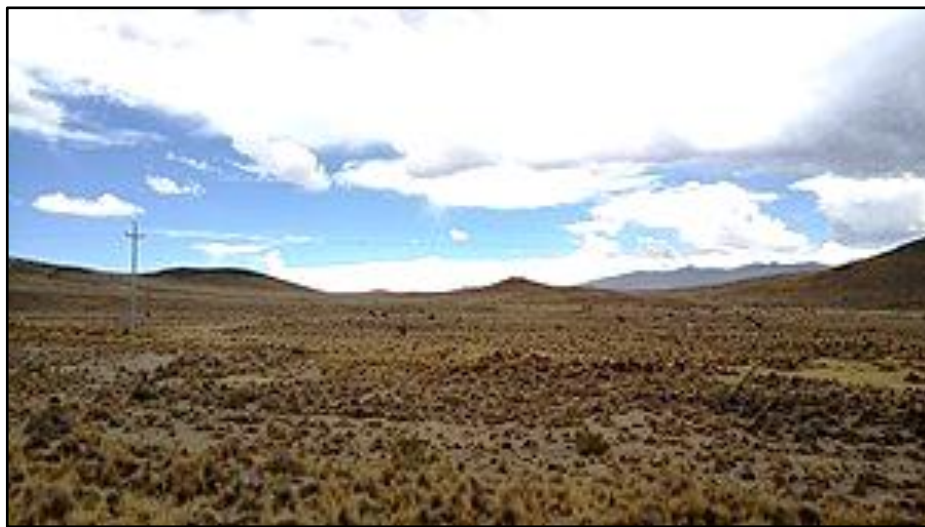


FIGURA 6: Visualización de llanuras progresiva km 20+680.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3. Montaña

Son elevaciones mayores de 3000.00 m.s.n.m., con topografía moderada a fuerte. Observadas cercanas a las progresivas Km 22+500 – 23+000.



FIGURA 7: Visualización de montañas al fondo CP. San Miguel de Huapaca.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.1. Montaña estructural

Son alineamientos montañosos de secuencias estratificadas, estructuralmente plegadas y/o con buzamientos de capas que controlan la pendiente de las laderas, formando cuestas y espinazos Km 18+500, lado izquierdo.



FIGURA 8: Visualización de montaña estructural, Cerro Siquipaca.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4. Planicie

Son superficies extensas planas, depresiones inmediatas a los cursos fluviales, principalmente en la zona baja, como se presenta en las pampas de Metani, Mejani, Llaquepa, se encuentran en todo el entorno de la de carretera Pomata Yorohoco. Es la geoforma más importante por ser la más estudiada tanto en superficie como en profundidad, realizando las calicatas en todo el tramo donde está ubicada la superficie de rodadura de dicha vía. Son distinguibles porque se trata de superficies planas, conformadas en parte por zonas inundables, áreas húmedas, donde se emplaza la vía de acceso. Según las evaluaciones realizadas, el camino vecinal es la acumulación de material propio de ambos márgenes de la vía, que actualmente presenta zonas elevadas.



FIGURA 9: Visualización de pampas de Mejani Km 6+000.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.5. Terrazas

Las terrazas que se observan en el área de estudio son de origen aluviales o terraza de río como en el sector Huanconi Cerro Chilcane en la Prog. 19+400. Que constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesetas construidas en un valle fluvial por los

propios sedimentos del río que se depositan a los lados del cauce en los lugares en los que la pendiente del mismo se hace menor, con lo que su capacidad de arrastre también se hace menor. Corren a lo largo de un valle con un banco a manera de escalón que las separa, ya sea de la planicie de inundación o de una terraza inferior.

4.5.6. Pie de monte

Son superficies ligeramente inclinadas, con depósitos que descienden hacia las llanuras aluviales, fluvio-glaciares y valles así Tenemos ubicados al pie de los cerros.

Esta unidad se encuentra en la zona de estudio al pie de los cerros, litológicamente están compuestos de materiales cuaternarios fluviales, materiales acumulados debido al trabajo realizado en forma combinada por el proceso fluvial aluvial como se observa en la progresiva Km 28+200, lado derecho del eje de la carretera Cerro Ancocache.

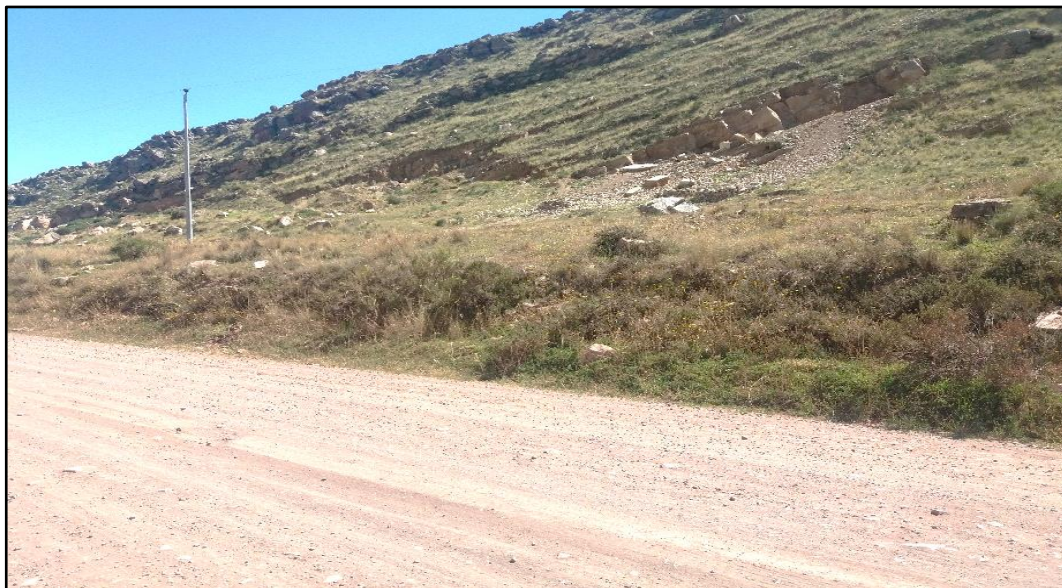


FIGURA 10: Visualización pie de monte Cerro Ancocache.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.7. Ladera de valle

En la zona de estudio se observa laderas de valle en la progresiva 23+200. Estos conforman pendientes entre un valle y las partes altas de cerros, sobre la cual se desarrolla la actividad agrícola, presentan estas laderas, pendientes poco pronunciadas con acumulación de suelos, la cual es erosionada intensamente, produciendo en diversas áreas fenómenos de deslizamiento. Estas laderas se encuentran cubiertas por vegetación que gradualmente van dando lugar al paisaje.



FIGURA 11: Visualización de ladera de valle prog. 23+200 lado izquierdo.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.8. Bofedales

En toda el área de estudio se pudo divisar zonas de áreas hidromórficas se aprecian con claridad en la zona de Metani, que se mantienen como tal incluso en épocas de estiaje, se forman debido a una capa impermeabilizante que impide la infiltración del agua. Estos bofedales son de gran importancia para mantener la biodiversidad tanto animal como vegetal en la zona.



FIGURA 12: Visualización de bofedales km 6+350 lado izquierdo y derecho de la vía.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.9. Quebradas

En la zona de estudio se observa pequeñas deflexiones producto de la erosión de los riachuelos, que discurren sus aguas por variaciones de pendientes, como se observa en la Prog. 31+200 Quebrada Cañocota. Los riachuelos que discurren sus aguas produciendo la erosión y transporte solo en épocas de lluvia, van quedando sin caudal en la época de estiaje.

4.5.10. Lagunas

Deposito natural de agua, separado del mar puede ser salobre, Salado o dulce, suele tener menor extensión que un lago, sus profundidades es escasa, posee vida animal y vegetal. Este depósito se encuentra en la progresiva Km 5+520 en la pampa de Metani.



