



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



“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DEL
TERRENO DE FUNDACIÓN Y CANTERAS PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CURAYLLO - CHUPA,
PROVINCIA DE AZÁNGARO -PUNO”

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GABRIEL ROSARIO FERNANDEZ MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A DIOS, porque me dio el don de la perseverancia para alcanzar mis metas y por ser el forjador de mi destino.

A mis queridos padres Simón y Felicitas por haberme educado con principios y valores y porque dan razón a mi vida con sus consejos y su apoyo incondicional para seguir por el sendero de la vida, Es para mí una tremenda satisfacción poder dedicarles a ellos.

A mi amada Catiana quien desinteresadamente me da su apoyo y las fuerzas en esta etapa de mi vida para así seguir avanzando cada vez más.

A mis queridos Hermanos, familiares y amigos que siempre estuvieron pendientes de los logros que alcanzo en cada etapa de mi vida.

Gabriel Fernandez



AGRADECIMIENTO

- Mi agradecimiento infinito a Dios sobre todas las cosas, por cuidar de mí y mis semejantes, e iluminarme por el camino correcto de la vida.
- A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano Puno, a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica que, con su experiencia y enseñanza, aportaron sus grandes conocimientos en bien de mi formación profesional.
- Agradecer de manera especial a mi Asesor de tesis M.Sc. LEONEL PALOMINO ASCENCIO y a los JURADOS de esta TESIS, por sus sabios consejos y una guía con satisfacción para su elaboración.
- A mis queridos padres, hermanos, familiares y amigos que siempre han estado allí para apoyarme, alentarme y darme ánimo, depositando confianza en mí. También mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que directa o indirectamente han colaborado y contribuido con su apoyo, comentarios y/o sugerencias en el desarrollo de esta tesis.

Gabriel Fernandez



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 19

1.2.1. Formulación del problema general 19

1.2.2. Formulación de problemas específicos..... 20

1.3. JUSTIFICACIÓN 20

1.4. HIPOTESIS 21

1.4.1. Hipótesis general 21

1.4.2. Hipótesis específicas..... 21

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION..... 21

1.5.1. Objetivo general..... 21

1.5.2. Objetivos específicos 21

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION..... 23

2.2. MARCO TEORICO 26

2.2.1. Estudio geotécnico para carreteras 26



2.2.2. Mecánica de suelos para carreteras.....	27
2.2.3. Ensayos de laboratorio.....	27
2.2.3.1. Contenido de Humedad Natural	27
2.2.3.2. Análisis Granulométrico	28
2.2.3.3. Clasificación de suelos	29
2.2.3.4. Límites de consistencia	35
2.2.3.5. Proctor	37
2.2.3.6. Relación de soporte de california (CBR)	39
2.2.3.7. Abrasión los ángeles.....	40
2.2.4. Estudio de canteras	41
2.2.4.1. Características geotécnicas de las canteras	42
2.2.4.2. Exploración de canteras	43
2.2.4.3. Explotación de canteras.....	43
2.2.4.4. Clasificación geomecánica de Roca	44
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	46
2.3.1. Cantera.....	46
2.3.2. Caracterización de suelos	46
2.3.3. Estudio de suelos	46
2.3.4. Mecánica de suelos	47
2.3.5. Propiedades físico-mecánicas de los suelos	47
2.3.6. Roca	48
2.3.7. Suelo	48
2.3.8. Origen y formación de los suelos	48
2.3.9. Terreno De Fundación	49
2.3.10. Terraplén.....	49

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO	51
---------------------------------------	-----------



3.1.1. Tipo de Investigación	51
3.2. REVISIÓN, RECOPIACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORMACIONES PRELIMINARES	51
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	52
3.3.1. Población	52
3.3.2. Muestra	52
3.4. VARIABLES	52
3.4.1. Variable independiente	52
3.4.2. Variable dependiente	52
3.4.3. Operación de variables	53
3.5. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	53
3.5.1. Etapa de campo.....	53
3.5.2. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos	53
3.5.3. Trabajos de gabinete	54
3.5.4. Elaboración de informe final	55
3.6. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS	56

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN.....	57
4.1.1. Ubicación geográfica y coordenadas UTM.	57
4.1.2. Ubicación política.....	58
4.2. ACCESOS AL AREA DE ESTUDIO	59
4.3. HIDROLOGIA.....	60
4.3.1. Elementos Meteorológicos	60
4.4. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS REGIONALES	62
4.4.1. Cordillera oriental.....	62
4.4.2. Faja sub andina	63
4.5. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES.....	63



4.5.1. Urbano -Rural (A-urb) Sistema Antrópico	64
4.5.2. Lecho Fluvio – Aluvial (Sistema Fluvial)	65
4.5.3. Escarpas (M).....	65
4.5.3.1. Colina Media (C-M).....	66
4.5.3.2. Colina Alta (C-A).....	66
4.5.3.3. Colina Baja (C-B).....	67
4.5.3.4. Planicie Aluvial (P-A).....	67
4.5.3.5. Valles Interandinos.....	68
4.5.3.6. Terrazas Aluviales.....	68
4.6. GEOLOGIA REGIONAL	69
4.6.1. Paleozoico (Silurico-Devonico).....	69
4.6.1.1. Formación Chagrapi (SD – Cha).....	69
4.6.2. Mesozoico (Jurásico - Cretácico).....	69
4.6.2.1. Formación Huancané (Ki-Hua).....	69
4.6.2.2. Formación Ayabacas (Ki-Ay)	70
4.6.2.3. Formación Vilquechico (Ks-Vi).....	70
4.6.3. Cenozoico (Paleógeno - Cuaternario).....	71
4.6.3.1. Formación Ausangate (CP-Aus)	71
4.6.3.2. Depósitos Cuaternarios – Recientes (Qr-C).....	71
4.6.4. Plutón Chupa (P-Ch).....	72
4.7. GEOLOGÍA LOCAL	73
4.7.1. Mesozoico (Cretácico).....	73
4.7.2. Cenozoico (Depósitos Cuaternarios)	74
4.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	75
4.8.1. Falla Geológica.....	76
4.8.2. Plegamientos: Sinclinales y Anticlinales.....	76
4.8.3. Fisuramientos.....	77
4.8.4. Contactos Geológicos	77



4.9. SISMICIDAD	77
4.9.1. Sismología	77
4.9.2. Hechos Históricos de Sismicidad	78
4.9.3. Sismicidad Regional	78
CAPÍTULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN.....	79
5.1.1. Ubicación de Puntos de Muestreo	79
5.1.2. Descripción del Terreno de Fundación por Tramos	80
5.2. PROPUESTAS DE SOLUCION PARA LOS TERRENOS DE FUNDACIÓN	84
5.2.1. Mejoramiento por Tramos del Terreno de Fundación.....	84
5.3. CONDICIONES GEOTÉCNICAS Y PROPIEDADES FISICO MECÁNICAS DE LAS CANTERAS	87
5.3.1. Canteras de material granular	87
5.3.2. Canteras de arena	93
5.3.3. Canteras de roca	95
VI. CONCLUSIONES.....	98
VII. RECOMENDACIONES	100
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS.....	104

ÁREA : Geotécnia

TEMA : Construcción de carretera

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de junio de 2022.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	58
Figura 2. Temperatura Y precipitación mensual	62
Figura 3. Unidades geomorfológicas.....	62
Figura 4. Sistema antrópico (acción del hombre).....	64
Figura 5. Sistema fluvial (ríos).....	65
Figura 6. Presencia de montañas	65
Figura 7. Presencia de laderas	66
Figura 8. Lomadas en el área del proyecto.....	66
Figura 9. Colina baja	67
Figura 10. Presencia de planicies	67
Figura 11. Presencia de valles interandinos	68
Figura 12. Depósitos cuaternarios resientes.....	72
Figura 13. Mapa de Zonificación Sísmica Según RNE.....	78
Figura 14. Evaluación y muestreo de material en cantera Kesca	89
Figura 15. Exploración de calicatas a cielo abierto en cantera Carimayo.....	91
Figura 16. Cantera Picaflor	93
Figura 17. Evaluación de material en cantera Río Azángaro	95
Figura 18. Cantera de roca Km 32+000	97



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Sistema de clasificación AASHTO.....	30
Tabla 2.	Prefijos de clasificación para las gravas y arenas que están entre el 5 y 12% del material que pasa a través del tamiz N° 200.	33
Tabla 3.	Clasificación de suelos SUCS.....	35
Tabla 4.	Clasificación típica de suelos para infraestructura vial.....	40
Tabla 5.	Especificaciones para ensayo de abrasión en Rocas.....	41
Tabla 6.	Ensayos a realizar en las canteras.	42
Tabla 7.	Índice manual de resistencia de roca según (ISRM, 1981).....	45
Tabla 8.	Calidad del Macizo Rocosos con relación al Índice RMR.....	46
Tabla 9.	Operación de variables.....	53
Tabla 10.	Materiales y equipos utilizados.....	56
Tabla 11.	Coordenadas GEOGRÁFICAS del área de estudio.....	57
Tabla 12.	Coordenadas UTM del área de estudio.....	57
Tabla 13.	Vías de acceso al área del proyecto (1).....	59
Tabla 14.	Vías de acceso al área del proyecto (2).....	59
Tabla 15.	Temperatura máxima, mínima y Precipitación Pluvial, (Chupa)	61
Tabla 16.	Unidades geomorfológicas.....	64
Tabla 17.	Columna Estratigráfica Local.	75
Tabla 18.	Puntos de exploración de calicatas.	80
Tabla 19.	Descripción del suelo de fundación por tramos.	81
Tabla 20.	Cuadro de Resumen del terreno de fundación, carretera Curayllo – Chupa.	83
Tabla 21.	Nomenclatura a utilizar.....	84
Tabla 22.	Características de la cantera Kesca.	88



Tabla 23. Resultados de la cantera Kesca.	88
Tabla 24. Características de la cantera Carimayo.	90
Tabla 25. Resultados de la cantera Carimayo.	90
Tabla 26. Características de la cantera Picaflor.	92
Tabla 27. Resultados de la cantera Picaflor.	92
Tabla 28. Características de la cantera Río Azángaro.	94
Tabla 29. Resultados de la cantera río Azángaro.	94
Tabla 30. Características de la cantera de roca Km 32+000 Origen sedimentario.	96
Tabla 31. Resultados de la cantera de roca Km 32+000.	96
Tabla 32. Resumen consolidado de canteras estudiadas.	97



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%	: Porcentaje.
°C	: Grados centígrados.
A-1-a	: Suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
A-1-b	: Suelos constituidos principalmente por arenas gruesas.
A-2-4	: Grava y arena gruesa con contenidos de limo.
A-2-6	: Materiales granulares con partículas finas arcillosas.
A-4	: Suelo limoso no plástico o moderadamente plástico.
A-5	: Suelos limoso con un índice de plasticidad moderado.
AASHTO	: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
ASTM	: Estándares americanos y materiales de prueba.
C	: Arcilla.
C.P.	: Centro poblado.
CBR	: Relación de Soporte de California.
CL	: Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad.
Cm.	: Centímetro.
De	: Proctor modificado.
E	: Este.
EG	: Especificaciones técnicas generales para construcción.
G	: Grava.
GC	: Grava arcillosa.
GM	: Grava limosa.
GP	: Grava mal gradada.
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global.
gr.	: Gramos.



GRP	: Gobierno Regional de Puno.
GW	: Grava bien graduada.
I.P.	: Índice de plasticidad.
ISRM	: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
Kg.	: Kilogramos.
Ki-hua	: Formación Huancané.
Kis-ay	: Formación Ayabacas.
Km.	: kilómetros.
Kn	: Kilo-newton.
KsP-a	: Formación Ausangate.
Ks-vi	: Formación vilquechico.
Lb.	: Libras.
LL	: Límite Líquido.
LP	: Límite Plástico.
m	: Metros.
M	: Limo.
M.S.N.M.	: Metros sobre el nivel del mar.
M2	: Metros cuadrados.
M3	: Metros cúbicos.
MDS	: Máxima densidad Seca.
ML	: Limo inorgánico ligeramente plástico.
Mm.	: Milímetros.
Mpa	: Mega pascales.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
NE	: Noreste.



NF	: Nivel freático.
O	: Suelos orgánicos.
P-ch	: Plutón Chupa.
P	: Pobremente gradada.
Qr-c	: Depósitos cuaternarios – recientes.
RMR	: Calificación del Macizo Rocosos.
S	: Arena.
SC	: Arena arcillosa.
SE	: Sur Este.
SENAMHI	: Servicio nacional de meteorología e hidrología.
SM	: Arena limosa.
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
T-Ta	: Grupo Tacaza.
UTM	: Sistema de proyección universal transversal de Mercator.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en los distritos de Arapa y Chupa, inicia en el km 17+000 (centro poblado de Curayllo), distrito de Arapa y termina en el km 32+700 del distrito de Chupa, provincia de Azángaro del departamento de Puno. El objetivo principal es demostrar las características geológicas – geotécnicas que tienen el terreno de fundación y canteras, se realizaron 30 calicatas a cielo abierto con una profundidad de 1.5 m. a cada 500 m. determinando así las características geomecánicas del terreno de fundación y ubicando 5 canteras que podrán ser utilizadas durante la construcción. Las muestras obtenidas mediante exploraciones geotécnicas del terreno de fundación y canteras fueron ensayados y analizados en el laboratorio de mecánica de suelos, para conocer el tipo de suelo y su capacidad de soporte (CBR). Los suelos corresponden en su gran mayoría a suelos arcillosos mezclado con arenas finas de tipo CL, ML, SC, SM-SC y suelos con gravas de forma angular a redondeado de tipo, GC, GP, GP-GM, según la clasificación SUCS. y según la clasificación AASHTO de tipo, a-4(1), a-4(7), a-2-4(0), a-4(4), a-4(2), a-5(2), con un CBR promedio de 5% lo cual indica que son suelos malos a regulares. Se concluye indicando que se identificaron VII tramos bien definidos y el respectivo criterio de mejoramiento para cada uno. Las canteras estudiadas son: Kesca, Carimayo y picaflor como agregados, río Azángaro como arena y cantera de roca km 32+000 (material roca).

Palabras Claves: Agregado, Cantera, Ensayos de Laboratorio, Geotecnia, Terreno de Fundación.



ABSTRACT

The present research work was carried out in the districts of Arapa and Chupa, starting at km 17 + 000 (populated center of Curayllo), district of Arapa and ending at km 32 + 700 of the district of Chupa, province of Azángaro of the department. from Puno. The main objective is to demonstrate the geological - geotechnical characteristics that the foundation ground and quarries have, 30 open pits were made with a depth of 1.5 m. every 500m. thus determining the geomechanical characteristics of the foundation land and locating 5 quarries that may be used during construction. The samples obtained through geotechnical explorations of the foundation ground and quarries were tested and analyzed in the soil mechanics laboratory, to determine the type of soil and its bearing capacity (CBR). The soils correspond mostly to clayey soils mixed with fine sands of the CL, ML, SC, SM-SC type and soils with angular to rounded gravels of the GC, GP, GP-GM type, according to the SUCS classification. and per AASHTO Type Classification, a-4(1), a-4(7), a-2-4(0), a-4(4), a-4(2), a-5(2), a-4(7), with an average CBR of 5%, which indicates that they are dab and regular soils. It concludes by indicating that VII well-defined sections were identified and the respective improvement criteria for each one. The quarries studied are: Kesca, Carimayo and Hummingbird as aggregates, Azángaro River as sand and rock quarry km 32+000 (rock material).

