



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y

METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



ESTUDIO DE SUELOS Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO EN PAVIMENTOS DE LA CARRETERA AREQUIPA – LA JOYA

PROG 0+000 A PROG 2+888 AREQUIPA, 2021

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHON AXEL APAZA SANCHEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2022



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

ESTUDIO DE SUELOS Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO EN PAVIMENTOS DE LA CARRETERA AREQUIPA - LA JOYA PROG 0+000

AUTOR

JHON AXEL APAZA SANCHEZ

RECuento de PALABRAS

22042 Words

RECuento DE CARACTERES

122524 Characters

RECuento DE PÁGINAS

89 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.4MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 1, 2023 6:49 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 1, 2023 6:50 AM GMT-5

● 9% de similitud general

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



Formado digitalmente por LLERENA
PEPE JO Georgrafos Forense FAU
20142496175.pdf
Sitio: Serv de autor del documento
Fecha: 01.12.2023 08:52:15 -05:00

V°B°

Formado digitalmente por
PALOMBO ASCENCIO Leonel
FAU 20142496175.pdf
Sitio: Serv de autor del documento
Fecha: 04.12.2023 04:08:23 -05:00

Resumen



DEDICATORIA

Mi tesis está dedicado a mis padres Alberto y Dina porque ellos siempre estuvieron a mi lado en todo momento brindándome su apoyo absoluto, a mi hermano Nik por la motivación que me brindo en cada momento que fue imprescindible, a mis amistades, compañeros y a todos que de alguna forma contribuyeron para lograr mi finalidad.

Gracias a todos



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a la Universidad Nacional del Altiplano – Puno por abrirme las puertas y continuar con mi formación profesional, asimismo a mis docentes por compartir su conocimiento y su apoyo para seguir adelante.

Mi agradecimiento también a mi asesor de tesis M.Sc. Georges Florencio Llerena Peredo , por haberme brindado la oportunidad de compartir su conocimiento científico, así como también haberme tenido la paciencia necesaria para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Para finalizar agradezco a todos mis compañeros de la universidad ya que gracias a la amistad y apoyo moral que han aportado en un gran porcentaje a seguir adelante en mi carrera profesional.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1 Problema General	15
1.2.2 Problema Especifico	16
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3.1 Hipótesis general.....	16
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5.1 Objetivo general.....	18
1.5.2 Objetivos específicos	19
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20



2.1.1	Nivel Internacional	20
2.1.2	Nivel Nacional	23
2.1.3	Nivel Local	26
2.2	MARCO TEÓRICO	29
2.2.1	Geotecnia	29
2.2.2	Elementos de la geotecnia.....	30
2.2.3	Importancia de la geotecnia en obras viales	30
2.2.4	Análisis geotécnicos	32
2.2.5	Estudio de suelos	32
2.2.6	Mecánica de suelos	32
2.2.7	Sistema de clasificación de suelos	33
2.2.8	Sistema SUCS.....	33
2.2.9	Sistema AASHTO.....	34
2.2.10	Ensayos de laboratorio sobre estudios de suelos	34
2.2.11	Controles de densidad de campo	35
2.2.12	Pavimento	35
2.2.13	Características y funciones del pavimento.....	36
2.2.14	Tipos de pavimentos	36
2.2.15	Estructura del pavimento	37
2.2.16	Diseño de pavimentos	37
2.2.17	Capas de pavimentos	37
2.3	MARCO CONCEPTUAL	38
2.3.1	Infraestructura vial.....	38
2.3.2	Ingeniería geotécnica	38
2.3.3	Indicadores de evaluación de suelos	38



2.3.4	Normativas y estándares	39
2.3.5	Capacidad de soporte del suelo.....	39
2.3.6	Propiedades mecánicas de materiales	39
2.3.7	Canteras y materiales de construcción	40
2.3.8	Diseño de pavimentos	40
2.3.9	Seguridad vial y durabilidad	40
2.3.10	Sostenibilidad en la construcción de carreteras	41
2.3.11	Cantera	41
2.3.12	Compactación de suelos.....	41
2.3.13	Granulometría	41

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.1.1	Tipo de investigación.....	43
3.1.2	Diseño de la investigación	43
3.1.3	Método	43
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	44
3.3	DISEÑO ESTADÍSTICO	44
3.4	PROCEDIMIENTO.....	44
3.4.1	Variables	46
3.4.2	Operacionalización de Variables	46

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	47
4.1.1	Accesibilidad	48



4.1.2	Clima.....	48
4.2	GEOLOGÍA	48
4.2.1	Geología local	48
4.2.1.1	Volcánico sencca:	49
4.2.2	Geología Regional	52
4.2.2.1	Gneis Charcani (NPe-gn):.....	52
4.2.2.2	Volcánico Chocolate (Ji-cho).....	52
4.2.2.3	Formacion Socosani (Jm-so).....	53
4.2.2.4	Grupo Yura (JsKi-yu)	53
4.2.2.5	Volcánico Sencca o Formación Añashuayco (NP-añ).....	53
4.2.2.6	Flujos de Barro (Qpl-fb)	54
4.2.2.7	Depósitos Aluvionales (Qh-al_1).....	54
4.2.3	Geología estructural.....	54
4.2.3.1	Geomorfología Regional.....	55
4.2.3.2	Unidades relacionadas al Chachani:	59
4.2.3.3	Unidades relacionadas al nevado Pichu - Pichu:	60

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	RESULTADOS.....	62
5.1.1	Evaluación del terreno de fundación	62
5.1.1.1	Caracterización físico mecánica del terreno de fundación.....	63
5.1.1.1.1	Contenido de humedad	64
5.1.1.1.2	Terreno de Fundación en Zona Seca.....	65
5.1.1.1.3	Terreno de Fundación en Zona Saturada.	66



5.1.1.1.4 Análisis Granulométrico y Clasificación SUCS y AASHTO	67
5.1.1.1.5 Límites Atterberg	72
5.1.1.1.6 California Bearing Ratio CBR.....	76
5.1.1.2 Perfil estratigráfico del terreno de fundación.....	79
5.1.2 Caracterización de los materiales a emplearse para la conformación de los pavimentos, bajo las exigencias de la normativa MTC EG-2013.	85
5.1.2.1 Trabajos de Laboratorio	86
5.1.2.2 Sub-Base	86
5.1.2.3 Base Granular.....	89
5.1.2.4 Mezcla Asfáltica	91
V. CONCLUSIONES	95
VI. RECOMENDACIONES	97
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXOS.....	105

Área:

Tema:

Fecha de sustentación:



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del lugar de estudio.....	47
Figura 2. Columnas estratigráficas	50
Figura 3. Mapa Geológico	51
Figura 4. Principales unidades morfológicas generales del sur del Perú	59
Figura 5. Comportamiento de humedad natural del 0+000 – 2+880.....	67
Figura 6. Resumen de perfiles estratigráficos	84



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de Variables	46
Tabla 2. Coordenadas de la Progresiva de inicio 0+000 a 2+888	47
Tabla 3. Características de la carretera Arequipa – La Joya	62
Tabla 4. Ubicación de calicatas y muestras	63
Tabla 5. Ensayos de laboratorio	64
Tabla 6. Resumen de calicatas contenido de humedad	65
Tabla 7. Resumen del análisis granulométrico por tamizado y clasificación de suelos SUCS y AASHTO	69
Tabla 8. Resumen de ensayo Limites de Atterberg	74
Tabla 9. Resumen de CBR	77
Tabla 10. Referencias normativas para ensayo de materiales	86
Tabla 11. Ubicación geográfica de la Cantera Añashuayco	87
Tabla 12. Análisis de material de cantera Añashuayco	88
Tabla 13. Ubicación geográfica de la cantera Buena Esperanza Huarango	89
Tabla 14. Análisis de material para base proveniente de la cantera Buena Esperanza Huarango	91
Tabla 15. Ubicación geográfica de la Cantera La Poderosa – Mezcla Asfáltica	92
Tabla 16. Ensayos estándar de la cantera La Poderosa – Mezcla Asfáltica	93
Tabla 17. Ensayos especiales de material de la cantera La Poderosa – Mezcla Asfáltica	94



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PROG	: Progresiva
CBR	: California Bearing Ratio
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
NTP	: Norma Técnica Peruana
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS 84	: World Geodesic System 1984
OCH	: Optimo Contenido de Humedad
MDS	: Máxima Densidad Seca
CBR	: Relación de soporte califonia
SPT	: Sondeo de penetración estándar
MSNМ	: Metros sobre el nivel del mar
NSR-10	: Norma sismo resistente 2010



RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la vía Joya - Arequipa con el objetivo principal de desarrollar un enfoque de análisis geotécnico y selección de materiales para garantizar la construcción de una infraestructura vial segura y duradera, cumpliendo con las normativas vigentes y considerando las particularidades geológicas y de carga de la región. Se empleó una metodología descriptivo-experimental de diseño cuasiexperimental con enfoque cuantitativo. Los resultados mostraron diversos tipos de suelos, siendo el suelo tipo SM en las calicatas (C-7,C-8,C-9,C-10,C-11,C-12,C-1,C-2,C-3,C-4,C-5,C-6) según las clasificaciones SUCS y AASHTO. Se detectó una variabilidad de humedad entre 1.9% y 11.9%, sin plasticidad según los límites de Atterberg. Las pruebas de (CBR) indicaron una capacidad de soporte del 36%, 60%, y 69% al 95% en comparación con un material. En cuanto a las propiedades de los materiales del pavimento, se encontró que cumplen con las especificaciones de la normativa vigente (EG-2013). La subbase presentó gradación tipo B, Índice de Plasticidad no plástico, Abrasión Los Ángeles del 28.9%, CBR del 43%, y sales solubles del 0.72. La base cumplió con la franja granulométrica de la gradación "A", sin plasticidad, CBR de 100%, durabilidad al sulfato de 10.83, caras fracturadas en un rango del 94/81, partículas chatas y alargadas del 5%, alto equivalente de arena y niveles bajos de sales solubles, registrando 0.72. Los agregados para la mezcla asfáltica cumplieron con las especificaciones, con gradación cercana al MAC-1, abrasión Los Ángeles del 16.35%, caras fracturadas del 63.51%, partículas chatas y alargadas del 10%.

Palabras Clave: Estudio, Suelos, Geotecnia, Pavimentos, Análisis



ABSTRACT

The study was conducted on the Joya - Arequipa road with the main objective of developing a comprehensive approach to geotechnical analysis and material selection to ensure the construction of a safe and durable road infrastructure, complying with current regulations and considering the geological and load characteristics of the region. A descriptive-experimental methodology with a quasi-experimental design and a quantitative approach was employed. The results revealed various soil types, with SM soil being predominant according to SUCS and AASHTO classifications. Moisture variability was detected ranging from 1.9% to 11.9%, with no plasticity observed according to Atterberg limits. California Bearing Ratio (CBR) tests indicated a bearing capacity of 36%, 60%, and 69% compared to a standard material. Regarding the properties of pavement materials, it was found that they met the specifications of current regulations (EG-2013). The subbase exhibited a B-type gradation, non-plastic plasticity index, Los Angeles Abrasion of 28.9%, CBR of 43%, and soluble salts of 0.72. The base strictly complied with the gradation "A," showing the absence of the plasticity index, a CBR of 100%, sulfate durability of 10.83, fractured faces within the range of 94/81, flat and elongated particles of 5%, high sand equivalent, and low levels of soluble salts, registering 0.72. Aggregates for asphalt mix met the required specifications, with gradation close to MAC-1, Los Angeles Abrasion of 16.35%, fractured faces of 63.51%, and flat and elongated particles of 10%. These findings support the selection of high-quality materials that comply with regulations, ensuring the durability and safety of road infrastructure in the region.

Keywords: Study, Soils, Geotechnics, Pavements, Analysis



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carretera Arequipa – La Joya es una importante vía de comunicación que conecta dos ciudades claves en Perú. La calidad de la infraestructura vial desempeña un papel fundamental en la eficiencia del transporte, el desarrollo económico y la seguridad de los usuarios. En este contexto, el análisis geotécnico de suelos y la selección adecuada de pavimentos adquieren una relevancia crucial para garantizar la estabilidad, durabilidad y funcionalidad de la carretera en condiciones geológicas y geotécnicas variables.

La diversidad geológica presente en la región plantea desafíos significativos en términos de ingeniería geotécnica y diseño de pavimentos. La variabilidad de las propiedades del suelo y los posibles riesgos asociados a fenómenos naturales, como movimientos de tierra o inundaciones, demandan un análisis geotécnico exhaustivo que permita desarrollar soluciones de pavimentación adaptadas a estas condiciones cambiantes. Además, la normativa vigente en Perú establece criterios específicos para la construcción de carreteras, incluyendo aquellos relacionados con el análisis de suelos y pavimentos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿Cómo influye el estudio de suelos y análisis geotécnicos en pavimentos de la carretera Arequipa-La Joya prog 0+000 al prog 2+888, Arequipa, ¿¿2021??



1.2.2 Problema Específico

- ¿Cuál es el estado actual del terreno de fundación en la carretera Joya - Arequipa en términos de capacidad de soporte, al utilizar el ensayo CBR como herramienta de evaluación, considerando las propiedades geotécnicas del suelo y su respuesta a las condiciones de carga típicas de la vía?
- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los materiales que deben ser analizadas para seleccionar y diseñar adecuadamente la estructura del pavimento en la carretera Joya – Arequipa considerando factores que exigen la normativa actual?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

El estudio de pavimento permitirá el análisis geotécnico y la selección de materiales adecuados para la construcción de una infraestructura vial resistente y duradera en la carretera Joya - Arequipa, cumpliendo con las normativas vigentes y adaptándose eficazmente a las características geológicas cambiantes de la región.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación Teórica: Esta investigación se fundamenta en la teoría y los principios de la ingeniería geotécnica y de pavimentos. La comprensión profunda de las propiedades geotécnicas del suelo y su relación con la capacidad de soporte, así como la selección y diseño de materiales para pavimentos, constituyen elementos teóricos esenciales en la ingeniería civil. Al abordar estos aspectos en el contexto específico de la



carretera Joya - Arequipa, esta investigación contribuirá a enriquecer el conocimiento en estas áreas, aportando nuevos enfoques y soluciones que puedan ser aplicados en proyectos futuros.

Justificación Práctica: Desde una perspectiva práctica, esta investigación se justifica al proporcionar directrices y soluciones concretas para mejorar la construcción y mantenimiento de la carretera Joya - Arequipa. Los resultados y recomendaciones derivados de un análisis geotécnico sólido y la selección adecuada de materiales tendrán un impacto directo en la eficiencia, seguridad y durabilidad de la infraestructura vial. Estas soluciones prácticas beneficiarán a ingenieros, contratistas y entidades encargadas de la administración de carreteras al ofrecerles herramientas concretas para tomar decisiones informadas y optimizar sus procesos.

Justificación Social: La carretera Joya - Arequipa es una ruta vital para la conectividad y el desarrollo regional. Esta investigación tiene una relevancia social al contribuir a la seguridad y comodidad de los usuarios de la vía, al prevenir fallas prematuras y mejorar la experiencia de viaje. Además, al reducir el impacto de reparaciones y mantenimiento constantes, se minimiza la interrupción del tráfico y se promueve una movilidad fluida y segura. Esta justificación social se basa en el beneficio directo que la investigación aportará a la comunidad y a la calidad de vida de los residentes y usuarios de la carretera.

Justificación por Conveniencia: La ejecución de esta investigación se justifica por la necesidad de contar con soluciones adaptadas a las condiciones particulares de la carretera Joya - Arequipa. La variabilidad geológica y las cargas de tráfico específicas exigen un enfoque personalizado en el análisis geotécnico y la selección de materiales.



Abordar estos desafíos de manera conveniente y adaptada a la realidad local garantizará la viabilidad y el éxito a largo plazo de la infraestructura vial.

Justificación Económica: Desde una perspectiva económica, esta investigación se justifica al contribuir a la eficiencia en la inversión en infraestructura vial. La correcta selección de materiales y el análisis geotécnico adecuado minimizarán los costos de construcción y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la carretera. Al prevenir fallas prematuras y optimizar los recursos, se logrará una inversión más rentable y sostenible en términos económicos.

Justificación Técnica: La investigación se justifica desde el punto de vista técnico al abordar desafíos específicos de ingeniería geotécnica y de pavimentos en la carretera Joya - Arequipa. La correcta evaluación de la capacidad de soporte del suelo y la selección precisa de materiales son requisitos técnicos esenciales para la construcción de infraestructuras duraderas y seguras. Esta justificación radica en la necesidad de aplicar soluciones técnicas eficaces y probadas para enfrentar los desafíos geotécnicos y de diseño de pavimentos en esta carretera.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Evaluar los suelos y análisis geotécnico y el pavimento para la carretera Joya - Arequipa que garantice la construcción de una infraestructura vial segura y duradera, cumpliendo con las normativas vigentes.



1.5.2 **Objetivos específicos**

Caracterizar el terreno de fundación en la carretera Arequipa – Joya mediante el CBR, identificando zonas de baja capacidad de soporte y áreas necesitadas de intervenciones para asegurar la estabilidad vial.

