



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA Y
METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA



ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO DEL TERRENO DE
FUNDACION PARA LA CONSTRUCCION DE PISTAS Y
VEREDAS EN LA URBANIZACION NUESTRA SEÑORA DEL
CARMEN, ILAVE - PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. CELIA BERÓNICA ESTOFANERO HUANCOLLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO - PERÚ

2023

NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO D
EL TERRENO DE FUNDACION PARA LA C
ONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS E
N**

AUTOR

**CELIA BERÓNICA ESTOFANERO HUANC
OLLO**

RECUENTO DE PALABRAS

21505 Words

RECUENTO DE CARACTERES

110703 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

87 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 18, 2023 4:56 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 18, 2023 4:58 PM GMT-5

● **7% de similitud general**

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

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% 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)



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

Georges Florencio Uzcuna Peredo
Asesor



DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de investigación a mis padres Emilio Estofanero y Faustina Huancollo, por el sacrificio de educar a sus hijos, por ser ejemplo de perseverancia, amor, trabajo, honradez y respeto.

A mis hermanos Clemencia, Edgar, Percy, Heber, Yessenia, por apoyarme incondicionalmente en todo momento, donde su calidad humana y profesional son el ejemplo a seguir.

Celia Berónica Estofanero Huancollo



AGRADECIMIENTOS

A Dios padre todo poderoso, sobre todas las cosas por iluminarme en mi trayecto de vida, por darme conocimiento y disponibilidad para realizarlo.

A nuestra alma Mater Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica y a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por haberme impartido sus conocimientos y de escalar un peldaño más en el campo del conocimiento.

A mis jurados, Ing. RONALD QUIZA VILCA, Ing. MAURICIO PERALTA MOLINA, Ing. RAMIRO MANUEL YANQUI COAQUIRA; por sus sabios consejos e inculcación de esfuerzo, respeto y disciplina.

A mi director y/o Asesor de Tesis, M.Sc. GEORGES FLORENCIO LLERENA PEREDO por el apoyo incesante en la elaboración y concepción del presente trabajo.

Celia Berónica Estofanero Huancollo



INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 17

1.1.1. Problema general..... 18

1.1.2. Problemas específicos 18

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.3. JUSTIFICACIÓN 19

1.3.1. Justificación metodológica..... 19

1.3.2. Justificación técnica 19

1.3.3. Justificación social 19

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... 20

1.4.1. Objetivo general 20

1.4.2. Objetivos específicos 20

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 21



2.1.1.	Internacionales	21
2.1.2.	Nacionales	22
2.1.3.	Locales	24
2.2.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS.....	26
2.2.1.	Conceptos básicos de geología y geotecnia	26
2.2.2.	Caracterización geotécnica de los suelos	28
2.2.3.	Propiedades mecánicas de los suelos.	29
2.2.4.	Comportamiento de los suelos y ante cargas y deformaciones.....	29
2.2.5.	Influencia de la geología y geotecnia en la construcción de pistas y veredas	31
2.3.	ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS	32
2.3.1.	Contenido de humedad natural.....	33
2.3.2.	Análisis granulométrico	34
2.3.3.	Límites de consistencia.	35
2.3.4.	Ensayo de proctor modificado.	36
2.3.5.	Relación de soporte de california (CBR).	37
2.4.	ESTUDIO DE CANTERAS	38
2.4.1.	Características geotécnicas de las canteras.	38
2.4.2.	Exploración de canteras.	39
2.4.3.	Explotación de canteras.....	40
2.5.	MARCO CONCEPTUAL	41
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	44



3.1.1.	Tipo de la investigación.	44
3.1.2.	Diseño de la investigación.	44
3.1.3.	Población y muestra.	45
3.1.4.	Variables de la investigación.	46
3.1.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
3.2.	ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.2.1.	Primera etapa: trabajo en gabinete I.....	47
3.2.2.	Segunda etapa: trabajo en campo.....	48
3.2.3.	Tercera etapa: trabajo en gabinete II.....	48
CAPÍTULO IV		
CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO		
4.1.	LUGAR DE ESTUDIO.....	50
4.1.1.	Descripción de la ubicación política.	50
4.1.2.	Ubicación geográfica.	50
4.2.	ACCESIBILIDAD DEL LUGAR DE ESTUDIO	54
CAPÍTULO V		
RESULTADOS Y DISCUSION		
5.1.	CONDICIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	56
5.1.1.	Geomorfología regional.	56
5.1.2.	Unidades geomorfológicas.....	57
5.2.	CONDICIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	57
5.2.1.	Puntos de muestreo.	57
5.2.2.	Propiedades físicas del terreno de fundación.....	58
5.2.3.	Clasificación de SUCS y AASHTO.....	60
5.3.	CONDICIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS	72



5.3.1. Cantera liga apacheta.	72
5.3.2. Cantera de hormigón del rio Ilave.....	74
5.3.3. Combinación de canteras.	76
5.4. DISCUSIÓN	83
VI. CONCLUSIONES.....	84
VII. RECOMENDACIONES	86
VIII. REFERENCIAS	88
ANEXOS.....	92

Tema: Geología, minas y metalurgia

Área: Ingeniería y tecnología

Fecha de sustentación: 25/10/2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación política de la Región de Puno.....	51
Figura 2. Ubicación política de la provincia de "El Collao".	53
Figura 3. Ubicación política del distrito de Ilave	54
Figura 4. Tramo de la vía Puno - Ilave.....	55
Figura 5. Ubicación de las calicatas o punto de muestreo.....	58
Figura 6. Clasificación de los tipos de calicatas según SUCS	60
Figura 7. Clasificación de los tipos de calicatas según AASHTO	62
Figura 8. Variación del contenido de humedad natural en cada calicata.	63
Figura 9. Variación granulométrica por cada calicata.....	64
Figura 10. Variación de los límites de consistencia por cada calicata.	66
Figura 11. Variación de la máxima densidad seca por cada calicata.	69
Figura 12. Variación del optimo contenido de humedad por cada calicata.	70
Figura 13. Variación de la capacidad de soporte por cada calicata.....	71
Figura 14. Variación del contenido de humedad de las canteras.	79
Figura 15. Variación de los límites de consistencia de las canteras.....	80
Figura 16. Variación de los resultados de la abrasión los ángeles de las canteras.....	81
Figura 17. Variación de la capacidad de soporte de las canteras.....	82



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Contenido de humedad según el tipo de suelo.....	34
Tabla 2. Tamaño de partículas.....	35
Tabla 3. Accesibilidad del lugar del lugar de estudio.....	55
Tabla 4. Propiedades físicas del terreno de fundación.....	59
Tabla 5 Propiedades mecánicas del terreno de fundación.....	68
Tabla 6 Propiedades de la cantera Liga Apacheta - Ilave.....	73
Tabla 7 Propiedades de la cantera de hormigón del rio Ilave.....	75
Tabla 8 Propiedades resultantes de la combinación de canteras.....	77