Keywords: Aggregate, Quarry, Laboratory Tests, Geotechnics, Foundation Ground.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los estudios de geología y geotecnia se iniciaron con el reconocimiento general del Tramo Km 17+000 Curayllo al Km 32+700 Distrito de Chupa: posteriormente y en etapas sucesivas, se llevaron a cabo estudios de mayores niveles técnicos hasta el proyecto de ingeniería al detalle. En cuanto al tramo Km 17+000-32+700, mediante los estudios referidos se obtuvo información de la litoestratigrafía como de los aspectos geomorfológicos, estructurales, geodinámicos.

En tales condiciones ha sido necesario complementar la información geológica-geotécnica con estudios específicos tales como reajustes litológicos de las formaciones geológicas presentes, muestreo de campo y ejecución de ensayos en laboratorios de mecánica de suelos para procesar los factores de seguridad de los taludes en suelos. Asimismo, se ha elaborado información relacionada con la zonificación geodinámica externa y litológica; entre otra información complementaria se determinaron zonas críticas, cuyos caracteres inciden en la seguridad y funcionabilidad de la obra vial.

Los estudios geotécnicos se realizan para reconocer, identificar y evaluar el tipo de terreno de fundación, su estructura, sus propiedades, el acontecimiento de la estabilidad del terreno natural, las situaciones hidrológicas y drenaje que permitan acoger los parámetros adecuados y finalmente para establecer cada uno de ellos.

Es importante considerar conceptos básicos de la mecánica de suelos y la aplicación de la geología y geotecnia en la construcción de obras viales, como también las características geomecánicas del suelo de fundación para determinar su capacidad de soporte, con fines de fundar el terraplén para evadir problemas estructurales posteriores.



Los trabajos de evaluación geológica – geotécnica determinan las medidas correctivas adecuadas que se deben adoptar para garantizar una buena construcción de la carretera; con una evaluación geotécnica detallada se puede tener una mejor interpretación y zonificación de sectores que demandan mejoramiento en el tramo de la carretera en construcción.

La intención del presente proyecto de tesis es contribuir en la Geotecnia de carreteras, y poder ofrecer a los interesados las pautas y criterios técnicos oportunos que se tomará para el estudio del terreno de fundación y canteras. La interpretación se hará luego de conocer los resultados y dar una solución a los problemas que se presenten y esto permitirá caracterizar los diversos tipos de suelos presentes en la zona, para el emplazamiento de la carretera, en la cual se debe considerarse: el tipo suelo, clasificación del suelo, posición del nivel freático y materiales de cantera.

Se determinará los tipos de suelo presentes a lo largo del eje del tramo y alrededores, se realizarán calicatas cada 500 m., en zonas estratégicas y/o variaciones de tipo de suelo de diferentes profundidades de los cuales se efectuará, la clasificación a visual y táctil del suelo, la descripción de la exploración de cada calicata, de la misma manera serán tomadas las muestras alteradas para realizar los ensayos en laboratorio de mecánica de suelos.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las vías pavimentadas de transporte de bajo volumen se clasifican como corredores de bajo costo. Como resultado tienden a tener un diseño que evita el movimiento excesivo de materiales; Las estructuras, en su conjunto están diseñadas para uso a corto, mediano y largo plazo.



El problema es la falta de gestión en los estudios geológicos y geotécnicos para el diseño y posterior mantenimiento de caminos vecinales y carreteras en un gran número de zonas rurales y distritos de todo el país, situación que repercute en el desarrollo de las zonas más alejadas. Es obvio que la investigación geotécnica debe estar coordinada con otras áreas de la ingeniería, particularmente con la investigación geológico-geotécnico. Muchas veces, un estudio geotécnico es incorrecto por falta de un estudio geotécnico, que en la mayoría de los casos no se realiza.

En el Perú es notoria la deficiencia de no recolectar información técnica, aparentemente se tiene una idea errada que invertir poco o nada en una investigación geomecánica y estudios de suelos y rocas, sin tener en cuenta que en realidad el sobredimensionamiento de las mismas es lo que hace que una obra en particular sea más costosa.

En Perú es bien notorio la falta de recopilación de información técnica; al parecer, existe la creencia errónea de que invertir poco o nada en estudios de geomecánica de suelo y roca ahorrará dinero, cuando en realidad no se tiene en cuenta el sobredimensionamiento de estos últimos hace que un proyecto se realice con un costo elevado.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

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

1.2.1. Formulación del problema general

- ¿Qué características Geológicas y Geotécnicas tiene el terreno de fundación y canteras para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa?



1.2.2. Formulación de problemas específicos

- ¿Qué condición geológica presenta el terreno de fundación para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa?.
- ¿Qué propiedades físico – mecánicas tienen los materiales de canteras para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa?.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de tesis tiene el propósito de determinar el comportamiento geológico - geotécnico del suelo de fundación y los materiales de cantera a utilizarse durante la construcción y posterior mantenimiento de la carretera Curayllo – Chupa, la importancia de esta investigación es determinar la parte geológica – geotécnica para construir la carretera Curayllo – Chupa.

Permitirá analizar los diferentes tipos de suelos para prestar la seguridad necesaria en la estabilidad de la vía y no presentar inconveniente alguno durante la construcción y así evitar daños futuros, teniendo en cuenta que el estudio también incluye una evaluación geotécnica de los materiales de cantera a ser usado.

La necesidad importante para mejorar las vías de comunicación interdistrital e interprovincial en la región de Puno, nace con el deseo de poder elevar el nivel de vida de la población que se dedica especialmente al sector agrario, pecuaria y a la elaboración de productos lácteos, en consecuencia, se prioriza la construcción de la carretera Curayllo – Chupa, por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Gobierno regional – Puno.



1.4. HIPOTESIS

1.4.1. Hipótesis general

- Las características Geológicas – Geotécnicas del terreno de fundación son favorables y existen agregados con propiedades Físico - mecánicas óptimos para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa, Provincia de Azángaro - Puno.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las condiciones Geológicas del terreno de fundación son favorables para construcción de la carretera Curayllo – Chupa.
- Los agregados de cantera cumplen con propiedades físico - mecánicas requeridas según normas MTC - 2013 para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.5.1. Objetivo general

- Determinar las características geológicas – geotécnicas que tienen el terreno de fundación y canteras para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa, Provincia de Azángaro - Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar las formaciones geológicas que se presentan en el área de estudio donde se emplazará la carretera Curayllo – Chupa.



- Evaluar las propiedades físico - mecánicas de los agregados en las canteras existentes mediante ensayo de materiales en Laboratorio de suelos para realizar la construcción de la carretera Curayllo – Chupa.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

“En el Perú los primeros caminos construidos con ciertas técnicas fueron realizados por los Huaris en la sierra y los mochica y Chimus en la costa, sin embargo, los Incas fueron quienes integraron los caminos en un sistema vial, que permitió la circulación de personas y animales, estos caminos comprendían también las obras de arte necesarias para atravesar ríos y quebradas y estaban dotados de tambos ubicados aproximadamente a una longitud de 15 a 30 kilómetros. Se estima que alcanzaron una longitud de 25.000 kilómetros compuestos por 2 grandes caminos longitudinales norte a sur uno en la costa y el otro en la sierra y varios caminos longitudinales (este a oeste) que conectaban a los valles costeros de la sierra” (Menéndez Acurio, 2009).

- Nivel Internacional

LENZ (México-2016). Elaboró 144 estudios geotécnicos recolectado de toda el área metropolitana de Xalapa, Veracruz. Dentro de los estudios recolectados, con respecto a los trabajos en campo se elaboraron: sondeos profundos en los que se realizaron ensayos de Penetración Estándar (SPT), también se hicieron Pozos a Cielo Abierto (PCA). Con respecto a los trabajos en Laboratorio se realizaron: contenido de humedad, granulometría, densidad de sólidos, límite líquido, límite plástico, peso volumétrico natural. Dando como resultado que: Los suelos de las zonas urbanas y conurbadas de Xalapa tienen como cimentaciones materiales volcánicos. En la ciudad de Xalapa, predominan los suelos arcillosos de alta plasticidad, arenas limosas y arenas arcillosas.



IBARRA (Argentina-2019), Recopiló estudios de suelos realizados en dicha zona, dentro de los estudios recolectados se realizaron 3 barrenados de 2 pulgadas de diámetro y profundidad de 1 m como máximo, 7 barrenados de 6 pulgadas de diámetro y profundidad de 3.40 m como máximo, 11 barrenados de 8 pulgadas de diámetro y profundidad de 4.50 m como máximo, 9 excavaciones con retroexcavadora con profundidad máxima de 2.80 m, 2 sondeos con equipo perforador con profundidad máxima de 4.50 m. Concluyendo que en dicha zona predomina las gravas arenosas, depósito de barra. Como segunda predominación son las arenas y limos con presencia de grava media y fina.

- **Nivel Nacional**

FERNÁNDEZ CONDEÑA (2005). Cuando nos encontramos en un terreno donde se presenta material inadecuado como para terreno de fundación pensamos en dos cosas: Retirar el material y reemplazarlo por material de préstamo o bien estabilizar el material in-situ con algún agente estabilizante de manera que se modifica las propiedades haciendo cumplir los requisitos deseados.

En la carretera Interoceánica-Sur Tramo III, sector Iberia-Iñapari, La estabilización de suelos, depende de las características físicas químicas de los suelos para poder utilizar el agente estabilizante correcto, debido a que se presenta una variedad de suelos, la equivocación de esto puede conllevar a pérdidas económicas ya que los resultados serán imprevistos, para ello se recomienda realizar un estudio de suelos adecuado.

CÓRDOVA Y SÁNCHEZ (2019). Zonificación geotécnica de los suelos de asentamiento urbano con fines de cimentación en el distrito de Samanco – Provincia del Santa – Departamento Ancash”, se realizaron puntos de investigación y ejecutaron 24



calicatas para la elaboración del ensayo de corte directo “in situ” de diferentes profundidades, debido a la aparición del nivel freático, así mismo se realizó 24 ensayos de DPL y 24 ensayos de Densidad de campo, clasificando los suelos y calculando las capacidades portantes que varían de 0.34 kg/cm² y 1.70 kg/cm². Además, colocan el nivel freático, si es que lo encuentran en sus calicatas.

- **Nivel Local**

POMACOSI (2020). El presente trabajo denominado Evaluación Geotécnica de la Carretera Emp. 3S (Puno) – Vilque – Mañazo – Emp. 34A (Huataquita), está ubicado en la región de Puno, provincias de Puno y San Román; distritos de Puno, Tiquillaca, Vilque, Mañazo y Cabanillas; los objetivos de la evaluación son determinar las características geotécnicas de los suelos de fundación y el estudio de canteras y posibles soluciones que requiera el proceso constructivo. La metodología propuesta permitió realizar el replanteo topográfico y el reconocimiento de la geología a lo largo de la plataforma existente. La recolección de muestras y posteriores ensayos de laboratorio de mecánica de suelos logró determinar que los segundos estratos en un 75% son suelos finos, conformados por arcillas inorgánicas (CL) y limos inorgánicos (ML) que requieren ser mejorados con material que tenga mayor capacidad de soporte; el 25% restante está conformado por mezclas de gravas y arenas limo-arcillosas (GM, GC, SM y SC), que son considerados de regular a bueno como terreno de fundación.

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%. También se pudo observar suelos (OH), (MH), (CH), (CL), (ML) según la clasificación SUCS, y según en la clasificación AASHTO como (A-8), (A-7-5), (A-7-6), (A-6), (A-4), con resistencia al esfuerzo cortante (CBR) menores al 12%.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Estudio geotécnico para carreteras

“Cualquier estudio geotécnico debe iniciarse con un reconocimiento detallado del terreno a cargo de personal experimentado y contar con antecedentes geotécnicos previos para programar la exploración. Mediante la observación de cortes naturales y/o artificiales producto de la erosión o deslizamiento, en general, definir las principales unidades o estratos de suelos superficiales. Especial importancia debe darse en esta etapa a la delimitación de zonas en las cuales los suelos presentan características similares y a la identificación de zonas inestables o poco recomendables para reemplazar, tales como zonas de deslizamiento activo, zonas pantanosas difíciles de drenar, etc. Este reconocimiento se puede efectuar por vía terrestre o por vía aérea dependiendo de la transividad del terreno. El programa de exploración que se elija debe tener suficiente flexibilidad para adaptarse a los imprevistos geotécnicos que se presenten. No existe un método de reconocimiento o exploración que sea de uso universal, para todos los tipos de suelos existentes y para todas las estructuras u obras que se estudian” (Vargas, 1990).



2.2.2. Mecánica de suelos para carreteras

La mecánica de suelos se define como la ciencia que estudia y determina las propiedades físicas y mecánicas de una determinada masa de suelo, dando así datos y herramientas ingenieriles para conocer y predecir el comportamiento de dicha masa de suelo.

Propiedades importantes como la capacidad portante de los suelos, permeabilidad, índice de plasticidad, ángulo de fricción y cohesión, son determinadas gracias a los estudios en laboratorio e In-situ a muestras tomadas y cuyos valores se convierten en el insumo de diseños ingenieriles que garantizan seguridad, durabilidad y estabilidad de una obra de ingeniería.

La mecánica de suelos no desconoce el alto impacto que causa el agua sobre el terreno y los suelos, es por eso que estudia también el flujo del agua hacia su interior, hacia su exterior y dentro de la misma masa del terreno y permitiendo así conocer que tan factible resulta hacer uso del suelo en estudio para una construcción.

2.2.3. Ensayos de laboratorio

Los ensayos en laboratorio de suelos se efectúan con fines de determinar las propiedades físico mecánicas de los materiales ensayados, las muestras de los diferentes estratos del terreno de fundación sirvieron para realizar los diferentes tipos de ensayos según las normas (MTC, 2013).

Los ensayos en laboratorio de suelos se efectuaron conforme a normas estándar, y de acuerdo a las especificaciones técnicas del ASTM, AASHTO y MTC.

2.2.3.1. Contenido de Humedad Natural

REFERENCIAS:

ASTM D-2216, MTC E 108-2000.



El comportamiento el suelo se puede comparar con el de una esponja por su capacidad para retener agua dentro de su estructura y cuya cantidad depende de las características de sus partículas (textura y estructura).

El contenido de humedad de un suelo es la relación existente entre la masa de agua que logra alojarse dentro de la estructura porosa del suelo, y la masa propia de las partículas de suelo. También se define el contenido de humedad de un suelo como la suma del agua libre, capilar e higroscópica.

Se calcula el contenido de humedad natural de los diferentes tipos de suelos con la expresión siguiente:

$$W = \frac{Wh - Ws}{Ws - Wt} * 100$$

Dónde:

W = Contenido de humedad (%).

Wh = Peso de tara más suelo húmedo (gr).

Ws = Peso de tara más suelo seco (gr).

Wt = Peso de la tara (gr).

2.2.3.2. Análisis Granulométrico

REFERENCIAS:

ASTM D-422, AASHTO T88, MTC E 107-2000.

El análisis granulométrico consiste en la separación de las partículas de suelo por rangos de tamaños, haciendo uso de mallas o tamices con aberturas cuadradas. Mediante procesos de agitado se lleva a cabo la separación de las partículas en porciones, las cuales se pesan expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total y aunque se considera físicamente imposible determinar el tamaño exacto de cada partícula, la



prueba de granulometría si permite agruparlas por rangos de tamaño. Universalmente se ha establecido la malla No. 200 (0,075mm) como medida divisoria en la clasificación de suelos; finos y gruesos. Finalmente, a través de una curva de distribución, donde el eje de la abscisa corresponde al diámetro de las partículas y el eje de las coordenadas corresponde al porcentaje retenido, se muestra con un alto porcentaje de aproximación a lo real, la variedad de tamaños de partículas que componen el suelo en estudio.