Determinar las propiedades mecánicas de los materiales destinados a la estructura del pavimento, abarcando aspectos como gradación, plasticidad, capacidad de soporte, durabilidad, desgaste, y otros factores relevantes, conforme a las directrices establecidas por la normativa vigente.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Nivel Internacional

Carrascal, Fernández, y Valencia (2021), realizaron un estudio donde buscó plantear y elaborar construcciones de estabilización y contención para edificar una estructura de pavimento, llegando a la conclusión siguiente: que para realizar una planificación de un proyecto se requiere ejecutar diversos ensayos de acuerdo a las necesidades y a la normatividad, con el fin de obtener resultados adecuados, por lo que se realizó ensayos y estudios donde se determinó los parámetros de clima y precipitaciones del área de influencia del proyecto fueron necesarios, ya que estos determinan en gran medida la durabilidad de las estructuras del pavimento y obras complementarias como por ejemplo los drenajes, asimismo para el diseño del pavimento se realizó como ejercicio académico, de tal manera que cumpliera con las especificaciones técnicas, pero en realidad el bajo aforo vehicular encontrado indica que para compensar las necesidades desde el análisis costo beneficio solo se requería el trazado de la vía sin la carpeta asfáltica.

Gaona (2013), En su investigación, se determinó que la topografía de la carretera presenta pendientes abruptas que varían desde los 500 m.s.n.m. hasta los 1400 m.s.n.m. Esto incluye desniveles de 21 m descendentes en el tramo El Limón-La Bocana y un ascenso de 932 m en el tramo La Bocana-La Victoria. La



zona se caracteriza por montañas medianas, llanuras aluviales con drenajes irregulares y quebradas principales.

Desde una perspectiva geológica, se encontró que la carretera El Limón-La Bocana-La Victoria se asienta sobre la Formación Celica. A lo largo de la vía, se observó una roca andesítica compacta con diaclasamiento mínimo, de color gris oscuro a café. Sobre esta roca se encuentran suelos residuales de naturaleza arenarcillosa. Además, se identificó material aluvial compuesto por arena y cantos rodados con diámetros que van desde 0.5 cm hasta 30 cm, debido a la presencia del río Calvas. Para determinar la tipología de los suelos, se realizaron 45 sondeos a lo largo de la vía, clasificándolos según el Método SUCS en 8 clases y según el método AASHTO en 7 clases. En ambos métodos, prevalecieron las gravas arcillosas, seguidas de arcillas de plasticidad baja, arenas arcillosas, arenas limosas, gravas limosas, gravas bien graduadas y limos. En cuanto a las propiedades geo-mecánicas del suelo, se llevaron a cabo 27 sondeos a lo largo de la vía, con intervalos de 1 km. Se determinó que el 7% de la vía tenía condiciones regulares, el 63% buenas y el 30% excelentes en términos de propiedades geo-mecánicas del suelo. Esto indicó que la mayoría de la vía presentaba condiciones adecuadas para construcciones ingenieriles. En relación a las características geo-mecánicas de la roca, se clasificó como tipo I, lo que corresponde a una roca de muy buena calidad con un RQD (Designación de Calidad de Roca) del 95.2%.

Niño (2015), realizó un estudio cuyo objetivo fue elaborar construcciones necesarias para estabilizar el área K4+180 de la vía Puente Reyes – Gámeza, asociado al tipo de proceso, características geotécnicas del suelo, estudio desarrollado bajo la metodología de tipo descriptivo donde realizó una exploración de campo, procesamiento de los datos, mejoramiento de datos,



comparas las curvas de campo y determinó los valores de la resistividades aparentes, concluyendo que a través de evaluaciones geológicas se determina que el área se localiza dentro de un depósito cuaternario con propiedades coluvio/aluviales, compuesto por materiales rocosos conformado por arcillas limosas grisáceas que pertenecen a materiales que componen la formación Guaduas, por otro lado, en relación al elemento tectónico y sísmico demuestran que el área se localiza de manera directa con la falla Gámeza, que de acuerdo a Sismología Nacional no tiene repercusión importante acerca del área y por último determinó que las condiciones geomórfologicos y topográficos no demuestran énfasis mayor para la ejecución del proyecto debido que se encuentra en área montañosa.

Robles (2019), Concluye clasificando el suelo utilizando métodos AASHTO y SUCS. Los resultados indicaron un estrato predominantemente de arcillas. Según la prueba SPT, se clasificó como perfil tipo E según NSR-10, determinando el ángulo de fricción interna y la capacidad de carga del suelo. El diseño del pavimento siguió el método del Instituto Norteamericano del Asfalto, resultando en una capa de concreto asfáltico de 7.5 cm apoyada sobre una subrasante de 10 cm. Esto proporcionó protección a la subrasante y minimizó la necesidad de drenaje subterráneo. Los muros en voladizo se diseñaron geoméricamente para cumplir con las condiciones de estabilidad, incluyendo cargas sísmicas. Las dimensiones del muro se calcularon considerando una posible carga adicional debido a estacionamiento o construcción temporal en la zona.

En el perfil 1, se estabilizó el talud mediante anclajes pasivos, logrando factores de seguridad adecuados. En el perfil 2, se utilizó un muro en voladizo y



se ajustó la pendiente del talud. En el perfil 3, se aplicaron anclajes pasivos y se estabilizó el lleno. Se consideraron cargas sísmicas en todas las direcciones para el análisis de estabilidad. El análisis probabilístico utilizando el método de Monte Carlo mostró una probabilidad de falla del 3.3% para el talud en la zona de mínimo global.

2.1.2 Nivel Nacional

Bernal (2020), En su investigación, utilizando los datos recopilados de los expedientes técnicos que abarcan los departamentos de La Libertad, Ancash, Arequipa y Puno, se logró sectorizar las vías y proponer un instrumento de gestión vial. Esto se basó en la capacidad de soporte de los suelos (subrasante) evaluados en seis expedientes técnicos distintos. Se estudiaron un total de 15 muestras de CBR en cuatro carreteras y más de 2 análisis de CBR en dos carreteras del sur. Esto permitió analizar la categoría de la subrasante y la sectorización de las rutas, lo que a su vez condujo a la propuesta de un instrumento de gestión. Además, se recopiló información de expedientes técnicos para identificar la ubicación, potencia y usos de 41 canteras en las rutas del norte y sur del país. Para llevar a cabo la georreferenciación de la categorización de la subrasante, se empleó el programa Civil 3D como instrumento de gestión. Se observó una relación directa entre el parámetro del CBR y la ubicación de la subrasante. Por ejemplo, en Puno, se notó una disminución en el valor del CBR en áreas previamente utilizadas para cultivos o chacras, indicando una categoría regular de subrasante en esos tramos. Por otro lado, el parámetro del CBR aumentó en proximidad a estratos estables, como las laderas de los cerros. Se identificaron las ubicaciones y parámetros de las canteras más relevantes en la costa para proyectos viales, y se concluyó que la



mayoría de estas canteras cumplen con los requisitos necesarios para su utilización en la construcción de pavimentos.

Mamani et al. (2019), desarrollaron un estudio con la finalidad de ejecutar evaluaciones geotécnicas de terreno para diseñar pavimentos flexibles en vías de la ciudad alto Tacna, 2019, estudio que se realizó mediante la aplicación de diversos métodos de diseño de pavimentos flexibles, estudio de tipo descriptivo con diseño de campo, llegando a la conclusión que para diseñar la pavimentación flexible considerando el método AASHTO-93, del cual solo se tomo en cuenta 2 estándares importantes para su elaboración que son las características de materiales subrasantes y cargas de tráfico vehiculares. Asimismo, tuvieron consideración de particularidades de las capas de subbase granular, base granular y superficies de rodadura, la confiabilidad, tiempo de diseño, numero de estructuras, la serviciabilidad, la desviación estándar, clima entre otros. Dichos resultados arribados fueron obtenidos de una estructura de pavimentación con volumen bajo de transitabilidad, logrando un espesor de 42 cm, con subbases y bases granulares de 20 cm y la superficie de rodadura de 2 cm con mortero asfaltico.

Ochoa (2014), realizo una investigación donde planteo el objetivo de ejecutar la prueba geotecnia a terrenos para el diseño de estructuras de pavimentación de carreteras Ticaso-Candarave tramo Aricota– Quilahuani (km 146+500 – km 151+500), desarrollado mediante trabajo de campo y de laboratorio y aplico la metodología de diseño reconocido de AASHTO, concluyendo que para elaborar una estructura de pavimento es importante realizar pruebas geotecnicas, asimismo evaluaciones de suelo, tráfico, precipitaciones, determinar el método de diseño, por lo que diseñar el pavimento depende de manera estrecha de la



proyección del tránsito acorde a un periodo determinado. Por lo tanto, la carretera en estudio la proyección de tránsito es de 10 años sin embargo a través de pruebas se evidencia que esta es baja ($1,0 \times 10^5$) debido que transitan vehículos de tipo a2 en su mayoría, es decir, camionetas y autos catalogándose estos vehículos como insignificantes para lograr alto tránsito, no obstante, existe frecuencia baja de tránsito de vehículos de tipo b2 que corresponde a buses, c2 a camiones con dos ejes y c3 camiones de tres ejes. Considerando el manual de “Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito” refiere que para pavimentos con bajo tránsito se emplea la superficie de rodadura de tratamiento superficial Bicapa, asimismo se encontró que el tramo de carretera tiene 4 tipos de suelos y son suelos SP, GP, GW-GM y SP-SM y además se encontró un área puntual que se encuentra compuesta por suelo GC por tanto existe la necesidad de descartar materiales inadecuados e instalar materiales de reemplazo con CBR.

Pérez (2021), En su investigación, se determina que en el análisis de la composición granulométrica y el valor relativo de soporte, el material extraído de las canteras no cumple con los requisitos establecidos en las normas. Por lo tanto, se propone la combinación de este material de origen con tierra roja en una proporción del 75% de material de origen y 25% de tierra roja. Esto se basa en el análisis de varianza que demuestra mejoras significativas en los valores, lo que finalmente permite cumplir al 100% con los estándares normativos. En cuanto al análisis de caras fracturadas, se encontró que el material de origen de las canteras de Curimaná cumple con los requisitos normativos, ya que supera el mínimo del 40% requerido en los ensayos de partículas con dos caras fracturadas, En el análisis de abrasión de los Ángeles, tanto el material de origen de las canteras Malvinas como el de Curity 2019 en el distrito de Curimaná cumplen con los



estándares normativos, ya que sus valores no exceden el máximo del 40%, asimismo, en el análisis de partículas chatas y alargadas, el material de origen de las canteras Curity 2019 y Tihua II en el distrito de Curimaná también cumple con las normativas, ya que no supera el límite del 15%, en lo que respecta al análisis de sales solubles totales, se encontró que el material de origen de las canteras de Curimaná cumple con los requisitos de las normas, ya que sus valores son inferiores al máximo permitido del 0.5%.

2.1.3 Nivel Local

Añacata (2023) En su investigación, se concluye que la carretera Asiruni - Rosaspata presenta una diversidad de características físicas y mecánicas en su terreno de fundación, que incluye la presencia de varios tipos de suelos, como arcillas arenosas, gravas arcillosas, gravas limosas, limos arcillosos, arenas arcillosas y arenas limosas. Estos suelos se han clasificado tanto según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como según la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO), abarcando diversas categorías como CL, GC, GM, ML, SC, SM, A-2-4(0), A-4(1), A-1(b), A-2-6(0), A-4(0), A-4(4), A-4(8), A1-b(0), A1-a(0), A-4(3), A-4(6), A-6(8), A-6(9), A-6(7), A-4(5), A-7-6(19). Además, se han identificado valores de Límite Líquido (LL) que oscilan entre 16.35% y 42.92%, así como valores de Índice de Plasticidad (LP) que varían desde 1.3% hasta 22.42%. En relación a las propiedades físico-mecánicas de los materiales provenientes de canteras utilizados en la carretera, se han categorizado de la siguiente manera: la cantera ubicada en el kilómetro 6+700 ha sido clasificada como GC según el SUCS y como A1-a(0) según AASHTO, siendo utilizada como material de relleno para la sub-rasante. La cantera en el kilómetro 16+600 se clasifica como GP-GM en el



SUCS y como A1-a(0) en AASHTO, y se emplea como subbase granular. La cantera Ventilla en Rosaspata, ruta Tiquitiqui, se clasifica como GC en el SUCS y como A1-a(0) en AASHTO, siendo utilizada como relleno para la sub-rasante. Por último, la cantera Río Guitarrane se clasifica como GW en el SUCS y como A1-a(0) en AASHTO, y se utiliza tanto en la construcción de concreto como relleno para la sub-rasante.

Ccama (2022), En su estudio de tesis, se determina que las propiedades físicas y mecánicas tanto del terreno de fundación como de las canteras en la carretera Pumamarca - Pitij cumplen con las normativas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). En cuanto al terreno de fundación, se encontró que en la mayoría de los suelos explorados en el tramo que abarca desde la progresiva del km 17+250 hasta la progresiva del km 73+500, predominan las características de gravas y arenas mezcladas con arcillas. Estos suelos presentan una granulometría y valores de índices de plasticidad adecuados para desempeñar la función de terreno de fundación de la carretera Pumamarca - Pitij. Además, el valor promedio de California Bearing Ratio (CBR), que es una característica mecánica importante, se sitúa en un 21.30%. Esta clasificación se considera como "muy buena", lo que indica que es factible construir vías sobre este tipo de suelo.

En lo que respecta a las características físicas y mecánicas de las canteras, se realizaron evaluaciones en dos ubicaciones diferentes. En la cantera Challhuahuacho, se encontraron limos y arcillas que representan aproximadamente el 6.8% de la muestra total. El índice de plasticidad es de 5.4%, el desgaste a la abrasión alcanza el 22.76%, y el CBR es del 70%. En la cantera Dv. Colquemarca, el porcentaje de limos y arcillas es máximo de 3.3% en la



muestra total, y no se encontró un valor para el índice de plasticidad, lo que indica que la mayoría del material es de naturaleza granular. El desgaste a la abrasión en esta cantera es del 34.5%, y el CBR se ubica en 71.2%. Estos resultados indican que ambos lugares presentan propiedades adecuadas para su uso en la construcción de la carretera.

Quispe (2016), en su estudio denominado, evaluó la geotecnia y geología y analizó materiales de canteras mediante pruebas de laboratorios de mecánicas de suelos buscando establecer la estructura nueva tiene la capacidad de soporte a cargas grande con pesos elevados, estudio desarrollado mediante análisis y ensayo de laboratorios de las muestras de suelos y para construir la pavimentación se tuvo análisis de suelos con calidad mejor, cumpliendo con los requerimientos y estándares establecidos por el MTC, para construir la estructura de la pavimentación se evaluó el suelo fundido determinando arcillas de plasticidad mediana inestable, en las progresivas se encontró que el CBR es de 0+000 a 1+750 con 5,6 %; de la progresiva con CBR de 1+750 a 2+020 arenas arcillosas con 11.0 %; de la progresiva 2+020 a 3+000 arenas limosas arcillosas (SM-SC). La subrasante evidencio una mejora importante con espesor de 1.50 m; asimismo, para el terraplén se empleó materiales granulares con rocas volcánicas y para la subbase granular las estructuras se ejecutaron con diseño de mezclas de terrenos de canteras siguientes: 60% de hormigones de Cutimbo y ligantes de jallihuaya con 40%, por otro lado, para la base granular se ejecuto mediante la mezcla siguiente: 60% de hormigones de Cutimbo, 20% de piedras chancadas y 20% de canteras ligantes de Jallihuaya, para ejecutar la carpeta asfáltica se aplico las mezclas calientes asfálticas.



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Geotecnia

Es una rama de la geología encargada o destinado a velar por la aplicar principios geológicos en las investigaciones de material natural que componen la corteza terrestre, como las rocas, construcciones, diseño y funcionamiento de proyectos de área ingenieras con especialidad de construcción y diseño de puentes, carreteras, presas, ferrocarriles, acueductos, oleoductos y tuberías de guas, viviendas, centros de detención y estructuras diversas (SGM, s.f).

Pérez y Gardey, (2018) menciona que “la geotecnia, o geotécnica, es aplicar principios de la ingeniería a construcciones de obras públicas basándose en las propiedades de los materiales presentes en la corteza planetaria, por lo tanto, muchos determinan como una rama de ingeniería civil o geológica, que consiste en el estudio de materias que conforman la corteza terrestre para diseñar y ejecutar adecuadamente los proyectos de ingeniería civil”.

Por tanto, es considerado como una rama que investiga y desarrolla métodos para el desarrollo de estructuras en relación con el suelo. La geología, la mecánica de rocas y del suelo, la hidrogeología, la ciencia de los materiales y la ingeniería estructural son subdisciplinas de la geotecnia o ingeniería geotécnica. Se ocupa de la composición y el comportamiento de los suelos, así como de la forma en que reaccionan ante diversas condiciones que podrían provocar un derrumbe o un deslizamiento. Mediante el análisis de las formas del terreno y el lecho de roca, por tanto, aporta a los ingenieros a prevenir catástrofes naturales como los desprendimientos (GeoBiental, 2021).



“La geotecnia podría describirse como aquellas acciones y conocimientos que facilitan entender de manera racional las alternativas de solución de los factores causales que permiten modificar el medio geológico, por tanto, su objetivo es estudiar el suelo” (Gens, s.f).

La geotecnia es tratada como una rama que se encuentra vinculada con áreas de construcción cuyo objeto de estudio es comprender, indagar los componentes naturales que se localizan en la corteza terrestre utilizando principios geológicos, que son fundamentales de comprender al momento de construir puentes, presas, carreteras y edificios (Calderón, 2018).

2.2.2 Elementos de la geotecnia

Berdugo, (1999) menciona que “el tipo de suelo, condiciones del agua subterránea, momento del inicio e historia de esfuerzo y extensiones de la excavación son algunos de los elementos de la geotecnia” (pág.56).