INDICE DE ACRONIMOS

UNIDAD DE MEDIDA

Km	: Kilómetro
M	: Metro
m.s.n.m.	: Metros Sobre el Nivel del Mar
T°	: Temperatura
(%)	: Porcentaje

ABREVIATURAS GEOLÓGICAS

CL	: Arcilla
ML	: Limo arcilloso
SC	: Arena arcillosa
SM	: Arena limosa
GC	: Grava arcillosa
GM	: Grava limosa
GP	: Grava mal graduada
OH	: Suelos orgánicos de alta plasticidad
CH	: Arcillas de alta plasticidad
MH	: Limos de alta plasticidad
OL	: Arcillas orgánicas

ABREVIATURAS GEOMECÁNICAS



CBR	: California Bearing Ratio
Cu	: Coeficiente de Uniformidad
Cc	: Coeficiente de Curvatura
LL	: Límite líquido
LP	: Límite plástico
LC	: Límite de contracción
IP	: Índice de plasticidad
IC	: Índice de contracción

SIGLAS

Ho	: Hipótesis nula
Ha	: Hipótesis alternativa
GPS	: Sistema de posicionamiento global
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se encuentra ubicado en la urbanización Nuestra señora del Carmen del distrito de Ilave de la provincia de El Collao y departamento de Puno; el objetivo consiste en evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno de fundación para la construcción de pistas y veredas. La metodología de la investigación es de tipo analítico por la relación que guarda la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas que se puedan encontrar en el suelo de fundación, y del diseño experimental; dentro de sus técnicas se contempla las siguientes etapas: reconocimiento de campo, realización de calicatas y extracción de muestras, ensayo de muestras obtenidas en laboratorio y análisis de los resultados obtenidos en el estudio. La población para este estudio está conformada por los jirones y calles con referente a la Urbanización Nuestra Señora del Carmen, mientras que la muestra está representada por los especímenes, obtenidos de cada calicata que se realizó en puntos críticos. Los resultados muestran que la zona de estudio está formada por materiales aluviales y coluviales moldeados por procesos erosivos, tectonismo y vulcanismo. Se realizaron pruebas de laboratorio en 16 puntos de muestreo y se encontró una gran variabilidad en las propiedades físicas del terreno de fundación a una altitud de 3000 m.s.n.m, los suelos con respecto a SUCS principalmente se clasifican en SM, CL, SP, SC, ML y según AASTHO A-4, A-6, A-2-4, A-1-b, un contenido de humedad que varía entre 9,68% y 34,26%, la capacidad del valor de soporte (CBR) del suelo de fundación se clasifican regular 7.16% a 9.43% a la máxima densidad seca al 95%. Finalmente se concluye que la zona de estudio se destaca por su compleja estructura litológica, que ha sido moldeada por la acción de los procesos erosivos.

Palabras Clave: Geología, Geotecnia, Terreno de fundación, Pistas, Veredas.



ABSTRACT

The present research work is located in the Nuestra Señora del Carmen urbanization in the Ilave district of the province of Collao and department of Puno; The objective is to evaluate the geological and geotechnical conditions of the foundation land for the construction of tracks and trails. The research methodology is analytical due to the relationship between the characterization of the physical and mechanical properties that can be found in the foundation soil, and the experimental design; Within its techniques, the following stages are contemplated: field reconnaissance, conducting pits and extraction of samples, testing of samples obtained in the laboratory and analysis of the results obtained in the study. The population for this study is made up of the shreds and streets referring to the Nuestra Señora del Carmen Urbanization, while the sample is represented by the specimens, obtained from each pit that was carried out in critical points. The results show that the study area is formed by alluvial and colluvial materials shaped by erosive processes, tectonism and volcanism. Laboratory tests were carried out at 16 sampling points and a great variability was found in the physical properties of the foundation soil at an altitude of 3000 m.a.s.l., the soils with respect to SUCS are mainly classified into SM, CL, SP, SC, ML and according to AASTHO A-4, A-6, A-2-4, A-1-b, a moisture content varying between 9.68% and 34.26%, the bearing capacity (CBR) of the Foundation soils are graded regular 7.16% to 9.43% at maximum dry density at 95%. Finally, it is concluded that the study area stands out for its complex lithological structure, which has been shaped by the action of erosive processes.

Keywords: Geology, Geotechnics, Foundation land, Tracks, Trails.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La construcción de pistas y veredas en una zona urbana es un proceso que implica una planificación minuciosa y detallada, que comienza con un estudio geológico y geotécnico del terreno de fundación. Este proceso se lleva a cabo para garantizar la estabilidad y la seguridad de las estructuras y de las personas que las utilizan por ende es primordial esta etapa no solamente para este tipo de construcción de pistas y veredas, sino que también para todo tipo de construcciones ya sea de pequeños o grandes magnitudes.

En el caso específico de la urbanización Nuestra Señora del Carmen, ubicada en la ciudad de Ilave, en la región de Puno, la importancia de realizar un estudio geológico y geotécnico del terreno se debe a que esta zona presenta características geográficas y geológicas específicas, que pueden afectar la construcción de pistas y veredas.

En este sentido, se requiere de un estudio que permita identificar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como las condiciones geotécnicas del terreno. Para ello, se emplean diversas técnicas de exploración, que permiten obtener información sobre la naturaleza del suelo, la existencia de rocas, la presencia de agua subterránea, entre otros factores que puedan influir en la construcción de pistas y veredas, por ese sentido es indispensable este estudio en esta localidad.

El Capítulo 1, es la introducción del trabajo de investigación y en él se presentan algunas consideraciones del tema, además se plantea el problema, la hipótesis, la justificación y los objetivos. Este capítulo se enfoca en proporcionar una contextualización y delimitación del tema que se abordará a lo largo del trabajo.



El Capítulo II, se centra en la revisión teórica de los temas tratados en el trabajo, así como los antecedentes internacionales, nacionales y regionales que han servido como fundamentos para la investigación. Es importante mencionar que esta revisión teórica permite sustentar el marco teórico del estudio y brindar una perspectiva más amplia del tema abordado.

El Capítulo III, se enfoca en la descripción de la metodología del proyecto de investigación, los materiales e instrumentos utilizados, el proceso y las técnicas de investigación adoptada. Este capítulo es fundamental para entender la forma en que se ha realizado el trabajo de investigación, así como para comprender el contexto en el que se desarrolla.

El capítulo IV, se basa en la descripción del lugar de estudio de la ubicación política, geográficamente y proporciona información sobre la accesibilidad a través de las vías de acceso.

El Capítulo V, muestra los resultados obtenidos a partir de las diferentes pruebas o ensayos realizados en laboratorio, incluyendo tablas y gráficos para su mejor entendimiento. Este capítulo es el núcleo del trabajo, ya que muestra los resultados obtenidos y cómo estos se relacionan con la hipótesis planteada.