“El comportamiento mecánico e hidráulico esta principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, características que destruye, por la misma manera de realizarse, la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales se ha tenido que perder toda huella de aquellas propiedades tan decisivas. De esto se desprende lo muy deseable que sería poder hacer una investigación granulométrica con un método tal que respetara la estructuración inalterada del material; este método, sin embargo, hasta hoy no se ha encontrado y todo parece indicar que no se podrá desarrollar jamás” (Badillo & Rodrigues, 1996).

2.2.3.3. Clasificación de suelos

“Existen varios métodos de clasificación de suelos, los más conocidos como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, el Sistema de la ASTM y la Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte. (AASHTO), El ingeniero de fundaciones acostumbra hacer una inspección visual como base primaria de clasificaciones, pero su terminología, la cual no debe considerarse aquí, es muy similar a la del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Todos los sistemas de clasificación de interés primordial para el ingeniero geotécnico utilizan los límites de Atterberg (por lo menos los límites líquido y plástico) con un análisis parcial o total de granulometría, y el proceso de eliminación para la clasificación de un suelo. En todos los sistemas de clasificación es absolutamente esencial acompañar el símbolo de clasificación con la

descripción debida del suelo, pues el símbolo particular de grupo es demasiado amplio y general, como criterio de clasificación para suelos específicos” (Bowles, 1982).

Debido a que existe mucha similitud entre los diferentes métodos y ya que los métodos de clasificación de suelo unificado SUCS y clasificación AASHTO son los más ampliamente usados, este proyecto de investigación tendrá en cuenta solamente estos dos sistemas de clasificación:

a) Clasificación AASTHO

El sistema de clasificación de la AASHTO utiliza además un índice de grupo para comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo. El índice de grupo se calcula de una ecuación dada.

$$IG = (F-35) (0.2 + 0.005 (L_L - 40)) + 0.01 (F-15) (I_P-10), \text{ Donde:}$$

F : Porcentaje que pasa el tamiz N° 200.

L_L : Límite líquido.

I_P : Índice de plasticidad.

El índice encontrado de esa forma se redondea al entero siguiente y se reemplaza entre paréntesis después del número de clasificación correspondiente:

Tabla 1. Sistema de clasificación AASHTO.

Clasificación General	Suelos granulares ($\leq 35\%$ pasa N°200)						Suelos finos ($> 35\%$ pasa N°200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
N° 10 (2mm)	≤ 50										
N° 40 (0.5 mm)	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
N° 200 (0.08mm)	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
Límite líquido				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
Índice de plasticidad	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Fragmentos de Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5 : $IP \leq (LL-30)$						** A-7-6 : $IP > (LL-30)$				
	* A-2-6 y A-2-7 $\rightarrow IG = 0,01 (F - 15) (IP - 10)$										



FUENTE: (Bowles, 1982).

- **FACTORES A CONSIDERAR DE LA NOMENCLATURA DEL MÉTODO AASHTO.**

Este sistema de clasificación provee una forma de utilizar los límites plástico y líquido para obtener la clasificación de los suelos entre los grupos A-4 y A-7, para los cuales el hecho de tener más de un 35% de material más fino que el tamiz N° 200, es un factor esencial de clasificación. Este factor puede también utilizarse para obtener la clasificación de un sub grupo de los suelos titulados A-2, para los cuales el hecho de tener menos del 35% del material más fino que el tamiz N° 200, es un factor esencial de clasificación, la designación de los subgrupos en el grupo A-2 se logra determinando si el suelo A-2, clasificado de acuerdo con su análisis granulométrico, pero tiene propiedades plásticas (LL Y LP) características de los suelos A-4, A-5, A-6 o A-7.

A-1-a: Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-1-b: arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.

A-2-4: Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-5: Intermedio.

A-2-6: Materiales granulares con partículas finas arcillosas.

A-2-7: Intermedio.

A-3: Arena de granulometría deficiente que no tienen partículas finas ni gravas

A-4 Principalmente partículas finas y limosas.

A-5: tipos de suelos poco frecuentes que contienen partículas limosas generalmente elásticas y difíciles de compactar.

A-6: contiene partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

A-7-5: Arcillas y limos más plásticos \leq 30%.



A-7-6: Arcillas y limos más plásticos > 30%.

b) Clasificación S.U.C.S.

Los elementos esenciales para realizar esta clasificación fueron propuestos por Arthur Casagrande que ideó una clasificación de los suelos para carreteras y aeropuertos; la que posteriormente la adoptaron el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos los cuales la modificaron y condujo al sistema unificado de clasificación de los suelos., actualmente este sistema se utiliza con modificaciones mínimas en la mayoría de países fuera de los Estados Unidos.

Según este sistema, los suelos se dividen en tres grupos principales:

- Grano grueso.
- Grano fino.
- Altamente orgánico (suelo turbas).

Los suelos altamente orgánicos se reconocen fácilmente por las características anotadas (agregados fibrosos de fragmentos macroscópicos y microscópicos de materia orgánica descompuesta). Para separar los suelos de granos gruesos de los de granos finos se adopta el tamiz N° 200. En el terreno, la separación se realiza observando si las partículas individuales pueden o no ser distinguidas a simple vista. Si se califica que más del 50% en peso del suelo consiste en granos que pueden distinguirse separadamente, aquel se considera de grano grueso y si se califica que menos del 50% en peso del suelo consiste en granos que no se pueden distinguir separadamente aquel se considera grano fino. Sobre la curva granulométrica se han definido dos coeficientes que determinan la gradación de un suelo. Por gradación se entiende la proporción en que entran los distintos tamaños de granos presentes en un suelo dado.



FACTORES A CONSIDERAR EN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO DE CLASIFICACIÓN UNIFICADO DE SUELOS.

Suelos de grano grueso:

Denominación de gravas y arenas:

GW, GP, SW ó SP

Si menos del 5% del material pasa a través del tamiz N° 200:

G = grava, **S** = arena **W** = bien gradada **P** = pobremente gradada.

La designación de bien o mal gradada depende de los coeficientes de uniformidad y de curvatura hallados con la curva granulométrica.

Gravas y arenas se designan así:

GM, GC, SM ó SC

Esta designación se da si más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200:

M = limo **C** = arcilla.

Esta denominación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquido y plástico de la fracción menor al tamiz N° 40, y utilizando los criterios de la carta de plasticidad.

Tabla 2. Prefijos de clasificación para las gravas y arenas que están entre el 5 y 12% del material que pasa a través del tamiz N° 200.

GW-GC	SW-SC	GP-GC	SP-SC
GW-GM	SW-SM	GP-GM	SP-SM



o **Suelos de grano fino:**

Los suelos de grano fino (más del 50% pasa el tamiz N° 200) son: ML, OL ó CH.

Esta designación se coloca si los límites líquidos son menores que 50%:

M = limo; **O** = suelos orgánicos; **C** = arcilla.

Los suelos de grano fino pueden ser de alta plasticidad (H) o de baja plasticidad (L):

La designación de alta plasticidad (H) se coloca si los límites líquidos son superiores a 50% y la designación de baja plasticidad (L) se coloca si los límites líquidos son menores al 50%, los límites líquido y plástico se ejecutan sobre material correspondiente a la fracción menor del tamiz N° 40 de todos los suelos, incluyendo gravas, arenas y suelos finos (Bowles, 1982).

Tabla 3. Clasificación de suelos SUCS.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS		SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN EN LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas Limpias:	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas de grava-arena, sin o con finos.	Determinar el % de grava y arena en la curva granulométrica. Según el % de finos (fracción inferior al tamiz N° 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: < 5% → GW, GP, SW, SP. > 12% → GM, GC, SM, SC. 5% AL 12% → Casos que requieren el uso de doble símbolo.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$. $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
		(con o sin finos)	GP	Gravas, mal graduadas, mezclas de grava-arena, sin o con finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		Gravas con finos:	GM	Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Encima de la línea A con IP entre 4 y 7, son casos que requieren símbolos dobles.	
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
	ARENAS	Arenas limpias:	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, sin o con finos.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$. $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
		(con o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, sin o con finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos:	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7, son casos que requieren símbolos dobles.	
		(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
		Mas de la mitad de la fracción gruesa es retenido por el tamiz N° 200					
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y Arcillas:	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, polvo de roca; arenas muy finas limosas o arcillosas, con ligera plasticidad.				
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media; arcillas con grava y arena, arcillas limosas poco plásticas.				
		Límite Líquido < a 50.	OL		Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
	Limos y Arcillas:	MH	Limos inorgánicos; suelos limosos y arenas finas, micáceos y diatomáceos; limos elásticos.				
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.				
		Límite Líquido > a 50.	OH		Arcillas y Limos orgánicos de media a alta plasticidad.		
		Suelos muy Orgánicos	PT		Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		

Fuente: Bowles, 1982.

2.2.3.4. Límites de consistencia

Los mencionados límites de consistencia son: Límite Líquido (L.L.) y Límite Plástico (L.P.) y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pase la malla N° 40. La diferencia entre los valores del límite líquido (LL) y del límite plástico (LP.) da el llamado índice Plástico (I.P.) del suelo. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y



tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla (Villalaz, 2001).

- **Límite líquido**

Previamente se estableció que el límite líquido (L. L.) se define para el contenido de humedad a la cual es necesario dar 25 golpes a la cazuela desde una altura de 1cm, para cerrar la pasta de suelos en una longitud de 12.7 mm ó ½” y a una velocidad de 2 golpes por segundo. Sería realmente fortuito el poder encontrar este contenido de humedad exacto dentro de un tiempo razonable (Badillo & Rodrigues, 1996).

- **Límite plástico**

El límite plástico (L. P.) se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico, se obtiene una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá rolarse en seguida en la palma de la mano o en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos de 3.2 mm de diámetro (Badillo & Rodrigues, 1996).

- **Índice de plasticidad**

Se denomina índice de Plasticidad o índice Plástico (I.P.) a la diferencia numérica entre el límite líquido y límite plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo; sin embargo, el índice de plasticidad depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo. Comparando el índice de plasticidad con el que marcan las especificaciones respectivas



se puede decir, si un determinado suelo presenta las características adecuadas para cierto uso (Badillo & Rodrigues, 1996).

2.2.3.5. Proctor

Permite obtener un dato teórico de la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde la cual ayudará a obtener un grado de compactación, siendo relacionada con la mención anterior respecto al terreno. Para realizar este ensayo se utiliza material granular el cual posee propiedades que lo hacen óptimo en la construcción de vías o edificaciones, por su alta resistencia al corte cuando es sometido a esfuerzos de compresión. Estas propiedades se hacen mucho más efectivas, en el caso de la compactación del material. Este ensayo trata de simular las condiciones a las que el material se somete en la vida real, bajo una carga estática y el desarrollo de estos cálculos provee información valiosa para que el ingeniero disponga cuales son las condiciones ideales de compactación del material y cuál es su humedad óptima (Huanca Borda, 1996).

- **Proctor estándar**

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 pulgadas (101.6 mm) de diámetro con un pisón de 2.5 Kg. (5.5 lb) que cae de una altura de 12 pulgadas (305 mm), produciendo una energía de compactación de (600 kN-m/m³) (MTC/14, 2016).

El suelo utilizado como relleno en ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para camino) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como; resistencia al esfuerzo de corte, comprensibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentación son a menudo compactados para



mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua” (M.T.C., 2016).

- **Proctor modificado**

REFERENCIA: ASTM D-1557, MTC E 115-2000

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 152,4 mm (6 pulgadas) de diámetro con un pisón de 4.54 Kg. (10 lb) que cae de una altura de 457 mm (18 pulgadas), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³).

El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de compactación. Los valores de óptimo contenido de agua y máximo peso unitario seco modificado son determinados en la curva de compactación.

“Los resultados obtenidos a partir del ensayo proporcionan una curva, en la cual el pico más alto dicta el contenido de humedad óptima a la cual el suelo llega a la densidad seca máxima. Por medio de los ensayos sé a podido determinar que por lo general la compactación es más eficaz en los materiales bien gradados que contienen una cantidad de finos que en los materiales de gradación uniforme que carecen de finos” (Huanca Borda, 1996).



2.2.3.6. Relación de soporte de california (CBR)

REFERENCIA: ASTM D-1883, AASHTO T-193 MTC E 132-2000

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. (10 lb), que cae de una altura de 457 mm (18 pulgadas), 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.

“El método de CBR es normalmente utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de $\frac{3}{4}$ ”, existiendo metodologías adicionales para los casos en los cuales no se cumpla con este tipo de granulometría, pero debido a que dichos métodos no forman parte del alcance de este manual, no se detallara sobre los mismos.

En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial, el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indicando la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo. A continuación, se presenta una tabla donde en base a los valores de CBR se establece una clasificación general para el suelo” (Bowles, 1982).

Tabla 4. Clasificación típica de suelos para infraestructura vial.

CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			SUCS	AASHTO
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	CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, GP, SW, SM, SP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW.GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: (Bowles, 1982).

2.2.3.7. Abrasión los ángeles

REFERENCIA: ASTM C 131, AASHTO T 96 y MTC E-206

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 A, B, C D, según se indica dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe a continuación:

Tabla 5. Especificaciones para ensayo de Abrasión en rocas.

Tamaño de tamiz (mm)		Cantidad de material a emplear (Gr)		
		Gradación		
Pasante	Retenido	1	2	3
3"	2 1/2"	2 500 ± 50		
2 1/2"	2"	2 500 ± 50		
2"	1 1/2"	5 000 ± 50	5 000 ± 50	
1 1/2"	1"		5 000 ± 25	5 000 ± 25
1"	3/4"			5 000 ± 25
TOTAL		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

Fuente: M.T.C.

Se calcula el ensayo de Abrasión con la expresión siguiente:

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

2.2.4. Estudio de canteras

“Localizar una cantera es más que descubrir un lugar donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos para emplearse en una determinada obra, satisfaciendo ciertas especificaciones de calidad y de volumen. Ese concepto implica, además, tener en cuenta ciertos aspectos colaterales como su permanencia en el tiempo, en términos de riesgo por efecto de los fenómenos de geodinámica externa. o su situación legal, por citar solo dos de ellos. En resumen, podemos decir que una cantera es mejor:

- Por su calidad.
- Por su potencia y rendimiento.
- Por su accesibilidad y estado de las vías de acceso. y

- Por su situación legal.

La calidad de una cantera está dada por el grado de cumplimiento de las especificaciones del material que se busca; y se deduce de los ensayos de laboratorio que se practiquen sobre las muestras tomadas durante la etapa exploratoria” (Romero, 1995).

2.2.4.1. Características geotécnicas de las canteras

Tabla 6. Ensayos a realizar en las canteras.

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-89	E-111
Peso específico	C-127	T-85	E-206
Proctor Modificado	D-1557	T-180	E-115
C.B.R.	D-1883	T-193	E-132

FUENTE: M. T. C.

Además, 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).

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1” (2,5 mm).



2.2.4.2. Exploración de canteras

“Se define con este término al conjunto de actividades tendientes a determinar si una cantera reúne los requisitos mínimos para su explotación. Como es evidente, existen diferentes niveles de investigación, dependiendo del grado de información que se esté tratando de conseguir.

Se llama cantera, a la fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarios para la construcción de una obra. Dependiendo del tipo de material que se busque, puede ser: de suelos, de rocas o mixta. En lo que sigue, sólo se tratarán las canteras de suelos como materiales de préstamo para estabilizaciones de terraplenes, como sub - bases y bases o como agregados para la elaboración de concretos de cemento portland y asfáltico y roca para el pedraplenado.