Morilla, (2014) Menciona que “el suelo se utiliza como en su mayoría de casos para la cimentación, asimismo se considera como parte de componentes estructurales, como un elemento de paisajes circundantes, materiales de construcción, que puedo conllevarse a la alteración en las construcciones” (pág.78).

2.2.3 Importancia de la geotecnia en obras viales

Sabemos que las obras viales en la actualidad son construcciones fundamentales y relevantes para el desarrollo de ciudades por ende posee impacto a nivel económicos de un país, ya que posee un valor alto de este sector, asimismo tiene un impacto directo en costes de producción, sumado costes de mantención y



construcción, asimismo esto puede llegar a incrementar costos elevando a niveles altos si estas carreteras están en mal estado, por eso su importancia. Es fundamental emplear determinadas tácticas, técnicas y enfoques técnicos dentro de la infraestructura vial para garantizar que ésta sea de la mayor calidad posible, y una de estas herramientas o procesos a tomar es la Geotecnia (Cedeño & Zambrano, 2019).

Cordero, (2011) menciona que “reducir efectos en las limitaciones, geológicas de proyectos de construcción de carreteras, es fundamental desarrollar estudio de suelos, características y propiedades de la misma con calidez eficiente que permita identificar tipos de peligro al que está expuesto el corredor de la carretera, es decir, establecer las posibilidades de ocurrencia y la magnitud con las que se puede presentar.

Delgado, (2017) menciona que las investigaciones geológico-geotécnicas son un proyecto muy rentable que puede reducir los costes de construcción y mantenimiento, a la vez que mejora en gran medida la calidad técnica de la obra durante las fases de planificación y construcción. El valor de estos estudios para el diseño de carreteras es de fundamental importancia ya que nos dan información sobre las circunstancias y limitaciones que puede tener el terreno estudiado, lo que nos permite elegir los mejores parámetros para el diseño de la carretera. La identificación de las características del suelo como la estructura, la cimentación, materiales de excavación, el impacto que poseen en estabilizar suelos naturales, el sistema de drenaje, condiciones hidrológicas y los materiales que se van emplear en diferentes capas paviméntales que son también consideraciones importantes.



2.2.4 **Análisis geotécnicos**

Es importante considera la identificación adecuada de las propiedades del terreno de rocas donde se construirá la obra es por eso que este examen en profundidad del suelo es necesario para comprender los comportamientos asociados con las alteraciones que se producirán en si situación de tensión. En consecuencia, el análisis geotécnico es un instrumento importante para recoger todos los propiedades geotécnicos y geológicos de áreas de trabajo, así como para definir las sugerencias de diseño de las estructuras a construir y los taludes a excavar (Geoquantics, 2018).

Según Castro, (2021) El análisis geotécnico es considerado un proceso de estudio de los componentes del área geográfica investigada. Esto implica una investigación geotécnica del suelo, que requiere dividir homogéneamente el área de estudio según su potencial de licuefacción y tener en cuenta el perfil estratigráfico, la resistencia de penetración y la vulnerabilidad sísmica del terreno.

2.2.5 **Estudio de suelos**

“El estudio del suelo permite a los investigadores identificar y comprender las características químicas, físicas y mecánicas del terreno, así como sus componentes estratigráficos, es decir los estratos de diversas calidades que conforman la profundidad, la localización de masas de aguas, etc.” (Pacheco, 2016).

2.2.6 **Mecánica de suelos**

Villanueva, (2021) menciona que en las construcciones de carreteras la mecánica de suelos permite identificar las características del suelo como son



químicas, físicas y mecánicas, asimismo busca investigar la viabilidad técnica de la alineación vertical como horizontal, agrupar materiales de corteza, determinar la localización de grado freático y ubicar los materiales de canteras. Por lo tanto, la mecánica del suelo es fundamental en la construcción de carreteras, tanto para determinar las cualidades del terreno para diseñar estructuras de pavimentación, lo que conduce a ejecución adecuada de la construcción de la carretera.

La mecánica del suelo es “una rama de la ingeniería que se ocupa de estudiar las fuerzas y tensiones aplicadas a la superficie terrestre. La aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a las dificultades de construcciones implican consolidar elementos como sedimentos, particular subatómicas que se conocer como mecánica del suelo” (Arqhys Arquitectura, 2012).

2.2.7 Sistema de clasificación de suelos

Platero, (2017) menciona que “actualmente, los ingenieros civiles y geotécnicos emplean dos esquemas de clasificación, que utilizan la distribución por tamaño de grano y la plasticidad de los suelos, los cuales son AASHTO y SUCS” (pág.78).

2.2.8 Sistema SUCS

Platero, (2017) menciona que el actual sistema de categorización de suelos de la AASHTO divide los suelos en ocho clases, denotadas por las letras A-1 a A-8. En este método, los suelos inorgánicos se separan en siete categorías que van de la A-1 a la A-7, cada una de las cuales se subdivide a su vez en 12 subgrupos. Los suelos A-8 tienen una alta concentración de materia orgánica. Por otro lado, es importante resaltar que considerando que el índice de grupo de 0 evidencia materiales de grado "excelente" para ejecutar la construcción de la obra y si tiene



índice de grupo de veinte a más determina que los materiales son "extremadamente malo" para ejecutar la obra.

2.2.9 Sistema AASHTO

Salamanca y Zuluaga, (2014) mencionan que “el método AASHTO se fundamenta principalmente en la determinación del número estructural de la pavimentación, es decir, hace referencia a la resistencia de la estructura requerida para combinar condiciones de soporte del terreno, tráfico de W18, capacidad de servicio terminal y considerar la condición medioambiental” (pág. 110). Una vez determinado el número de estructuras requeridos, se identifica el espesor que hayan sido combinados adecuadamente y consideren los estándares de coeficientes estructurales y los coeficientes de drenaje, asegurando número estructural efectivo \leq necesario que permita dar soporte a las cargas de tráfico previstas durante el tiempo establecido.

2.2.10 Ensayos de laboratorio sobre estudios de suelos

La categorización de terrenos es factible gracias a los métodos que se aplican en las pruebas de laboratorios, donde se determina resultados exactos, que esta viene determinada no sólo por el cumplimiento riguroso de los pasos prescritos por las normas vigentes, sino también por la calidad y el estado del equipo utilizado en el proceso. También de la preparación y los conocimientos del personal encargado, de las condiciones de áreas localizadas, de los métodos de extracción y gestión del muestreo y de muchos aspectos. Hay que disponer de muestras o secciones de un suelo para poder caracterizarlo en el laboratorio y clasificarlo. Las muestras de inspección, de las que sólo se requieren masas representativas, se manejarán cuando los objetivos sean generales y no se



requieran atributos específicos. En cambio, si la información es preciso se debe manejar muestras de laboratorio, que se acoplan a los requisitos en cuanto al tamaño, manejo y proceso de obtención y las condiciones de almacenamiento, entre otros (Botía, 2015).

2.2.11 **Controles de densidad de campo**

Cruz, (2020) menciona que “las densidades húmeda y seca, como el contenido de humedad del suelo compactado, se determinan mediante la densidad de campo, deben compararse con la máxima densidad para evaluar el grado de compactación. Pueden utilizarse las siguientes unidades para expresar los pesos unitarios: gr/cm^3 , kg/m^3 , lb/pie^3 ” (Pag.45).

2.2.12 **Pavimento**

Martínez, (2020) define como “una estructura compuesta por un conjunto de capas superpuestas que se diseñan y construyen utilizando diferentes métodos, normas y estándares técnicas para los materiales apropiados sometidos a diversos procesos de construcción con el fin de lograr una superficie adecuada para la rigidez y la durabilidad requeridas para el tráfico vehicular” (pag.68).

Gavilanes, (2012) menciona que “al estar sometido a las cargas del tráfico, que se transmiten a las diferentes capas, la estructura es compuesto por capas con materiales graduados que se ponen unas sobre otras en el suelo natural para incrementar resistencia del suelo” (pág. 48). Debe proporcionar una buena superficie de apoyo para evitar posibles fallos y agrietamientos.



2.2.13 Características y funciones del pavimento

Reducir las acciones de cargas de tráfico, resistir antes los agentes atmosféricos, ostentar una textura superficial adecuada a la velocidad pronosticada de circulación de los carros, son aspectos que repercuten en seguridad vial, por tanto tener soporte y resistencia al desgaste provocado por el impacto abrasivo de neumáticos, tener duración y costo económico, con ruidos de rodaduras, tanto al exterior como interior del vehículo debe ser adecuadamente moderado (Martínez, 2020).

Por su lado Gomez, (2014) indica que un pavimento debe reunir las siguientes condiciones para cumplir adecuadamente sus funciones. Tener resistencia a cargas altas, debe ser resistencia a los agentes atmosféricos; debe tener una textura superficial que se adapte a la velocidad pronosticadas del tráfico.

2.2.14 Tipos de pavimentos

Según Martínez, (2020) existen 4 tipos y son: Pavimentos flexibles, son estructuras de tres capas que comprende base, subbase y pavimentos, que se agrandan y dan espesor a la subrasante que puede contener inclusive subcapas. Pavimento semirrígido, tienen estructura básica igual a pavimento flexible, pero tiene alteración respecto a las capas que se refuerzan de manera artificial aplicando aditivos como la cal, asfalto, cemento, emulsiones u otros productos químicos. Asimismo, tenemos Pavimentos rígidos, las capas de subbase constan solo de dos que son capa superior de hormigón y una capa inferior de base; no obstante, esta va depender de la capacidad portante de subrasante existente que determina si se añade o no una tercera capa. Pavimento articulado, se componen de una capa de



rodadura formada por adoquines, que son bloques de hormigón prefabricados de grosor y espaciado regulares.

2.2.15 Estructura del pavimento

“Los pavimentos son bases granulares y, en algunas situaciones, sub-bases granulares con bases granulares. La subrasante, la sub base, la base y la capa de rodadura son las capas que componen la estructura del pavimento” (Gavilanes, 2012)

2.2.16 Diseño de pavimentos

“Los métodos de diseño del pavimento son directrices desarrolladas por varios organismos gubernamentales para proporcionar a los especialistas las herramientas que necesitan para diseñar las estructuras del pavimento” (Salamanca & Zuluaga, 2014)

2.2.17 Capas de pavimentos

Según Gavilanes, (2012) detallas las capas siguientes:

- a) Sub rasante: es el suelo que sirve como cimiento para toda estructura de un pavimento.
- b) Sub base: tiene como cargo principal de sostener y transferir las tensiones transmitidas por las cargas de tráfico mediante capa inferior y superior. Hay tres tipos diferentes de subbases.
 - Clase 1: se componen con agregados derivados de la compresión de rocas o gravas
 - Clase 2: se componen de áridos extraídos de fuentes de piedra rota o grava mediante trituración o cribado.



- Clase 3: se componen con agregados naturales procesados
- c) Base: es catalogado como capa de soporte donde la mayor parte de las tensiones del vehículo. Otra forma de mejora que requiere esta capa es la estabilidad para soportar las cargas del tráfico.
- d) Capa de rodadura: comprende a la capa superior, que da soporte a presiones verticales de contacto de del neumático.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Infraestructura vial

La infraestructura vial se extiende más allá de la construcción de carreteras. También abarca la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento y la gestión de sistemas de transporte terrestre. Esto incluye la construcción y el mantenimiento de carreteras urbanas, rurales y autopistas, así como puentes, intersecciones y sistemas de señalización. La infraestructura vial es esencial para facilitar la movilidad de personas y mercancías.

2.3.2 Ingeniería geotécnica

La ingeniería geotécnica se enfoca en comprender la interacción entre las estructuras humanas y el suelo. Esto incluye la evaluación de la capacidad de carga del suelo, la estabilidad de taludes y la prevención de asentamientos. Los ingenieros geotécnicos también trabajan en la selección de cimentaciones adecuadas y en la mitigación de riesgos geotécnicos en proyectos de construcción.

2.3.3 Indicadores de evaluación de suelos

Los indicadores de evaluación de suelos son herramientas clave para caracterizar las propiedades del suelo. El CBR (California Bearing Ratio) es un



indicador crucial que mide la capacidad de soporte del suelo bajo carga. Los índices de plasticidad, como el límite líquido y el límite plástico, describen la capacidad del suelo para cambiar de forma en respuesta al contenido de agua. La granulometría analiza la distribución de tamaños de partículas en el suelo, lo que afecta la compactación y la permeabilidad.

2.3.4 Normativas y estándares

Las normativas y estándares son esenciales para garantizar la calidad y la seguridad en la construcción de carreteras. Estas regulaciones son establecidas por agencias gubernamentales y organizaciones profesionales y establecen los requisitos mínimos para aspectos como la capacidad de carga, el diseño de pavimentos, la señalización vial y la durabilidad. Cumplir con estas normativas es fundamental para la aprobación y la seguridad de la carretera.

2.3.5 Capacidad de soporte del suelo

La capacidad de soporte del suelo es una propiedad crítica en la construcción de carreteras. Un suelo con alta capacidad de soporte puede soportar mejor las cargas del tráfico sin asentamientos excesivos. El CBR es una medida fundamental para determinar la capacidad de carga del suelo y, por lo tanto, guiar el diseño de la estructura de pavimento y las fundaciones.

2.3.6 Propiedades mecánicas de materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción de carreteras son fundamentales. La resistencia a la compresión mide la capacidad de un material para soportar cargas verticales. La durabilidad se refiere a la resistencia del material a condiciones climáticas adversas y al desgaste causado



por el tráfico. La respuesta a cargas repetidas es crítica para evitar deformaciones permanentes en el pavimento.

2.3.7 Canteras y materiales de construcción

Las canteras son fuentes clave de materiales de construcción como grava, arena y roca triturada. Evaluar la calidad y disponibilidad de estos materiales es crucial para la eficiencia de costos y la calidad de la construcción de carreteras. Las canteras también deben estar estratégicamente ubicadas para minimizar los costos de transporte de materiales.

2.3.8 Diseño de pavimentos

El diseño de pavimentos es una disciplina crucial que involucra la determinación de la estructura, el espesor y los materiales adecuados para la superficie de la carretera. Considera factores como el tráfico previsto, el clima local y las propiedades mecánicas de los materiales. El objetivo es crear un pavimento resistente y duradero que garantice la seguridad y la comodidad de los usuarios.

2.3.9 Seguridad vial y durabilidad

La seguridad vial es una prioridad en la construcción de carreteras. Esto implica la implementación de características de diseño y construcción que minimicen riesgos como derrapes, choques y deslizamientos. La durabilidad se relaciona con la capacidad de la carretera para mantener su integridad y funcionalidad con el tiempo, resistiendo el desgaste causado por el tráfico y las condiciones climáticas.



2.3.10 **Sostenibilidad en la construcción de carreteras**

La sostenibilidad es un enfoque cada vez más importante en la construcción de carreteras. Esto implica la gestión responsable de los recursos naturales, la reducción del impacto ambiental y la consideración de factores sociales y económicos. La construcción de carreteras sostenibles busca minimizar los efectos negativos en el entorno natural y social mientras garantiza la funcionalidad a largo plazo de la infraestructura vial.

2.3.11 **Cantera**

La primera definición del término cantera se refiere a un lugar donde se recogen piedras u otros materiales similares. Las canteras son, pues, actividades mineras a cielo abierto. Una cantera puede proporcionarle granito, piedra caliza o mármol, por mencionar algunas opciones. Es importante tener en cuenta que una cantera es un recurso finito: en algún momento se agotan las piedras y no se pueden reponer (Pérez & Gardey, Definición de:, 2016).

2.3.12 **Compactación de suelos**

Suarez, (2019) La compactación del suelo se define como el aumento del peso específico del suelo inducido mecánicamente. La compactación del suelo es importante porque aumenta la resistencia y disminuye la capacidad de deformación.

2.3.13 **Granulometría**

La granulometría es una técnica que permite determinar el tamaño de partículas de sedimentación de las muestras, a través de la evaluación granulométrico se identifica datos importantes, como son origen, sus cualidades



mecánicas, y calcular la magnitud y número de granos de acuerdo al tamaño establecido en la escala de granulometría (Barahona, 2021).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Fue de tipo descriptivo experimental, de acuerdo a Ocegueda (2004), refiere que este tipo consiste en combinar datos cuantitativos como cualitativos, que después son interpretados y analizados minuciosamente en este caso la evaluación de suelo y análisis geotécnico (Huapaya & Ginocchio, 2018).

3.1.2 Diseño de la investigación

En palabras de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) refiere que “se utiliza los diseños para analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular no para responder a las preguntas de investigación exploratorias o descriptivas” (pág. 236).

Por ende, la investigación comprende a un diseño cuasiexperimental que demuestra que existe manipulación de variables de forma deliberada, aunque sea un solo variable para observar y describir el impacto que tiene sobre otra variable.

3.1.3 Método

Es Analítico lógico según el autor de Behar (2008), y la presente investigación se trabajará bajo las teorías metodológicas de Hernandez, Fernandez, & Baptista, (2010); Ñaupas, Novoa, & Villagomez, (2014), Charaja (2019) cuyos libros están basados en una investigación de un enfoque cuantitativo en las ciencia naturales.



3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población se refiere a la totalidad del tramo de la carretera Joya - Arequipa que tienes como objeto de estudio. En este caso, la población está compuesta de la prog 0+000 a prog 2+888 kilómetros completos de la carretera, que es la extensión total de la vía que deseas analizar en términos de suelos de fundación y materiales para pavimentos.

La muestra se compone de 12 calicatas y las 3 canteras, ya que estas ubicaciones específicas son las que has seleccionado para obtener información y materiales relevantes para tu estudio. Estas ubicaciones representan una selección estratégica dentro de la población total de la carretera Joya - Arequipa, permitiéndote obtener datos y materiales representativos para tu análisis geotécnico y la selección de materiales para pavimentos.