FIGURA 13: Visualización de pequeñas lagunas Km 5+520.

Fuente: Elaboración propia.

4.6. GEOLOGÍA REGIONAL

La estratigrafía de la región fue formada por movimientos tectónicos correspondientes a los ciclos tectónicos Herciniano y Andino.

Como consecuencia de ellos los terremotos paleozoicos de la zona de cordillera oriental aparecen fuertemente deformados por la fase eoherciniano con pliegues amplios y por la fase tardiherciniana del Permiano Medio con estructuras del nivel estructural medio a superior. Posteriormente los terremotos Mesozoicos y Cenozoicos son deformados por la tectónica andina con varias fases de plegamiento; como resultado aparecen las estructuras andinas con pliegues simétricos, asimétricos.

En el área del estudio no se apreciado fallas geológicas activas que pudieran ocasionar algún inconveniente en el proceso constructivo del mejoramiento de la carretera.



4.7. GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio, en su parte inicial se encuentra sobre depósitos aluviales del sistema cuaternario (Q-al), caracterizado por la presencia de suelos finos y granulares como arcilla, limo, arena y grava, originados por el paso de los ríos y riachuelos que surcan la zona. Los depósitos del cuaternario recientes son producto de los procesos de intemperismo, erosión y transporte por un medio acuoso, que surcan esta zona en la mayor parte del tramo inicial y desembocan finalmente en el Lago Titicaca. Estos depósitos son una característica principal de la mayor parte del territorio del altiplano puneño. En las proximidades y partes altas de la zona se ubica conformaciones del Grupo Puno (TPu), Serie sedimentaria del Mioceno Oligoceno, Sistema Terciario, caracterizado por areniscas arcósicas, localmente tufáceas, conglomerados de andesitas, lutitas yesíferas con lechos de tufos.

También en las partes altas se encuentra conformaciones de la Familia Maure (Tp-ma), del sistema terciario superior, son Grupos volcánicos, caracterizados por la presencia de tobas blancas amarillentas riolíticas, contiene conglomerados, areniscas y tufos re trabajados conocidos como Grupo Volcánico Maure abajo y Capillune en la parte superior.

En la parte final del tramo nuevamente aparece conformaciones aluviales y fluviales del cuaternario, como arcilla, limo y arena con grava. También en algunas zonas se intercalan con formaciones o materiales morrénicos. (Ref.: Carta Geológica Nacional por INGEMMET – Cuadrángulos de Juli y Huacullani).



4.7.1. Estratigrafía local del trazo de la carretera

En el desarrollo de la geología local se han establecido las características principales y más resaltantes de las unidades lito-estratigráficas que afloran y cortan el trazo de la carretera.

4.7.1.1. Cenozoico

Paleógeno

- **Grupo Puno (Tpu)**

La unidad del Grupo Puno aflora de forma dispersa en la parte central y sur de la región. En la zona de estudio presenta afloramientos de Grupo Puno por el Centro Poblado de San Miguel de Huapaca, que se caracterizan litológicamente de areniscas arcósicas de grano medio a grueso de color rojizo y conglomerados, areniscas de baja porosidad por que la matriz son minerales de arcillas, cuarzo secundario, calcita o clorita. Se presenta en estratos de 1 a 0.45 m. La estratificación es de forma planar continua.

4.7.1.2. Neógeno

Mioceno

- **Grupo Maure (TMa)**

Este Grupo tiene sus afloramientos que se extienden grandemente en el sector suroeste del área de estudio, entre los cuadrángulos Pichacane, Huaytire, Ilave, Puno, Ichuña, Lagunillas y Callalli; litológicamente se presentan como:



Ignimbritas, tobas aéreas, lavas andesíticas basálticas y sedimentos lacustres: limolitas, fangolitas, calizas, areniscas, conglomerados, lutitas negras.

En el área de estudio la Formación Maure está compuesta mayormente por areniscas de grano medio de color pardo rosado fácilmente disgregables en la Comunidad de Tarapoto y parte de la Zona de pavita. Las rocas descritas constan de una topografía suave, constituyendo pequeñas colinas de laderas con pendientes moderadas.

Plioceno

- **Formación Casamiento (TBa-ca)**

Esta unidad es descrita en sección de tipo en dos sectores en el Cerro Chucarasi al sur de la Ciudad de Juli y también en la zona de estudio en como en el C.P. de Lampa Grande Cerro Olla, describe una litología compuesta principalmente por tobas blanquecinas a rosadas, ignimbrita blanquecina con oxidación de fierro conteniendo abundante lapilli; los piroclastos de lapillis contienen algunos clastos de lavas y sedimentos. Una ignimbrita blanquecina fue descrita dentro de esta unidad que contiene lapilli y bloques.

- **Formación Umayo (NQ-Ba/u)**

En el área de estudio se observa afloramientos de la Formación Umayo en la zona de inicio que es Pomata y el Centro Poblado de Lampa Grande. Describen litológicamente aglomerados soldados en una matriz arena tobácea; también se tiene afloramientos de lavas andesíticas y dacitas porfiríticas.



4.7.1.3. Cuaternario

Pleistoceno

- **Formación Taraco (Q-T)**

En el área de estudio se tiene la presencia de esta unidad litológica en la zona de Pomata y el C.P. de Lampa Grande por el Cerro Cata Cruz, parte inicial de la carretera; que presenta una litología de gravas y arenas fluviales, con una topografía suave.

NEWELL (1949) observo la presencia de esta unidad entre Copacabana y Yunguyo (cuadrángulos de Isla Anapia y Juli) dudando de su existencia en Pomata; ya en estudios posteriores fotogeológicos lo reconoce entre Juli y sur de Pomata. PALACIOS et. al, (1993), describe la litología como gravas y conglomerados típico de bloques, friable en el cual hay bloques redondeados de litología volcánica, algunos con diámetro mayores a 40 cm. con matriz de cantos rodados guijarroso y de arenisca fangosa. La naturaleza litológica sugiere que la Formación Taraco, indica un origen de abanico fluvial.

Holoceno

- **Depósitos Aluviales (Q-al)**

Comprende los depósitos existentes en el fondo del valle, llanuras esparcidas sobre el terreno, siendo los más representativos a lo largo del eje de la carretera en las zonas de: Pomata, C.P Lampa Grande, Comunidad de Tarapoto y la zona de Pavita. Estos depósitos están constituidos por arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas, todos ellos incluyen sedimentos coluviales (depósitos formados



por derrumbes de laderas). Constituyen suelos agrícolas, vistos en la cantera 24+500 al lado izquierdo de la vía a unos 500m de distancia.

En general está constituido por fragmentos heterogéneos redondeados a sub redondeados de rocas de diferente naturaleza, en una matriz areno arcillosa de color marrón negro a rojizo predominante, esporádicamente; se encuentran en las partes altas y faldas de los cerros que circundan a lo largo del eje de la carretera.

Los depósitos aluviales se caracterizan por presentar abanicos con superficies relativamente identificables en campo, que litológicamente están dominados por una estratificación pobre moderadamente clasificados arenas, estos materiales afloran con los cauces fluviales en la zona de estudio formando pequeños riachuelos, mayormente predominan los relieves sub horizontales con pequeñas ondulaciones como consecuencia de las acumulaciones aluviales.

- **Depósitos fluviales (Q-f)**

Esta unidad, se halla circunscrita a las partes bajas o depresiones entre Pomata, y el Centro Poblado de Collini. Se ha podido establecer que la naturaleza, la descripción del relleno y distribución de los materiales recientes, los cuales están compuestos por sedimentos de origen fluvial aluvial en la parte baja y ladera de los cerros. Las características litológicas de estos sedimentos están conformadas por materiales arcillosos y limos arcillosos en contacto con el basamento; en la parte inferior ocurren una intercalación de sedimentos de arena arcillosa, arenas limosas, arenas gravosas compactas de granulometría variable y de espesores inferiores a un metro; en la parte superficial es cubierto por material limo arcilloso de color gris oscuro que forma parte del suelo que recubre toda el área.