El primer nivel corresponde al Reconocimiento del Terreno, etapa en la que después de haberse considerado una cierta posibilidad, obtenida por referencias de una cantera que ha sido explotada en otra época, o por el estudio de cartas, mapas, fotografías aéreas o de satélites, se requiere "caminar" sobre el terreno para estudiar sus accesos, definir sus linderos, cubicar sus probables volúmenes explotables y elaborar un programa de exploración para la siguiente etapa de estudio” (Romero, 1995)

2.2.4.3. Explotación de canteras

Es el conjunto de actividades mediante las cuales se extraen materiales de una cantera para ser empleados en una obra determinada.

Las actividades necesarias durante la explotación de una cantera son:

- Desmonte y Limpieza.
- Preparación.



- Extracción y acopio.

- Carguío y transporte.

El equipo usado en la explotación de canteras incluye normalmente algunos de los siguientes:

- Tractor a orugas o neumáticos, cargador frontal, retroexcavadora, excavadora sobre orugas o neumáticos, etc.

- **Muestreo de canteras**

Las Canteras fueron exploradas a través de calicatas, de las cuales se extrajeron muestras representativas en suficiente cantidad para poder efectuar los ensayos exigidos, Estas muestras fueron remitidas al laboratorio para la ejecución de sus ensayos respectivos.

De las calicatas muestreadas se determinaron las características del material presente como su potencia y volumen, la exploración de cada calicata se realizó con una profundidad considerable para su explotación, siendo estas ubicadas convenientemente en toda el área de la cantera.

2.2.4.4. Clasificación geomecánica de Roca

consiste en evaluar, para predecir el comportamiento de los macizos rocosos a partir de ensayos simples IN-SITU y poder definir muy ajustadamente su uso en diferentes obras basados en experiencias anteriores.

Tabla 7. Índice manual de resistencia de roca según (ISRM, 1981).

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDETIFICACIÓN EN CAMPO	VALOR APROX. DE LA RESISTENCIA A C. SIMPLE (Mpa)
R0	Roca extremadamente débil	se marca con la uña.	2,5 - 1,0
R1	Roca muy débil	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo geológico; puede desconcharse con una navaja.	1,0 - 5,0
R2	Roca débil	Puede desconcharse con dificultad con una navaja; se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo.	5,0-25
R3	Roca moderadamente dura	No se puede rayar o desconchar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25-50
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo geológico para romper la muestra.	50-100
R5	Roca muy dura	Se necesitan muchos golpes con el martillo geológico para romper la muestra.	100-250
R6	Roca extremadamente dura	Sólo se pueden romper esquirlas de la muestra con el martillo geológico.	>250

FUENTE: (ISRM, 1978).

Tabla 8. Calidad del Macizo Rocoso con relación al Índice RMR.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESION	ANGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/Cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	<20	< 1 Kg/cm ²	<15°

FUENTE: (Vallejo, 2002).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Cantera

Depósito de material o agregado pétreo, los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción civil, estructuras, vías, 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 y tener un volumen alcanzable y explotable.

2.3.2. Caracterización de suelos

la caracterización de suelos es una fase descriptiva, cualitativa y cuantitativa con fines de poder determinar las propiedades físico – mecánicas para su identificación.

2.3.3. Estudio de suelos

“En todos los estudios geotécnicos, el más relevante es el estudio de suelos que es muy importante para determinar el grado de estabilidad y comportamiento funcional 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 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” (Villalaz, 2001).

2.3.4. Mecánica de suelos

“La mecánica de suelos es la aplicación de la ciencia física que se ocupa del estudio de las propiedades físicas del suelo y el comportamiento de las masas de suelos sometidos a diferentes tipos de fuerzas” (Das, 2005).

“el estudio de “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” (Badillo & Rodrigues, 1996).

2.3.5. Propiedades físico-mecánicas de los suelos

Son componentes que determinan una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo tales como: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva (Badillo & Rodrigues, 1996).



2.3.6. Roca

“Las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran como un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica” (Vallejo, 2002).

2.3.7. Suelo

el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. (Das, 2005).

2.3.8. Origen y formación de los suelos

“Para la formación de los suelos, la roca madre se ve afectada por procesos de meteorización, tanto física (desagregación) como química (alteración). Luego mediante agentes naturales, los productos de la meteorización pueden ser transportados causando la erosión de aquellas rocas más superficiales de la corteza terrestre. Estos materiales se depositarán posteriormente y mediante diversos fenómenos se consolidará el suelo propiamente dicho. Los procesos de formación del suelo se denominan edafogénesis, y los factores que intervienen en este proceso son: el clima, la topografía, la acción biológica, la composición litológica y el tiempo de actuación de todos ellos. Dentro de estas acciones debemos saber que la desagregación dará como producto gravas, arenas o limos, ya que para la formación de arcillas se requiere de transformaciones químicas. Después de la meteorización el suelo formado puede permanecer en el lugar (suelo residual) o ser transportado por agentes naturales como el agua, tanto en estado líquido como sólido, y el aire” (U.N.R., 2018).



2.3.9. Terreno De Fundación

Se denomina suelo de fundación a la capa del suelo que soporta una estructura, terreno natural o última capa de una plataforma sobre el cual se asentará la carretera.

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. (Liria., 2021).

2.3.10. 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 del tráfico ocasionada por el aumento de la sección resistente. Este hecho se traduce en que la calidad exigible de un suelo decrece a medida que nos alejamos del firme sustentador del tráfico, foco generador de las tensiones.

La idoneidad de un terreno para formar parte de cada una de estas zonas viene marcada por el criterio de clasificación de suelos, según el cual se establecen cuatro categorías de suelos en función de su calidad: seleccionados, adecuados, tolerables e inadecuados.

De todo lo dicho anteriormente, puede concluirse que para la construcción de terraplenes se establece un criterio selectivo de distribución, reservando los mejores



materiales disponibles para las zonas más exigentes y los de peor calidad para aquellas
(Blasquez & Bevia García, 2000).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología del presente trabajo de investigación es de tipo analítico - descriptivo, ejecutado mediante la recopilación de información (revisión bibliográfica), recolección de datos de campo (muestreo de suelos y rocas), análisis y procesamiento de muestras (ensayos en laboratorio de suelos, elaboración de planos), los datos obtenidos se procesaran en la base de datos del software Excel; donde a partir de los resultados se podrá interpretar fácilmente los diferentes tipos de ensayos de laboratorio, que serán necesarios para la ejecución de la carretera Curayllo - Chupa de la Provincia de Azángaro – Puno.

3.1.1. Tipo de Investigación

El presente proyecto de investigación es de tipo analítico – descriptivo, con relación a las propiedades físico – mecánicas que presentan el terreno de fundación y los materiales de préstamo (canteras).

3.2. REVISIÓN, RECOPIACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORMACIONES PRELIMINARES

Revisión del marco teórico, análisis de información documentaria de la parte geológica y cartográfica existente en el cuadrángulo correspondiente.

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 la construcción de la carretera Curayllo – Chupa, la metodología



relacionada a las características geomecánicas de los suelos del terreno de fundación y las propiedades físico – mecánicas de los materiales de cantera.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población considerada está comprendida por todo el tramo de la carretera Curayllo – Chupa, que consta de una longitud de 15.7 Km que están considerados para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa, Provincia de Azángaro – Puno.

3.3.2. Muestra

La muestra en el presente trabajo de investigación, son la obtención de materiales como muestreo de todas las calicatas realizadas, iniciando en el Km 17+000 del Centro Poblado de Curayllo hasta el Km 32+700 distrito de Chupa. Teniendo una frecuencia de ensayo cada 500 m. a lo largo de la vía, se realizaron la cantidad de 30 calicatas a cielo abierto a una profundidad de 1.5 m. Para la ubicación de estas se utilizó GPS (sistema de posicionamiento global) y la descripción detallada de sus características geomecánicas IN-SITU.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

Condiciones Geológicas – Geotécnicas del terreno de fundación.

3.4.2. Variable dependiente

Caracterización Geológica – Geotécnica del terreno de fundación y canteras para la construcción de la carretera Curayllo – Chupa, distrito de Chupa.

3.4.3. Operación de variables

Tabla 9. Operación de variables.

VARIABLES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTOS
V. independiente Condiciones Geológicas – Geotécnicas del terreno de fundación y canteras	Contenido de humedad	Clasificación SUCS-AAHSTO	(%) de humedad
	Granulometría		Tabla SUCS
	Límites de consistencia		Tabla AAHSTO
			L.L
			L.P
	Máxima densidad seca Óptimo c. de humedad	Proctor	Ensayo de Proctor modificado
	Relación de Soporte	C. B. R	Ensayo de C. B. R
V. dependiente Estudio geotécnico	Terreno de fundación	Certificados de laboratorio	Laboratorio de suelos y rocas.
	Canteras o materiales de préstamo		Softwares

3.5. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Etapa de campo

Consiste en realizar salidas de campo para la revisión y reconocimiento de las unidades lito estratigráficas y rasgos estructurales regionales con la ayuda de los datos existentes, se realizó un reconocimiento general de la plataforma existente en todo el trazo de la vía. Luego se realizó calicatas a cielo abierto cada 500 m. en terreno de fundación.

También se realizó el reconocimiento de las canteras que serán como materiales de préstamo, y apertura de calicatas para el muestreo de materiales suficientes para el laboratorio de suelos para la realización de los diferentes ensayos.

3.5.2. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

Esta etapa de trabajo consiste en realizar y procesar las muestras alteradas recolectadas del terreno de fundación y canteras, dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del Gobierno regional – Puno.



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

Ensayos para 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 I. P. MTC E-111.
- Proctor modificado MTC E-115.
- CBR de suelos MTC E-132.

Ensayos para canteras

- 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 I. P. MTC E-111.
- Proctor modificado MTC E-115.
- CBR de suelos MTC E-132.
- Abrasión los ángeles MTC E-207.

3.5.3. Trabajos de gabinete

De acuerdo a los resultados de campo y obtenidos en laboratorio, se realizaron las evaluaciones y las clasificaciones de los estratos existentes en cada una de las calicatas.



En los suelos de fundación de acuerdo a su capacidad de soporte se clasificaron por tramos para determinar las propuestas de mejoramiento, la profundidad de corte y el tipo de material a utilizar.

3.5.4. Elaboración de informe final

Mediante la información obtenida en campo y laboratorio se procederá a elaborar el informe final del presente trabajo de Investigación que consta de 5 capítulos y sus respectivos sub capítulos con las conclusiones y recomendaciones.

También se presentan como anexos las certificaciones de los ensayos en laboratorio de suelos del terreno de fundación y canteras, planos y perfiles. utilizando programas y softwares como AutoCAD, ARCGIS 10.8 y Microsoft office, para interpretar los resultados y redactar el informe final.



3.6. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Tabla 10. Materiales y equipos utilizados.

MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none">• Mapa base	<ul style="list-style-type: none">• GPS
<ul style="list-style-type: none">• Binoculares	<ul style="list-style-type: none">• Pica
<ul style="list-style-type: none">• Cuaderno de apuntes	<ul style="list-style-type: none">• Lupa
<ul style="list-style-type: none">• Formatos personalizados	<ul style="list-style-type: none">• Brújula
<ul style="list-style-type: none">• Plumón y lapiceros	<ul style="list-style-type: none">• Cámara fotográfica
<ul style="list-style-type: none">• Pala	<ul style="list-style-type: none">• Computadora
<ul style="list-style-type: none">• Pico	<ul style="list-style-type: none">• Movilidad
<ul style="list-style-type: none">• Barreta	<ul style="list-style-type: none">• Retroexcavadora
	<ul style="list-style-type: none">• Equipos de Laboratorio de suelos<ul style="list-style-type: none">- Serie de tamices.- Equipo de Limite de consistencia.- Molde y martillo Proctor.- Prensa de CBR.- Máquina de Abrasión los ángeles.- Horno para secado de muestras.- Bandejas metálicas y plásticos (varios).- Balanzas de precisión, brochas, espátulas, entre otros.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN

El presente proyecto de investigación se encuentra ubicado al NE de la región Puno, la ubicación geográfica y política se detalla a continuación:

4.1.1. Ubicación geográfica y coordenadas UTM.

Geográficamente el área que nos ocupa se encuentra en el Sur Este del territorio peruano en la ecorregión Puna.

Tabla 11. Coordenadas GEOGRÁFICAS del área de estudio.

TRAMO		PROGRESIVA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
			LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	COTA (msnm)
INICIO	CURAYLLO	17+000	15° 02' 04''	70° 03' 46''	3976.0
FINAL	CHUPA	32+700	15° 06' 04'	69° 58' 42''	3814.3

Tabla 12. Coordenadas UTM del área de estudio.

TRAMO		PROGRESIVA	COORDENADAS UTM	
			ESTE	NORTE
INICIO	CURAYLLO	17+000	385742.9	8336914.5
FINAL	CHUPA	32+700	394860.9	8329577.6

4.1.2. Ubicación política

Su ámbito político pertenece al:

DEPARTAMENTO : Puno.

PROVINCIA : Azángaro.

DISTRITOS : Arapa y Chupa.

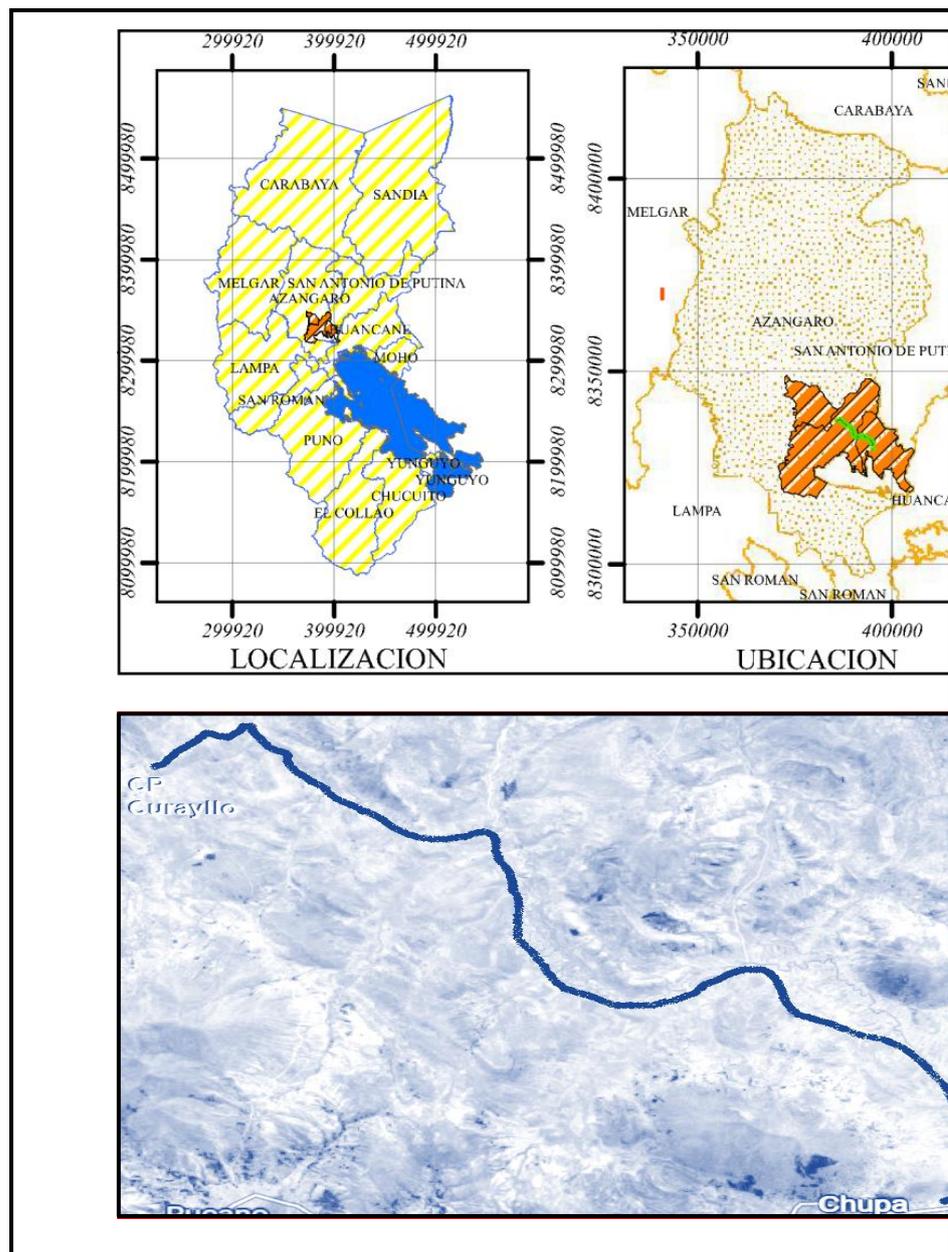


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

4.2. ACCESOS AL AREA DE ESTUDIO

Las vías de acceso terrestre desde la Ciudad de Puno para llegar a la Zona del Proyecto son:

Tabla 13. Vías de acceso al área del proyecto (1).