3.3 DISEÑO ESTADÍSTICO

En el ámbito del diseño estadístico por ser descriptivo analítico, por tanto, la investigación se ejecutó más en campo y laboratorio para el diseño se toma en cuenta de manera descriptivas en tablas de frecuencia y tablas descriptivas de acuerdo a los resultados.

3.4 PROCEDIMIENTO

1. Recopilación de información histórica:

- Se obtuvo acceso a archivos de proyectos anteriores, informes de construcción y documentación técnica relacionada con la carretera Joya - Arequipa.
- Se recopilaron planos, especificaciones de diseño y registros de construcción de archivos gubernamentales y de ingeniería.

2. Análisis de antecedentes:

- Se revisaron los informes de proyectos viales previos y se analizaron las decisiones tomadas en términos de geotecnia y pavimentos.



- Se evaluó cómo se enfrentaron los desafíos geotécnicos en el diseño original de la carretera.

3. Toma de muestras de suelos y materiales de pavimento:

- Se seleccionaron sitios estratégicos a lo largo del tramo de la carretera para realizar la toma de muestras de suelos y materiales de pavimento.

- Se recopilaron muestras representativas en calicatas y canteras, considerando diferentes profundidades y áreas clave.

4. Ensayos de laboratorio de suelos:

- Las muestras de suelos se llevaron al laboratorio para realizar ensayos geotécnicos, incluyendo análisis granulométricos, límites de Atterberg, pruebas de compactación Proctor y pruebas CBR.

5. Ensayos de laboratorio de materiales de pavimento:

- Las muestras de materiales de pavimento obtenidas de las canteras fueron sometidas a ensayos de laboratorio para evaluar su resistencia, durabilidad y respuesta a cargas.

- Se realizaron ensayos de granulometría, plasticidad, desgaste, durabilidad y otros ensayos relevantes para determinar las propiedades de los materiales.

6. Registro de equipos de laboratorio utilizados:

- Se mantuvo un registro detallado de los equipos de laboratorio utilizados en los ensayos de suelos y pavimentos.

- Se documentó la calibración y condiciones de funcionamiento de los equipos para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados.

7. Comparación con normativas:

- Se evaluó cómo los resultados de los ensayos se alinearon con los estándares de ingeniería vial, como la EG-2013.

- Se determinó si las propiedades de los suelos y materiales cumplieron con los requisitos de diseño y construcción en ese momento.

8. Elaboración del informe final:

- Se elaboró un informe final que incluyó una descripción detallada de la metodología, los resultados de los ensayos, los análisis comparativos y las conclusiones.

- El informe presentó recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio, destacando las implicaciones para el diseño y la construcción de futuros proyectos viales.

3.4.1 Variables

Variable independiente

Análisis Geotécnico integral y selección de materiales adecuados

Variable dependiente

Estado del terreno de fundación y propiedades mecánicas de los materiales

3.4.2 Operacionalización de Variables

Tabla 1.

Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR
Variable Independiente Análisis Geotécnico integral y selección de materiales adecuados	- Enfoque geotécnico integral.	- Evaluación del CBR del terreno
	- Selección de materiales	- Identificación de zonas con bajo CBR - Análisis de propiedades mecánicas de los materiales - Cumplimiento de la normativa vigente
Variable Dependiente: Estado del terreno de fundación. Propiedades mecánicas de los materiales	- Capacidad de soporte	- Resultados del ensayo CBR
	- Resistencia de los materiales	- Ensayos en base las exigencias de la norma vigente EG-2013
	- Durabilidad	
	- Gradación	

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se realizó en la progresiva de inicio 0+000 (intersección de Av. Italia con la Carretera Regional Arequipa la Joya, bajo las coordenadas este: 221,671.170; y norte: 8'191,259.510, de la ciudad de Arequipa que se localiza a 2328 msnm de altitud, y la parte inferior se localiza a 2041 msnm de altitud, en la zona llamado Huaico de Uchumayo y la parte superior de encuentra a 2810 msnm.

Geográficamente, el proyecto se localiza en el distrito de Cerro Colorado en las coordenadas siguientes:

Tabla 2.

Coordenadas de la Progresiva de inicio 0+000 a 2 + 8 8 8

Coordenada este	X	:	221671.170	224269.468
Coordenada norte	Y	:	8191259.510	8190464874
Altura		:	2467.29 m.s.n.m.	2485.18 m.s.n.m

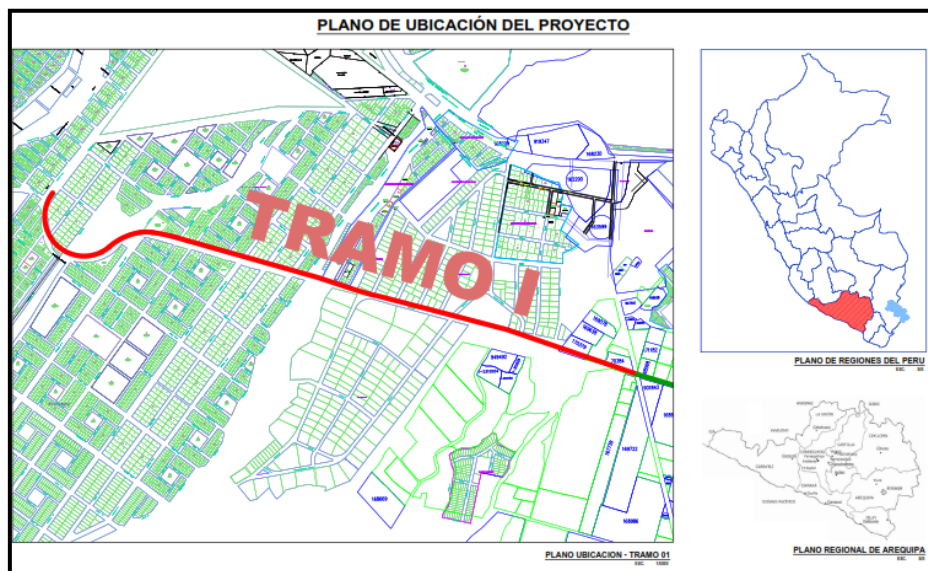


Figura 1. Ubicación del lugar de estudio



4.1.1 **Accesibilidad**

Los accesos son por las rutas terrestre vía asfaltada:

- Vía Arequipa – La Joya, con longitud aproximada de 1.7 Km.
- Vía de Evitamiento, con longitud aproximada de 1.0 Km.

4.1.2 **Clima**

Para la caracterización climatológica de la zona se tomará en cuenta la estación La Pampilla, administrada por SENAMHI, siendo está más cerca de la zona estudiada.

Asimismo, este sector presenta climatología seca templado, donde humedad es de 46% que en estación de verano llega a 70% y en estaciones como otoño, invierno y primavera suele ser de 27%, ahora en temporadas de lluvias que se presentan generalmente en meses de enero a marzo y estas no son intensas por tanto son soportables.

4.2 **GEOLOGÍA**

4.2.1 **Geología local**

A nivel local se demuestra 2 etapas de Volcán Sencca y son las siguientes:

Sector superior, se expone en depósitos o almacenes aluviales formada recientemente, compuesta por cenizas, lapilles y limos de una coloración rojiza amarillento con compactación baja de colores anaranjado y Salmon, que se llama como área puzolana, la potencia es variable al inicio del tramo oscila entre 3 a 5 metros, en la parte media se encuentra entre 1 a 2 metros.



Sector Inferior: se expone mediante materiales compactadas con coloración blanco que se llama como área sillar, tiene subyace Sencca, la zona superior a las unidades litológicas en el tiempo y en el espacio, las unidades estratigráficas que se localizan la zona de estudio son de naturaleza volcánica y aluvional-sedimentaria

A continuación, se las describirá:

4.2.1.1 Volcánico sencca:

Esta unidad se encuentra compuesto por la riolítica o dacítica, diferenciándose de manera sencilla por la granulometría de cuarzo, lamelas de biotita y feldespatos. Asimismo, estas se encuentran conformado por fragmentos de lavas y pómez, que adquieren forma de redondos o angulosos, que comúnmente tienen tamaños diferentes, por otro lado, estas tienen compactación, cohesión estimable que existen, pero con consistencia baja y que son fácil de desmenuzar. Generalmente estas se exponen en bancos gruesas evidenciando disyunciones prismáticas en su mayoría de veces, conllevando a producir bloques columnares, con cortes horizontales planos. Se diferencias dos fases de acuerdo a la coloración, el primero superior que presenta colores como rosado a marrón rojizo y el segundo inferior que presenta colores grises claros a blanco. Finalmente, en Arequipa existe diversos materiales que se aplica para construir obras, que comúnmente se alternan con tufos, donde se encuentran capas con consolidación baja de gravas, tufos retrabajados y arenas.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos eólicos	Q-a	
			Depósitos aluviales	Q-al	
		Pleistoceno	Depósitos piroclásticos recientes	Qr-pl	
			Morrenas y fluvio glaciares	Q-mfg	
			Flujos de barro	Q-fb	
	Grupo Barroso		Volcánico Barroso	Q-vba	
			Volcánico Chila	Q-vchi	
	Conglomerado Aluvial Pleistoceno	Q-pl			
	TERCIARIO	Superior	Volcánico Sencca	Tp-vsa	
			Fm. Millo	Ta-mi	
Medio		Grupo Tacaza	Tm-t		
Inferior		Fm. Sotillo	Ti-s		
		Fm. Huanca	Ti-h		
MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Fm. Chilcane	Ks-chi	
			Fm. Acurquina	Kme-ar	
		Inferior	Fm. Murco	Ki-mu	
			Grupo Yura	Huelhuani	Ki-hu
				Gramadal	Ki-gr
	JURASICO	Superior	Labra	JKI-la	
			Cachios	Ja-ca	
			Puente	Js-pu	
		Medio	Fm. Socosani	Jm-so	
		Inferior	Volcánico Chocolate	J-cho	
PRECAMBRICO			Complejo Basal de la Costa	Pe-gn	

Figura 2. Columnas estratigráficas

FUENTE: INGEMMET

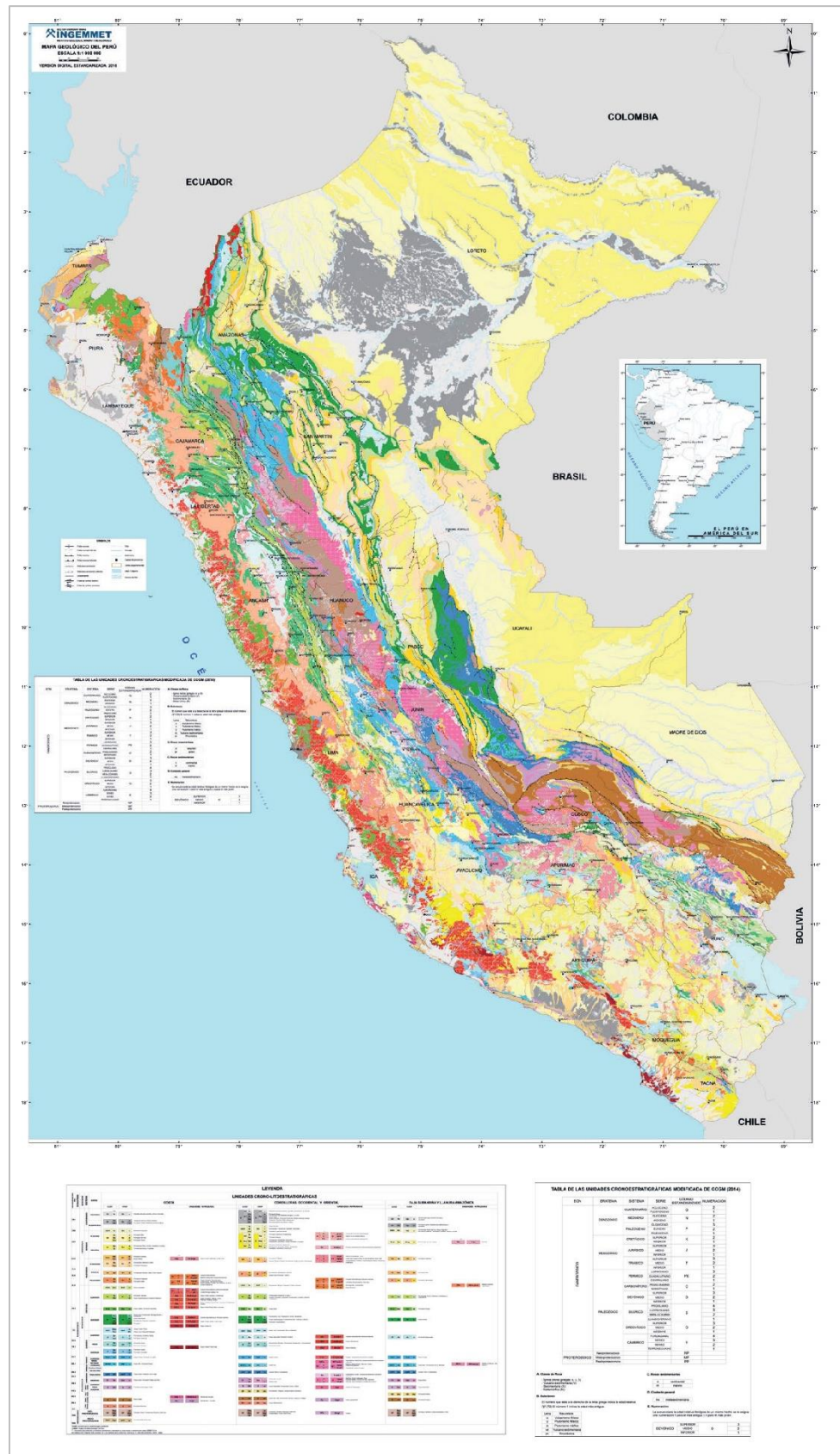


Figura 3. Mapa Geológico

FUENTE: INGEMMET (ANEXOS)



4.2.2 Geología Regional

En la región comúnmente se localizan unidades geológicas como rocas sedimentarias, intrusivas, macizos rocosos volcánicos, metamórficas que inician con paleozoico, mezoico, terciarias y las actuales.

En la región, específicamente en distritos de Cerro Colorado, Sachaca, Arequipa y Yanahuara se localizan asentamientos de unidades estratigráficas con almacenes aluviales (Q-al), rocas intrusivas del grupo gabro diorita (KTi gbdi), flujos de barro (Q-fb) y Volcánico Sencca (Tp-vse), depósitos de lahares.

Los almacenes aluviales generalmente son instalados o situados en los flancos del río Chili, por tanto, involucra distritos de Arequipa, Sachaca y Yanahuara en cambio en sectores del sur se exponen flujos de barros limitados y rocas intrusivas con magnitud baja, en la parte de oeste se localizan los tufos volcánicos y por el noreste con el Volcán Sencca.

4.2.2.1 Gneis Charcani (NPe-gn):

Esta constituido por escasos afloramientos reconocidos en las inmediaciones de la planta hidroeléctrica Charcani V. Corresponde a un gneis marron grisáceo de feldespato, cuarzo y biotita. Presenta una marcada de foliación con una inclinación general hasta el noroeste.

4.2.2.2 Volcánico Chocolate (Ji-cho)

Esta parte estudia rocas conformados por calizas, andesitas y volcarenitas, que se caracterizan por colores como parda a marrón localizadas en superficies intemperizadas que son un aspecto que se refleja



en los paisajes, posee una extensión corta debido al revestimientos volcánica, que afloran islas rocosas antiguas entre la toba rosada.

4.2.2.3 Formación Socosani (Jm-so)

Está constituido por un reducido afloramiento de calizas en el fondo del río Chili, 2km aguas debajo de la bocatoma de la planta Charcani V. Corresponde a calizas grises de 90m de espesor, intercaladas en su nivel superior por lutitas negras fosilíferas con ausencia total de material volcánico.

4.2.2.4 Grupo Yura (JsKi-yu)

Se encuentra conformado por la disminución de afloramiento de lutitas y areniscas, que se exponen en las quebradas de agua de Fierro a uno 50 m al norte de la carretera que demuestra accesibilidad de casa de máquinas de Charcani V. Resaltando que las areniscas presentan coloración gris claro con tonos verdes; tienen grano fino de forma subangular a subredondeada, cemento calcáreo, con cohesión alta y estratificación en capas 5 a 30cm. Las lutitas son de color gris claro, que por intemperismo son abigarradas; poco friables y finamente laminadas, buzamientos de 20°NE. Secuencia de 30m.

4.2.2.5 Volcánico Sencca o Formación Añashuayco (NP-añ)

Implica rocas volcánicas llamadas tobas, que demuestran tener niveles de compactación diferentes que inicia desde las soldadas, macizos, compactadas de manera ligera y puzolanas. Tiene afloramiento en las quebradas de río Chili, donde presentan colores masivos, rosáceas con



texturas granulares, con implicaciones de pómez y líticos, que a veces se exponen fragmentaciones subverticales haciendo que el agua de subsuelo circule por estas.

4.2.2.6 Flujos de Barro (Qpl-fb)

Que corresponden a depósitos aluviales, en este caso de laderas del Misti. Compuesta en su gran parte de arenas limosas (60 a 80%), con bloques (20 a 30%), de color pardo a gris oscuro, con una cierta compacidad, que permite ver cortes y laderas escarpadas. Se presentan en la margen izquierda del río Chili, de notable espesor.