Los depósitos aluviales se caracterizan por presentar abanicos con superficies relativamente identificables en campo, que litológicamente están dominados por una estratificación pobre moderadamente clasificados arenas, estos materiales afloran con los cauces fluviales en la zona de estudio formando pequeños riachuelos, mayormente predominan los relieves sub horizontales con pequeñas ondulaciones como consecuencia de las acumulaciones aluviales.

TABLA 24: Columna estratigráfica local.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITO - ESTRATIGRÁFICA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos Fluviales	Q-f	Arenas y gravas.
			Depósitos Aluviales	Q-al	Arenas, limos y arcillas.
		PLEISTOCENO	Formación Taraco	Q-T	Gravas y arenas fluviales.
	NEOGENO	PLIOCENO	Formación Umayo	NQ-Ba/u	Brechas de flujo lavas andesíticas y aglomerados en una matriz arena tobácea.
			Formación Casamiento	TBa-ca	Tobas blanquecinas a rosadas, ignimbritas blanquecinas.
		MIOCENO	Grupo Maure	TMa	Areniscas tobáceas, limolitas, arcillitas y conglomerados rojizos a gris verdosos.
	PALEOGENO	OLIGOCENO	Grupo Puno	T-pu	Areniscas arcósicas con limoarcillitas y lutitas marrones rojizas.

Fuente: Elaboración propia.

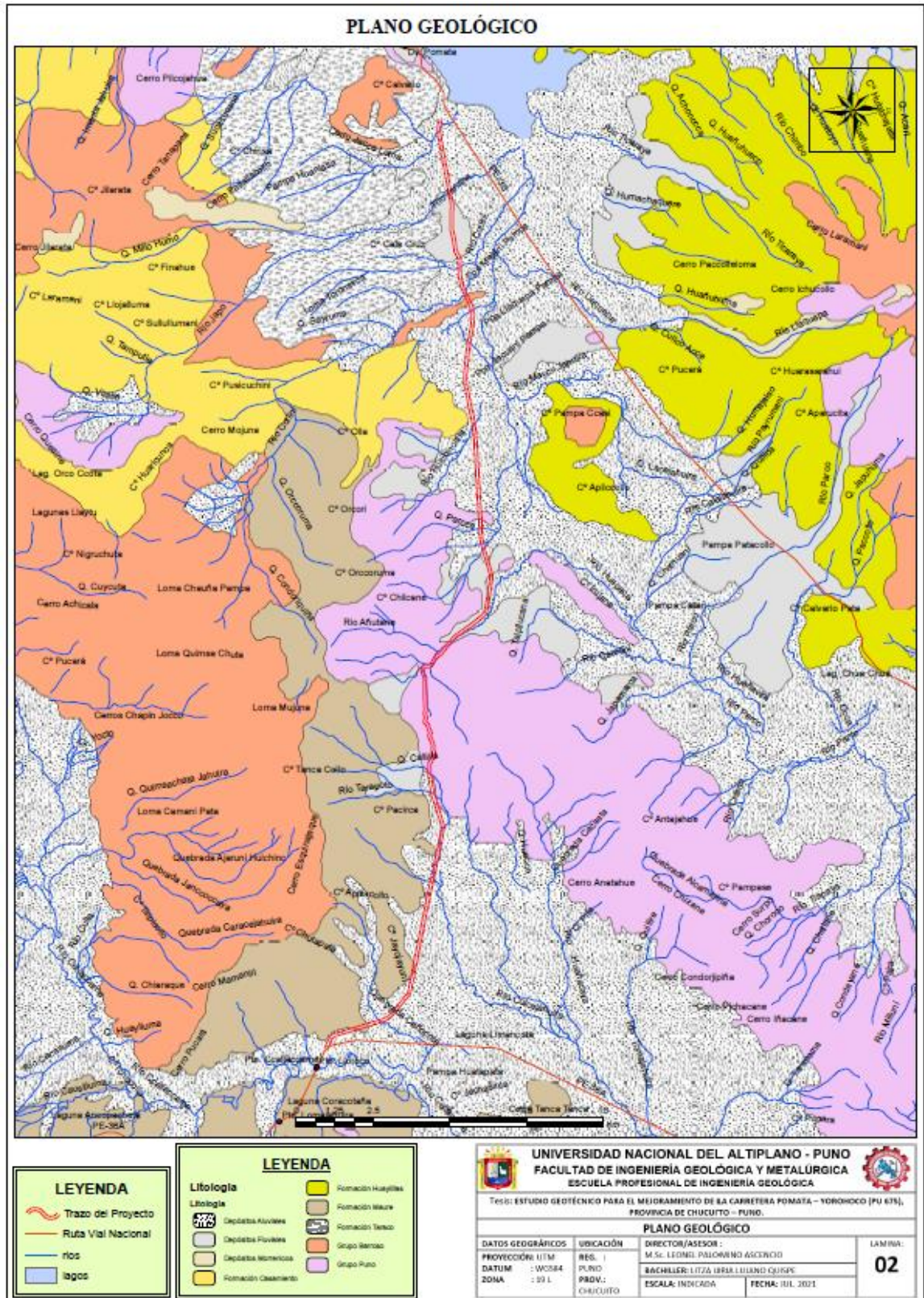


FIGURA 14: Mapa geológico del eje de la carretera.

Fuente: INGEMMET.



4.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.8.1. Fallas

Es rotura longitudinal de las estructuras observándose los desplazamientos de los bloques de masas, estas son unidades planas sencillas, normalmente se presentan formando un sistema de planos paralelos o sub paralelos, a lo largo de los cuales se ha producido en mayor o menor escala, en la zona de estudio NO se observa ningún tipo de falla.

4.8.2. Pliegues

En la zona de estudio se observan plegamientos, esto también por que las estructuras rocosas en algunas zonas no están cubiertas por materiales cuaternarios.

Es flexión en una masa de rocas, es decir, un cambio en grado de buzamiento de un estrato y también a menudo un cambio en la dirección del buzamiento.

Estas estructuras se produjeron debido a una fuerte etapa del tectonismo y que dieron lugar a las deformaciones de plegamientos generalmente se localizan en los estratos del Grupo Puno aproximado a la progresiva Km 23+560 en el cerro Topouma de la zona de estudio.



FIGURA 15: Visualización de un sistema de pliegues Cerro Topouma.

Fuente: Elaboración propia.

4.8.3. Discordancias

Una discordancia es una relación geométrica entre capas de sedimentos que representa un cambio en las condiciones en que se produjo su proceso de deposición. En ausencia de cambios ambientales o de movimientos tectónicos, los sedimentos se depositan en estratos (capas) paralelas. Como se muestra en la figura 16 una discordancia de depósitos aluviales. Una discordancia es una discontinuidad estratigráfica en la que no hay paralelismo entre los materiales infra y suprayacentes. El concepto de discordancia es fundamental para la estratigrafía y para la interpretación de la secuencia de eventos tectónicos o geológicos en general que tuvo lugar durante el proceso de deposición de las capas en los sedimentos discordantes.



FIGURA 16: Visualización de discordancia angular en depósitos aluviales (cantera km 24+500).

Fuente: Elaboración propia.