Ruta N° 01

ORIGEN	DESTINO	DISTANCIA. (km)	TIEMPO (min)	TIPO DE VIA
Puno	Juliaca	42	45	Asfaltado
Juliaca	Caminaca	22	44	Asfaltado-Afirmado
Caminaca	Arapa	21	42	Afirmado
Arapa	Chupa	14	28	Afirmado
Chupa	Curayllo	15	30	Afirmado

Tabla 14. Vías de acceso al área del proyecto (2).

Ruta N° 02

ORIGEN	DESTINO	DISTANCIA. (km)	TIEMPO (min)	TIPO DE VIA
Puno	Juliaca	42	45	Asfaltado
Juliaca	Azángaro	70	80	Asfaltado
Azángaro	San Juan de Salinas	13.2	26	Afirmado
San Juan de Salinas	Curayllo	8.5	17	Afirmado



4.3. HIDROLOGIA

Es la ciencia que estudia el agua, y sus manifestaciones en la atmósfera, sobre y debajo de la superficie terrestre; sus propiedades y sus interrelaciones naturales, los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada (Perez, 2015).

Lo que cubre todas las fases del agua en la tierra, es un material de gran importancia para el ser humano y su ambiente. Desde el punto de vista hidrológico es una porción de superficie terrestre donde todas las aguas de precipitación se unen para formar un solo curso de agua. El área o superficie está limitada por la divisoria de aguas, que es una línea que separa la superficie del terreno cuyo drenaje fluye hacia el curso del agua (Vasquez, 2000).

En el ámbito de esta zona se encuentra el río Carimayo, este río en su recorrido se junta con varios riachuelos para finalmente desembocar en el lago de Chupa. El río en mención arrastra bastante material granular denominado como material común de río (mezcla de grava, arena y limos). También al lago de Chupa, desembocan varios riachuelos que discurren en la zona.

De esta manera se trata de establecer los parámetros de diseño necesarios que garanticen la conservación y seguridad de la carretera a construir, permitiendo la conducción de las corrientes sin causar grave daño a la carretera.

4.3.1. Elementos Meteorológicos

A. Precipitación pluvial total

La totalidad de las lluvias son de origen orográfico y convectivo. Se dice que las lluvias son orográficas cuando se originan por la condensación de las nubes al elevarse

estas para trasmontar las cordilleras ocurriendo generalmente a sotavento de las montañas ubicadas al paso de las nubes. En el presente caso esta ubicación corresponde al flanco oriental de las montañas. Se entiende por lluvias convectivas aquellas que se producen como consecuencia de fenómenos locales. Así, por ejemplo, las nubes que provienen del lago o de otras fuentes de aguas son empujadas hacia las partes altas por los vientos SE y E, condensándose y ocasionando fuertes tormentas y granizo. De acuerdo a la información analizada se observa que el régimen de precipitación de la zona es del tipo ecuatorial con un periodo húmedo durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, y un periodo seco en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre (SENAMHI, 2021).

B. Temperatura

Tabla 15. Temperatura máxima, mínima y Precipitación Pluvial, (Chupa).

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Precipitación (Lluvia) ML.
Enero	15.5	5.6	174
Febrero	15.3	5.4	149
Marzo	15.2	5.2	131
Abril	15.3	3.7	59
Mayo	14.9	0.8	9
Junio	14	-0.9	6
Julio	14.1	-1.3	3
Agosto	14.9	0	12
Setiembre	15.9	1.7	23
Octubre	16.5	3.4	53
Noviembre	16.8	4.3	54
Diciembre	16.6	5.3	87

Fuente: SENHAMI-2021.

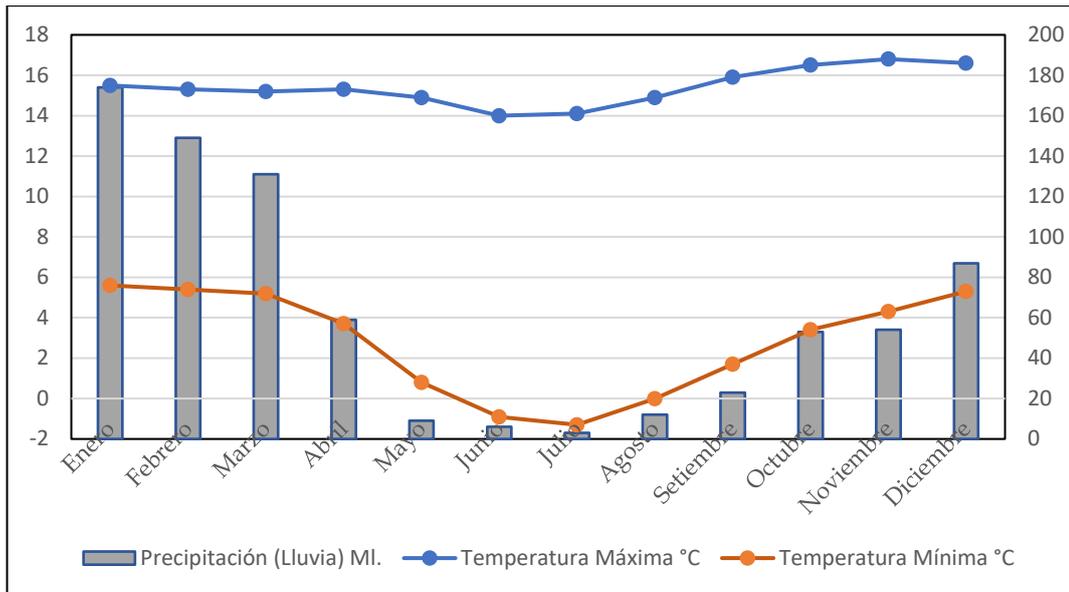


Figura 2. Temperatura Y precipitación mensual.

4.4. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS REGIONALES

4.4.1. Cordillera oriental

Es la unidad más relevante por su topografía abrupta y su extensión; hacia el Este el relieve tiene fuerte pendiente dando origen a laderas escarpadas, ocupadas por una vegetación de bosques y plantas, característicos de zonas agrestes. El relieve de esta unidad geomorfológica no se extiende por el área de estudio que nos ocupa.



Figura 3. Unidades geomorfológicas.



4.4.2. Faja sub andina

Es conocida como Pre-cordillera, conformada por basamentos de rocas sedimentarias mesozoicas y paleozoicas, cubiertas mayormente por el cuaternario aluvial, la vegetación es espesa propia de la selva alta y desarrollada en relieves moderados a abruptos.

Esta faja sub andina es la parte intermedia entre la cordillera oriental topográficamente viene a constituir las estribaciones más alejadas de la cordillera oriental. Esta unidad está conformada por una estrecha faja de colinas de relieve moderado, los cauces con escorrentías permanentes y regímenes tipo torrente se inician en las cuencas altas, luego van entregando progresivamente sus descargas a ríos de mayor envergadura. En cada ciclo hidrológico se vienen desarrollando procesos erosivos y colmataciones de materiales aluvionales en volúmenes considerables, cuyos elementos líticos tienen un tamaño promedio de 0.30 m. de diámetro.

Esta unidad geomorfológica se distribuye en algunos lugares del sub tramo Curayllo y Distrito de Chupa.

4.5. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES

En la zona de estudio, durante los trabajos de campo se ha podido identificar tres sistemas (Antrópico, Fluvial, y Volcánico - Montañoso), los mismos que contienen varias unidades geomorfológicas.

Tabla 16. Unidades geomorfológicas.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS			
SISTEMA	UNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
ANTROPICO	AREA RURAL	A – urb	Formada por los asentamientos humanos, y la ciudad.
	VIA DE ACCESO	A – va	Red vial distrital y vecinal, las vías son trochas y estas se encuentran dentro del área de influencia.
MONTAÑOSO	LLANURA DE INUNDACIÓN	M – Lli	Zona de deposición de material transportado por el río.

4.5.1. Urbano -Rural (A-urb) Sistema Antrópico

Las unidades geomorfológicas considerados dentro de este sistema están comprendidas por todas aquellas donde ha intervenido la mano del hombre con respecto a su modificación original, estas áreas comprenden la ubicación de las viviendas, vías de acceso y otros.



Figura 4. Sistema antrópico (acción del hombre).

4.5.2. Lecho Fluvio – Aluvial (Sistema Fluvial)

Este sistema contiene unidades que tienen relación directa con el escurrimiento superficial de las aguas, dichas unidades son muy importantes en el área del proyecto:



Figura 5. Sistema fluvial (ríos).

4.5.3. Escarpas (M)

Está constituido por geo-formas originadas por movimientos tectónicos, volcánica y sedimentaria, así como, originadas por denudación muy relacionada con la composición litológica en la zona del proyecto. Se pueden distinguir las siguientes unidades.



Figura 6. Presencia de montañas.

4.5.3.1. Colina Media (C-M)

Son elevaciones del terreno que presenta elevaciones de 3985-2500 m.s.n.m. tiene un relieve suave, producto de la erosión en roca sedimentarias del grupo Puno, estas formas presentan unidades de laderas altas y bajas.



Figura 7. Presencia de colinas medias.

4.5.3.2. Colina Alta (C-A)

Son relieves y pendientes suaves redondeados alargados con pequeñas ondulaciones y laderas, como las cadenas de cerros.



Figura 8. Lomadas en el área del proyecto.

4.5.3.3. Colina Baja (C-B)

Están caracterizadas fisiográficamente por que se encuentran en los pies de los cerros, litológicamente están compuestos de materiales cuaternarios, fluvioglaciares, materiales acumulados en forma combinada por el proceso fluvial y el proceso glaciar, donde presentan granulometrías estas laderas son los siguientes.



Figura 9. Colina baja.

4.5.3.4. Planicie Aluvial (P-A)

Son planicies sedimentarias areniscas de las formaciones de los depósitos aluviales del cuaternario.

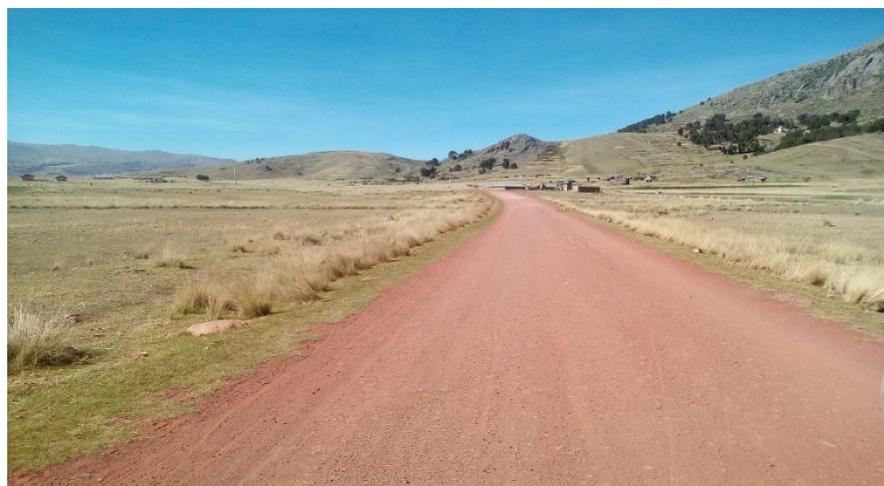


Figura 10. Presencia de planicies.

4.5.3.5. Valles Interandinos.

Están expuestos en la depresión de los terrenos en forme longitudinal formando paisajes, constituidos por vertientes o sistema de declives convergentes que pueden ser valles juveniles, valles de diaclasamiento formado en forma de “V” abierta, estas geoformas se presentan a continuación.



Figura 11. Presencia de valles interandinos.

4.5.3.6. Terrazas Aluviales

Se caracteriza por presentar un relieve moderado, de superficie más o menos horizontal, o levemente inclinado, generalmente están limitadas por dos declives pronunciadas, estas terrazas fueron originados por la erosión de los cerros y a la glaciación existente durante el proceso fluvial, posteriormente formando una superficie de terrazas.

Las condiciones geomorfológicas de la zona donde se emplaza el área del proyecto se caracterizan por el desarrollo de áreas peniplanizadas en depósito aluvial, la llanura aluvial está formada por una topografía plana, esta llanura aluvial se caracteriza por estar conformado por grava arena y cantos rodados con matriz limosa, sin estructura estratificada de color gris y rojo pardusco, predominantemente permeables e inconsolidados.



El valle es amplio y se encuentra en una etapa de senectud en su desarrollo geomorfológico.

4.6. GEOLOGIA REGIONAL

4.6.1. Paleozoico (Silurico-Devonico)

4.6.1.1. Formación Chagrapi (SD – Cha)

“Litológicamente el área consiste principalmente de capas delgadas, laminadas, de limolita micácea con finas intercalaciones de areniscas limolíticas y rocas fangolíticas. En la región N del Lago Arapa, predominan lutitas negras de grano fino. finamente laminadas que presentan nódulos sideríticos bandeados en forma concéntrica de 30 cm. de diámetro. En las rocas fangolíticas nodulares se hallan presentes materiales que gradan a limo, alrededor de la localidad de Arapa y localmente desarrollan un clivaje que produce una estructura tipo lápiz. En el Cerro Yuyaca, las lutitas negras tienen una eflorescencia distintiva encontrándose en las quebradas algunas cantidades de pirita” (INGEMMET, 1993).

4.6.2. Mesozoico (Jurásico - Cretácico)

4.6.2.1. Formación Huancané (Ki-Hua)

“Los afloramientos de esta formación se presentan en todo el Altiplano, tanto al este como al oeste del lago Titicaca. Los afloramientos del lado oeste tienen buena continuidad, habiéndose reconocido en numerosos trabajos hasta el Cusco. Se le ha identificado en base a similitud litológica con afloramientos de los Cuadrángulos de Huancané y Moho, por infrayacer a la dolomita de Huatasani. La edad asignada por Newell en 1949, es Cretáceo Inferior. Esta formación es la más inferior del Cretáceo; en el área de estudio sólo aflora al suroeste del anticlinal de inicio del tramo; compuestos por cuarcitas y cuarzo lechoso en una matriz arenosa gruesa. El contacto inferior de estos



conglomerados es una superficie de erosión. Muy esporádicamente, se intercalan delgados estratos de lutitas marrones y rojas mineralizadas” (INGEMMET, 1993).

4.6.2.2. Formación Ayabacas (Ki-Ay)

“En términos generales, la formación consiste de una matriz fangolítica roja isótropa alrededor de bloques y escamas de caliza fallados y plegados, complejamente. Este ensamblaje caótico le da a la formación un rasgo fotogeológico altamente distinguible, por los bloques de caliza relativamente resistente con orientación irregular de tono pálido rodeados por fangolitas de tono oscuro. Su potencia total en los cuadrángulos de Juliaca y Puno, es estimada entre 200 y 300 m. aunque esto sea incierto debido al grado de deformación. En el cuadrángulo de Lagunillas se tiene cerca de 100 m. Una secuencia poco plegada relativamente y bien estratificada” (INGEMMET, 1993).