4.2.2.7 Depósitos Aluvionales (Qh-al_1)

Consisten en almacenes gruesos, que a veces presentan boloneras, descansando muchas veces de manera directa encima de las tobas ignimbrítica de Añashuayco. Generalmente, tienen colores como cemento, gris que tiene capaz de Pómez, su afloramiento específicamente se localiza al lado derecho de río Chili.

4.2.3 Geología estructural

La distribución de las unidades geológicas, así como geomorfológicas, indican que en el área de Arequipa predominan elementos estructurales de orientación NW; conforme a la orientación general de las Cordilleras en esta latitud, que se refleja en la alineación del Batolito de la Costa y Cadena Volcánica.

En cuanto a los tobas volcánicos del Sencca, es de notarse el fracturamiento subhorizontal y subvertical, y localmente un cierto flujo de origen depositación en los niveles profundos; producidos por el enfriamiento de las tobas.



El tectonismo ha afectado con limitada intensidad las rocas expuestas en el área, no registrándose manifestaciones de plegamiento; el emplazamiento de los volcanes Chachani y Misti, han determinado los principales rasgos estructurales.

No se han encontrado fallas activas en la zona del área del proyecto. Las únicas fallas activas relacionadas con la actividad sísmica son las de sincha-lluta y Huambo-Cabanaconde, ambas se encuentran distantes a la zona del proyecto, no tiene influencia en el proyecto.

4.2.3.1 Geomorfología Regional

Las principales unidades geomorfológicas que se han diferenciado para la zona sur del Perú, siguiendo una sección transversal a la dirección Andina, que va desde Mollendo, pasando por Arequipa, con base a los postulados de Laharie (1985) y, Palacios (1995), se muestran en la figura 5.1.1. Dichas unidades, se describen a continuación en forma referencial, porque son grandes unidades y no están involucradas directamente con el proyecto:

1) Franja Litoral

Es una delgada franja inmediatamente después de la orilla del mar y que se amplían en los deltas de los ríos. Esta unidad comprende una estrecha Zona de Playa (0 a 10 m.s.n.m.) y superficies de Terrazas Indiferenciadas (10 a 350 m.s.n.m.), las cuales sobreyacen al basamento.

2) Cordillera de la Costa



Se localiza al costado y en algunos casos antes de la franja litoral.

En algunos casos se indica que comprende: el Basamento de la Costa (0 a 900 m.s.n.m.), conformado por rocas antiguas, gneis, granitos, esquistos, pegmatitas. Graníticos, de edades antiguas desde el paleozoico hasta el terciario, es una cordillera que recorre el litoral peruano.

3) Llanura Preandina.

Esta unidad se localiza en la Cordillera de la Costa y el batolito de la Caldera, que es la unidad que rodea a la ciudad de Arequipa. Esta franja que tiene anchos desde 50 a 100 km con elevación de 1500m. Presenta relieves planos a moderados y un clima desértico (Pampas de vitor y siguas) donde es posible observar la presencia de numerosas formas de dunas. Están conformadas por rocas sedimentarias y volcánicas-sedimentarias del grupo Moquegua, cubiertos por depósitos eólicos arenas, limos y gravas. De edad meso-cenozoico.

4) Batolito de la Caldera.

Las Montañas del Batolito de la Caldera, comprenden una secuencia de rocas intrusivas, granodioritas, dioritas, aplitas y a veces con intrusiones de rocas metamórficas. De edad terciario, que conforman un relieve irregular de pequeñas elevaciones de orientación NW-SE, con altitudes de hasta 3800 m.s.n.m., que se sitúan aguas abajo de la zona del proyecto, y que encierran a la ciudad de Arequipa, a manera de una cuenca semicerrado.

5) Depresión de Arequipa (Unidad más importante)



La Depresión de Arequipa, es una superficie comprendida entre el Batolito de la Caldera y el flanco de la Cadena Volcánica occidental (Misti, Chachani, Pichupichu) que presenta una ligera inclinación al SW, con una altitud promedio de 2350 m.s.n.m. Es en esta parte donde se ubica el proyecto, es decir área norte está comprendida por unidades geomorfológicas menores, que son producto de los aluviones de Arequipa, así como relieves originada por las diversas coladas de barro, lahares flujos piro clásticos del volcán Chachani.

Esta unidad presenta a su vez varias subunidades dentro las cuales se encuentra el valle del río Chili.

Al norte de la ciudad se encuentran unidades geomorfológicas locales como, son las diversas quebradas, que atraviesan la planicie camino a yura. (Quebrada de Añashuayco).

Creando un relieve plano inclinado, irregular por el drenaje natural que se ha dado en la zona, y que se incrementa en épocas de lluvia, dejando al descubierto parte de la unidad sencca, y dándose varios afloramientos de sillar o ignimbritas, en toda la zona.

El Valle del río Chili, es la unidad erosiva más importante, tiene una dirección NNE a SSW, y a partir de Tiabaya cambia bruscamente de dirección hacia el NW. El río Chili ha labrado un cañón sobre lavas e ignimbritas. Presenta una profundidad de 200m aproximadamente y sus paredes son muy empinadas, con pendientes entre 60° y 80° de inclinación.

6) Cadena Volcánica



La Cadena Volcánica del Barroso, de alineación NW-SE, comprende a los principales volcanes de Arequipa, con alturas mayores de 5500 m.s.n.m.: Chachani (6087 m.s.n.m.), Misti (5821 m.s.n.m.) y Pichu Pichu (5540 m.s.n.m.).

Esta cadena dentro de la cordillera occidental, está alineada con la dirección andina y se extiende desde el sur de Ayacucho hasta la zona norte de Chile. Está conformado por estratovolcanes que tienen su base entre los 3500 a 4000 m.s.n.m. y se elevan sobre los 4700 a 6300 m.s.n.m. La franja Volcánica está conformada por lavas andesíticas a dacíticas, ignimbríticas y volcaniclastos.

7) Superficie Puna y Cuencas Volcanoclásticas

Esta unidad geomorfológica denominada también Altiplano, involucra valles longitudinales interandinos con orientación de NW-SE localizados entre la Cordillera Occidental y la Oriental, que son cortados por valles transeccionales orientados NE a SW.

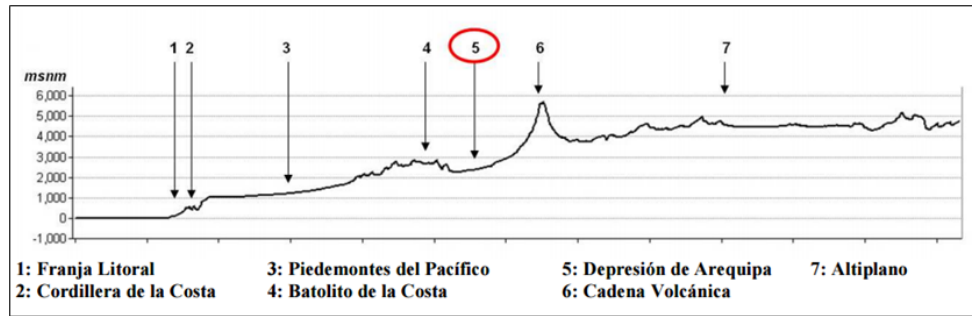


Figura 4. Principales unidades morfológicas generales del sur del Perú

FUENTE: INGEMMET

La descripción la haremos siguiendo el criterio de su fuente de origen, es decir las que se originaron en los flancos y al piedemonte del Chachani, luego del Misti y por último del Pichu Pichu, Estas geoformas pertenecen a la unidad geomorfológica regional.

4.2.3.2 Unidades relacionadas al Chachani:

Estas unidades hacen referencia a formación de cordilleras pequeñas que tienen un rol fundamental en el desarrollo geomorfológico del sector noroccidental de Arequipa. Que lograron tener altitud de 2900 msnm compuestas generalmente de andesitas y basálticas, la extensión de estas unidades que tienen orientación al sur es cortado por la carretera Yura – Arequipa. Es una altura que tiene forma redondeada formando una estructura de domo y exponen el frente del avance de andesitas coladas.

Asimismo, se encuentra la presentación clara del abanico aluvial del azufral en el flanco oriental de Chachani, posiblemente este se encuentre controlado por fallas. Generalmente este se presenta visiblemente en quebradas con formas rectilíneas, que tienen escarpas en parte nacientes. Además, tienen rellenos específicamente de materiales



aluvionales compuestos por rocas volcánicas, donde predomina las andesitas que se exponen en diferentes dimensiones formando conjuntos con consolidación baja, es decir sin elección alguna.

Por otro lado, es importante resalta el piedemonte de Estanquillo que comúnmente se localiza al pie de domos de cortaderas, esta guarnición tiene una extensión de 7 km a más de longitud y de 1,5 km de ancho aproximadamente y se encuentra disectada estrechamente con las quebradas que surgieron por la escorrentía superficial, favoreciendo la observación de rellenos de esta área. De manera general, los rellenos se realizan con materiales aluviales, su afloramiento se produce en suelos de pie de domos específicamente de la cordillera Barroso, que tiene tres unidades y son las siguientes:

Las pampas de tufaceas de alto la Libertad, compuesta en su totalidad por almacenes tufaceos denominados nubes ardientes con materiales eyectados sólidamente producto de las erupciones piro clásticas de Chachani que fueron revistiendo extensivamente el sector occidental de Arequipa, llegando a formar el límite morfológico del batolito de la caldera, debido que se localizaron tufos en partes quebradas que recortan la misma, asimismo estas nubes tuvieron extensión mayor en áreas del sur y posiblemente también el este ya que hubo rellenos en áreas quebradas Huaranguero y Nacaco.

4.2.3.3 Unidades relacionadas al nevado Pichu - Pichu:

Son unidades que se caracterizan por presentan avalanchas de barro producto del derrumbe y progrado iniciado por el flanco occidental de



Pichu-Pichu, donde hubo presencia mayor de lodos y barros con magnitud alta acompañado de agua fría, adquiriendo así almacenes de espesores mayor a 200 m debido que arrastraron todo lo entrado a su paso como son los bloques de tufos y angulosos de rocas tufaceos y andesitas. Por otro lado, se encontró que no existe estratificación ni clasificación solo se demostró masas caóticas que revisten todas las rocas que afloraban.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS

5.1.1 Evaluación del terreno de fundación

Con el objeto de determinar la calidad de los materiales que compone el terreno de fundación se clasifica la carretera de primera clase con IMDA de 3865 veh/día en el estudio de tráfico vial, según el Manual de Carreteras, Suelos, Geotecnia, Geología y Pavimentos MTC-2014.

Tabla 3.

Características de la carretera Arequipa – La Joya

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	4 calicatas x km	Las Calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada

FUENTE: EGE-2013

Se realizaron 12 calicatas exploratorias a lo largo de los 2.88 km de longitud del proyecto. En estos pozos se extrajeron muestras representativas del suelo natural. Cada pozo se identificó por un número y se registró su localización en kilómetros desde el inicio del proyecto, la profundidad a la que se tomaron las muestras y el número de muestra asignado. Posteriormente, las muestras se colocaron en bolsas de polietileno para su transporte a los laboratorios.

Además, se llevaron registros detallados de cada pozo exploratorio. Estos registros incluyeron una descripción exhaustiva de los estratos encontrados, con información sobre el grado de humedad, compacidad, consistencia, color del suelo, presencia de sustancias extrañas y la presencia de bolones, entre otros detalles relevantes.

Tabla 4.

Ubicación de calicatas y muestras

PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROF (m)	LADO
0+020	C7	M1	0.00 - 0.50	DERECHO
		M2	0.50 - 1.00	
		M3	1.00 - 1.50	
0+260	C8	M1	0.25 - 1.50	IZQUIERDO
0+520	C9	M1	0.00 - 1.50	DERECHO
0+780	C10	M1	0.00 - 0.30	IZQUIERDO
		M2	0.30 - 1.50	
1+020	C11	M1	0.00 - 0.30	DERECHO
		M2	0.30 - 1.50	
1+200	C12	M1	0.00 - 0.30	IZQUIERDO
		M2	0.30 - 1.50	
1+460	C1	M1	0.00 - 1.50	DERECHO
1+740	C2	M1	0.40 - 1.50	IZQUIERDO
2+020	C3	M1	0.00 - 1.50	DERECHO
2+200	C4	M1	0.00 - 1.10	IZQUIERDO
2+480	C5	M1	0.00 - 0.30	DERECHO
2+700	C6	M1	0.00 - 0.70	IZQUIERDO

5.1.1.1 Caracterización físico mecánica del terreno de fundación

Las pruebas de laboratorios facilitaron analizar las propiedades del suelo a través de ensayos mecánicos y físicos de las muestras disturbadas en suelo provenientes de cada área explorada. Asimismo, los ensayos se ejecutaron bajo la normativa del MTC Manual de Ensayo de Materiales aprobado y publicado en el año 2016.

Las muestras representativas fueron sometidas a los siguientes ensayos de laboratorio

Tabla 5.

Ensayos de laboratorio

ENSAYOS	REFERENCIAS NORMATIVAS	
	ASTM O NTP	MTC
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	ASTM D 422	MTC E 107
CONTENIDO DE HUMEDAD	ASTM D 2216	MTC E 108
LÍMITE LÍQUIDO	NTP 339.129	MTC E 110
LÍMITE PLÁSTICO	NTP 339.129	MTC E 111
PROCTOR MODIFICADO	ASTM D 1557	MTC E 115
C.B.R.	ASTM D 1883	MTC E 132

5.1.1.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad es un parámetro fundamental en el estudio geotécnico de suelos, ya que influye significativamente en las propiedades y el comportamiento de los materiales granulares utilizados en pavimentos. En el contexto de este estudio en particular, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del contenido de humedad en 12 puntos de muestreo a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya (Prog 0+000 al Prog 2+888) en el año 2021. Estos puntos de muestreo se seleccionaron estratégicamente para obtener una representación completa de las condiciones del suelo a lo largo de la carretera.

En esta sección, presentaremos los resultados detallados del contenido de humedad en los 12 puntos de muestreo, analizando

las variaciones observadas y su relevancia para el diseño y la construcción de pavimentos en la Carretera Arequipa – La Joya.

Tabla 6.

Resumen de calicatas contenido de humedad

PROGRESI VA	CALICA TA	MUEST RA	PROF.(m)	HUMED AD NATURA L %
0+020	C-7	M-1	0.00-0.50	5.3
		M-2	0.50-1.00	4.8
		M-3	1.00-1.50	4.1
0+260	C-8	M-1	0.25-1.50	11.9
0+520	C-9	M-1	0.00-1.50	10.1
0+780	C-10	M-1	0.00-0.30	5.6
		M-2	0.30-1.50	8.2
1+020	C-11	M-1	0.00-0.30	7.2
		M-2	0.30-1.50	6.6
1+200	C-12	M-1	0.00-0.30	6.9
		M-2	0.30-1.50	10.3
1+460	C-1	M-1	0.00-1.50	5.4
1+740	C-2	M-1	0.40-1.50	6.3
2+020	C-3	M-1	0.00-1.50	5.5
2+200	C-4	M-1	0.00-1.10	5.1
2+480	C-5	M-1	0.00-0.30	8.8
2+700	C-6	M-1	0.00-0.70	1.9

En la tabla 6 Las cifras representan el contenido de humedad natural en diferentes ubicaciones y profundidades a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya. Cada valor de humedad se expresa en porcentaje (%) y proporciona información clave sobre el estado de los suelos en esas ubicaciones específicas. Aquí hay un análisis de las cifras de humedad:

5.1.1.1.2 Terreno de Fundación en Zona Seca.

En las áreas caracterizadas por un contenido de humedad tan bajo, se identifican desafíos específicos en cuanto a la estabilidad del terreno de fundación. La baja humedad puede



provocar una disminución de la cohesión y resistencia del suelo, lo que requiere medidas de mitigación:

- Compactación Controlada: Se recomienda una compactación precisa y controlada para mejorar la densidad del suelo y garantizar una base sólida para el pavimento. Esto es esencial para reducir el riesgo de asentamiento.

5.1.1.1.3 Terreno de Fundación en Zona Saturada.

En contraste, las áreas con alto contenido de humedad presentan desafíos diferentes relacionados con la saturación del suelo. Para garantizar la estabilidad en estas ubicaciones, se deben tomar medidas adicionales:

- Sistemas de Drenaje Eficientes: La implementación de sistemas de drenaje adecuados, que incluyan drenajes superficiales y subterráneos, es esencial para reducir la saturación del suelo y evitar problemas de estabilidad.

- Estabilización del Suelo: La adición de materiales secantes, como arena o grava, puede ayudar a reducir el contenido de humedad y mejorar la resistencia del suelo.

- Análisis Geotécnico Detallado: Se recomienda realizar un análisis geotécnico exhaustivo para evaluar la capacidad de carga y la estabilidad del terreno de fundación en condiciones saturadas.

Estos resultados resaltan la importancia de adaptar las prácticas de construcción y estabilización a las condiciones

geotécnicas específicas encontradas a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya. La comprensión y la consideración adecuada de la variabilidad en el contenido de humedad son esenciales para asegurar la seguridad y la durabilidad de la infraestructura vial en este proyecto.