El Capítulo VI, se enfoca en presentar las conclusiones obtenidas en el trabajo de investigación, en relación a los objetivos planteados. Este capítulo brinda un resumen de los resultados obtenidos y permite verificar si los objetivos del trabajo han sido cumplidos.

El Capítulo VII, se centra en presentar recomendaciones basadas en las conclusiones obtenidas. Estas recomendaciones pueden ser de naturaleza práctica o teórica, y su objetivo es guiar a futuros investigadores en la continuación del estudio.



Finalmente, el Capítulo VIII, se enfoca en presentar las fuentes utilizadas en el trabajo de investigación. Este capítulo es fundamental para asegurar la calidad y veracidad de la información presentada en el trabajo, así como para dar crédito a los autores que han contribuido al desarrollo del estudio.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el crecimiento y desarrollo de las sociedades demandan un aumento significativo en el uso de vehículos de transporte. Para satisfacer esta necesidad, resulta indispensable contar con una infraestructura vial adecuada, especialmente carreteras pavimentadas en buen estado. La pavimentación de carreteras ofrece múltiples beneficios, como la reducción del tiempo de viaje al proporcionar una superficie más uniforme y segura, lo que a su vez disminuye el desgaste de los vehículos y los costos de mantenimiento. Además, las carreteras pavimentadas favorecen la eficiencia logística al facilitar el transporte de bienes y mercancías, lo que impulsa el comercio al crecimiento económico. Por otro lado, una carretera pavimentada mejora la seguridad vial al proporcionar mejor tracción y adherencia, disminuyendo el riesgo de accidentes, garantizando un acceso más seguro a áreas remotas. Sin embargo, la falta de un estudio geotécnico adecuado antes de la reconstrucción de carreteras degradadas puede resultar proyectos costosos y poco duraderos.

Cuando esto se pasa por alto, da lugar a costosos enormes y pérdidas para quienes se supone que se benefician. Lo cierto es que la gente gasta más dinero en arreglar sus coches después de conducir por una carretera con un pavimento deficiente, y pierde tiempo porque tiene que conducir más despacio por los baches y las bajadas. Debido a la ausencia de una investigación geológica y geotécnica que caracterice los tipos de suelos y las características de resistencia que se pueden encontrar en ese tipo de suelo, el mantenimiento para los escenarios en los que el pavimento está dañado también implica un costo significativo para



el mantenimiento que los vecinos tienen que realizar. Es importante destacar que la falta de estudios sobre el tema lleva a los investigadores a descubrir formas anticuadas de estudio del terreno, por lo que todavía no existe la tan deseada innovación en esta materia de ingeniería. Hay relativamente pocos estudios de una carretera representativa, y algunos creen que un solo estudio es suficiente para reflejar la topografía de las calles que se van a construir, lo que demuestra el desconocimiento de la gama de estratos de suelo que se encuentran en la región.

Debido a la falta de estudios actualizados en las zonas aledañas al proyecto, será difícil analizar y comparar los estudios para una mayor certeza de los resultados; de igual manera, no se han realizado estudios para los Jirones y sus calles aledañas de la Urbanización Nuestra Señora del Carmen, donde actualmente se ejecuta el proyecto.

Es por lo mismo, que a efecto de la problemática presentada se plantea las siguientes interrogantes:

1.1.1. Problema general

¿Cómo evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno de fundación para la construcción de pistas y veredas en la urbanización Nuestra Señora del Carmen del Distrito de Ilave – Puno?

1.1.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles serán las características geológicas del terreno de fundación de la urbanización Nuestra Señora del Carmen?
- b. ¿Cuáles serán las características geotécnicas del terreno de fundación de la urbanización Nuestra Señora del Carmen?



- c. ¿Cómo efectuar el estudio de canteras para identificar el material idóneo para emplear en la construcción de pistas y veredas de la Urbanización Nuestra Señora del Carmen del distrito de Ilave?

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Ha: El estudio geológico y geotécnico del terreno de fundación influirá en la construcción de pistas y veredas de la urbanización Nuestra Señora del Carmen del Distrito de Ilave – Puno.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación metodológica

Es importante establecer estudios geológicos en los Jirones y sus calles aledañas de la Urbanización Nuestra Señora del Carmen en el distrito de Ilave, donde se visualicen las características de los suelos que conforman todo el tramo, para la obra vial que viene desarrollando la Gerencia Municipal Provincial de El Collao. Estos estudios también serán útiles para futuras investigaciones y proyectos relacionados con el presente proyecto.

1.3.2. Justificación técnica

Gracias a este estudio se determinará la estratigrafía del suelo y las características de resistencia de cada tipo de suelo en los jirones y calles adyacentes de la urbanización Nuestra Señora del Carmen, lo que permitirá mejorar la estabilidad de las calles y reducir las molestias de mantenimiento en el futuro como consecuencia de los daños.

1.3.3. Justificación social

El estudio contribuirá a mejorar la calidad de vida de un gran número de ciudadanos proporcionándoles proyectos valiosos, con estudios que garanticen la



calidad de la construcción de la calle de acuerdo con un buen estudio geológico, lo que facilitará la mejora del tiempo de comunicación de los ciudadanos para poder tener la comodidad de una calle en buen estado, reduciendo los daños a sus vehículos de transporte que se originan por los baches o el barro en épocas de lluvia.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno de fundación para la construcción de pistas y veredas en la urbanización Nuestra Señora del Carmen del Distrito de Ilave – Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las características geológicas del terreno de fundación de la urbanización Nuestra Señora del Carmen.
- b. Determinar las características geotécnicas del terreno de fundación de la urbanización Nuestra Señora del Carmen.
- c. Realizar el estudio de canteras para identificar el material idóneo para la construcción de pistas y veredas de la Urbanización Nuestra Señora del Carmen del distrito de Ilave.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Sandoval & Rivera (2018), En su investigación se propuso establecer una relación entre el CBR inalterado y la resistencia a la compresión no confinada del suelo, así como algunos parámetros de índice para muestras naturalmente húmedas y saturadas. Empleando una metodología experimental utilizado para correlacionar el CBR no modificado y la resistencia a la compresión no confinada u otros valores de índices de suelos finos. Se utilizaron 38 muestras para lograr una fiabilidad del 95%, una potencia estadística y una correlación de Pearson de 0,60. Sus resultados de los suelos seleccionados varían del 26% al 93% de límite líquido, del 4% al 57% de índice de plasticidad y de 0,10 a 6,6 kg/cm² de resistencia a la compresión no confinada. En conclusión, el autor señala que se descubrieron dos correlaciones para derivar el CBR natural de los suelos finos a partir de su resistencia a la compresión no confinada: (1) utilizando la raíz cuadrada para transformar el CBR natural se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) igual a 0,83; (2) utilizando el logaritmo para transformar el CBR saturado se obtuvo un valor de (r^2) igual a 0,67.