4.6.2.3. Formación Vilquechico (Ks-Vi)

“Todos los afloramientos de la Formación están confinados a la Cuenca Putina en los cuadrángulos de Huancané y Moho, se le encuentra en el Sinclinal de Vilquechico o más al norte en pequeños periclinales parados que forman anticlinorios y sinclinorios anchos. Estas rocas descansan concordantemente sobre la Formación Areniscas Cotacucho y son seguidas hacia arriba por las areniscas de la Formación Muñani. Son similares, en su litología a las Formaciones Muni y Moho, siendo predominantemente limolitas y fangolitas abigarradas con capas subordinadas de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, de colores anaranjado, rosado y gris. Como consecuencia de ello también dan lugar a una expresión fotogeológica muy similar con rasgos de terreno relativamente bajo en el norte y en el Sinclinal de Vilquechico, y algunas escarpas lineales prominentes, formadas por areniscas dan en las fotografías aéreas un tono claro sobre las pendientes de los estratos (buzamientos). Las areniscas de la Formación Vilquechico muestran una



distribución bimodal de los granos de cuarzo generalmente con menos del 15% de granos redondeados de aproximadamente 0.2 mm. de diámetro, y cerca de 80% de granos equigranulares subredondeados a subangulares con menos de 0.15 mm. Algunas areniscas muestran solución en el contacto de los granos, mientras que otras muestran un soporte de matriz con cemento calcáreo. Alrededor del 5% de los granos son de minerales opacos, cuarzo microcristalino y microclina” (INGEMMET, 1993).

4.6.3. Cenozoico (Paleógeno - Cuaternario)

4.6.3.1. Formación Ausangate (CP-Aus)

“Están constituidas por una secuencia fina pelítica de tonalidad rojiza que yace sobre la formación Vilquechico al noreste del proyecto se halla en contacto fallado con el Grupo Iscay. Contiene arenisca arcósica de grano medio intercalado con lutitas y limolitas rojas con rizaduras de corriente. Aflora al noreste del área del estudio en forma de lomadas” (INGEMMET, 1993)

Hay pocos sectores de afloramiento de este grupo, en el tramo se tiene escasos afloramientos y alejados del eje de carretera hacia el suroeste. (INGEMMET, 1993).

4.6.3.2. Depósitos Cuaternarios – Recientes (Qr-C)

“En el área de estudio, aflora en el cauce de ríos, donde está constituido por gravas arenosas, en donde está representada principalmente por los depósitos aluviales, fluviales y coluviales, dentro de la zona de estudio principalmente también se tiene materiales recientes sin consolidación los que componen los suelos, estos materiales corresponde a los depósitos del eristema Cenozoico del sistema Cuaternario de serie Holocena,” (INGEMMET, 1993).



Figura 12. Depósitos cuaternarios recientes.

4.6.4. Plutón Chupa (P-Ch)

“Aflora al norte del poblado de Chupa exactamente en el cerro Rukus y Pichacani abarca un área aproximada de 5 km² de forma ovalada. Este cuerpo intruye a las rocas sedimentarias de la Formación Ayavacas, Grupo Moho y Formación Vilquechico. Otros afloramientos están distribuidos en el cerro Pichacani y pequeños stocks en la quebrada Jotcoqaqa con las mismas características petromineralógicas”

“Petrográficamente corresponde a rocas leucócratas, equigranulares, holocristalina con textura fanerítica de grano medio, de acuerdo a los análisis químicos ploteados en el diagrama, corresponde a una granodiorita. Según los estudios en sección delgada corresponde a una tonalita-granodiorita. Esta roca tiene un alto contenido de SiO₂ (62,1 %) que evidencia la abundancia de cuarzo y feno cristales de feldespatos. Por el alto contenido de K₂O (3,28 %) y CaO (3,24 %), y bajo de Na₂O (2,84 %) reflejan la abundancia de feldespatos potásicos y cálcicos, así como la poca presencia modal de feldespatos sódicos”

“Entre los minerales esenciales se encuentran el cuarzo y plagioclasas, como minerales secundarios están las arcillas, óxidos de hierro, cloritas, cuarzo secundario y



sericita y entre los minerales accesorios las arcillas, biotita, opacos, óxidos de hierro, cuarzo secundario y sericita. Se observa una ligera alteración como argilitización, oxidación, cloritización y débil silicificación” (INGEMMET, 1993).

4.7. GEOLOGÍA LOCAL

4.7.1. Mesozoico (Cretácico)

- **Formación Huancané 1 (Ks-hua-1)**

Limoarcillas y lutitas de color rojo, se presentan en forma masiva, en la parte superior presenta alteración fuerte, de compacidad media a baja, se presenta una pseudo estratificación con venilleo de calcitas de forma esporádica.

- **Formación Huancané 2 (Ks-hua-2)**

Presencia de roca arenisca blanca con textura granular masiva de estratos bien definidos con cemento y matriz sílice, calizas gris oscuras, se presenta intercalando esporádicamente a la Formación Huancané 1, en sectores presenta alteración fuerte con textura margosa,

- **Formación Vilquechico 1 (Ks-vi-1)**

Limolitas y limoarcillas gris verdosas a gris oscuras. fisible, formada por la consolidación de partículas del tamaño de la arcilla y el limo en capas relativamente impermeables de escaso espesor, se presenta en niveles intercalados, al contacto con agua se descomponen fácilmente con la presión de los dedos, compacidad baja, presenta textura liminar.

- **Formación Vilquechico 2 (Ks-vi-2)**

Areniscas de color gris claro con presencia de partículas fragmentadas, se presenta de forma masiva y se intercala esporádicamente con la Formación Vilquechico 1.



4.7.2. Cenozoico (Depósitos Cuaternarios)

- **Deposito Fluvial (Qh-fl)**

Gravas sub angulosas a redondeadas con arenas gruesa polimíctico se depositan en el fondo y márgenes de ríos y quebradas de composición suelta.

- **Deposito Coluvial (Qh-co)**

Gravas arenosas y limos con bloques de roca, de composición suelta, de origen monomíctico depositados en las laderas y pies de taludes.

- **Deposito Aluvial (Qh-al)**

Gravas arenosas en matriz limosa depositados en las zonas planas y paleocauces de compacidad baja, humedad media.

- **Deposito Eluvial (Qh-el)**

Limos de color rojizo, presenta gravas polimétricas angulosas, de origen residual, el protolito puede variar de acuerdo a la formación litológica.

- **Deposito Orgánico (Qh-or)**

Arcillas limosas de color gris oscuro, presentan índices de plasticidad elevada, es muy deleznable presenta olores a podrido y humedad alta.

Tabla 17. Columna Estratigráfica Local.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Orgánico	Qh-Or	Arcillas limosas de color gris oscuro.
			Dep. Eluvial	Qh-El	Limos de color rojizo, presenta gravas.
			Dep. Aluvial	Qh-Al	Gravas arenosas en matriz limosa.
			Dep. Coluvial	Qh-Co	Gravas arenosas y limos con bloques de roca.
			Dep. Fluvial	Qh-Fl	Gravas sub angulosas a redondeadas con arenas gruesa.
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Fm. Vilquechico 1	Ks-Vi-1	Limolitas y limoarcillas gris verdosas a gris oscuras.
			Fm. Vilquechico 2	Ks-Vi-2	Areniscas cuarzosas.
		INFERIOR	Fm. Huancane 1	Ki-Hua-1	Limoarcillas y lutitas de color rojo.
			Fm. Huancane 2	Ki-Hua-2	calizas gris oscuras y areniscas blancas cuarzosas.

4.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área que nos ocupa se encuentran rasgos estructurales tipo fallas, plegamientos y otras discontinuidades como fisuramientos y contactos geológicos, esta unidad estructural es muy importante a lo largo de la historia geológica del área jugando un rol importante para la sedimentación jurásica y cretácica, así como la evolución de la cuenca Putina y posteriormente eventos geológicos. Este alto se encuentra a manera de una falla longitudinal kilométrica de clara orientación Noroeste-Sureste constituido esencialmente por rocas paleozoicas. Este alto estructural se ha producido al parecer por



fallamientos en bloques, y casi siempre conformó un horst con movimientos verticales moderados a débiles durante la fase tectónica.

4.8.1. Falla Geológica

De acuerdo al mapa Geológico del cuadrángulo de Azángaro (30 – V) se concluye que en la zona ocurrieron eventos tectónicos, originando fallas normales y sobre escurrimientos originando fallas inversas.

Finalmente es importante acotar, que las fallas existentes en la zona de estudio se encuentran en estados pasivos y/o inactivos, por lo que se puede corroborar que en el ámbito de los estudios no hay evidencias de fenómenos neo- tectónicos.

4.8.2. Plegamientos: Sinclinales y Anticlinales

Estos fenómenos de naturaleza estructural están plegando a las formaciones sedimentarias y también tienen incidencia directa en la alteración geomecánica de sus componentes; cuyos ejes axiales son de 1 Km a 2 Km y se orientan transversalmente al trazo de la vía.

En el sector del Centro Poblado de Curayllo al distrito de Chupa hay sinclinales ubicados en las zonas Km 17+000 al Km 32+700; donde hay peligros geológicos como deslizamientos, huaycos, desmoronamientos y erosión fluvial. La secuencia de anticlinales ubicados entre las zonas mencionadas está relacionada con desmoronamientos, deslizamientos en el macizo rocoso de arenisca y erosión fluvial de los ríos de la zona observándose una cadena de cerros Colinas y Lomadas.



4.8.3. Fisuramientos

Constituyen discontinuidades en los macizos rocosos, que por sus frecuencias, longitudes y caracteres de los planos de los fisuramientos afectan de manera diferencial la estabilidad de los macizos rocosos, especialmente los existentes en el trazo de la vía.

4.8.4. Contactos Geológicos

Son otros rasgos estructurales que normalmente constituyen discontinuidades en donde se producen alteraciones físico-mecánicas de los componentes litológicos de las formaciones; lo que finalmente contribuye en cierta medida en la desestabilización de laderas.

4.9. SISMICIDAD

4.9.1. Sismología

El conocimiento probabilístico de que se produzca sismos, la intensidad que tendría dentro del área de interés de la carretera, es de mucha importancia en el planeamiento de una vía, por lo que permitirá realizar mejores diseños estructurales, estimar los daños que puedan causar éste en las obras que forman parte de la vía y calcular los posibles efectos en las poblaciones aledañas; por lo que es importante desde el punto de vista humano.

El presente estudio tiene por objeto evaluar el riesgo sísmico de la zona donde se emplazará la carretera. La primera etapa comprende una revisión de la actividad sísmica del pasado, presentando la información de los datos históricos de sismos que afectaron la región.

4.9.2. Hechos Históricos de Sismicidad

- **1747.** durante este año ocurrió un fuerte sismo que ocasionó grandes destrozos, además de aguas cenagosas (aguas estancadas con lodos y barro con un color verdoso) en los distritos de Ayapata, provincia de Carabaya, pereciendo mucha gente.
- **09 de abril de 1928.** Movimiento sísmico de grado VII en la escala de Mercalli Modificada, a las 12:30 horas, destruyó Ayapata, Ituata y Ollachea, Departamento de Puno, saldo cinco muertos (I.G.P., 2006).

4.9.3. Sismicidad Regional

La máxima sismicidad con que se espera que una determinada zona sea sacudida, dentro de un cierto periodo de tiempo se basa en los movimientos ocurridos en el pasado; por lo tanto, la mejor manera de establecer parámetros que permitan un cálculo probabilístico, es tener en consideración toda la historia sísmica instrumental y sismo tectónico tiene micro falla.



Figura 13. Mapa de Zonificación Sísmica Según RNE.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

Los métodos de exploración y ensayos de laboratorio, exigen realizar una exploración preliminar del terreno con el fin de adaptar el programa de exploración a las condiciones del suelo de fundación, después de haber realizado la exploración preliminar de la zona de estudio y haber realizado el programa de investigación, en base a las fallas de asentamientos de la vía, se realizaron los siguientes procedimientos para lograr una exploración satisfactoria (Cesar, 2016).

En el presente estudio se da a conocer las características geotécnicas y resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos del área de influencia de la vía en estudio Curayllo – Chupa, que tiene una longitud de 15.7 km. Para determinar la naturaleza de suelos típicos disponibles a lo largo del tramo se hicieron exploraciones a través de calicatas distribuidas a cada 500 m.

Se realizó la clasificación visual, táctil del suelo en campo y la clasificación por el sistema “AASHTO” y “SUCS”, a partir de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, caracterización y clasificación de suelos en campo.

5.1.1. Ubicación de Puntos de Muestreo

Se realizaron 30 calicatas a cielo abierto a una distancia de 500 m. en el margen que será necesario realizar el mejoramiento, se anexa un perfil estratigráfico de cada calicata estudiada y se describe los sectores en el siguiente cuadro:

Tabla 18. Puntos de exploración de calicatas.

Nº DE CALICATA	UBICACIÓN	LADO
Calicata-01	Progresiva 17+500	Lado Derecho
Calicata-02	Progresiva 18+000	Lado Izquierdo
Calicata-03	Progresiva 18+500	Lado Izquierdo
Calicata-04	Progresiva 19+000	Lado Izquierdo
Calicata-05	Progresiva 19+500	Lado Derecho
Calicata-06	Progresiva 20+000	Lado Izquierdo
Calicata-07	Progresiva 20+500	Lado Derecho
Calicata-08	Progresiva 21+000	Lado Derecho
Calicata-09	Progresiva 21+500	Lado Derecho
Calicata-10	Progresiva 22+000	Lado Derecho
Calicata-11	Progresiva 25+500	Lado Izquierdo
Calicata-12	Progresiva 23+000	Lado Derecho
Calicata-13	Progresiva 23+500	Lado Derecho
Calicata-14	Progresiva 24+000	Lado Derecho
Calicata-15	Progresiva 24+500	Lado Izquierdo
Calicata-16	Progresiva 25+000	Lado Izquierdo
Calicata-17	Progresiva 25+500	Lado Izquierdo
Calicata-18	Progresiva 26+000	Lado Derecho
Calicata-19	Progresiva 26+500	Lado Derecho
Calicata-20	Progresiva 27+000	Lado Derecho
Calicata-21	Progresiva 27+500	Lado Izquierdo
Calicata-22	Progresiva 28+000	Lado Derecho
Calicata-23	Progresiva 28+500	Lado Derecho
Calicata-24	Progresiva 29+000	Lado Derecho
Calicata-25	Progresiva 29+500	Lado Izquierdo
Calicata-26	Progresiva 30+000	Lado Izquierdo
Calicata-27	Progresiva 30+500	Lado Derecho
Calicata-28	Progresiva 31+000	Lado Derecho
Calicata-29	Progresiva 31+500	Lado Derecho
Calicata-30	Progresiva 32+000	Lado Derecho

FUENTE: Elaboración propia.

5.1.2. Descripción del Terreno de Fundación por Tramos

A partir de las calicatas realizadas en todo el trayecto de la vía Curayllo – Chupa, se realiza la descripción zonificada y se divide en 7 tramos comprendidos desde la



progresiva 17+000 al 32+700, en donde se detallará los tipos de suelo que lo conforman si son favorables o no, y posterior a ello se determinara el tipo de mejoramiento para cada tramo.

Tabla 19. Descripción del suelo de fundación por tramos.