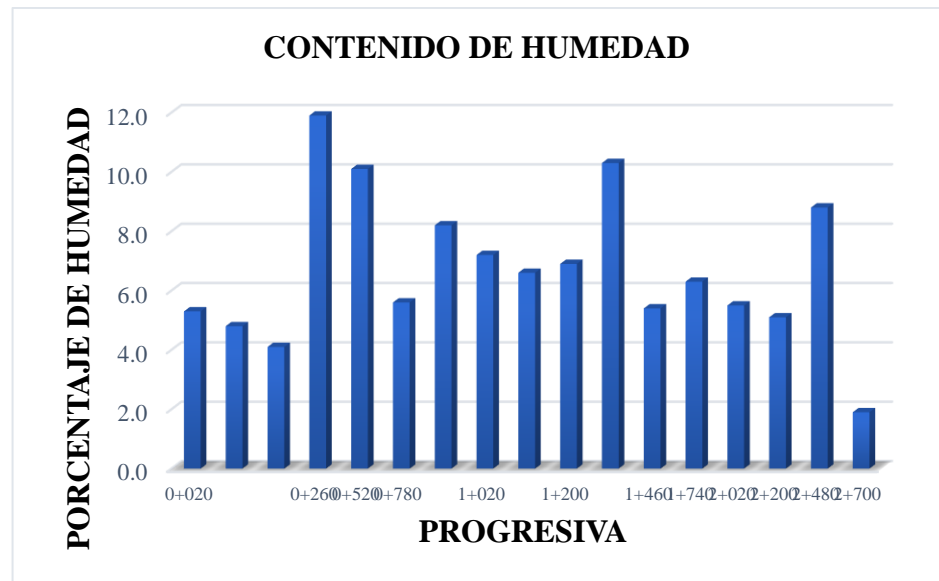


Figura 5. Comportamiento de humedad natural del 0+000 – 2+880

5.1.1.1.4 Análisis Granulométrico y Clasificación SUCS y AASHTO

El análisis granulométrico y la clasificación de suelos según los sistemas SUCS y AASHTO son componentes esenciales en la caracterización de los suelos utilizados en proyectos de ingeniería vial, como la construcción y el mantenimiento de carreteras. Estos análisis permiten comprender la distribución de los tamaños de partículas en el suelo y clasificarlo de acuerdo con estándares geotécnicos reconocidos.



En este estudio, se llevaron a cabo análisis granulométricos y clasificaciones SUCS y AASHTO en 12 puntos de muestreo a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya (Prog 0+000 al Prog 2+888) en el año 2021. Estos análisis se realizaron con el propósito de caracterizar de manera integral los suelos en la zona de estudio y proporcionar información fundamental para el diseño, la construcción y el mantenimiento de pavimentos en esta carretera.

La información resultante del análisis granulométrico y las clasificaciones SUCS y AASHTO es esencial para determinar la idoneidad de los materiales del suelo para la construcción de pavimentos, así como para prever su comportamiento frente a cargas y condiciones ambientales variadas. En esta sección, presentaremos los resultados de estos análisis en los 12 puntos de muestreo, analizando las variaciones observadas y su relevancia para el proyecto en cuestión.

Tabla 7.

Resumen del análisis granulométrico por tamizado y clasificación de suelos SUCS y AASHTO

PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	GRANULOMETRIA			CLASIFICACION	
				% G	% A	% F	SUCS	AASHTO
0+020	C-7	M-1	0.00-0.50	28.0	60.0	12.0	SP-SM	A-1-b
			0.50-1.00	51.0	30.0	19.0	GM	A-1-b
		M-3	1.00-1.50	11.0	83.0	6.0	SP-SM	A-1-b
0+260	C-8	M-1	0.25-1.50	8.0	62.0	30.0	SM	A-2-4
0+520	C-9	M-1	0.00-1.50	7.0	62.0	31.0	SM	A-2-4
0+780	C-10	M-1	0.00-0.30	28.0	60.0	12.0	SW-SM	A-1-b
			0.30-1.50	6.0	61.0	33.0	SM	A-2-4
1+020	C-11	M-1	0.00-0.30	34.0	56.0	10.0	SW-SM	A-1-b
			0.30-1.50	10.0	58.0	32.0	SM	A-2-4
1+200	C-12	M-1	0.00-0.30	38.0	49.0	13.0	SM	A-1-a
			0.30-1.50	6.0	64.0	30.0	SM	A-2-4
1+460	C-1	M-1	0.00-1.50	11.0	62.0	27.0	SM	A-2-4
1+740	C-2	M-1	0.40-1.50	13.0	64.0	23.0	SM	A-2-4
2+020	C-3	M-1	0.00-1.50	6.0	64.0	30.0	SM	A-2-4
2+200	C-4	M-1	0.00-1.10	8.0	70.0	22.0	SM	A-2-4
2+480	C-5	M-1	0.00-0.30	5.0	63.0	32.0	SM	A-2-4
			0.30-0.70	31.0	50.0	19.0	SM	A-1-b

En la Tabla 7, se presenta un resumen detallado de las clasificaciones geotécnicas de los suelos encontrados en varias ubicaciones a lo largo de la carretera. Estas clasificaciones se basan en criterios específicos que describen las características y propiedades de los suelos, lo que resulta fundamental para comprender su idoneidad en el contexto de la construcción de pavimentos y la ingeniería geotécnica. Los diferentes tipos de suelos identificados incluyen suelos pobremente graduados con



presencia de limo (SP-SM), gravas limosas (GM), suelos arenosos (SM), suelos que representan una transición entre arenosos y arcillosos o limosos (SW-SM), así como clasificaciones AASHTO, como A-1-b, A-2-4 y A-1-A. A través de estas clasificaciones, se obtiene una visión completa de la variabilidad geotécnica a lo largo de la carretera, lo que es crucial para la toma de decisiones informadas en el diseño y la construcción de la infraestructura vial.

- **Progresiva 0+020:**

- SP-SM: Este suelo, que se describe como "pobrementemente gradado con presencia de limo", generalmente se considera adecuado para la construcción de pavimentos debido a su distribución de tamaños de partículas que favorece la compactación y la estabilidad.
- GM (Grava limosa): Aunque contiene limo, la presencia de grava en este suelo lo hace adecuado para la construcción de pavimentos, ya que las partículas gruesas contribuyen a la resistencia y la estabilidad.
- AASHTO A-1-b: Esta clasificación, que indica que el suelo es no plástico o tiene una plasticidad muy baja, es favorable para la construcción de pavimentos debido a su estabilidad y baja expansión.

- **Progresiva 0+260 y 0+520:**

- SM (Arena Limosa): La presencia de suelo con características de arena limosa, especialmente si tiene plasticidad moderada



(AASHTO A-2-4), es adecuada para pavimentos, ya que estos suelos generalmente tienen una buena capacidad de drenaje y estabilidad.

- **Progresiva 0+780:**

- SW-SM: Esta clasificación indica que el suelo en esta ubicación representa una transición (Arena bien graduada con contenido de limo): Los suelos arenosos están compuestos principalmente de partículas de arena, lo que les confiere una granulometría gruesa. Tienen una capacidad de drenaje efectiva, lo que significa que el agua tiende a escurrir a través de ellos en lugar de retenerse. Sin embargo, los suelos arenosos pueden carecer de cohesión y plasticidad.

- A-1-b Esta clasificación sugiere que el suelo en esta ubicación tiene baja plasticidad y es adecuado para aplicaciones de construcción, incluida la construcción de pavimentos.

- **Progresiva 1+200 al 2+880:**

- SM (Arena Limosa): Una vez más, la presencia de suelos arenosos con características de arena limosa puede ser adecuada para pavimentos, especialmente si la plasticidad es moderada a baja.
- A-2-4 y A-1-A: Estas clasificaciones indican que el suelo tiene una plasticidad moderada a baja y es favorable para aplicaciones de ingeniería, incluida la construcción de pavimentos.



En general, la mayoría de las ubicaciones a lo largo de la carretera parecen tener suelos que son adecuados o favorables para la construcción de pavimentos, con características que incluyen baja plasticidad, buen drenaje y estabilidad. Sin embargo, es importante realizar un análisis geotécnico detallado en cada ubicación específica para confirmar la idoneidad de los suelos y garantizar un diseño de pavimentos efectivo y duradero.

5.1.1.1.5 Límites Atterberg

Los límites de Atterberg son una serie de propiedades importantes utilizadas en la geotecnia para caracterizar el comportamiento de los suelos en relación con su contenido de humedad. Estos límites son fundamentales en el estudio de suelos y tienen un impacto significativo en el diseño y la construcción de pavimentos, especialmente en áreas donde la variabilidad en las condiciones del suelo es una preocupación constante.

Los tres límites de Atterberg principales son el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad. Cada uno de estos límites proporciona información valiosa sobre las propiedades de plasticidad y cohesión de los suelos, lo que es esencial para determinar su capacidad de soporte y su comportamiento bajo cargas variables.

En este estudio, se llevaron a cabo pruebas detalladas para determinar los límites de Atterberg en 12 puntos de muestreo a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya (Prog 0+000 al Prog



2+888) en el año 2021. Estos puntos de muestreo se seleccionaron estratégicamente para comprender la variabilidad en los suelos a lo largo de la carretera y evaluar cómo los límites de Atterberg pueden influir en las propiedades geotécnicas de los materiales del pavimento.

La determinación de los límites de Atterberg es esencial para evaluar la idoneidad de los suelos para la construcción de pavimentos, ya que proporciona información sobre su plasticidad y su capacidad para soportar cargas sin deformaciones excesivas. En esta sección, presentaremos los resultados de las pruebas de límites de Atterberg en los 12 puntos de muestreo, analizando las variaciones observadas y su importancia para el diseño y la construcción de pavimentos en la Carretera Arequipa – La Joya.

Tabla 8.*Resumen de ensayo Limites de Atterberg*

PROGRESI VA	CALICAT A	MUESTR A	PROF.(m)	LIMITES DE ATTERBERG		
				LL %	LP %	IP %
0+020	C-7	M-1	0.00-0.50	NP	NP	NP
		M-2	0.50-1.00	NP	NP	NP
		M-3	1.00-1.50	NP	NP	NP
0+260	C-8	M-1	0.25-1.50	NP	NP	NP
0+520	C-9	M-1	0.00-1.50	NP	NP	NP
0+780	C-10	M-1	0.00-0.30	NP	NP	NP
		M-2	0.30-1.50	NP	NP	NP
1+020	C-11	M-1	0.00-0.30	NP	NP	NP
		M-2	0.30-1.50	NP	NP	NP
1+200	C-12	M-1	0.00-0.30	NP	NP	NP
		M-2	0.30-1.50	NP	NP	NP
1+460	C-1	M-1	0.00-1.50	NP	NP	NP
1+740	C-2	M-1	0.40-1.50	NP	NP	NP
2+020	C-3	M-1	0.00-1.50	NP	NP	NP
2+200	C-4	M-1	0.00-1.10	NP	NP	NP
2+480	C-5	M-1	0.00-0.30	NP	NP	NP
2+700	C-6	M-1	0.00-0.70	NP	NP	NP

En la Tabla 6, se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de mecánica de suelos realizados en laboratorio. Un hallazgo consistente y relevante en todos los casos es la ausencia de plasticidad en las muestras, lo que se indica mediante la categorización "No Presenta Plasticidad (NP)." Este término técnico refleja que las muestras de suelo no exhiben la capacidad de cambiar significativamente su forma o comportamiento en respuesta a variaciones en la humedad.

1. No Plasticidad: Cuando se indica que "no presenta plasticidad" en los límites de Atterberg, significa que el suelo no experimentará cambios significativos en su forma o consistencia cuando se someta a cambios de humedad. En otras palabras, las



partículas del suelo no tienen la capacidad de cambiar de un estado sólido a uno plástico o líquido cuando se les agrega agua. Esto se refleja en los valores de límite líquido (LL) y límite plástico (LP) que son muy bajos o no se pueden determinar.

2. Implicaciones Favorables:

- *Estabilidad en Condiciones de Carga:* Los suelos no plásticos suelen ser más estables bajo cargas que los suelos plásticos. Esto significa que tienen menos tendencia a deformarse o asentarse bajo cargas de tráfico, lo que es beneficioso para la construcción de pavimentos.

- *Menos Vulnerabilidad a la Erosión:* Los suelos no plásticos tienden a retener mejor su estructura y resistir la erosión, lo que es positivo para la durabilidad de los pavimentos.

- *Menos Cambios Volumétricos:* Al no experimentar cambios significativos en su volumen debido a la variación de la humedad, los suelos no plásticos son menos propensos a la expansión y contracción, lo que reduce el riesgo de fisuras y daños en los pavimentos.

3. Relevancia para la Construcción de Pavimentos:

La ausencia de plasticidad en los suelos puede ser favorable para la construcción de pavimentos, ya que estos suelos tienden a ser más estables y menos susceptibles a los cambios volumétricos inducidos por la humedad. Sin embargo, es importante tener en



cuenta que otros factores geotécnicos, como la resistencia del suelo y la capacidad de carga, también son críticos para determinar la idoneidad de un material para pavimentos. Por lo tanto, es esencial realizar un análisis geotécnico completo que tenga en cuenta múltiples propiedades del suelo antes de tomar decisiones definitivas sobre su uso en la construcción de pavimentos.

5.1.1.1.6 California Bearing Ratio CBR

El California Bearing Ratio, comúnmente conocido como CBR, es un parámetro fundamental en la ingeniería de pavimentos y el diseño de carreteras. El CBR mide la capacidad de un suelo para soportar cargas y proporciona información crucial sobre su resistencia y capacidad de soporte. En particular, se utiliza para evaluar la calidad de los materiales granulares que componen la subrasante de un pavimento.

En este estudio, considerando la homogeneidad de los suelos a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya (Prog 0+000 al Prog 2+888) en el año 2021, se llevaron a cabo tres ensayos de CBR. Estos ensayos se realizaron con el propósito de evaluar la idoneidad de los suelos para servir como subrasante en la construcción de pavimentos en esta carretera y para determinar su capacidad de soporte bajo condiciones específicas de carga y humedad. El CBR se expresa como un porcentaje y se utiliza para clasificar los suelos en función de su capacidad de soporte relativa. Los resultados de estos tres ensayos de CBR son esenciales para el



diseño de pavimentos, ya que influyen en la selección de materiales y en la determinación de las especificaciones de construcción. Además, el CBR es un indicador clave para evaluar la resistencia del suelo a la deformación y la capacidad de carga a largo plazo. En esta sección, presentaremos los resultados de los tres ensayos de CBR, analizando las variaciones observadas y su relevancia para el diseño y la construcción de pavimentos en la Carretera Arequipa – La Joya. Estos datos serán fundamentales para comprender la capacidad de soporte de los suelos en diferentes ubicaciones a lo largo de la carretera y para tomar decisiones informadas en el proceso de diseño.

Tabla 9.

Resumen de CBR

PROGRESIVA	CBR			
	MDS	OCH	95% MDS	100% MDS
0+020	1.81	14	26	36
1+020	1.32	22.5	44	60
2+200	1.27	27.5	56	69

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 7, se presentan los resultados de los ensayos de California Bearing Ratio (CBR) realizados en varias ubicaciones a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya (Prog 0+000 al Prog 2+888). Estos ensayos de CBR son de suma importancia en la ingeniería de pavimentos y el diseño de carreteras, ya que proporcionan información crucial sobre la capacidad de soporte de los suelos. Los valores de CBR se expresan en porcentaje en



relación con la MDS (Máxima Densidad Seca) y se utilizan para clasificar la capacidad de carga relativa de los suelos.

Progresiva 0+020:

- CBR al 95% MDS = 26

- CBR al 100% MDS = 36

Estos valores de CBR sugieren que en la progresiva 0+020, el suelo tiene una capacidad de soporte moderada a buena, especialmente cuando se compara con la MDS. Un CBR del 36% al 100% MDS indica que el suelo es adecuado para la construcción de pavimentos y debería ofrecer una buena capacidad de carga.

Progresiva 1+020:

- CBR al 95% MDS = 44

- CBR al 100% MDS = 60

En la progresiva 1+020, los valores de CBR son más altos en comparación con la progresiva 0+020. Un CBR del 60% al 100% MDS es un indicador positivo y sugiere que el suelo en esta ubicación tiene una capacidad de soporte excelente, lo que lo hace muy adecuado para pavimentos de alta resistencia y capacidad de carga.

Progresiva 2+200:

- CBR al 95% MDS = 56



- CBR al 100% MDS = 69

En la progresiva 2+200, los valores de CBR son aún más altos, lo que indica una capacidad de soporte excepcional del suelo. Un CBR del 69% al 100% MDS es un resultado excelente y sugiere que el suelo es extremadamente adecuado para la construcción de pavimentos que deben soportar cargas pesadas.

Los valores de CBR obtenidos en estas ubicaciones específicas indican que los suelos a lo largo de la carretera tienen una capacidad de soporte que varía de moderada a excelente. Estos datos son importantes para el diseño de pavimentos, ya que permiten seleccionar materiales y determinar las especificaciones de construcción adecuadas para garantizar un rendimiento óptimo del pavimento en cada ubicación.

5.1.1.2 Perfil estratigráfico del terreno de fundación

El perfil estratigráfico es una representación gráfica y descriptiva de las capas de suelo y roca que componen el subsuelo en una ubicación específica. En el campo de la geotecnia y la ingeniería de pavimentos, el conocimiento detallado de la estratigrafía del subsuelo es esencial para comprender las condiciones geotécnicas de un sitio y tomar decisiones informadas sobre el diseño y la construcción de estructuras viales.

En este estudio, se realizó una evaluación detallada del perfil estratigráfico en 12 puntos de muestreo a lo largo de la Carretera Arequipa – La Joya (Prog 0+000 al Prog 2+888) en el año 2021. Esta evaluación incluyó la identificación y descripción de las diferentes capas de suelo y



roca presentes en cada ubicación, así como la determinación de su espesor y características geotécnicas.