Silva & Navas (2019), presentaron como objetivo “identificar, evaluar y caracterizar las propiedades geológicas y geotécnicas de un suelo arcilloso”. Al tratarse de una investigación con pruebas reales, el enfoque utilizado es experimental. Las muestras se extrajeron dentro del municipio de Bucaramanga del departamento de Santander, cuenta con un área de 162 kilómetros, constituida por una topografía de 15% plana y 30% ondulado y 55% montañoso. Los



resultados revelan suelos con un alto porcentaje de partículas, 87,97%, un límite líquido de 52,81 y un límite plástico de 21,38, lo que resulta en un índice de plasticidad de 31,43%. En conclusión, el autor cree que la sustancia clasificada es una arcilla muy flexible que se contrae y expande con los cambios de humedad y no debería utilizarse como cimentación.

Ibarra (2019), con la finalidad de contribuir al conocimiento geotécnico de una parte de la ciudad de Neuquén, incluyeron la clasificación de los suelos según el SUCS, realizó un estudio utilizando métodos analíticos y descriptivos. La muestra consiste en 34 sitios de planicies fluviales del río Limay, con 4 unidades geotécnicas distintas. Los resultados que obtuvieron muestran que el 25% de los terrenos tiene una mala adaptabilidad geotécnica debido a las capas sedimentarias menos adecuadas y a una capa freática poco profunda; el 40% tiene una excelente adaptabilidad geotécnica debido a la presencia de la unidad geotécnica 4 a menos de 4 metros de profundidad media. La conclusión del autor fue que para esta investigación no se agregó las sales minerales del agua; sin embargo, deberían incluirse en la evaluación de los sulfatos muestreados, particularmente para los sectores más alejados del río y más cercanos a la valla. No se prevén altas concentraciones de sales ya que la conexión río-acuífero es favorable en la mayor parte de la región de estudio.

2.1.2. Nacionales

Bocanegra & Flores (2021), indicaron en su trabajo de investigación, como propósito realizar una propuesta de diseño para los tramos de suelos reforzados de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto. Se utilizaron métodos cuantitativos para examinar las propiedades geológicas y geotécnicas del suelo. La muestra abarca desde el Km 1+200 hasta



el Km 19+000 de la ruta Yurimaguas - Munichis. Los resultados mostraron la existencia de suelos blandos, arcillosos, con en el rango de 146 a 230 m/s; esto se verifica en el pozo de prueba C-01, que revela la presencia de la capa arcillosa (CH) hasta una profundidad de 3,80 m; utilizando el MASW, podemos deducir que este estrato blando puede continuar hasta una profundidad de 5,30 m. El autor encuentra que, sin una gestión eficaz del suelo, la capacidad portante del suelo para sostener el suelo reforzado propuesto será insuficiente, requiriendo mejoras de más de 2,0 m, incluso utilizando nuestros cálculos de correlación para tales suelos reforzados.

Curse & Huamán (2019) tuvieron como objetivo; evaluar las características geológico-geotécnicas de la ruta San Salvador - Occoruro desde 0+000 hasta 18+440 en Calca. El estudio utiliza métodos descriptivos, correlacionales y explicativos, empleando datos de prueba para llegar a una conclusión y datos de perfil para ganar en precisión. La muestra se compone de calicatas que abarcan 18.440 kilómetros con muestras de hasta 25 kg. Según los resultados del SUCS y la AASHTO, los suelos que componen los depósitos coluviales-aluviales entre el km 0+920 y el km 6+170 son arcillas limosas (CL) o A-4(5) y A-4(7) y gravas limo-arcillosas (GM-GC) A-1-B (0), mientras que los suelos que componen los depósitos entre el km 6+170 y el km 10+400 son arenas arcillosas (SC) y arcillas limosas (CL) o a-2-4 Y a-4(5). Finalmente, los depósitos aluviales son los más sensibles a la erosión en las roderas, la caída de bloques de tierra, por lo que es imprescindible realizar cunetas de coronación cubiertas en las partes altas de los taludes de la carretera.

Rimayhuaman (2021), en su estudio caracterizo los materiales existentes bajo la topografía natural del lugar, establecer sus cualidades físicas y mecánicas



para estimar los criterios de resistencia necesarios, diseñar y calcular el proyecto de mejora y restauración. Este estudio utiliza una metodología analítica-descriptiva y estaba representada por 61 pozos de prueba a cielo abierto y comprende la categorización física y mecánica. Sobre la base de los parámetros físico-mecánicos evaluados a partir de muestras de pozos de prueba en toda la región de la investigación, los valores de CBR de los suelos blandos y muy blandos en el sector Mara - Haqira para una penetración del 100% varían entre el 11,2% y el 15,5%. Por último, el autor concluye que el material que se encuentra debajo de la subrasante en la región de Mara - Haqira es sobresaliente para los suelos arcillosos gravosos y mediocre para los suelos arcillosos inorgánicos.

2.1.3. Locales

Fernández (2022), tuvo como objetivo evaluar las características geológico-geotécnicas del suelo de cimentación y de las canteras para la construcción de la carretera Curayllo - Chupa, provincia de Azángaro - Puno. En este estudio se investigaron las propiedades físico-mecánicas del suelo de cimentación y de los materiales de préstamo mediante una técnica analítica-descriptiva. Cada 0,5 kilómetros se realizaron 30 fosas a una profundidad de 1,5 metros que constituyen la muestra. Según los resultados, los suelos son predominantemente arcillosos mezclados con arenas finas del tipo CL, ML, SC, SM-SC y suelos con gravas angulares a redondeadas del tipo GC, GP, GP-GM, según los resultados; sin embargo, según la AASHTO, los suelos son de los tipos a-4(1), a-4(7), a-2-4(0), a-4(4), a-4(2), a-5(2), con un CBR medio del 5%. Finalmente, el autor encuentra que se pueden identificar siete secciones distintas y criterios de mejora para cada una de las tres canteras de áridos (Kesca, Carimayo y Picaflor) y una cantera de arena y roca (río Azángaro) estudiadas.



Portada (2020), La intención fue establecer las características geológico-geotécnicas del suelo de cimentación y de las canteras de la carretera Ayaviri-Purina en la región de Melgar en el tramo (Km 00+000 a 19+375). La metodología, que incorpora las metodologías de los datos obtenidos en cada etapa, resulta en un enfoque descriptivo, interpretativo y analítico. La muestra está representada por una porción de la ruta Ayaviri-Purina desde la progresiva 00+000 hasta la progresiva 19+375. Los resultados indican que en los tramos comprendidos entre el Km 0+000 y el Km 3+600, el Km 12+140 y el Km 13+100, y el Km 16+860 y el Km 19+375, el suelo es inestable debido a la presencia de suelos orgánicos de alta plasticidad (OH), limos de alta plasticidad (MH), arcillas de alta plasticidad (CH), arcilla de baja plasticidad (CL) y limos de baja plasticidad (ML) según la clasificación del SUCS y según AASHTO está compuesto por suelos arcillosos de alta y baja plasticidad (A-6, A-7-6) y suelos de alta y baja plasticidad (A-4, A-7-5); los tramos del Km 3+600 hasta el Km 12+140 y Km 16+860 son suelos estables clasificados como arena arcillosa (SC), arena mal graduada a arena arcillosa (SP-SC), arena arcillosa a arena limosa (SC-SM), grava limosa a grava mal graduada (GM-GP), y grava mal graduada a grava arcillosa (GP-GC), y según clasificación AASHTO como suelo arenoso y limo arcilloso ((A-2-6)(A-2-4)) y suelos gravas ((A-1-b)(A-1-a)). Concluyendo que se identificaron 11 tipos distintos de suelo a través de las pruebas realizadas en el laboratorio de mecánica de suelos durante la investigación del suelo de cimentación.