DESCRIPCIÓN DEL SUELO DE FUNDACION POR TRAMOS			
TRAMO		DESCRIPCIÓN	
DEL	AL		
17+000	18+000	ESTRATO 1	En este estrato se aprecia un suelo areno arcilloso, color beige, baja humedad, con escaso presencia de material granular sub angulares, la profundidad de exploración fue de 1.50 m.
18+000	19+500	ROCA	Presencia de Roca sedimentaria
19+500	22+000	ESTRATO 1	En este estrato se aprecia un suelo limoso arcilloso de baja plasticidad, color beige, poco húmedo, semi compacto, mezclado escasamente con grava de forma angular, la profundidad del estrato es de 0.20 m.
		ESTRATO 2	En este estrato se aprecia un suelo limoso arcilloso, color marrón oscuro, húmedo, semi compacto con escasa presencia de material granular sub anguloso, la profundidad de exploración fue de 1.50 m.
22+000	24+500	ESTRATO 1	En este estrato se aprecia un Suelo grava arcilloso de baja plasticidad, color beige. poco húmedo, semi compacto mezclado con presencia de material granular, la profundidad del estrato es de 0.25 m.



		ESTRATO 2	En este estrato se aprecia un suelo limoso arcilloso color plomo oscuro mezclado con poco porcentaje de material granular, gravas, estado semi compacto, la profundidad de exploración fue de 1.50 m.
24+500	27+500	ESTRATO 1	En este estrato se aprecia un suelo gravoso pobremente gradado de baja plasticidad color beige poco plástico, húmedo en estado semi compacto, la profundidad del estrato es de 0.30 m.
		ESTRATO 2	En este estrato se aprecia un suelo con mezcla de grava, arena y limos con escasa plasticidad, color marrón oscuro, húmedo, semi compacta de material granular, la profundidad de exploración fue de 1.50 m.
27+500	29+000	ESTRATO 1	En este estrato se aprecia un suelo con grava pobremente gradado mezclado con grava de forma redondeado de baja plasticidad, color beige poco húmedo, en estado semi compacto, la profundidad del estrato es de 0.35 m.
		ESTRATO 2	En este estrato se aprecia un suelo arenoso limoso plástico, húmedo, color beige. mezclado con escasa grava en estado semi compacto, la profundidad de exploración fue de 1.50 m.
29+000	32+700	ESTRATO 1	En este estrato se aprecia un suelo arena arcillosa de baja plasticidad, color beige, poco húmedo, semi compacto mezclado con grava de forma angular, la profundidad del estrato es de 0.40 m.
		ESTRATO 2	En este estrato se aprecia un suelo limoso inorgánico y arenas muy finas limosas con ligera plasticidad, color marrón oscuro, húmedo, semi compacto con escasa presencia de material granularla, profundidad de exploración fue de 1.50 m.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20. Cuadro de Resumen del terreno de fundación, carretera Curayllo – Chupa.

CODIGO DE MUESTREO	UBICACIÓN		ESTRATO	PROFUNDIDAD	H. NATURAL	LIMITES		CLASIFICACION		C. PROCTOR		C. B. R.	
	Km	LADO				L. L.	L. P.	Aashto	Sucs	M.D.S.	O.C.H.	95%	100%
C-1	17+500	L. D.	E-1	0.00 - 1.50	8.20	29.34	9.76	A-4 (1)	SC	1.76	11.22	4.21	5.72
C-2	18+000	L. I.	ROCA										
C-3	18+500	L. I.											
C-4	19+000	L. I.											
C-5	19+500	L. D.											
C-6	20+000	L. I.	E-1	0.00 - 0.70	7.49	26.48	3.36	A-2-4 (0)	SM				
	20+000	L. I.	E-2	0.70 - 1.50	8.28	34.35	16.86	A-6 (2)	SC				
C-7	20+500	L. D.	E-1	0.00 - 0.65	8.41	25.20	7.63	A-2-4 (0)	GC				
	20+500	L. D.	E-2	0.65 - 1.50	8.21	26.50	9.94	A-4 (1)	SC	1.89	9.23	4.45	9.03
C-8	21+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.20	7.50	25.79	6.23	A-2-4 (0)	SC-SM				
	21+000	L. D.	E-2	0.20 - 1.50	7.05	30.27	10.71	A-6 (0)	SC				
C-9	21+500	L. D.	E-1	0.00 - 1.50	7.62	28.08	10.51	A-6 (1)	SC				
C-10	22+000	L. D.	E-1	0.00 - 1.50	11.98	33.96	9.85	A-4 (0)	SM				
C-11	25+500	L. I.	E-1	0.00 - 1.50	8.76	30.39	8.05	A-4(7)	CL	1.79	10.63	3.82	5.49
C-12	23+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.50	8.82	28.12	5.96	A-2-4(0)	SC-SM				
	23+000	L. D.	E-2	0.50 - 1.50	18.25	30.88	7.54	A-4(1)	SM				
C-13	23+500	L. D.	E-1	0.00 - 1.50	8.37	31.40	8.79	A-4(3)	CL				
C-14	24+000	L. D.	E-1	0.00 - 1.50	8.51	30.09	11.82	A-6(1)	SC				
C-15	24+500	L. I.	E-1	0.00 - 0.15	8.07	30.54	8.24	A-2-4(0)	GP				
	24+500	L. I.	E-2	0.15 - 1.50	7.77	30.13	12.55	A-6(3)	SC				
C-16	25+000	L. I.	E-1	0.00 - 0.35	7.83	28.73	6.43	A-2-4(0)	SC-SM				
	25+000	L. I.	E-2	0.35 - 1.50	7.55	31.27	8.96	A-4(4)	CL				
C-17	25+500	L. I.	E-1	0.00 - 0.15	7.46	28.96	5.28	A-1-a(0)	GM				
	25+500	L. I.	E-2	0.15 - 1.50	7.78	30.76	11.32	A-6(3)	CL				
C-18	26+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.25	7.71	29.28	7.98	A-2-4(0)	GC				
	26+000	L. D.	E-2	0.25 - 1.50	9.27	30.58	10.47	A-6(1)	SC	1.76	11.25	4.35	5.84
C-19	26+500	L. D.	E-1	0.00 - 0.15	9.03	28.83	7.45	A-2-4(0)	GC				
	26+500	L. D.	E-2	0.15 - 1.50	8.98	30.14	13.66	A-6(1)	SC				
C-20	27+000	L. D.	E-2	0.00 - 0.30	8.68	28.94	6.34	A-2-4(0)	GP				
	27+000	L. D.	E-2	0.30 - 1.50	8.39	30.88	8.06	A-4(2)	SC				
C-21	27+500	L. I.	E-2	0.00 - 0.40	8.06	29.27	7.18	A-2-4(0)	GC				
	27+500	L. I.	E-2	0.40 - 1.50	7.59	30.19	11.37	A-6(0)	SC				
C-22	28+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.30	7.62	29.41	6.48	A-2-4(0)	GP-GM				
	28+000	L. D.	E-2	0.30 - 1.50	8.16	30.08	7.74	A-4(1)	SC				
C-23	28+500	L. D.	E-1	0.00 - 0.40	8.38	30.19	7.11	A-2-4(0)	GM				
	28+500	L. D.	E-2	0.40 - 1.50	7.95	28.70	9.14	A-4(2)	SC	1.74	10.83	5.70	9.99
C-24	29+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.20	8.92	30.09	7.53	A-2-4(0)	GP				
	29+000	L. D.	E-2	0.20 - 1.50	8.87	31.88	8.48	A-4(2)	SM				
C-25	29+500	L. I.	E-1	0.00 - 0.35	8.05	30.33	6.92	A-2-4(0)	GM				
	29+500	L. I.	E-2	0.35 - 1.50	8.22	34.17	11.63	A-6(4)	CL				
C-26	30+000	L. I.	E-1	0.00 - 0.30	8.53	29.32	7.02	A-2-4(0)	GC				
	30+000	L. I.	E-2	0.30 - 1.50	8.49	29.30	7.37	A-4(2)	SC	1.75	11.28	4.77	5.89
C-27	30+500	L. D.	E-1	0.00 - 0.55	8.70	30.51	8.99	A-2-4(0)	GP-GC				
	30+500	L. D.	E-2	0.55 - 1.50	8.40	30.27	7.77	A-4(2)	SC				
C-28	31+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.35	8.18	30.96	9.82	A-2-4(0)	GP-GC				
	31+000	L. D.	E-2	0.35 - 1.50	8.46	30.02	11.38	A-5(2)	SC	1.75	11.11	4.22	7.08
C-29	31+500	L. D.	E-1	0.00 - 0.60	8.33	30.24	9.36	A-2-4(0)	SC				
	31+500	L. D.	E-2	0.60 - 1.50	8.06	31.34	8.97	A-4(1)	SC				
C-30	32+000	L. D.	E-1	0.00 - 0.45	8.06	30.22	7.38	A-2-4(0)	SM				
	32+500	L. D.	E-2	0.45 - 1.50	7.72	30.03	7.17	A-4(7)	ML				

FUENTE: Laboratorio de Suelos y pavimentos GRP.

5.2. PROPUESTAS DE SOLUCION PARA LOS TERRENOS DE FUNDACIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio de suelos se tiene propuestas, para mejorar los terrenos de fundación que no cumplen con las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras, porque los agregados y/o Suelos empleados para la construcción, deben cumplir con requisitos que exigen las especificaciones técnicas para garantizar un buen comportamiento de la carretera durante su periodo de vida de diseño, se determinó que será posible realizar una estabilización mecánica para mejorar los suelos, según nomenclaturas siguientes:

Tabla 21. Nomenclatura a utilizar.

METODO Ó MATERIAL	NOMENCLATURA
• ENRROCADO (ROCA)	“R”
• RELLENO Y MEJORAMIENTO, TERRAPLENERÍA (MAT. GRANULAR)	“MG”
• MEJORAMIENTO (ARENA)	“A”

5.2.1. Mejoramiento por Tramos del Terreno de Fundación

- **TRAMO I:** progresiva 17+000 al 18+000, el presente tramo estuvo conformado por suelos areno arcillosos, según la clasificación SUCS corresponde a (SC) y según la clasificación ASSHTO corresponde a (A-4 (1)). Lo que hace un suelo regular al terreno de fundación, para este tramo se determinó la altura de mejoramiento de 1.20m. y con el siguiente material o método: material o método “R” un espesor de 0.40m, luego material o método “A” un espesor de 0.20m y material o método “MG” un espesor de 0.60m.



- **TRAMO II:** progresiva 18+000 al 19+500, el presente tramo estuvo conformado por ROCA. Será necesario aplicar el material o método “MG” un espesor de 0.60m.
- **TRAMO III:** progresiva 19+500 al 22+000, el presente tramo estuvo conformado por dos estratos, estrato 1 conformado por suelos areno arcillosos de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (SC) y según la clasificación ASSHTO corresponde a (A-4 (1)) y estrato 2 conformado por suelos limo arcillosos de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (CL) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-4(7)). Lo que le hacen clasificar como suelos inestables. Para este tramo se determinó la altura de mejoramiento de 1.40m. y con el siguiente material o método: material o método “R” un espesor de 0.60m, luego material o método “A” un espesor de 0.20m, material o método “MG” un espesor de 0.60m.
- **TRAMO IV:** progresiva 22+000 al 24+500, el presente tramo estuvo conformado por dos estratos, estrato 1 conformado por suelos grava arcillosos de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (GC) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-2-4(0)) y estrato 2 conformado por suelos limo arcillosos de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (CL) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-4(4)). Lo que le hacen inestables al terreno de fundación, para este tramo se determinó la altura de mejoramiento de 1.20m. y con el siguiente material o método: material o método “R” un espesor de 0.60m, luego material o método “A” un espesor de 0.20m, material o método “MG” un espesor de 0.40m.
- **TRAMO V:** progresiva 24+500 al 27+500, el presente tramo estuvo conformado por dos estratos, estrato 1 conformado por suelo con grava pobremente gradado de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (GP) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-2-4(0)) y estrato 2 conformado por suelo con mezcla de grava, arena y limos con escasa plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde



- a (GP-GM) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-2-4(0)). Lo que le hacen estables al terreno de fundación, para este tramo se determinó la altura de mejoramiento de 0.80m. y con el siguiente material o método: material o método “A” un espesor de 0.20m, luego material o método “MG” un espesor de 0.60m.
- **TRAMO VI:** progresiva 27+500 al 29+000, el presente tramo estuvo conformado por dos estratos, estrato 1 conformado por suelo con grava pobremente gradado mezclado con grava de forma redondeado de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (GP) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-4(2)) y estrato 2 conformado por suelo arenoso limoso plástico, según la clasificación SUCS corresponde a (SM) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-4(2)). Lo que le hacen inestables al terreno de fundación, para este tramo se determinó la altura de mejoramiento de 1.10m. y con el siguiente material o método: material o método “R” un espesor de 0.40m, luego material o método “A” un espesor de 0.20m y material o método “MG” un espesor de 0.50m.
 - **TRAMO VII:** progresiva 27+500 al 29+000, el presente tramo estuvo conformado por dos estratos, estrato 1 conformado por suelo arena arcillosa de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (SC) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-5(2)) y estrato 2 conformado por suelo limoso inorgánico y arenas muy finas limosas con ligera plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a (ML) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-4(7)). Lo que le hacen inestables al terreno de fundación, para este tramo se determinó la altura de mejoramiento de 1.50m. y con el siguiente material o método: material o método “R” un espesor de 0.60m, luego material o método “A” un espesor de 0.20m y material o método “MG” un espesor de 0.70m.



5.3. CONDICIONES GEOTÉCNICAS Y PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LAS CANTERAS

5.3.1. Canteras de material granular

a) CANTERA KESCA

UBICACIÓN: Se ubica en el Km 21+900, Lado Izquierdo aguas arriba del río Kesca en las Coordenadas UTM 389442 E 8335797 N.

ACCESO: Sobre una carretera de trocha carrozable margen izquierdo en estado regular a una distancia de 0.760 Km hacia aguas arriba, y con necesidad de mantenimiento, el depósito de material se encuentra en el río de la comunidad de Kesca.

DESCRIPCIÓN: Esta cantera está constituida por agregados redondeados y sub redondeados, de origen aluvial con partículas pétreas de rocas sedimentarias y volcánicas de color gris oscuro a gris parduzco blanquecino, predominando una matriz grava arenosa, Siendo apto para su uso en los trabajos de terraplén, sub base y base granular, en la zona se puede evidenciar rezagos de explotación de esta cantera.

Resultados obtenidos en laboratorio de suelos: según la clasificación SUCS corresponde a (GP) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-1-a(0).

METODO DE EXPLOTACION: Para su explotación se procederá a extraer de forma directa el material utilizable y el equipo mecánico adecuado será una excavadora, cargador frontal y volquetes la potencia estimada de la cantera es variable. Habiendo la posibilidad de incrementar su potencia, previo a los sondajes de prospección a cielo abierto.

Tabla 22. Características de la cantera Kesca.

Volumen	84,500 m ³
Período de Explotación	Tiempo de estiaje
Profundidad Explotación	Altura promedio del corte 0.95 m (variable)
Rendimiento	80%
Tratamiento	Zarandeo
Textura	Granular

PROPIEDADES: Según resultados el material de la cantera Kesca presenta las siguientes características.

Tabla 23. Resultados de la cantera Kesca.

CANTERA KESCA			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
GRANULOMETRIA	A-1-a (0)	A-1-a, A-1-b, A-2- 4, A-2-6, A-3	CUMPLE
LIMITE LIQUIDO (%)	NP	35% máx.	CUMPLE
I. DE PLASTICIDAD (%)	NP	4-9%	CUMPLE



Figura 14. Evaluación y muestreo de material en cantera Kesca.

b) **CANTERA CARIMAYO**

UBICACIÓN: Se ubica en el Km 24+300, Lado Izquierdo aguas abajo del río Carimayo en las Coordenadas UTM 390126 E 8333744 N.