4.9. SISMICIDAD

4.9.1. Sismicidad histórica

Los sismos más importantes que afectaron la región, cuya historia se conoce son:

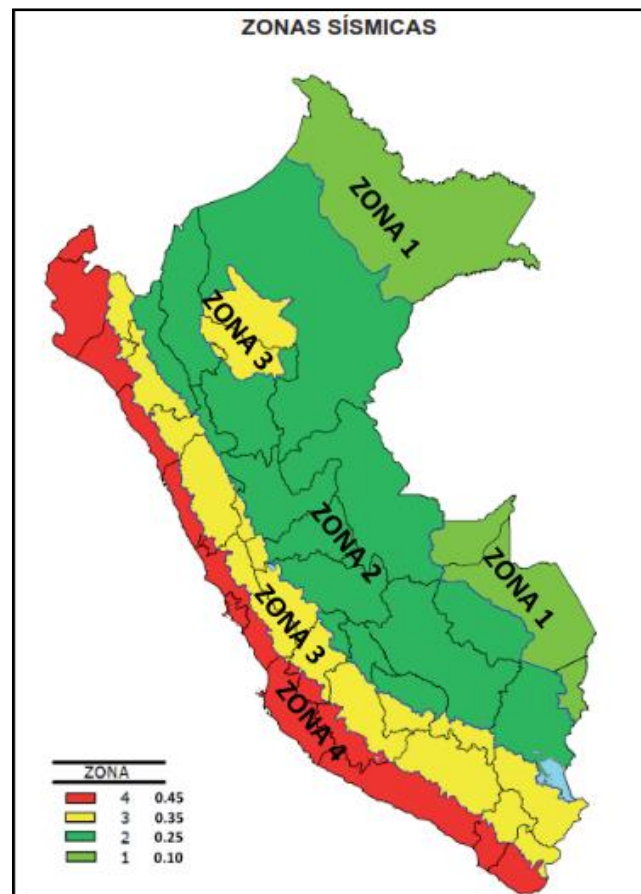
- Sismo del 31 de marzo de 1650 con intensidad IX en Paucartambo-Cusco y V en Puno.
- El sismo de Ayapata-Puno de 1747 con intensidad VIII en Ayapata.
- El sismo del 9 de abril de 1928 en Ayapata-Puno con intensidad local VIII y V en Puno.

El sismo del 23 de junio de 2001 a las 15:33 Hrs, terremoto de magnitud $m_b = 6.9$ ($m_s = 7.0$) afectó toda la región Sur del Perú, incluyendo las ciudades de Arica e Iquique (Chile) y La Paz (Bolivia); con epicentro cercano a la línea de costa a 82Km NW de la localidad de Ocoña Departamento de Arequipa. Tiene las particularidades de poseer una ruptura

heterogénea y un modo de propagación sísmica con ondulamiento de la superficie. Localidades más afectadas: Ocoña, Camaná, Mollendo, Arequipa, Moquegua y Tacna Grado VII a VII Mercalli Modificada.

4.9.2. Zonificación sísmica según RNE

Conforme a la Norma E-030 de diseño Sismo-Resistente, la Provincia de Chucuito está clasificado como zona III (sismicidad media) con un factor de zona de 0.35. El tipo de suelo encontrado corresponde a un perfil tipo S3, con un período predominante del suelo de 0.90 y un factor de suelo de 1.40.



FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA \ SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
	Z ₄	0,80	1,00	1,05
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

PERÍODOS "T _P " Y "T _L "				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

FIGURA 17: Mapa de zonas sísmicas y parámetros de riesgos.

(Z) = Factor de zona

(S) = Factor de amplificación del suelo: S₀ (Roca dura), S₁ (Roca o suelos muy rígidos), S₂ (Suelos intermedios), S₃ (Suelos blandos), S₄ (Condiciones excepcionales),

(T_p) = Periodo que define la Plataforma del espectro

Zona	3
Factor de Zona	Z=0.35
Factor de Amplificación del suelo	S=1.20
Periodo que define la plataforma del espectro	Tp=1.00



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

5.1.1. Conformación de suelos por tramos

En base a los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio, el sub-suelo en el área de investigación de acuerdo a los puntos de estudio, está constituido en su generalidad por las siguientes conformaciones de tramos, según los suelos que se presentan:

Tramo I: 00+000 – 01+00

Desde el tramo inicial denominado Pueblo Libre (Pomata). Es un tramo en su mayor parte llana, presenta un terreno de fundación de suelos granulares entre grava, arena también se tiene suelos finos como: limo en su mayor parte, el mismo que es una conformación aluvial del sistema cuaternario tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo II: 01+500 – 2+000

En este tramo de la zona de Metani presenta un terreno de fundación conformado por suelos finos como: limos arcillosos, limos orgánicos. Esta es la primera zona crítica de la carretera tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo III: 02+500 – 5+000

Desde el km 02+000 dentro de las pampas de Metani hasta las pampas de Llaquepa, se observa un terreno llano con un terreno de fundación de suelos granulares como: principalmente arena limosa, arcillosa, gravas arcillosas, tal como se muestra en la tabla 25.



Tramo IV: 5+500 – 7+000

Este tramo de la carretera es el más crítico, por que presenta un terreno de fundación de suelos finos como: limos arcillosos, arcillas inorgánicas de alta plasticidad arcillas orgánicas también de alta plasticidad y limos con material orgánico tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo V: 7+500 – 10+000

Tramo que pertenece a las pampas de Llaquepa, presenta un terreno de fundación de suelos granulares en su mayor parte como: arenas arcillosas, arenas limosas, limos arenosos, tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo VI: 10+500 – 12+000

Siguiendo en las pampas de Llaquepa se presenta un tramo crítico de suelos finos como: arcillas limosas, arcillas inorgánicas de baja compresibilidad, limos inorgánicos que corresponden al suelo cuaternario reciente tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo VII: 12+500 – 19+500

Tramo que pertenece a la zona del C.P. Huapaca San Miguel, conformado por suelos granulares en su mayor parte como: arenas limosas, arenas arcillosas y suelos finos como: arcillas limosas y limos tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo VIII: 20+000 – 20+500

Se observa un pequeño tramo crítico de suelos finos de limos inorgánicos de alta plasticidad, que pertenecen al cuaternario reciente tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo IX: 21+000 – 22+500

Tramo que pertenece también al C.P. Huapaca San Miguel, conformado por suelos



granulares en su mayor parte como: arenas limosas, arenas arcillosas tal como se muestra en la tabla 25, también se pudo observar la presencia de estratos rocosos desde la progresiva Km 22+000 con una longitud aproximada de 500m. a una profundidad de 0.50 y 0.80m.

Tramo X: 23+000 – 23+500

Se tiene un pequeño tramo de crítico de suelos finos de limos inorgánicos de alta plasticidad, que pertenecen al cuaternario reciente tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo XI: 24+000 – 25+500

Tramo que pertenece a la Comunidad de Tarapoto, conformado por suelos granulares en su mayor parte como: arenas limosas, arenas arcillosas y gravas arcillosas tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo XII: 24+000 – 31+000

Siguiendo en la Comunidad de Tarapoto y parte también de la zona de Pavita se presenta un tramo crítico de suelos finos como: arcillas limosas, arcillas inorgánicas de baja compresibilidad, limos inorgánicos y arenas arcillosas, que corresponden al suelo cuaternario reciente. tal como se muestra en la tabla 25.

Tramo XIII: 31+500 – 34+380

Finalmente se tiene este tramo en el sector de Yorohoco hasta el empalme de la carretera Mazocruz. Se observa un terreno de fundación de suelos granulares como: principalmente arena limosa, arenas arcillosas, arcillas inorgánicas, pertenecientes al cuaternario reciente tal como se muestra en la tabla 25.

Con respecto al afirmado de la vía realizado antes de la intervención del estudio, se indica lo siguiente:



- Desde el tramo inicial de la vía hasta el tramo final, cada 5 Km se ha tomado muestras en el afirmado de la carretera, específicamente desde el nivel superficial del afirmado hasta la profundidad de 0.40 m, nivel promedio hasta la aparición del terreno de fundación en la que está asentado la vía en estudio.
- De acuerdo a los ensayos de laboratorio, las muestras obtenidas de los diferentes tramos, corresponden según el SUCS a materiales granulares como grava y arena limosa en su mayor parte, los mismos que son materiales de las canteras cercanas a la carretera en estudio, también materiales de préstamo lateral de la vía.
- En el tramo inicial se visualiza la presencia de materiales granulares de la cantera del río Tanana en la zona de Lampa Grande, también en el tramo para llegar a Huapaca San Miguel, se presentan materiales granulares de la Cantera Tuquina, finalmente para llegar al tramo final materiales de la Cantera Yorohoco.