Según Lujano (2021), tenía como propósito de investigación la de examinar las características geotécnicas del suelo de cimentación y de los materiales de préstamo para la rehabilitación de la carretera Pomata-Yorohoco



(PU 675) en la región de Chucuito. El enfoque utilizado es analítico y descriptivo en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la cantera y de la cimentación. El muestreo se realizó a cada 500 metros, con 68 calicatas colocadas a 0,50 metros y calicatas más profundas desplegadas a profundidades de hasta 2,00 metros. Los resultados muestran suelos arcillosos, arcillas limosas, arcillas arenosas, limos, limos arenosos, limos orgánicos, arenas arcillosas, gravas arcillosas, gravas limosas con clasificación SUCS CL, ML, OL, SC, SM, GC, GM y clasificación AASHTO: A1-a, a1B, A-2-4, A-2-4(0), A-2-4(16), A-2-6(0), A-4, A-4(1), A-4(8), A-6(7), A-6(9), A-7-6(10), con una humedad de hasta el 16%, con un límite líquido del 18,40% al 29,60% y un límite plástico del 1,10% al 12,5%. El autor llega a la conclusión de que las arenas mal clasificadas, las arenas limosas, las arenas arcillosas, las arcillas orgánicas clasificadas como SM, SC, CL, ML, GM, GC, CH, OH tienen un CBR entre el 8% y el 26% y deben ser mejoradas como suelos de cimentación.

2.2. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS

2.2.1. Conceptos básicos de geología y geotecnia

La geología es una ciencia amplia que se divide en diferentes ramas, como la geología estructural, la geología histórica y la geología del medio ambiente. Según Tarbuck y Lutgens (2017), la geología estructural se enfoca en el estudio de las estructuras geológicas, como los pliegues, fallas y diques, que afectan la distribución y las propiedades de los recursos geológicos. La geología histórica se enfoca en el estudio de la historia de la Tierra, incluyendo la evolución de la vida y los eventos geológicos que han ocurrido a lo largo del tiempo geológico. La geología del medio ambiente se enfoca en la interacción entre los seres humanos



y el medio ambiente, y cómo los procesos geológicos pueden afectar el bienestar humano.

Pallasco (2018), en su título de investigación Evaluación y propuestas de mantenimiento de la pavimentación no rígida de la av. Quebedo en S. Domingo. Su trabajo busca dar una mejora eficiente en el transporte optimizando tiempo y dinero y sobre todo la comodidad quienes lo usaban, sin embargo no tomó en cuenta lo que es el estudio geológico y solo a gran escala lo que es geotecnia, En el tramo de la avenida Quevedo, la gran parte de sus secciones están deteriorados, por lo que, al parecer con el pasar de los años de servicio, solo se ha realizado la colocación de capas de asfalto, como soluciones rápidas pero sin normas técnicas que lo sustente.



La geotecnia es una disciplina que se enfoca en la aplicación de los principios de la geología, la mecánica de suelos y la mecánica de rocas en la ingeniería civil. Según Das (2018), la geotecnia se enfoca en el diseño y la construcción de estructuras civiles, como edificios, puentes, carreteras y presas, utilizando los principios de la geología y la mecánica de suelos. La mecánica de suelos se enfoca en el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, como la densidad, la humedad y la resistencia, mientras que la mecánica de rocas se enfoca en el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas.

2.2.2. Caracterización geotécnica de los suelos

La caracterización geotécnica se realiza a través de ensayos de laboratorio y pruebas de campo. Según Bowles (1996), algunos de los ensayos de laboratorio más comunes para la caracterización geotécnica de los suelos incluyen la determinación de la densidad, la humedad, la permeabilidad, la compresibilidad y la resistencia al corte.

Estas pruebas de campo son esenciales para la caracterización geotécnica, ya que permiten evaluar el comportamiento de los suelos bajo condiciones reales de carga y ambiente. Según Seed y Idriss (1971), algunas de las pruebas de campo más comunes para la caracterización geotécnica de los suelos incluyen la prueba de penetración estándar (SPT), la prueba de cono (CPT), la prueba de presión de poros y la prueba de carga estática.

La interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio y las pruebas de campo es esencial para la caracterización geotécnica. Según Lambe y Whitman (1969), la interpretación de los resultados se basa en la correlación entre las propiedades geotécnicas y los factores geológicos, como la mineralogía, la estructura y la historia geológica de los suelos.



2.2.3. Propiedades mecánicas de los suelos.

2.2.3.1. Propiedades mecánicas de los suelos

Según Craig (2013), las propiedades mecánicas de los suelos se refieren a su capacidad para resistir esfuerzos o deformaciones. Entre las propiedades mecánicas más importantes se encuentran la resistencia al corte, la compresibilidad, la permeabilidad y la densidad.

2.2.3.2. Resistencia al corte

Según Terzaghi y Peck (1967), la resistencia al corte es la capacidad del suelo para resistir la fuerza cortante. Esta propiedad está relacionada con el ángulo de fricción interna del suelo, que es la medida de la resistencia al corte del suelo.

2.2.3.3. Compresibilidad

Según Das (2018), la compresibilidad se refiere a la capacidad del suelo para disminuir su volumen bajo cargas aplicadas. La compresibilidad está relacionada con el módulo de compresibilidad del suelo, que es la medida de la deformación del suelo bajo cargas aplicadas.

2.2.3.4. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio son una herramienta importante para medir las propiedades mecánicas de los suelos. Según Bowles (1996), los ensayos más comunes incluyen el ensayo de corte directo, el ensayo de compresión uniaxial.

2.2.4. Comportamiento de los suelos y ante cargas y deformaciones

El estudio de las propiedades mecánicas de los suelos es un tema de larga data en la ingeniería geotécnica y ha sido objeto de investigación por varios investigadores. En este sentido, Terzaghi (1943) destaca la importancia de conocer las propiedades mecánicas de los suelos para el diseño de cimentaciones y estructuras. Por otro lado, Jaeger y Cook (1979) señalan la complejidad del



comportamiento de los suelos ante cargas y deformaciones y la necesidad de realizar ensayos de laboratorio para caracterizar sus propiedades mecánicas.