El perfil estratigráfico es esencial para comprender la distribución de los materiales en el subsuelo, identificar capas de suelo potencialmente problemáticas (como arcillas expansivas o suelos con alta plasticidad) y evaluar la profundidad de la capa freática. Esta información es fundamental para el diseño de pavimentos, la estimación de la capacidad de carga y la evaluación de la estabilidad del terreno.

En esta sección, presentaremos los resultados del perfil estratigráfico en los 12 puntos de muestreo, proporcionando detalles visuales y descripciones de las capas identificadas. Además, analizaremos la relevancia de esta información para el diseño y la construcción de pavimentos en la Carretera Arequipa – La Joya, destacando cualquier aspecto geotécnico crítico que pueda influir en la ingeniería vial.

a) PRIMER SECTOR VÍA DE EVITAMIENTO Y LA QUEBRADA AÑASHUAYCO

Calicata C-7 – km 0+020 (lado derecho)

- 0.00** – Arena gravosa, coloración amarillenta, compacidad media
- 0.50** y humedad media.
- 0.50** – Arena limosa, coloración marrón, compacidad media y
- 1.00** con una humedad media.
- 1.00** – Arena media, coloración grisácea, compacidad media,
- 1.50** humedad media

Calicata C-8 – km 0+260 (lado izquierdo)



0.00 – Carpeta Asfáltica existente

0.05

0.05 – Arena gravosa, coloración amarillenta, compacidad alta,

0.25 humedad media.

0.25 – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad

1.50 alta, humedad media, con presencia de fragmentos de pómez.

Calicata C-9 – km 0+520 (lado derecho)

0.00 – Tufo volcánico (puzolana) de coloración rosáceo,

1.50 compacidad alta y una humedad media, con presencia de fragmentos de pómez y sillar.

Calicata C-10 – km 0+780 (lado izquierdo)

0.00 – Carpeta Asfáltica existente

0.05

0.05 – Arena gravosa, coloración amarillenta, compacidad alta,

0.30 humedad media.

0.30 – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad alta,

1.50 humedad media, con presencia de fragmentos de pómez.

Calicata C-11 – km 0+780 (lado derecho)

0.00 – Carpeta Asfáltica existente

0.06

0.06 – Arena gravosa, coloración amarillenta, compacidad alta,

0.30 humedad media.

0.30 – Arena fina, coloración marrón blanquecina, compacidad

0.50 media, humedad media.



- 0.50** – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad alta,
- 1.50** humedad media, con presencia de fragmentos de pómez.

Calicata C-12 – km 1+200 (lado izquierdo)

- 0.00** – Carpeta Asfáltica existente
- 0.06**
- 0.06** – Arena gravosa, coloración amarillenta, compacidad alta,
- 0.30** humedad media.
- 0.30** – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad alta,
- 1.50** humedad media, con presencia de bolonería esporádica
D_{max}=18cm.

**b) SEGUNDO SECTOR QUEBRADA AÑASHUAYCO Y EL
EMPALME CON LA VIA AREQUIPA – LA JOYA**

Calicata C-1 – Progresiva km 1+460 (lado derecho)

- 0.00** – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad alta,
- 1.50** humedad media.

Calicata C- 2 – Progresiva km 1+740 (lado izquierdo)

- 0.00** – Arena limosa, coloración marrón, compacidad media y con
- 0.40** una humedad media.
- 0.40** – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad alta,
- 1.50** humedad media.

Calicata C- 3 – Progresiva km 2+020 (lado derecho)

- 0.00** – Tufo volcánico (Puzolana) color rosáceo, compacidad alta,
- 1.50** humedad media.



Calicata C-4 – Progresiva km 2+200 (lado izquierdo)

- 0.00** – Arena limosa, coloración marrón, compacidad media y con
- 0.80** una humedad media.
- 0.80** – Estrato rocoso
- 1.50**

Calicata C-5 – Progresiva km 2+480 (lado derecho)

- 0.00** – Arena limosa, coloración marrón, compacidad media y con
- 0.30** una humedad media, presencia de puzolana y material antrópico en 1%.
- 0.30** – Estrato rocoso
- 1.50**

Calicata C-6 – Progresiva km 2+700 (lado izquierdo)

- 0.00** – Arena limosa, coloración marrón, compacidad media y con
- 0.70** una humedad media, presencia de puzolana, sillar y material antrópico en 1%.
- 0.70** – Estrato rocoso
- 1.50**

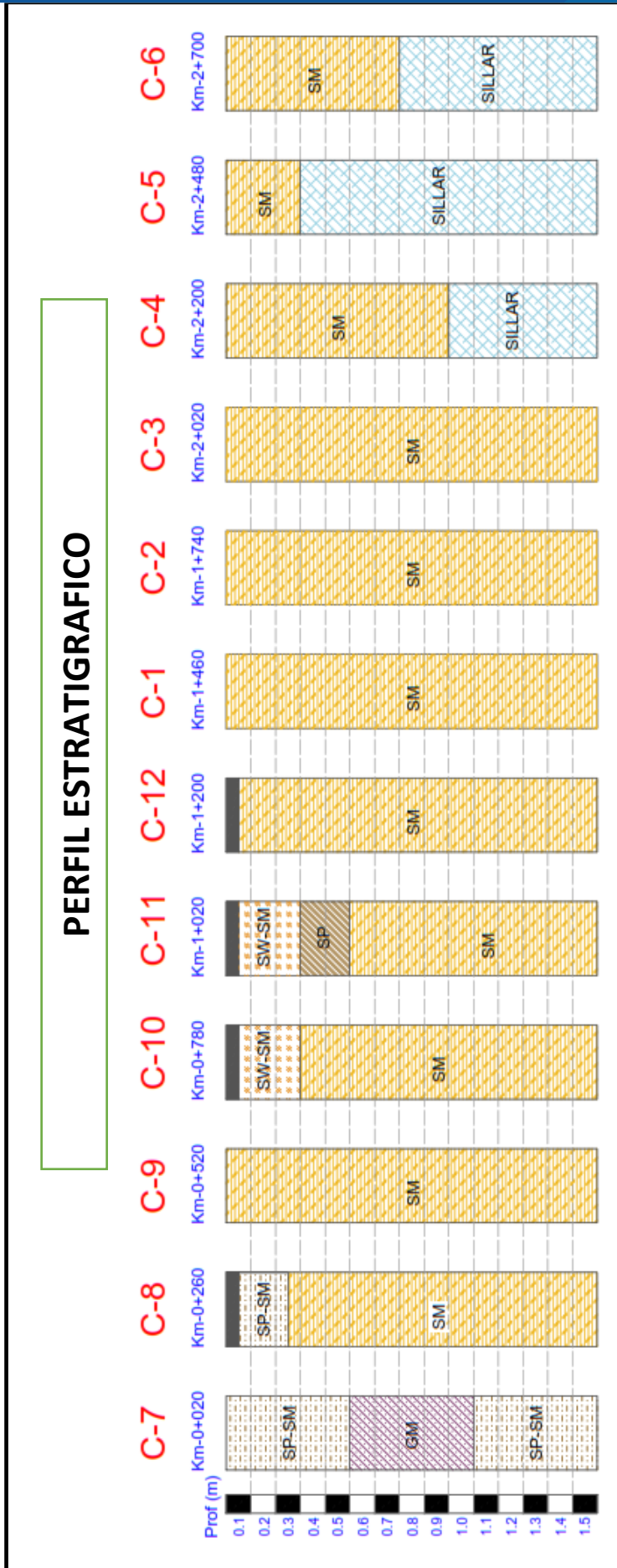


Figura 6. Resumen de perfiles estratigráficos



Este tramo está entre la vía de evitamiento y el empalme con la vía Arequipa - La Joya y está separado por la Quebrada Añashuayco en dos sectores:

El primer sector está entre la Vía de Evitamiento y la Quebrada Añashuayco; se inicia con la calicata N° 7 con la presencia de material aluvial, en las calicatas N° 8, 9, 10, 11 y 12 predomina el tufo volcánico o puzolana con la presencia superficial de material aluvial que alcanza un espesor de 0.00 a 0.50 m y la presencia de fragmentos de sillar (calicata N° 9) y bolonería esporádica (calicata N° 12).

El segundo sector está entre la Quebrada Añashuayco y el empalme con la vía Arequipa - La Joya; en las calicatas N° 1, 2, y 3 predomina el tufo volcánico o puzolana con la presencia superficial de material arena limosa que alcanza un espesor de 0.00 a 0.40 m; y en las calicatas N° 4, 5 y 6 predomina la roca volcánica o sillar con la presencia superficial de material arena limosa mezclada con puzolana y fragmentos de sillar que alcanza un espesor de 0.30 a 0.90 m.

5.1.2 Caracterización de los materiales a emplearse para la conformación de los pavimentos, bajo las exigencias de la normativa MTC EG-2013.

Se exploró 03 canteras para poder realizarse el análisis correspondiente se hizo el reconocimiento y la ubicación con GPS, también se ha estimado la distancia entre la cantera y el eje intermedio del proyecto, igualmente en las canteras se efectuaron calicatas con la finalidad de obtener muestras representativas para verificar sus principales características en referencia a la



MTC EG-2013(especificaciones generales para la construcción de carreteras) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el Manual de Ensayo de Materiales Edición 2016.

5.1.2.1 Trabajos de Laboratorio

Se han realizado los siguientes ensayos de laboratorio según corresponde cada uso, todo esto bajo referencias normativas del Manual de Ensayo de Materiales Edición 2016.

Tabla 10.

Referencias normativas para ensayo de materiales

ENSAYOS	REFERENCIAS NORMATIVAS	
	ASTM O NTP	MTC
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	ASTM D 422	MTC E 107
Determinación del contenido de humedad de un suelo	ASTM D 2216	MTC E 108
Determinación de límite líquido de los suelos	NTP 339.129	MTC E 110
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad	NTP 339.129	MTC E 111
C.B.R. de suelos	ASTM D 1883	MTC E 132
Sales Solubles		MTC E 219
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM D 4791	MTC E 223
Abrasión los Ángeles	NTP 400.019	MTC-207
Durabilidad al Sulfato	NTP 400.016	MTC-209
Caras Fracturadas	ASTM D 5821	MTC-210
Pesos Específicos	NTP 400.021	MTC E 206
Absorción	NTP 400.021	MTC E 206

FUENTE: Manual de Ensayo de Materiales Edición 2016.

5.1.2.2 Sub-Base

Para la capa sub base del pavimento se ha explorado y ubicado una cantera denominada “Añashuayco” el cual se evaluó para el uso del elemento del pavimento denominado sub base, el cual cumple con las exigencias del MTC EG-2013.

- **CANTERA AÑASHUAYCO**

• **Ubicación**

La siguiente cantera se ubica dentro de las coordenadas UTM WGS 84 siguientes:

Tabla 11.

Ubicación geográfica de la Cantera Añashuayco

Vértice	NORTE	Este
1	8 199 250.00	229 500.00
2	8 197 750.00	229 500.00
3	8 197 750.00	229 000.00
4	8 199 250.00	229 000.00

• **Accesibilidad**

El acceso más rápido es pasando Villa Maria y Apipe de la parte alta del distrito de Cayma, Bajando Villa canteras hacia el aeropuerto en una ruta directa pasando el puente Añashuayco al acceso a la autopista Arequipa la Joya 34^a en dirección a fundo Cabreria hasta llegar al afluente de la quebrada Tucos, En términos reales y prácticos esta es la única vía de acceso directo a dicha cantera.

• **Potencia**

Según la estimación realizada con topografía, de acuerdo a los planos de delimitación, también la exploración de cortes y calicatas efectuadas se encontró en promedio los valores siguientes:

Descripción	Valores
Área	: 75000m ²
Espesor	: 3m
Volumen	: 225000 m ³

- **Eficiencia**

Para evaluar la eficiencia, se tomaron del campo el sobre de tamaños de acuerdo a la chancadora secundaria, de igual forma el desbroce superficial y materiales no APTOS para los fines estudiados de ello se tiene:

Sobre Tamaño	:	7%
Materiales No Aptos	:	3%
Eficiencia	:	90%

- **Análisis Cuantitativo y Cualitativo**

Se analizó el material de cantera, bajo la normativa vigente en cuanto implica el material de subbase, los resultados se indican en el cuadro resumen siguiente y las respectivas certificaciones se adjuntan en la sección ANEXOS.

Tabla 12.

Análisis de material de cantera Añashuayco

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACION	OBSERVACION
Granulometría	A-1-a	GRADACION B	CUMPLE
Índice de Plasticidad	NP	6% máx.	CUMPLE
Abrasión los Ángeles	28.90%	50% máx.	CUMPLE
CBR al 100%	43%	40% min	CUMPLE
Sales Solubles	1.45/0.72 %	1% max	CUMPLE

Como se observa el cuadro comparativo los principales parámetros son cumplidos por el material de la cantera Añashuayco.

5.1.2.3 Base Granular

Para el siguiente elemento del pavimento se exploró en la cantera denominada “Buena Esperanza Huarango” el cual cumple con los requisitos que exige la normativa MTC EG -2013 de los parámetros para la base granular.

- **CANTERA BUENA ESPERANZA HUARANGO**

- **Ubicación**

La siguiente cantera se ubica dentro de las coordenadas UTM WGS 84 siguientes:

Tabla 13.

Ubicación geográfica de la cantera Buena Esperanza Huarango

Vértice	NORTE	Este
1	8 190 690.14	233 256.50
2	8 190 740.15	233 213.80
3	8 190 362.33	233 168.40
4	8 190 339.57	233 112.27

- **Accesibilidad**

A la cantera se puede llegar a través de distrito de Alto selva Alegre, específicamente por el AAHH independencia donde la principal vía se llama Jr. Francisco Mostajo, principalmente por el cauce de la quebrada del pueblo joven, donde concluye la vía asfaltada desde entonces se sigue la trocha carrozable que conduce a la cantera Huarangal.

En términos reales y prácticos es la única vía de acceso a dicha cantera.



- **Potencia**

De acuerdo a las proyecciones ejecutadas con apoyo de los planos topográficos del sector, concordantes con los planos de delimitación, así como la auscultación de los cortes y calicatas efectuadas se encontró un promedio de valores siguientes:

Descripción	Valores
Área	: 89898.31m ²
Espesor	: 8m
Volumen	: 719186.48 m ³

- **Eficiencia**

Para evaluar la eficiencia, se tomaron del campo el sobre de tamaños de acuerdo a la chancadora secundaria, de igual forma el desbroce superficial y materiales no APTOS para los fines estudiados de ello se tiene:

CONCEPTO	HUARANGO
Sobre Tamaño	10%
Materiales No Aptos	5%
Eficiencia	85%

- **Análisis Cuantitativo y Cualitativo**

Se analizó el material de cantera bajo los diferentes ensayos que implica el material de base granular bajo la normativa vigente el cual se indica en el siguiente cuadro y las certificaciones en la sección ANEXOS.

Tabla 14.*Análisis de material para base proveniente de la cantera Buena**Esperanza Huarango*

ENSAYO	MATERIAL	ESPECIFICACION	OBSERVACION
Granulometría	GP	GRADACION A	CUMPLE
Índice de Plasticidad	NP	4% Max	CUMPLE
Abrasión los Ángeles	17.00%	40% Max	CUMPLE
CBR al 100%	100%	100% Min	CUMPLE
Durabilidad (Sulf. Magnesio)	10.83%	18% Max	CUMPLE
Caras fracturadas	94/81	80/50 Min	CUMPLE
Partículas chatas y alargadas	5%	15% Max	CUMPLE
Equivalente de Arena	91%	35% Min	CUMPLE
Sales Solubles	1.45/0.72 %	1% Max	CUMPLE

Como se puede apreciar el cuadro comparativo, la cantera Huarango cumple con los requisitos físicos y químicos exigidos por la normativa vigente para base granular respecto a la gradación el material extraído se enmarca en el huso granulométrico tipo “A”.

5.1.2.4 Mezcla Asfáltica

La Mezcla asfáltica requiere de agregados específicos tales como la grava chancada, arena y cemento asfáltico, por ello es necesario optimizar las plantas de procesamiento según el requerimiento de las franjas granulométricas que contempla el diseño de asfalto, para ello se realizaron todos los ensayos que requiere para la aceptabilidad de las propiedades físicas y químicas de los agregados a usarse, los ensayos requeridos para la aceptación de estos materiales de planta y algunos aspectos que son necesarios para la viabilidad de la cantera.

- **CANTERA LA PODEROSA**

• **Ubicación**

La cantera de La Poderosa a cargo de la empresa Yura S.A. se ubica entre el centro poblado de Congata y la minera Cerro Verde, la siguiente cantera se ubica dentro de las coordenadas UTM WGS 84 siguientes:

Tabla 15.

Ubicación geográfica de la Cantera La Poderosa – Mezcla Asfáltica

Vértice	Norte	Este
1	8 182 000.00	220 000.00
2	8 178 000.00	220 000.00
3	8 178 000.00	216 000.00
4	8 182 000.00	216 000.00

• **Accesibilidad**

La vía de acceso a esta cantera es tomando la carretera 108 que sale de Arequipa con destino a la minera Cerro Verde pasando la altura del túnel, a la derecha de la carretera empieza un camino de trocha, desde aquí es propiedad YURA S.A. en la entrada se podrá apreciar el material procesado para venta siguiente el camino de trocha por 5km más adelante se llega a la cantera La Poderosa, donde se encuentra instalado el sistema de explotación y procesamiento del material en interés.