5.1.2. Clasificación de suelos

De acuerdo a los ensayos estándar de laboratorio, las muestras obtenidas de los diferentes puntos de estudio, corresponden según el SUCS y AASHTO, a los que se señalan en la tabla 25, según los Anexos A Certificados de laboratorio de suelos del terreno de fundación:

TABLA 25: Clasificación de suelos de terreno de fundación de la carretera Pomata -
Yorohoco.

Calicata	Progresiva	Muestra	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla N° 4	Pasa malla 200 (%)	SUCS	AASHTO
C-1	0 + 000	M-1	26.50	7.10	51.63	16.71	GC	A1-b (0)
C-2	0 + 500	M-1	30.60	8.30	7.73	68.18	CL	A-4 (8)
C-3	1 + 000	M-1	23.80	3.70	47.29	18.68	GM	A1-b (0)
C-4	1 + 500	M-1	26.70	3.97	2.89	68.46	ML	A-4 (8)
C-5	2 + 000	M-1	22.50	2.20	11.33	62.51	ML	A-4 (8)
C-6	2 + 500	M-1	36.60	13.25	50.95	13.32	GC	A1-a (0)
C-7	2 + 700	M-1	28.51	3.49	5.73	27.47	SM	A-2-4 (0)
C-8	3 + 500	M-1	22.60	2.27	50.19	15.54	GM	A1-b (0)
C-9	4 + 000	M-1	21.40	1.20	6.55	16.45	SM	A-2-4 (0)
C-10	4 + 500	M-1	23.60	2.75	6.99	17.79	SM	A-2-4 (0)
C-11	5 + 000	M-1	21.45	1.25	3.40	25.20	SM	A-2-4 (0)
C-12	5 + 500	M-1	64.40	43.99	1.22	74.63	CH	A-7-6 (18)
C-13	6 + 000	M-1	45.50	10.31	5.74	78.20	ML	A-7-6 (12)
C-14	6 + 500	M-1	23.30	3.15	10.57	79.27	ML	A-4 (8)
C-15	7 + 000	M-1	23.60	2.18	2.86	78.03	ML	A-4 (8)
		M-2	66.40	22.16	2.98	85.76	OH	A-7-5 (18)
C-16	7 + 500	M-1	20.40	2.15	2.92	79.38	ML	A-4 (8)
C-17	8 + 000	M-1	27.60	7.30	3.89	38.24	SC	A-4 (1)
C-18	8 + 500	M-1	20.50	2.15	2.64	74.55	ML	A-4 (8)
C-19	9 + 000	M-1	30.52	9.28	4.82	68.29	CL	A-4 (8)
C-20	9 + 500	M-1	18.50	NP	3.54	32.58	SM	A-4 (1)
C-21	10 + 000	M-1	27.60	7.58	5.89	19.02	SC	A-2-4 (0)
C-22	10 + 500	M-1	26.60	8.18	3.13	75.30	CL	A-4 (8)
C-23	11 + 000	M-1	30.70	11.36	3.20	73.64	CL	A-6 (9)
C-24	11 + 500	M-1	19.50	2.21	4.74	68.50	ML	A-4 (8)
C-25	12 + 000	M-1	20.41	1.60	6.77	74.08	ML	A-4 (8)
C-26	12 + 500	M-1	24.60	3.35	3.06	19.93	SM	A-2-4 (0)
C-27	13 + 000	M-1	28.60	8.51	3.36	17.88	SC	A-2-4 (0)
C-28	13 + 500	M-1	21.30	2.11	2.89	79.05	ML	A-4 (8)
		M-2	24.41	3.59	3.04	16.78	SM	A-2-4 (0)
C-29	14 + 000	M-1	23.50	1.95	4.19	39.25	SM	A-4 (0)
C-30	14 + 500	M-1	23.10	2.61	1.21	78.93	ML	A-4 (8)
		M-2	22.36	2.66	5.40	20.04	SM	A-2-4 (0)
C-31	15 + 000	M-1	26.40	7.14	2.77	75.00	CL	A-4 (8)
		M-2	29.50	9.14	8.18	18.80	SC	A-2-4 (0)
C-32	15 + 500	M-1	23.47	2.27	4.51	67.10	ML	A-4 (8)
C-33	16 + 000	M-1	20.40	1.39	10.26	17.55	SM	A-2-4 (0)
		M-2	22.50	2.27	3.67	74.10	ML	A-4 (8)
C-34	16 + 100	M-1	23.65	3.34	6.16	18.85	SM	A-2-4 (0)
C-35	16 + 950	M-1	32.50	11.28	4.59	70.02	CL	A-6 (9)
C-36	18 + 000	M-1	27.60	7.29	1.17	67.52	CL	A-4 (8)
C-37	18 + 500	M-1	23.50	3.14	9.50	21.40	SM	A-2-4 (0)
C-38	19 + 000	M-1	24.54	3.18	12.24	16.32	SM	A-2-4 (0)



C-39	19 + 500	M-1	31.45	11.75	2.91	33.52	SC	A-2-6 (0)
C-40	20 + 000	M-1	24.45	3.35	5.07	69.55	ML	A-4 (8)
C-41	20 + 500	M-1	19.48	1.10	2.92	76.68	ML	A-4 (8)
C-42	21 + 000	M-1	28.50	7.37	4.27	18.29	SC	A-2-4 (o)
C-43	21 + 500	M-1	26.50	2.80	5.38	14.32	SM	A-2-4 (0)
C-44	22 + 000	M-1	22.36	2.66	5.21	14.43	SM	A-2-4 (0)
C-45	22 + 500	M-1	18.40	2.32	6.41	16.45	SM	A-2-4 (16)
C-46	23 + 000	M-1	23.47	2.27	5.10	75.05	ML	A-4 (8)
C-47	23 + 500	M-1	22.50	2.27	5.66	75.15	ML	A-4 (8)
C-48	24 + 000	M-1	28.65	8.34	17.51	22.81	SC	A1-b (0)
C-49	24 + 500	M-1	22.50	1.28	6.39	13.24	SM	A-2-4 (0)
C-50	25 + 500	M-1	26.55	7.43	56.39	13.54	GC	A1-a (0)
C-51	26 + 000	M-1	23.50	3.14	3.05	74.66	ML	A-4 (8)
C-52	26 + 500	M-1	24.54	3.18	1.32	72.15	ML	A-4 (8)
C-53	27 + 000	M-1	31.50	11.36	1.34	81.38	CL	A-6 (8)
C-54	27 + 500	M-1	29.60	8.50	4.87	78.98	CL	A-4 (8)
C-55	28 + 000	M-1	29.57	11.19	2.97	80.34	CL	A-6 (7)
C-56	28 + 500	M-1	18.46	1.15	2.93	60.22	ML	A-4 (8)
C-57	29 + 000	M-1	23.50	2.24	1.33	79.07	ML	A-4 (8)
C-58	29 + 500	M-1	32.40	11.63	3.41	72.77	CL	A-6 (7)
C-59	30 + 000	M-1	28.70	11.53	6.51	13.17	SC	A-2-6 (0)
C-60	30 + 500	M-1	29.45	9.28	1.38	80.46	CL	A-4 (8)
C-61	31 + 000	M-1	28.40	9.63	3.30	67.57	CL	A-4 (8)
C-62	31 + 500	M-1	23.62	2.30	2.93	14.19	SM	A-2-4 (0)
C-63	32 + 000	M-1	21.30	1.67	5.46	12.10	SM	A-2-4 (o)
C-64	32 + 500	M-1	28.80	11.50	5.05	13.22	SC	A-2-6 (0)
C-65	33 + 000	M-1	19.50	1.49	12.15	13.40	SM	A-2-4 (0)
		M-2	29.72	9.50	6.82	18.40	SC	A-2-4 (0)
C-66	33 + 500	M-1	33.20	12.05	7.94	14.25	SC	A-2-6 (0)
C-67	34 + 000	M-1	32.50	11.21	3.05	22.15	SC	A-2-6 (0)
C-68	34 + 380	M-1	40.50	13.18	3.16	75.66	CL	A-7-6 (10)

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Caracterización de suelos

De acuerdo a la clasificación de suelos del terreno de fundación, se tienen las siguientes características geotécnicas más importantes según MTC-2013:

TABLA 26: Características geotécnicas del terreno de fundación más importantes.