ACCESO: sobre la vía a construirse a una distancia de 0.5 Km con necesidad de hacer mejoramiento al acceso.

DESCRIPCIÓN: El área a explotar está ubicada en una llanura aluvial originada por la acción del río Carimayo. Este depósito fluvial está constituido básicamente por grava pobremente gradada con arena, grava de partículas sub redondeadas a sub angulosas, presencia de finos no plásticos.

Resultados obtenidos en laboratorio de suelos: según la clasificación SUCS corresponde a (GP) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-1-a (0).

METODO DE EXPLOTACION: Para su explotación se procederá a extraer de forma directa el material utilizable y el equipo mecánico adecuado será una excavadora, cargador frontal y volquetes el depósito y la potencia del material es variable. Habiendo

la posibilidad de incrementar su potencia, previo a los sondeos de prospección a cielo abierto.

Tabla 24. Características de la cantera Carimayo.

Volumen	60,000 m ³ .
Período de Explotación	Tiempo de estiaje
Profundidad Explotación	Altura promedio del corte 1,80 m (variable)
Rendimiento	90%
Tratamiento	Zarandeo
Textura	Granular

PROPIEDADES: Según resultados el material de la cantera Carimayo presenta las siguientes características.

Tabla 25. Resultados de la cantera Carimayo.

CANTERA CARIMAYO			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
GRANULOMETRIA	A-1-a (0)	A-1-a, A-1-b, A-2- 4, A-2-6, A-3	CUMPLE
LIMITE LIQUIDO (%)	NP	35% máx.	CUMPLE
I. DE PLASTICIDAD (%)	NP	4-9%	CUMPLE



Figura 15. Exploración de calicatas a cielo abierto en cantera Carimayo.

c) **CANTERA PICAFLOR**

UBICACIÓN: Se ubica en el Km.22+300, Lado Derecho de la vía en las Coordenadas UTM 389633 E 8335494 N.

ACCESO: Sobre la carretera a construirse en el margen derecho con acceso de 0.050 Km, el depósito de material se encuentra en una ladera de la comunidad de Picaflor.

DESCRIPCIÓN: El material se encuentra emplazada en la ladera de la colina, la explotación del material está compuesto de suelos coluviales transportados y depositados en la quebrada, los depósitos se encuentran de formas de clastos redondeados a sub redondeados, bolones. Las características de los materiales de esta cantera están conformadas por rocas sedimentarias de color marrón, este material es para uso del terraplén (base, cuerpo, corona), Sub base.

Resultados obtenidos en laboratorio de suelos: según la clasificación SUCS corresponde a (GC-GP) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-2-4(0).

METODO DE EXPLOTACION: Para su explotación se procederá a extraer de forma directa el material utilizable y el equipo mecánico adecuado será una excavadora,

cargador frontal y volquetes la potencia estimada de la cantera es variable, la explotación del material es aprovechable en forma de banquetas.

Tabla 26. Características de la cantera Picaflor.

Volumen Bruto	78,000 m ³ .
Período de Explotación	Tiempo de estiaje
Profundidad Explotación	Altura promedio del corte 15.0 m (variable)
Rendimiento	70%
Tratamiento	Zarandeo
Textura	Granular

PROPIEDADES: Según resultados el material de la cantera Picaflor presenta las siguientes características.

Tabla 27. Resultados de la cantera Picaflor.

CANTERA PICAFLOR			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
GRANULOMETRIA	A-2-4 (0)	A-1-a, A-1-b, A-2- 4, A-2-6, A-3	CUMPLE
LIMITE LIQUIDO (%)	31.54	35% máx.	CUMPLE
I. DE PLASTICIDAD (%)	9.00	4-9%	CUMPLE



Figura 16. Cantera Picaflor.

5.3.2. Cantera de arena

a) CANTERA RÍO AZANGARO

UBICACIÓN: Se ubica en el sector Jilawata de la provincia de Azángaro.

ACCESO: Sobre una carretera de trocha carrozable a 100 m. margen izquierdo el depósito del material se encuentra en el río Azángaro.

DESCRIPCIÓN: Esta cantera está constituida por agregados redondeados y sub redondeados, de origen aluvial con partículas pétreas de rocas sedimentarias y volcánicas de color gris oscuro a gris parduzco blanquecino, predominando una matriz grava arenosa, siendo apto para su uso en los trabajos de terraplén, sub base, base granular, MCCP Y MCA. Para poder realizar su explotación se debe realizar el desbroce de material de cobertura y orgánico en promedio de 0.20 m de espesor, una vez realizado el desbroce se aprecia los estratos de hormigón.

Resultados obtenidos en laboratorio de suelos: según la clasificación SUCS corresponde a (GW) y según la clasificación ASSHTO corresponde a A-1-a (0).



METODO DE EXPLOTACION: Para su explotación se procederá a extraer de forma directa el material utilizable y el equipo mecánico adecuado será una excavadora, cargador frontal y volquetes el depósito y la potencia del material es variable.

Tabla 28. Características de la cantera río Azángaro.

Volumen	180,000 m ³ .
Período de Explotación	Tiempo de estiaje
Profundidad Explotación	Altura promedio del corte 1.50 m (variable)
Rendimiento	100%
Textura	Granular
Dureza	Excelente

PROPIEDADES: Según resultados el material de la cantera río Azángaro presenta las siguientes características.

Tabla 29. Resultados de la cantera río Azángaro.

CANTERA RÍO AZÁNGARO			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
GRANULOMETRIA	A-1-a (0)	A-1-a, A-1-b, A-2- 4, A-2-6, A-3	CUMPLE
LIMITE LIQUIDO (%)	NP	35% máx.	CUMPLE
I. DE PLASTICIDAD (%)	NP	4-9%	CUMPLE



Figura 17. Evaluación de material en cantera río Azángaro.

5.3.3. Cantera de roca

a) CANTERA KM 32+000 M. D.

UBICACIÓN: Se ubica en el Km 32+000, en el pie de monte del lado derecho de la vía en las Coordenadas UTM 395189 E 8330099 N.

ACCESO: sobre la vía a construirse.

DESCRIPCIÓN: Este depósito está constituido básicamente por areniscas blanquecinas con textura granular masiva, se presenta en forma de secuencia estratigráfica con potencia de 8.0 metros, presenta fracturamiento fuerte, con aparente plegamiento por colapso por presión superficial, corresponde a una roca de origen sedimentaria los granos son equigranulares, de cemento y matriz silícea.

METODO DE EXPLOTACION: Para su explotación se procederá a emplear maquinaria adecuado como excavadora y volquetes.

Tabla 30. Características de la cantera de roca Km 32+000 Origen sedimentario.

Volumen	85.000 m ³
Período de Explotación	Todo el año
Potencia de Explotación	Altura promedio del corte 6.80 m (variable)
Rendimiento	100%
Textura	Granular-masiva
Dureza	Buena

PROPIEDADES: Según resultados el material de la cantera de roca Km 32+000, presenta las siguientes características.

Tabla 31. Resultados de la cantera de roca Km 32+000.

CANTERA DE ROCA KM 32+000 L. D.			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN	CONDICIÓN
ABRASIÓN (%)	31.02	50	Cumple
RESISTENCIA A LA C. S. Mpa.	100 - 150	--	Roca dura
Valoración RMR	80 - 61	--	Buena



Figura 18. Cantera de roca Km 32+000.

Tabla 32. Resumen consolidado de canteras estudiadas.

CANTERA	UBICACIÓN (Km)	ACCESO	POTENCIA (m3)	USOS
CANTERA KESCA	Km 21+900, L. I.	0.760 Km.	344,500 m3	Terraplén, Sub Base Y Base Granular.
CANTERA CARIMAYO	Km 24+300, L. I.	0.5 Km.	290,000 m3.	Terraplén, Sub Base Y Base Granular.
CANTERA PICAFLOR	Km.22+300, L. D.	0.050 Km.	170,000 m3.	Terraplén (Base, Cuerpo, Corona), Sub Base.
CANTERA RÍO AZÁNGARO	Sector Jilawata-Azángaro.	0.100 Km.	400,000 m3.	Terraplén, Sub Base, Base Granular, MCCP Y MAC.
C. DE ROCA KM 32+000 L. D.	Km 32+000 L. D.	Sobre la Vía.	105.000 m3	Enrocado Pedraplén. Y



VI. CONCLUSIONES

- Con el estudio de suelos se logró determinar las propiedades geológicas – geotécnicas que tienen el terreno de fundación mediante ensayos realizados en laboratorio de mecánica de suelos. se logró clasificar siete diferentes tipos de suelos determinando diferentes comportamientos y diferentes propiedades físicos – mecánicos. Como por ejemplo en el TRAMO I del km 17+000 hasta km 18+000 son suelos inestables por la presencia de material areno arcillosos. TRAMO II km 18+000 al km 19+500 presencia de roca a 0.20m. TRAMO III Km 19+500 al km 22+000 presencia de suelos limo arcillosos. TRAMO IV km 22+000 al km 24+500 suelo con presencia de grava arcilloso semi compacto. TRAMO V km 24+500 al km 27+500 presencia de suelo pobremente gradado con presencia de grava, arena, limos y arcilla. TRAMO VI km 27+500 al km 29+000 suelo arena limosa con escasa presencia de gravas redondeadas. TRAMO VII km 29+000 al km 32+700 suelo tipo arena arcillosa con ligera plasticidad. Estos suelos presentan un promedio de humedad de 8.7 % y un CBR promedio de 5 %, siendo un suelo de regular capacidad portante.
- Los mejoramientos para el tramo del presente proyecto se realizarán por tramos teniendo una altura de corte promedio de 1.2 m hasta el nivel de sub rasante, con las propuestas siguientes: Enrocado (**Roca**) (R), Relleno, Terraplenería (**Mat. Granular**) (MG) y Mejoramiento (**Arena**) (A).
- Se logró determinar las características físico – mecánicas del material de las canteras mencionadas en el estudio de investigación: tales como la cantera Kesca que tiene una clasificación SUCS (GP) y según la clasificación ASSHTO A-4(2). Cantera Carimayo según SUCS (GP) y según ASSHTO corresponde a A-1-a (0). Cantera Picaflor clasifica según SUCS (GC-GP) y según ASSHTO A-2-4(0). Cantera Rio Azángaro tiene una clasificación SUCS (GW) y según ASSHTO A-1-a (0). Y la cantera Km



32+000 L. D. que corresponde a roca con una resistencia al desgaste de 31.02%, una resistencia de 100-150 Mpa. Y una valoración RMR buena. Las mismas que se emplearan en los diferentes tramos para su construcción y mejoramiento de suelos en la vía Curayllo – Chupa y cabe precisar que las canteras mencionadas cumplen los requisitos según especificaciones técnicas generales del MTC.



VII. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta los criterios para el mejoramiento de los terrenos de fundación e incluso hacer estudios nuevos para determinar el mejoramiento en las zonas críticas, como los ensayos de compresibilidad para conocer el comportamiento de los suelos finos que contienen mayor porcentaje de agua y para ver la relación al esfuerzo y la deformación.
- Para la explotación de las canteras se deberán realizar trabajos de limpieza y/o desbroce de material orgánico y sustancias perjudiciales en espesores de 0.30m y 0.50m. respectivamente.
- Realizar nuevas exploraciones para ubicar nuevas canteras cercanas al proyecto para aminorar costos durante la construcción de la carretera Curayllo – Chupa. Y tener en cuenta las temporadas favorables para su extracción.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badillo, E. J., & Rodrigues, A. R. (1996). *Mecánica de suelos tomo I, fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa Noriega.
- Blasquez, L. B., & Bevia García, J. F. (2000). *Manual de Carreteras*. España.
- Bowles, J. E. (1982). *Manual De Laboratorio De Suelos*. Bogotá - Colombia: Italgrad S. A. - Bogotá.
- Burga, J. D. (2001). *Diccionario Geológico*. Lima - Perú: Ingemmet.
- Casagrande, A. (1972). *Estudio de Suelos y Cimentaciones*.
- Cesar, T. Q. (2016). *"Evaluación Geológica-Geotécnica para el proceso constructivo de la Av. Jallihuaya-Puno"*. Puno - Perú: Repositorio UNA.
- Cordova Quiñones, L., & Sanchez Abanto, J. (s.f.). *Zonificación geotécnica de los suelos de asentamiento urbano con fines de cimentación en el distrito de Samanco – Provincia del Santa - Departamento Áncash*.
- Das, B. M. (2005). *Fundamentos De Ingenieria Geotecnica*. México: Thomson - México.
- DIUNC. (2003). *Explotación De Cantera, Alternativa Económica Y Ambiental En Zonas Urbanas*. Colombia: Direccion de Investigación de la UNC.
- Fernandez, C. R. (2005). *Diseño Y Proceso Constructivo De Suelos Estabilizados En Pavimentos Asfálticos - Aplicación En La Carretera Interoceánica-Sur Tramo Iii*. Perú.
- Huanca Borda, A. R. (1996). *Macánica De Suelos Y Cimentaciones*. Lima - Perú: HB-Editores.
- I.G.P. (2006). *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres. Sismos Ocurridos en Peru*. Lima.
- Ibarra, K. A. (2019). *Caracterización Geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén*. Argentina.



- INGEMMET. (1993). *Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur) Boletín A42*. Lima: INGEMMET.
- ISRM. (1978).
- Laricano, W. P. (2016). *Tesis. "Evaluación Geotécnica de la Carretera emp. 3s (puno) - Vilque - Mañazo - Emp.34a (Huataquita)"*. Puno - Perú: Repositorio UNAP.
- LENZ, O. H. (2016). *Caracterización Geotécnica de los Suelos de la ciudad de México*. México.
- Liria., L. Q. (2021). *"Estudio Geotécnico para el mejoramiento de la carretera Pomata-Yoroco"*. Puno - Perú: Repositorio UNA.
- M.T.C. (2016). *Manual De Ensayo De Materiales*. Lima - Perú.
- Mayta, M. W. (2018). *Tesis: "Estudio Geotecnico De La Carretera Desaguadero - Kelluyo"*. Puno - Perú: Repositorio UNA.
- Menéndez Acurio, J. R. (2009). *Ingeniería De Pavimentos*. Lima - Peru: ICG.
- MTC. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales Para La Construcción (EGE-2013)*. Lima - Perú.
- Perez, E. G. (2015). *Análisis de Hidrología y Medio ambiente*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Quispe, T. C. (2016). *Tesis: "Evaluación Geológica - Geotécnica para el proceso constructivo de la Av. Jallihuaya - Puno"*. Puno - Perú: Repositorio UNA.
- Romero, G. V. (1995). *Diseño Y Construcción De Pavimentos*. Lima - Perú: CIP-Perú.
- SENAMHI. (2021). *"Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú"*. Lima - Perú.
- Suarez, M. A. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Chiclayo.



- U.N.R. (2018). *Geología y Geotecnia*. Rosario - Argentina.
- UNA-PUNO. (2017). *Manual De Uso Tesista "Pregrado"*. Puno - Peru: UNA - Puno.
- Vallejo, L. L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Vargas, M. D. (1990). *Ingeniería De Cimentaciones "Fundamentos e Introducción al análisis Geotécnico"*. México: Alfaomega.
- Vasquez, A. (2000). *Hidrología*. Lima.
- Villalaz, C. C. (2001). *Mecánica De Suelos Y Cementaciones*. México: Lumusa Noriega.



ANEXOS

**ANEXO N° 1. CERTIFICADOS DE TERRENO DE
FUNDACIÓN**

ANEXO N° 2. CERTIFICADOS DE CANTERAS

ANEXO N° 3. PLANOS Y PERFILES