El comportamiento mecánico de los suelos ante cargas estáticas y dinámicas está influenciado por diversos factores, tales como la densidad del material, la porosidad, la humedad, la textura y la mineralogía. Los suelos pueden soportar cargas estáticas y dinámicas de diferentes magnitudes y frecuencias, y su capacidad para resistir estas cargas depende de su estructura y composición (Das, 2018).

Por otra parte, las cargas aplicadas a los suelos pueden ser de diferentes tipos y magnitudes, lo que produce diferentes efectos en su comportamiento. Por ejemplo, las cargas estáticas producen deformaciones permanentes en los suelos, mientras que las cargas cíclicas pueden generar fatiga y eventualmente la falla del material. En este sentido, Duncan y Wright (2005) analizan el comportamiento de los suelos ante cargas cíclicas y la importancia de tener en cuenta el efecto del envejecimiento en la resistencia del material.

La deformación elástica y plástica de los suelos es otra propiedad mecánica importante que influye en su comportamiento ante cargas y deformaciones. La deformación elástica se refiere a la capacidad del material para recuperar su forma original después de haber sido sometido a una carga, mientras que la deformación plástica se refiere a la capacidad del material para deformarse permanentemente después de haber sido sometido a una carga (Seed & Woodward, 1955).

La resistencia al corte de los suelos es una propiedad mecánica que se refiere a la capacidad del suelo para resistir la fuerza cortante. La resistencia al corte es influenciada por factores tales como la textura, la mineralogía y la estructura del suelo. La resistencia al corte de los suelos se puede determinar

mediante diferentes métodos, tales como el ensayo de corte directo y el ensayo de corte triaxial (Das, 2018).

La consolidación de los suelos es otro aspecto importante del comportamiento mecánico de los suelos ante cargas y deformaciones. La consolidación se refiere al proceso de expulsión del agua de los poros de un suelo cuando éste es sometido a una carga. La consolidación es influenciada por factores tales como la textura, la porosidad y la permeabilidad del suelo. La velocidad de consolidación puede ser determinada mediante el ensayo de consolidación (Das, 2018).

2.2.5. Influencia de la geología y geotecnia en la construcción de pistas y veredas

La geología es esencial para la construcción de pistas y veredas, ya que proporciona información sobre la composición y estructura del terreno en el que se van a construir. Un conocimiento detallado de la geología permite identificar los tipos de suelos y rocas presentes en el área, así como las condiciones geológicas que pueden afectar la construcción, como fallas geológicas, zonas de deslizamiento y terrenos inestables (Lunne, Robertson , & Powell, 2012).

La geotecnia también desempeña un papel crucial en la construcción de pistas y veredas, ya que se encarga de estudiar el comportamiento mecánico de los suelos y rocas en relación con las cargas y deformaciones. La resistencia y deformabilidad de los suelos y rocas son factores importantes a considerar al diseñar la pista o vereda, ya que pueden afectar su capacidad de soportar las cargas vehiculares o peatonales (Curse & Huaman, 2019).

La influencia de la geología y la geotecnia en la construcción de pistas y veredas también se extiende a la selección de materiales de construcción. El tipo



de suelo o roca presente en el área de construcción puede afectar la selección de materiales para la base, subbase y superficie de la pista o vereda (Lunne, Robertson , & Powell, 2012).

2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

Según Arumala y Jumbe (2017), los ensayos de laboratorio para suelos y agregados son esenciales para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los mismos. Estos ensayos son ampliamente utilizados en la ingeniería civil, geotécnica y de materiales para diseñar estructuras y carreteras, evaluar la calidad del suelo y predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga, uno de los ensayos de laboratorio más comunes es el ensayo de densidad y humedad, este ensayo se utiliza para determinar la densidad y la humedad de los suelos y agregados. El ensayo se realiza utilizando un cilindro de metal para recolectar una muestra del suelo, que se pesa y se seca en un horno para determinar la humedad. La densidad se calcula dividiendo el peso de la muestra seca por el volumen del cilindro. La norma ASTM D1556 establece las condiciones para realizar este ensayo.

Otro ensayo de laboratorio común es el ensayo de compactación. Según Fernández (2022), este ensayo se utiliza para determinar la capacidad de un suelo para soportar cargas. El ensayo se realiza compactando una muestra del suelo en un molde utilizando un martillo mecánico. Se miden la densidad y la humedad del suelo después de la compactación. La norma ASTM D698 establece las condiciones para realizar este ensayo.

Por último, el ensayo de corte directo es utilizado para determinar la resistencia al corte de un suelo. Según Terzaghi & Peck (1967), este ensayo se realiza aplicando una fuerza de corte a una muestra de suelo confinada en un dispositivo de corte. La resistencia al corte se calcula dividiendo la fuerza aplicada por el área de la sección transversal de la muestra. La norma ASTM D-3080 establece las condiciones para realizar este ensayo.

2.3.1. Contenido de humedad natural

Según Brady y Weil (2008), el contenido de humedad natural se refiere a la cantidad de agua presente en un material, como un suelo o una roca, en su estado natural. Se mide en porcentaje de la masa del material. Es importante medir el contenido de humedad natural para comprender la capacidad de retención de agua de un suelo, su estructura y su potencial para la agricultura y otras aplicaciones.

La fórmula para calcular el contenido de humedad natural es la siguiente, tal y como lo especifica la ASTM D2216-16 (2016):

$$\text{Contenido de humedad natural} = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco} \times 100\%}$$

Donde:

- Peso húmedo: peso del suelo o roca después de haber sido recolectado, incluyendo la humedad presente.
- Peso seco: peso del suelo o roca después de haber sido secado en un horno a una temperatura específica.

ASTM D2216-16 (2016) también destaca la importancia de seguir procedimientos estandarizados de secado y documentar cuidadosamente los detalles del proceso, ya que la temperatura y el tiempo de secado pueden afectar los resultados de la medición del contenido de humedad natural.

Brady y Weil (2008) presentan una tabla que muestra los valores típicos de contenido de humedad natural para diferentes tipos de suelos:



Tabla 1.

Contenido de humedad según el tipo de suelo.

Tipo de suelo	Contenido de humedad natural (% peso seco)
Arena	1 - 5
Arcilla	20 - 30
Limos	10 - 20
Loam	10 - 30

Nota: (Brady & Weil, 2008)

2.3.2. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es una técnica utilizada para determinar la distribución de tamaños de partículas de un suelo o agregado en una muestra determinada (Holtz & Kovacs, 1981).

Existen varios métodos para realizar el análisis granulométrico, como el tamizado y la sedimentación. El método de tamizado se basa en la separación de las partículas por su tamaño mediante una serie de tamices de malla progresivamente más fina (ASTM D6913-04, 2004). El método de sedimentación, por otro lado, se basa en la velocidad de sedimentación de las partículas en un líquido según su tamaño y densidad (ASTM D422-63, 2007).

Una vez obtenidos los datos del análisis granulométrico, se puede graficar la curva granulométrica, que representa la distribución porcentual acumulada de las partículas en función del tamaño. La curva granulométrica se puede utilizar para determinar el coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c) del suelo o agregado (Holtz & Kovacs, 1981).