SUCS	RESIST. CORTE	EFEECTO A HELADAS	CONTRACCIÓN	DRENAJE
SM	Buena	Ligera a alta	Muy poco a media	Regular a impermeable
SC	Buena a Reg.	Ligera a alta	Casi nada a media	Pobre a impermeable
CL	Regular	Media a alta	Media	Impermeable
ML	Regular	Media a muy alta	Muy poco a media	Regular a pobre
GM	Buena	Ligera a media	Muy poco	Regular a impermeable
GC	Buena a Reg.	Ligera a media	Muy poco	Pobre a impermeable

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Ensayos de soporte

Con las muestras tomadas de cada calicata en el terreno de fundación a lo largo de la carretera, se ha ejecutado el ensayo de Proctor Modificado y el CBR a cada una de estas, cuyos resultados son los que se indican en siguiente tabla:

TABLA 27: Tabla de resumen de ensayos de soporte.

Calicata	Progresiva	SUCS	AASHTO	γ (gr/cc)	w (%)	CBR (%)
C-1	0 + 000	GC	A1-b (0)	1.94	8.50	21
C-2	0 + 500	CL	A-4 (8)	1.70	12.75	11
C-3	1 + 000	GM	A1-b (0)	1.96	8.00	22
C-4	1 + 500	ML	A-4 (8)	1.74	12.50	11
C-5	2 + 000	ML	A-4 (8)	1.71	13.75	12
C-6	2 + 500	GC	A1-a (0)	1.90	9.75	18
C-7	2 + 700	SM	A-2-4 (0)	1.84	8.75	17
C-8	3 + 500	GM	A1-b (0)	1.97	7.50	26
C-9	4 + 000	SM	A-2-4 (0)	1.84	7.75	16
C-10	4 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.84	7.50	17
C-11	5 + 000	SM	A-2-4 (0)	1.85	8.75	15
C-12	5 + 500	CH	A-7-6 (18)	1.66	24.00	8
C-13	6 + 000	ML	A-7-6 (12)	1.72	12.75	10
C-14	6 + 500	ML	A-4 (8)	1.68	13.00	11
C-15	7 + 000	OH	A-7-5 (18)	1.67	23.00	9
C-16	7 + 500	ML	A-4 (8)	1.79	10.50	13
C-17	8 + 000	SC	A-4 (1)	1.82	7.50	15
C-18	8 + 500	ML	A-4 (8)	1.70	12.75	12
C-19	9 + 000	CL	A-4 (8)	1.78	14.50	12
C-20	9 + 500	SM	A-4 (1)	1.86	8.25	16
C-21	10 + 000	SC	A-2-4 (0)	1.83	7.50	16
C-22	10 + 500	CL	A-4 (8)	1.78	11.25	12
C-23	11 + 000	CL	A-6 (9)	1.79	12.50	12
C-24	11 + 500	ML	A-4 (8)	1.78	11.00	13
C-25	12 + 000	ML	A-4 (8)	1.78	11.50	13



C-26	12 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.75	12.75	14
C-27	13 + 000	SC	A-2-4 (0)	1.75	12.75	14
C-28	13 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.85	7.75	16
C-29	14 + 000	SM	A-4 (0)	1.83	7.50	15
C-30	14 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.84	8.75	16
C-31	15 + 000	SC	A-2-4 (0)	1.84	8.75	16
C-32	15 + 500	ML	A-4 (8)	1.73	11.25	13
C-33	16 + 000	ML	A-4 (8)	1.74	10.50	12
C-34	16 + 100	SM	A-2-4 (0)	1.86	8.25	16
C-35	16 + 950	CL	A-6 (9)	1.72	12.75	12
C-36	18 + 000	CL	A-4 (8)	1.78	11.50	11
C-37	18 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.84	7.50	15
C-38	19 + 000	SM	A-2-4 (0)	1.81	7.75	15
C-39	19 + 500	SC	A-2-6 (0)	1.83	9.75	15
C-40	20 + 000	ML	A-4 (8)	1.77	12.00	13
C-41	20 + 500	ML	A-4 (8)	1.77	10.50	13
C-42	21 + 000	SC	A-2-4 (o)	1.84	8.50	14
C-43	21 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.83	7.50	15
C-44	22 + 000	SM	A-2-4 (0)	1.84	8.75	15
C-45	22 + 500	SM	A-2-4 (16)	1.86	8.25	16
C-46	23 + 000	ML	A-4 (8)	1.74	12.50	12
C-47	23 + 500	ML	A-4 (8)	1.78	11.50	12
C-48	24 + 000	SC	A1-b (0)	1.84	8.75	16
C-49	24 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.86	8.25	16
C-50	25 + 500	GC	A1-a (0)	1.95	9.00	24
C-51	26 + 000	ML	A-4 (8)	1.97	7.50	23
C-52	26 + 500	ML	A-4 (8)	1.76	11.50	12
C-53	27 + 000	CL	A-6 (8)	1.76	15.50	12
C-54	27 + 500	CL	A-4 (8)	1.75	13.50	12
C-55	28 + 000	CL	A-6 (7)	1.78	12.50	12
C-56	28 + 500	ML	A-4 (8)	1.78	11.50	13
C-57	29 + 000	ML	A-4 (8)	1.79	9.00	12
C-58	29 + 500	CL	A-6 (7)	1.75	12.50	13
C-59	30 + 000	SC	A-2-6 (0)	1.82	8.00	17
C-60	30 + 500	CL	A-4 (8)	1.78	11.50	12
C-61	31 + 000	CL	A-4 (8)	1.72	12.75	12
C-62	31 + 500	SM	A-2-4 (0)	1.84	7.50	16
C-63	32 + 000	SM	A-2-4 (o)	1.84	7.50	17
C-64	32 + 500	SC	A-2-6 (0)	1.83	8.75	15
C-65	33 + 000	SC	A-2-4 (0)	1.81	8.25	15
C-66	33 + 500	SC	A-2-6 (0)	1.81	12.25	14
C-67	34 + 000	SC	A-2-6 (0)	1.83	9.75	14
C-68	34 + 380	CL	A-7-6 (10)	1.72	15.25	11

Fuente: Elaboración propia.

Humedad óptima : w (%)

Densidad máxima : γ (g/cc)

CBR al 95% de DMS : (%)

En los puntos de investigación de las progresivas 22+000 - 22+500, a la profundidad de 0.50m y 0.80m respectivamente se ha ubicado estratigrafía rocosa.

5.2. AFIRMADO DE LA VÍA

Se han ejecutado este trabajo de investigación tomando muestras del afirmado existente antes de la intervención del estudio. (desde el nivel del afirmado de la carretera hasta alcanzar el terreno de fundación), en diferentes puntos de cada 5 km.

5.2.1. Caracterización del material de afirmado

De acuerdo a los ensayos estándar de Laboratorio, las muestras obtenidas de los diferentes tramos (Espesor: 0.00 – 0.40 m), corresponden según el SUCS y AASHTO, a los que se señalan en la siguiente tabla 28.

TABLA 28: Caracterización de material de afirmado.