• **Potencia**

De acuerdo a las proyecciones ejecutadas con apoyo de los planos topográficos del sector, concordantes con los planos de delimitación, así como la auscultación de los cortes y calicatas efectuadas se encontró un promedio de valores siguientes:



Descripción	Valores
Área	: 16000000m ²
Espesor	: 8m
Volumen	: 128000000 m ³

- **Eficiencia**

Para evaluar la eficiencia, se tomaron del campo el sobre de tamaños de acuerdo a la chancadora secundaria, de igual forma el desbroce superficial y materiales no APTOS para los fines estudiados de ello se tiene:

CONCEPTO	TINAJONES
Sobre Tamaño	4%
Materiales No Aptos	2%
Eficiencia	94%

- **Análisis Cuantitativo y Cualitativo**

Propiedades de los agregados

Se analizó el material de cantera bajo los diferentes ensayos que implica el agregado para la mezcla asfáltica el cual se detalla en el siguiente cuadro y las certificaciones correspondientes se adjunta en la sección ANEXOS.

Tabla 16.

Ensayos estándar de la cantera La Poderosa – Mezcla Asfáltica

ENSAYO	GRAVA	ARENA
Grava	100.00 %	2.00%
Arena	0.00%	92.00%
Finos	0.00 %	6.00%
Limite Liquido	NP	NP
Índice de Plasticidad	NP	NP
Peso Unitario Varillado	1.644 gr/cm ³	1.780/gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	1.442 gr/cm ³	1.544 gr/cm ³
Absorción	0.65%	3.01%
% Humedad	0.28%	0.53%
Peso Especifico	2.70 gr/cm ³	2.66 gr/cm ³

Análisis del material agregado grueso de cantera bajo las especificaciones que implica la normativa vigente en diseño de asfalto.

Tabla 17.

*Ensayos especiales de material de la cantera La Poderosa – Mezcla
Asfáltica*

ENSAYO	MATERIAL	ESPECIFICACION	OBSERVACION
Abrasión los Ángeles	16.35%	40% Max	cumple
Caras Fracturadas	63/51	< 100mm espesor: 65 Max/40min > 100mm espesor: 50 Max/30min	cumple
Partículas chatas y alargadas	10.00%	10% Max	cumple
Equivalent e Arena	90%	50% Min	cumple
Perdida con sulfatos	12.00%	18% Max	cumple
Sales Solubles	1500ppm/3588ppm	0.5 Max	cumple

Para la elaboración del concreto asfáltico se debe utilizar como el agregado grueso y el agregado fino el material proporcionado y preparado por la cantera de la Poderosa en las siguientes proporciones:

Grava Chancada: 60 %; Arena: 40%

Empleándose esta dosificación global se logra llegar a la franja granulométrica MAC-1 utilizándose esta gradación para el diseño de la mezcla asfáltica.



V. CONCLUSIONES

- El estudio geotécnico para la Carretera Arequipa - Joya se desarrolló con éxito, brindando una base sólida para la planificación y construcción de una infraestructura vial segura y duradera. El enfoque integral de análisis geotécnico y selección de materiales ha sido esencial para cumplir con las normativas vigentes y abordar las particularidades geológicas y de carga de la región.
- Se evaluó el terreno de fundación a lo largo de la carretera en donde según la clasificación SUCS y AASHTO, se identificaron tipos de suelos como SP-SM, SM, GW, A-1-b y A-2-4, siendo el suelo tipo SM el predominante. Además, se observó una variación significativa en el contenido de humedad, que osciló entre el 1.9% como el valor más seco y el 11.9% como el más saturado. Es importante destacar que, en todos los puntos de muestreo, los suelos no presentaron plasticidad según los límites de Atterberg. Por otra parte, las pruebas de (CBR) indicaron que estos suelos tienen una capacidad de soporte del 36%, 60% y 69% al 95%.
- Se examinó minuciosamente las propiedades mecánicas y de durabilidad de los materiales destinados a la estructura del pavimento, incluyendo la subbase, la base y la mezcla asfáltica. En cuanto a la subbase, se caracterizó por su gradación tipo B, Índice de Plasticidad no plástico, Abrasión Los Ángeles del 28.9%, CBR del 43%, y sales solubles del 0.72. Por otro lado, la base cumplió rigurosamente con la franja granulométrica de la gradación "A", presentando un Índice de Plasticidad NP, un CBR del 100%, una notable durabilidad al sulfato con un valor de 10.83, caras fracturadas en un rango del 94/81, partículas chatas y alargadas del 5%, así como un alto equivalente de arena y niveles reducidos de sales solubles, con un



registro de 0.72. Los agregados destinados a la mezcla asfáltica también se ajustaron a las especificaciones requeridas, con una gradación cercana al MAC-1, una abrasión Los Ángeles del 16.35%, caras fracturadas del 63.51%, partículas chatas y alargadas del 10%, equivalentes de arena del 90%, una pérdida de sulfatos del 12%, y sales solubles del 0.41. Estos resultados brindan un sólido respaldo a la elección de materiales de alta calidad y en plena conformidad con la normativa vigente (EG-2013) para la construcción del pavimento, garantizando tanto la durabilidad como la seguridad de la infraestructura vial.



VI. RECOMENDACIONES

- Para una comprensión más completa de la influencia de las condiciones climáticas en la capacidad de soporte del terreno, se sugiere llevar a cabo un análisis detallado de las precipitaciones y las fluctuaciones de humedad a lo largo del año. Esto puede ayudar a predecir el comportamiento estacional del suelo.
- En el contexto de la sostenibilidad y la protección ambiental, se podría llevar a cabo investigación adicional sobre técnicas y materiales que puedan mejorar la capacidad de soporte del suelo de manera más sostenible, como técnicas de estabilización de suelos o el uso de materiales alternativos.
- Se recomienda desarrollar modelos geotécnicos más avanzados y precisos que integren datos de campo y de laboratorio para predecir el comportamiento del terreno de fundación en diferentes condiciones de carga y humedad. Esto podría ayudar en la planificación y el diseño de futuros proyectos de infraestructura vial.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Añacata Paccara, J. O. (2023). EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERA PU N° - 110 Dv. ASIRUNI - ROSASPATA, PROVINCIA DE HUANCANÉ - PUNO TRAMO (00+000 A 20+100). Puno, Peru: Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

Behar, D. S. (2008). *Metodologia de la Investigacion* (Vol. Segunda). Editorial Shalom 2008. doi:ISBN 978-959-212-783-7

Berdugo, I. (1999). *Elementos básicos para el estudio geotécnico de excavaciones superficiales en suelos blandos* (3 ed.). Colombia: Santa Fe de Bogotá.

Bernal Figueroa, L. F. (2020). Propuesta de instrumento de gestion mediante la caracterizacion de la subrasante y canteras. Lima, Peru: Universidad Nacional Ricardo Palma, Facultad de Ingenieria Civil.

Carrascal, S., Fernández, G., & Valencia, J. (2021). *Diseño geotécnico y de pavimento para un tramo de 141 metros de vía para el Municipio de Salgar (Antioquia)*. Medellín : Tesis de la Universidad Cooperativa de Colombia.

Castro, J. (2021). Análisis geotécnico del potencial de licuefacción, mediante ensayos de penetración estándar (SPT). [tesis de grado]. Universidad César Vallejo, Lima.

Ccama Quispe, E. D. (2022). EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CANTERAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA PUMAMARCA - PITIJ SECTORES 1 – 8 DE LA PROGRESIVA KM (16+980 – 73+690). Puno, Puno, Peru: Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano.



- Charaja, F. (2019). *El Mapic en la Investigacion Cientifica* (Cuarta ed.). Puno: Corporacion MERU E.I.R.L. doi:ISBN: 978-612-00-4699-9
- Cruz, L. (2020). Comparación técnica-económica entre el densímetro nuclear y el método de cono y arena en la determinación de la densidad en situ. *[tesis de grado]*. Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Delgado, F. (2017). Geología y Geotecnia en Obras Viales. *[tesis pregrado]*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Estrada, J. (2018). *Ánàlisis y diagnostico geotécnico de la Estructura del pavimento rígido para la identificación de fallas superficiales de las vías del barrio los Choferes de la ciudad de Juliaca*. Juliaca: Tesis de la Universidad Andina Nestór Caceres Velásquez.
- Gaona Tacuri, J. F. (2013). Estudio Geotecnico y Geologico de la via el Limon - La Bocana - La Victoria en el canton Maracana. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja .
- Geoquantics. (23 de Noviembre de 2018). *¿Qué es y en qué consiste el estudio geotécnico?* Obtenido de *¿Qué es y en qué consiste el estudio geotécnico?*: <https://geoquantics.com/2018/11/23/consiste-estudio-geotecnico/>
- Gomez, S. (2014). Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau - Trujillo - La Libertad. *[tesis de pregrado]*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Hernandez, R., Fernandez, H., & Baptista, L. (2010). *Metodologia de la investigacion* (Quinta ed.). Mexico: McGRAW - HILL INTERAMERICANA D MEXICO, S.A. de C.V. doi:ISBN 968-422-931-3



- Hernandez-Sampieri, H., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodologia de Investigacion las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Primera Edicion ed.). (S. d. Interamericana Editores, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill Education. doi:ISBN: 978-1-4562-6096-5
- Huapaya, C., & Ginocchio, J. F. (2018). *Guia de Investigacion en ciencia e Ingenieria - Ingenieria civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mamani, G., & Ramos, R. (2019). *Estudio geotécnico de la sub rasante para el diseño de pavimentos flexibles en las vías de alto Tacna, distrito Alto de la Alianza, Tacna - 2019*. Tacna: Tesis de la Universidad Privada de Tacna.
- Niño Sana, J. L. (2015). Estudio de suelos y analisis geotecnico del sector ubicado en el km - 180 de la via Puentes Reyes - Gameza. Sogamoso, Sogamoso, Colombia: Universidad Pedagogica y Tecnologia de Colombia.
- Niño, J. (2015). *Estudio de suelos y análisis geotécnico del sector ubicados en el K4+180 de la vía puente Reyes-Gameza*. Colombia: Tesis de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Ñaupas, H. M., Novoa, E., & Villagomez, A. (2014). *Metodologia de la Investigacion, Cuantitativa - Cualitativa y Redaccion de la Tesis* (Vol. 4ta Edicion). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U. doi:ISBN 976-956-762-188-4
- Ocampo, A., & Buitrago, S. (2019). *Estudio geotécnico y diseño de pavimento en el trazado de la vía interna del condominio ruitoque country club ubicado en el Kilómetro 2 de la vía que conduce desde el Casco Urbano del Municipio de Abejorral (ant.) hacia la Vereda Piedracarideta*. Medellín: Tesis de la Universidad Cooperativa de Colombia.



- Ocegueda, C. (2004). *Metodología de la Investigación, Metodos, tecnicas y estructuración de trabajos academicos* (Segunda ed.). Corina Ocegueda Mercado.
- Ochoa, M. (2014). *Estudio Geotécnico de Suelos para Diseñar la Estructura del Pavimento en la Carretera Ticaco - Candarave, Tramo Aricota – Quilahuani (km 146+500 – km 151+500)*. Tacna: Tesis de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Pacheco, I. (8 de Julio de 2016). *Construcción*. Obtenido de ¿Qué es, cómo se hace y para qué sirve un Estudio de Suelo?: <https://about-haus.com/estudio-de-suelo/>
- Peñate, L., & Largo, J. (2019). *Diseño geotécnico y de pavimentos para la construcción de una vía en el municipio de Venecia en el departamento de Antioquia*. Medellín: Tesis de la Universidad Cooperativa de Colombia.
- Perez Espejo, S. A. (2021). “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE AGREGADOS DE LAS CANTERAS DEL DISTRITO DE CURIMANÁ PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE BASE GRANULAR DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE PUCALLPA” . Pucallpa, Ucayali, Peru: Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Ucayali .
- Pérez, J., & Gardey, A. (2018). *Definición de:* . Obtenido de Definición de geotecnia: <https://definicion.de/geotecnia/omé> y *Túpac Yupanqui del Barrio Manto Central del Distrito y Porvincia de Puno*. Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Quispe, C. (2016). *Evaluación geológica - geotécnica para el proceso constructivo de la Avenida Jallihuaya - Puno*. Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano
- .



Robles Romero, D. A. (2019). Estudio geotecnico vial del Municipio Ciudad Bolivar Antioquia. Ciudad Bolivar, Antioquia, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia , Facultad de Ingenieria.

Salamanca, M., & Zuluaga, S. (2014). Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos invias, AASHTO 93 e instituto del asfalto para la vía. [tesis de grado]. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

Arqhys Arquitectura. (2012). *Mecanica de suelos*. Obtenido de <https://www.arqhys.com/arquitectura/mecanica-suelos.html>

Barahona, A. (03 de Agosto de 2021). *¿Qué es el análisis granulométrico?* Obtenido de <https://cftpucv.cl/que-es-el-analisis-granulometrico/>

Botía, W. (2015). Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo. [Tesis de grado]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf?sequence=1>

Calderón, G. (2018). *Ciencias de la tierra*. Obtenido de Geotecnia: <https://www.euston96.com/geotecnia/>

Cedeño, M., & Zambrano, J. (2019). Importancia de la geotecnia en la infraestructura vial. [tesis de grado]. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Michelle-Cedeno-3/publication/329042128_IMPORTANCIA_DE_LA_GEOTECNIA_EN_LA_INFRAESTRUCTURA_VIAL/links/5bf2ebcea6fdcc3a8de232db/IMPORTANCIA-DE-LA-GEOTECNIA-EN-LA-INFRAESTRUCTURA-VIAL.pdf



- Cordero, D. (2011). Importancia de la Geotecnia Vial. *Programa de ingeniería en infraestructura del transporte*, 2(11), 3. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/360/11.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gavilanes, N. (2012). Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera. [tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6427/9.20.001877.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Gens, A. (s.f). *Geotecnia: una ciencia para el comportamiento del terreno*. Obtenido de <https://raed.academy/wp-content/uploads/2015/06/Discurs-ingres-A-Gens.pdf>
- Gens, A. (s.f). *Geotecnia: una ciencia para el comportamiento del terreno*. Obtenido de <https://raed.academy/wp-content/uploads/2015/06/Discurs-ingres-A-Gens.pdf>
- GeoBiental. (22 de Junio de 2021). *Geotecnia*. Obtenido de ¿Qué es la Geotecnia? Concepto y Campo de Estudio: <https://www.geobiental.com/que-es-la-geotecnia/>
- Geoquantics. (23 de Noviembre de 2018). *¿Qué es y en qué consiste el estudio geotécnico?* Obtenido de ¿Qué es y en qué consiste el estudio geotécnico?: <https://geoquantics.com/2018/11/23/consiste-estudio-geotecnico/>
- Martínez, G. (02 de Abril de 2020). *Ingeniería & Construcción*. Obtenido de Tipos de pavimento. Conoce sus características y clasificación: <https://www.ingenieriayconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/>
- Morilla, A. (23 de Julio de 2014). *Tierra y Tecnología*. Obtenido de Mitos de la geotecnia frente al sentido común de la geología:



<https://www.icog.es/TyT/index.php/2014/07/mitos-de-la-geotecnia-frente-al-sentido-comun-de-la-geologia/>

Pacheco, I. (8 de Julio de 2016). *Construcción*. Obtenido de ¿Qué es, cómo se hace y para qué sirve un Estudio de Suelo?: <https://about-haus.com/estudio-de-suelo/>

Platero, G. (2017). *Análisis y diseño de pistas y veredas de los jirones San Bartol* Pérez, J., & Gardey, A. (2016). *Definición de:*. Obtenido de Definición de cantera: <https://definicion.de/cantera/>

Pérez, J., & Gardey, A. (2018). *Definición de:* . Obtenido de Definición de geotecnia: <https://definicion.de/geotecnia/ome-y-Tupac-Yupanqui-del-Barrio-Manto-Central-del-Distrito-y-Porvincia-de-Puno>. Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.

SGM. (s.f). *¿Qué es la Geotecnia?* Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157802/Que-es-la-Geotecnia.pdf>

Suarez, E. (28 de Mayo de 2019). *Compactación de suelos*. Obtenido de ¿Qué es la compactación de suelos?: <https://www.ingecivil.net/2019/05/28/que-es-la-compactacion-de-suelos/>

Villanueva, S. (Mayo de 2021). *Ingeniería Civil*. Obtenido de La importancia de la mecánica de suelos en obras de carreteras: <https://coovias.com/la-importancia-de-la-mecanica-de-suelos-en-obras-de-carreteras/>



ANEXOS



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JHON ADEL APAZA SANCHEZ
identificado con DNI 71521052 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

" ESTUDIO DE SUELOS Y ANÁLISIS GEOTECNICO EN PAVIMENTOS
DE LO CARRETERO AREQUIPA - LO POPO PROG 0+000 A PROG 2+335
DRENAJES, 2021

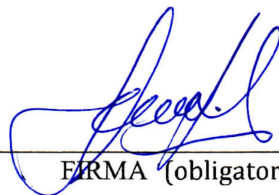
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

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

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

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

Puno 16 de Abril del 2025



FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo JHON AXEL APAZA SANCHEZ
identificado con DNI 71501052 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA

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

Título Profesional denominado:

"ESTUDIO DE SUELOS Y ANÁLISIS GEOTECNICO EN PAVIMENTOS DE LA CARRETERA AREQUIBA - CAJOYA PROC. 0+000 A PROC-2+838 AREQUIBA-2021"

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

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

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

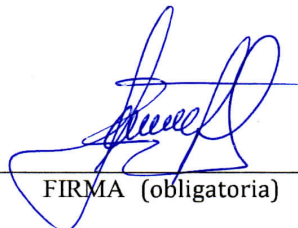
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de Abril del 20 25


FIRMA (obligatoria)



Huella