El coeficiente de uniformidad se define como el cociente entre el tamaño del tamiz que deja pasar el 60% del peso total y el tamaño del tamiz que deja pasar el 10% del peso total. El coeficiente de curvatura, por otro lado, se calcula a partir

de la diferencia entre el tamaño del tamiz que deja pasar el 30% del peso total y el tamaño del tamiz que deja pasar el 10% del peso total, dividido entre la diferencia entre el tamaño del tamiz que deja pasar el 60% del peso total y el tamaño del tamiz que deja pasar el 10% del peso total (ASTM D422-63, 2007).

Tabla 2.

Tamaño de partículas.

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

Nota. (ASTM D6913-04, 2004)

2.3.3. Límites de consistencia.

Los límites de consistencia son un conjunto de propiedades que describen el comportamiento plástico de los suelos y su capacidad para resistir la deformación bajo cargas aplicadas. Estos límites son definidos por el Instituto Americano de Suelos (ASTM) como "los valores de contenido de agua de un suelo en los cuales el comportamiento cambia de plástico a semisólido o de semisólido a sólido" (ASTM D4318-17, 2017).

Existen tres límites de consistencia comúnmente utilizados: el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC). El límite líquido se define como el contenido de humedad del suelo en el que se produce un cambio de comportamiento de plástico a líquido bajo la aplicación de una fuerza



de corte estándar en una muestra de suelo moldeada. El límite plástico se define como el contenido de humedad del suelo en el que se produce un cambio de comportamiento de plástico a semisólido. El límite de contracción se define como el contenido de humedad del suelo en el que se produce una contracción irreversible de la muestra de suelo al secarse (Das, 2018).

La relación entre los tres límites se puede expresar matemáticamente mediante la fórmula de Atterberg:

$$LL - LP = \text{índice de plasticidad (IP)}$$

$$LP - LC = \text{índice de contracción (IC)}$$

$$LL = IP + LC$$

Los límites de consistencia son importantes para la caracterización de los suelos, ya que se utilizan para clasificar los suelos según su comportamiento plástico y para predecir su capacidad de soporte y deformación bajo cargas aplicadas. Además, los límites de consistencia son útiles en la ingeniería geotécnica para la determinación de la capacidad de corte y la resistencia al corte de los suelos.

2.3.4. Ensayo de proctor modificado.

El ensayo de Proctor modificado es un método de laboratorio utilizado para determinar la densidad máxima seca y el contenido de humedad óptimo de los suelos granulares o de grano fino, que son materiales utilizados comúnmente en la construcción de carreteras y otros proyectos de ingeniería civil (Kumar, Rai, & Singh, 2017). Este ensayo implica la compactación de una muestra de suelo en un molde de forma y dimensiones específicas en capas sucesivas, utilizando una cantidad de energía vibratoria controlada. A continuación, se determina la masa y



la densidad seca de la muestra compactada, lo que permite calcular la densidad máxima seca y el contenido de humedad óptimo del suelo (Brewer, 1964).

La densidad seca máxima se define como la densidad a la que se alcanza la masa de suelo compactada máxima en relación con el contenido de humedad. El contenido de humedad óptimo es el contenido de humedad que produce la densidad seca máxima. Estos parámetros son importantes para determinar la calidad del suelo y para diseñar la mezcla adecuada para su uso en la construcción de carreteras y otras aplicaciones (ASTM D1557, 2012).

2.3.5. Relación de soporte de california (CBR).

La relación de soporte de California (CBR, por sus siglas en inglés) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, comparada con la de un material de referencia (generalmente piedra triturada). Se define como la relación entre la carga necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo a una temperatura y humedad específicas, y la carga necesaria para producir la misma penetración en una muestra patrón de piedra triturada, también a una temperatura y humedad específicas (ASTM D1883-18, 2018).

El CBR se expresa como un porcentaje y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{CBR} = \left(\frac{\text{Carga del suelo para una penetración de 2.5 mm}}{\text{Carga de la muestra patrón para una penetración de 2.5 mm}} \right) \times 100\%$$

El CBR se utiliza comúnmente para evaluar la calidad de los suelos utilizados en la construcción de carreteras y aeropistas, ya que proporciona información sobre la capacidad del suelo para soportar cargas y resistir el deterioro bajo el tráfico repetido. Además, se utiliza en el diseño de la estructura de las carreteras y en la selección del tipo de material de construcción a utilizar (Kumar, Rai, & Singh, 2017).



Es importante tener en cuenta que los valores de CBR son específicos para las condiciones de ensayo, como la humedad y la temperatura, y no deben utilizarse para comparar suelos que se encuentran en diferentes condiciones o para estimar la capacidad de soporte de un suelo en el campo sin tener en cuenta otros factores (ASTM D1883-18, 2018).

2.4. ESTUDIO DE CANTERAS

Según Carranza, García y Franco (2020), los estudios de canteras deben incluir una evaluación geotécnica para determinar las propiedades mecánicas de los materiales y garantizar su idoneidad para su uso en la construcción de infraestructuras. Esta evaluación geotécnica también es importante para determinar el diseño de las obras de estabilización y protección necesarias para la explotación de la cantera.

La evaluación de las características geotécnicas de las canteras implica la realización de pruebas in situ y de laboratorio. Entre las pruebas in situ se pueden mencionar la perforación de testigos, la realización de ensayos de penetración estándar y la medición de la resistividad eléctrica, mientras que entre las pruebas de laboratorio se pueden mencionar el ensayo triaxial, el ensayo de compresión simple y el ensayo de corte (Gomez Ortiz, Diaz Martinez, Pons , Garcia Gonzales, & Tenza Abril , 2009).

2.4.1. Características geotécnicas de las canteras.

Según Lambe & Whitman (1969), las características geotécnicas de las canteras pueden variar significativamente dependiendo de la ubicación geográfica, la geología regional y la edad geológica del material. En general, las rocas ígneas y metamórficas suelen tener una mayor resistencia a la compresión y una menor porosidad y permeabilidad que las rocas sedimentarias. Además, la calidad y la uniformidad del material extraído también pueden variar en función de la profundidad y la ubicación en la cantera.



La resistencia a la compresión es una de las características geotécnicas más importantes a considerar en la selección de canteras para la construcción de infraestructuras. Según Carranza, García & Franco (2020), la resistencia a la compresión de las rocas es una medida de la capacidad de la roca para soportar cargas sin romperse. La resistencia a la compresión puede variar ampliamente entre diferentes tipos de rocas, lo que puede influir en la selección de la cantera y el diseño de la estructura a construir.

La porosidad y la permeabilidad son otras dos características geotécnicas importantes a considerar en la selección de canteras. Según Huisman, Brouwer, Snepvangers & Verheijen (2016), la porosidad se refiere a la cantidad de espacio vacío en una roca y puede influir en la capacidad de la roca para soportar cargas. La permeabilidad se refiere a la capacidad de la roca para permitir el flujo de agua y puede influir en la estabilidad a largo plazo de la estructura construida.