Tramo (Progresiva)	Muestra	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla N° 4	Pasa malla N° 200 (%)	SUCS	AASHTO	CBR (%)
0+000 a 5+000	M-1	21.40	1.20	56.06	18.11	GM	A1-b (0)	37
5+000 a 10+000	M-2	22.50	3.29	45.90	17.33	GM	A1-b (0)	36
10+000 a 15+000	M-3	18.40	1.40	55.55	13.53	GM	A1-a (0)	35
15+000 a 20+000	M-4	20.50	2.20	39.64	16.31	SM	A1-b (0)	32
20+000 a 25+000	M-5	21.28	2.38	39.90	18.73	SM	A1-b (0)	32
25+000 a 30+000	M-6	23.50	20.31	47.52	20.18	GM	A1-b (0)	35
30+000 a 33+800	M-7	22.30	1.20	41.31	18.37	GM	A1-b (0)	36

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Capacidad portante

Se presenta la siguiente tabla 29 de resumen de la capacidad portante de suelos en tres tramos, determinados mediante ensayos de corte directo.

TABLA 29: Capacidad portante.

Muro Contenc	Progresiva	SUCS	AASHTO	c (kg/cm2)	ϕ (°)	γ (g/cm3)	Qa (kg/cm2)
MC-1	17+708 a 17+723	CL	A-4 (8)	0,315	6,5°	1,69	1,07
MC-2	17+734 a 17+892	CL	A-4 (8)	0,310	7,0°	1,70	1,08
MC-3	19+432 a 19+563	SC	A-2-6 (0)	0,068	23,0°	1,74	1,22

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Propuesta de tratamiento del suelo

TABLA 30: Nomenclatura de remplazamiento.

MATERIAL	NOMENCLATURA
Enrocado	A
Terraplén (Relleno)	B
Arena	C

Fuente: Laboratorio de suelos de GRP.

5.2.3.1. Tramos de mejoramiento de terreno de fundación

- En el tramo II, comprendido entre las progresivas Km 1+500 a 2+000 en estudio, donde se observa suelos finos, se deberá poner material de relleno 0.20m y seguidamente se considerará material (B) con un espesor de 0.60m con el fin de elevar el terraplén para evitar problemas estructurales en el diseño de la carretera en ambos márgenes de la carretera.
- En el tramo IV 5+500 – 7+000, donde se presenta material orgánico se tendrá que reemplazar con material (A) con un espesor de 0.40m. seguidamente el material (C) con un espesor de 0.20 m y el material (B) con dos capas de 0.20m, en ambos márgenes de la carretera.



- En el tramo VI; VII y IX se tendrá que remplazar con material de relleno de 0.20m seguidamente de material (C) de 0.20m y por último dos capas de material (B) de 0.20m.
- En el tramo XI 26+000 – 31+000 se tendrá que reemplazar con material (C) con un espesor de 0.20m y seguidamente de material (B) con tres capas de 0.20m.

5.3. ESTUDIO DE CANTERAS Y MATERIALES DE PRÉSTAMO

5.3.1. Materiales de cantera

Se ha considerado la utilización de materiales de préstamo de canteras, los mismos que se utilizarán en la ejecución del proyecto, estos materiales se han ubicado en forma conveniente en la zona del proyecto, también se han determinado sus características geotécnicas, para ser utilizados en la conformación de la estructura del pavimento y sus obras complementarias. Estas canteras son las siguientes:

TABLA 31: Tabla de canteras.

N°	CANTERA	UBICACIÓN (Km)	ACCESO	POTENCIA (m ³)	USOS	OBSERVACIONES
1	Cantera Río Lampa Grande	3+260 LIV	910 m	19,200.00	Para concreto. Para Sub base y base granular se requiere mezclar	Material de río Acceso existente Mejorar acceso de acuerdo explotación
2	Cantera de Roca Km 6 + 262	6+262 LDV	150 m	19,600.00	Mejoramiento de terreno de fundación, enrocado de muros de contención.	Roca y piedras serán utilizados en la vía. Acceso existente y Además, mejorar
3	Cantera Km 24+500	24+500 LIV	500 m	14,000.00	Relleno para la sub-rasante. Para sub base y base granular se requiere mezclar.	Acceso directo. Se requiere mejorar acceso de acuerdo a explotación.
4	Cantera de Roca Km 27 + 660	27+660 LDV	1000 m	12,500.00	Mejoramiento de terreno de fundación, y muros de contención.	Roca y piedras serán utilizados en la vía. Acceso existente y Además, mejorar
5	Cantera Km 31+700	31+700 LIV	100 m	28,000.00	Relleno para la sub-rasante, Para Sub base y base granular se requiere mezclar.	Acceso directo. Mejorar acceso de acuerdo a explotación.
6	Cantera Río Yorohoco	33+672 LDV	100 m	48,000.00	Relleno para la sub-rasante, la sub-base y base granular. Se requiere mezclar.	Material de río. Acceso directo, mejorar acceso de acuerdo a explotación.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Características geotécnicas de canteras

En las tablas 32 y 33 se muestran las características geotécnicas más importantes de los materiales de las canteras más apropiadas que se consideran, con muestras promedio tomadas de 04 puntos de cada cantera.

TABLA 32: Tabla de características geotécnicas de canteras.

Cantera Características	Km 3+260 LIV Lampa Grande	Km 24+500 Lado Izq. Vía
Tamaño máximo	2"	2"
% Grava	55.30	51.17
% Arena	38.50	36.78
% pasa malla 200	6.20	12.05
Límite líquido (%)	16.65	20.30
Índice de plasticidad	NP	1.89
Clasificación SUCS	GW-GM	GM
Clasificación AASHTO	A1-a (0)	A1-a (0)
Gravedad específica grava	2.61	2.56
Forma de grava	Sub-redondeada	Sub-redonda y sub-angulosa
Potencia estimada	19,200 m ³	14,000 m ³

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 33: Tabla de características geotécnicas de canteras.

Cantera Características	Km 31+700 Lado Izq. Vía	Río Yorohoco Hormigón de río
Tamaño máximo	2"	2"
% Grava	51.45	53.94
% Arena	40.18	43.90
% pasa malla 200	8.37	2.16
Límite líquido (%)	18.50	NP
Índice de plasticidad	1.48	NP
Clasificación SUCS	GW-GM	GW
Clasificación AASHTO	A1-a (0)	A1-a (0)
Gravedad específica grava	2.60	2.62
Forma de grava	Sub-redonda y sub-angulosa	Sub-redondeada
Potencia estimada	31,700 m ³	48,000 m ³

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Ensayos de soporte

Se ha realizado los diseños de mezclas correspondientes con los materiales de las canteras apropiadas para la capa base y sub-base.

Estas mezclas en las proporciones apropiadas (1:1) presentan las siguientes características Geotécnicas (tabla 34).

TABLA 34: Tabla de diseño de mezclas.

Mezcla Cantaras	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla N° 4	Pasa malla 200 (%)	SUCS	AASHTO
Km 24+500 – Río Yorohoco	17.80	NP	53.03	6.82	GW-GM	A1-a (0)
Km 31+ 700 - Río Yorohoco	15.64	NP	53.17	4.98	GW	A1-a (0)

Fuente: Elaboración propia.

También se ha determinado los ensayos de Proctor modificado, C.B.R., Abrasión Los Ángeles y equivalente de arena, cuyos resultados son los siguientes (tabla 36):

TABLA 35: Tabla resumen ensayos de soporte de canteras.

Cantaras (Proporción)	Mezcla	Mezcla
	Km 24+500 (1) – Río Yorohoco (1)	Km 31+700 (1) – Río Yorohoco (2)
Densidad Máxima Seca (g/cc)	2.12	2.16
Contenido Óptimo de Agua (%)	6.50	6.75
C.B.R. al 100% de la DMS (%)	85	93
Abrasión Los Ángeles (%)	33.56	32.44
Equivalente de Arena (%)	51.58	52.97

Fuente: Elaboración propia.

Estos materiales de acuerdo a los análisis físicos, mecánicos y geotécnicos cumplen con las especificaciones técnicas, para ser utilizados en la conformación de la estructura del pavimento como la capa sub-base y base.

5.3.4. Clasificación geo-mecánica de roca

Se ha tomado muestras de rocas más representativas de las canteras de la zona, litológicamente descritas como lavas andesíticas. La calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR de Bieniawski, se muestra en la siguiente tabla 36.

TABLA 36: Clasificación geomecánica de rocas.

Cantera de Roca	Km 6+262 LDV	Km 27+660 LDV
Clase	II	II
Calidad	Buena	Buena
Valoración RMR	62	60
Cohesión (kg/cm ²)	3 - 4	3 - 4
Angulo de fricción	35°- 45°	35° - 45°

Fuente: Elaboración propia.

5.3.5. Fuentes de agua

En el desarrollo del estudio se ha identificado varias fuentes de agua, recomendándose los más apropiados por su cercanía al proyecto, siendo los principales como se muestra en la siguiente tabla 37:

TABLA 37: Consideración de fuentes de agua.

NOMBRE	UBICACIÓN (PROG.)	OBSERVACIONES
Río Tanana	3 + 260	Flujo permanente
Río Collini	5 + 862	Flujo permanente
Qda. C.P. Huapaca	18 + 110	Flujo permanente
Río Callacame	33 + 652	Flujo permanente

Fuente: Elaboración propia.



VI. CONCLUSIONES

Se determinó las características geotécnicas del terreno de fundación, son suelos granulares y finos que presentan una densidad máxima de 1.66 gr/cc a 1.97gr/cc, una humedad óptima de 7.50% a 24.00% y un C.B.R. del 8% al 26% de la máxima densidad seca. Se concluye que, los mejoramientos se realizaran por tramos, con un corte de 0.40m, la propuesta de solución es un enrocado (A), terraplén (B) y Arena (C). Y se realiza 2 diseños de mezclas de (1:1) canteras Km 24+500 – Río Yorohoco y de igual manera con las canteras Km 31+700 - Río Yorohoco.

- Se determinó las siguientes características geomecánicas del terreno de fundación, presentan suelos: arcillas, arcillas limosas, arcillas arenosas, limos, limos arcillosos, limos arenosos, limo orgánico, arenas arcillosas, gravas arcillosas, gravas limosas, en la clasificación SUCS como: CL, ML, OL, SC, SM, GC, GM, y en la clasificación AASHTO como: A1-a, A1-b, A-2-4, A-2-4(0), A-2-4(16), A-2-6(0), A-4, A-4(1), A-4(8), A-6(7), A-6(9), A-7-6(10), la humedad alcanza el 16%, con un LL de 18.40% a 29.60% y LP de 1.10% a 12.5%. En el tramo más crítico Km **5+400 al Km 7+500**, presentan suelos inestables como: CH, ML, OH según su calificación AASHTO como A-7-6, A- 4, A-7-5 cuya la humedad natural alta alcanza el 52.60%; con un LL de 23.30% a 66.40% y LP de 10.31% a 43.99%.
- Las propiedades físico-mecánicas de los materiales: cantera **Río Lampa Grande** clasificación SUCS de GW-GM y AASHTO A1-a(0) para concreto sub-base y base granular. **Cantera Km 24+500 y Cantera Km 31+700** clasificación SUCS de GM y GW-GM, y AASHTO A1-a(0), uso de relleno para la sub-razante y sub-base y base granular. **Cantera Río Yorohoco** clasificación SUCS de GW y AASHTO A1-a(0) hormigón de río. **Cantera de roca Km 6+262 y Km 27+660** ambos de clase II y de calidad buena, para mejoramiento de terreno de fundación.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realicen más pruebas in situ como: ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) que permitirá conocer la resistencia del suelo que presentan los tramos conformados por suelos de diferentes estratos, ya que el ensayo de DPL es factible para hacer detalladamente la resistencia del suelo por su simplicidad y costos. También las pruebas de la Viga Bekellman para determinar la deflectometría por tramos y así identificar las zonas críticas para realizar el reemplazamiento de material.
- Se recomienda realizar el ensayo de compresibilidad para conocer el comportamiento de los suelos, especialmente los suelos blandos, los arcillosos que pueden contener más agua, en relación al esfuerzo y la deformación.
- Se necesita explorar más canteras ya que estas pueden variar en el proceso de desarrollo y/o mantenimiento de la carretera.



VIII. REFERENCIAS

- BONILLA, R. M. (2018). Estudio geológico y geotécnico en el mejoramiento de la carretera Dv. Alcas, Acobamba, Huayruro – región Huánuco.
- BRAJA, D. M. (2006). Fundamentos de ingeniería geotecnia. México.
- CÁRDENAS, J (2013). Diseño geométrico de carreteras. Bogotá, Colombia.
- CASAGRANDE, A. (1972). Estudio de suelos y cimientos en carreteras.
- CRESCO, C. (2001). Mecánica de suelos y cimentaciones. México: Limusa Noriega.
- DELGADO, M. (1996). Ingeniería de Cimentaciones. México: Alfa- Omega.
- GEOCONSUL. (2012). Estudio de terreno de fundación y canteras. Lima
- GONZALES, DE V. L. (2002). “Ingeniería Geológica”. Editorial Pearson Educación.
- HERMOSA, G. (2006). Estudios Geotécnicos.
- HERRERA, R. (1999). Estudio y exploración de canteras.
- HUANCA, R. (1996). Estudio de las propiedades de suelos.
- INGEMMET. (2012). Geología regional del cuadrángulo de Pisacoma 34Y y Juli 33Y.
(INGEMMET) Puno, Puno, Perú.
- JUARES, E. (1996). Mecánica de suelos. México: Limusa.
- JUDD, P. (1972). Principios de geología y geotecnia para ingenieros. (3ra. edición)
Barcelona, España 828p.
- LAMBE, T. (1989). Mecánica de suelos. México: Limusa.
- MAYTA, W. (2018). Estudio geotécnico de la carretera Desaguadero – Kelluyo de la Provincia de Chucuito del Departamento de Puno. Puno Perú.
- MENDIVIL, R. (1965). Estudio del cuadrángulo 34-Y Pisacoma. Lima.
- MENDOZA, V. (2001). Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica.
Lima: San Marcos.
- MTC. (2000). Ensayos de Laboratorio de Suelos. Lima.



- MTC. (2013). Ensayos de laboratorio de suelos. Lima.
- PALACIOS, O. M. DE LA CRUZ, W. J. S. KLINCK, B. A. (INGEMMET). (1993).
“Proyecto Integrado del Sur”. Boletín N° 42. Editorial INGEMMET: Lima – Perú.
- POMACOSI, W (2016). Evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s(Puno) – Vilque –
Mañazo -Emp. 34^a (Huataquita).
- PORTADA L. (2020). Determinación de la condición geológico – geotécnico de la
carretera Ayaviri – Purina tramo Km 00+000 hasta 19+375. Puno Perú.
- RADNOR, P. (1996). Ingeniería de carreteras. (5ta. Edición): Limusa.
- RADNOR, P. (2005). Ingeniería de carreteras. (5ta. Edición). Editorial Limusa.
- SENAMHI. (2019). Estudio hidrológico de Desaguadero. Puno.
- SENAMHI (2018). Estudios de tiempos del Sur de Puno.
- TERZAGHI, K. y Valle, R. (1965). La Magnitud de la diferencia de Suelos.
- TITO, C. (2016). Evaluación Geológica - Geotécnica para el proceso constructivo de la
Av. Jallihuaya-Puno. PUNO.
- VALLE, R. R. (1997). “Carreteras, Calles y Autopistas”. Editorial El Ateneo: Buenos
Aires – Argentina.



ANEXOS