La estabilidad de la cantera también es una consideración importante en la selección de canteras. Según Mora, Mendez & Rosas (2019), la estabilidad se refiere a la capacidad de la cantera para soportar el peso del material extraído y evitar la deformación y el colapso. La evaluación adecuada de la estabilidad de la cantera puede ser crucial para evitar fallas en la infraestructura construida y minimizar los riesgos para la seguridad.

2.4.2. Exploración de canteras.

la exploración geológica de una cantera implica la realización de estudios de la composición y características geológicas del terreno, con el fin de determinar la presencia y ubicación de los yacimientos de roca. Se deben considerar aspectos como la textura, mineralogía, estructura, porosidad y resistencia de la roca en la



zona (Carranza Torres, Hernandez Flores, Cruz Orozco, & Ramirez Alvarez, 2019).

Una vez identificada la zona donde se encuentra el yacimiento, se procede a realizar la exploración geotécnica, que incluye estudios de la resistencia y deformación de la roca, así como la presencia de discontinuidades y fracturas que puedan afectar la estabilidad de las paredes de la cantera y las condiciones de trabajo para los operarios (Mora Ramirez, Mendez Paredes, & Rosas Carbajal, 2019).

Por último, se debe llevar a cabo una evaluación de la calidad del material extraído, mediante la realización de ensayos físicos y químicos, como el análisis granulométrico, el ensayo de absorción y la determinación de la resistencia a la compresión de la roca (De la Rosa, Arango Serna, & Lopez Salazar, 2018).

2.4.3. Explotación de canteras.

Según Basu, Bhattacharya & Roy (2017), durante la explotación de canteras, es importante tener en cuenta la estabilidad de los taludes y la seguridad de los trabajadores. Por lo tanto, se realizan estudios geotécnicos y de seguridad para evaluar la estabilidad de los taludes y determinar las medidas de seguridad necesarias para proteger a los trabajadores.

El análisis de la estabilidad de los taludes en canteras implica la evaluación de la geología y la mecánica de las rocas, el diseño de la pendiente, el análisis de las condiciones hidrológicas y la identificación de posibles fallas. Los autores también mencionan que es importante llevar a cabo un monitoreo constante de los taludes durante la explotación para detectar cualquier cambio en la estabilidad de los mismos y tomar las medidas necesarias para prevenir accidentes (Basu, Bhattacharya, & Roy, 2017).



Otro aspecto importante en la explotación de canteras es el impacto ambiental que puede generar esta actividad. Según Pandey, Mishra & Gupta (2015), la extracción de materiales de las canteras puede tener un impacto negativo en la biodiversidad, la calidad del agua y la calidad del aire. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo medidas de mitigación para reducir el impacto ambiental, como la reforestación de las áreas afectadas y el monitoreo de la calidad del agua y del aire.

2.5. MARCO CONCEPTUAL

- **Caracterización de suelos.** La caracterización de suelos es un proceso que implica la descripción, identificación y cuantificación de las propiedades físicas y químicas del suelo. Estas propiedades son importantes para entender la dinámica del suelo y su capacidad para soportar diferentes usos y actividades humanas (Amundson, y otros, 2015).
- **Cantera:** Las canteras son espacios en los que se lleva a cabo la extracción de rocas y minerales, y que suelen tener un impacto ambiental significativo debido a la alteración del paisaje y la degradación de la calidad del agua y del suelo (Sanmiquel et al., 2018).
- **Estudio de suelos:** Los estudios de suelos son un paso crítico en la planificación y diseño de proyectos de construcción y desarrollo. Estos estudios implican la recolección y análisis de datos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como su capacidad para soportar diferentes usos y actividades humanas. El objetivo de estos estudios es proporcionar información precisa y confiable para tomar decisiones informadas sobre el uso del suelo y minimizar los riesgos asociados con la construcción y el desarrollo (Nwachukwu, Ukoha, & Ugwuanyi, 2018).



- **Mecánica de suelos:** La mecánica de suelos también se ocupa de la evaluación y gestión de los riesgos geotécnicos asociados con los suelos. Esto implica el análisis de los factores que pueden afectar la estabilidad de las estructuras y el suelo circundante, como la lluvia, la erosión, las vibraciones sísmicas y la actividad humana. Los estudios de mecánica de suelos pueden proporcionar información valiosa para mitigar estos riesgos y garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras y las personas que las utilizan (Brinkgreve & Broere, 2014).
- **Propiedades físico – mecánicas de los suelos:** Las propiedades físico-mecánicas de los suelos son aquellas que se relacionan con su comportamiento en respuesta a las cargas y esfuerzos aplicados. Estas propiedades incluyen la densidad, la porosidad, la permeabilidad, la resistencia al corte, la compresibilidad y la deformabilidad. El conocimiento de estas propiedades es fundamental para el diseño de cimentaciones, la estabilidad de taludes y excavaciones, el comportamiento de los suelos ante vibraciones sísmicas, entre otros aspectos de la ingeniería geotécnica (Gomez, Garcia, & Lizarraga, 2019).
- **Suelo:** El suelo es una capa de material no consolidado que cubre la superficie terrestre y se forma a partir de la descomposición de rocas y la acumulación de materia orgánica. El suelo es un recurso natural importante para la producción de alimentos y la conservación de la biodiversidad. Además, el suelo es fundamental para la filtración y almacenamiento de agua y para la regulación del clima. La calidad del suelo depende de factores como su textura, estructura, porosidad, pH, nutrientes y contenido de agua (Brady & Weil, 2008).



- **Origen y formación de los suelos:** El origen y formación de los suelos es un proceso complejo que involucra la acción de factores físicos, químicos y biológicos a lo largo de millones de años. El suelo se forma a partir de la alteración y descomposición de la roca madre, que puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico. La acción del agua, el viento, el clima, la temperatura y la actividad biológica contribuyen a la transformación de la roca en suelo. La formación del suelo es un proceso continuo y dinámico que puede ser afectado por factores antropogénicos como la deforestación, la erosión y la contaminación (Buol, Hole, & McCracken, 2011).
- **Terreno de fundación:** El terreno de fundación se refiere al sustrato geológico sobre el cual se asientan las estructuras de una construcción. Es fundamental que el terreno de fundación tenga la capacidad de soportar la carga que se le va a aplicar sin sufrir deformaciones excesivas o fallas. La elección del tipo de fundación y su diseño dependerán de las características del terreno, tales como su resistencia, estabilidad, permeabilidad y deformabilidad. Es importante llevar a cabo estudios geotécnicos para evaluar el terreno de fundación antes de construir una estructura (Peck, Hanson, & Thornburn, 2008).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de la investigación.

Según Hernández et. al. (2014), el tipo de una investigación hace referencia a un conjunto de metodologías utilizadas en la investigación para obtener información de la condición problemática de la región estudiada, teniendo en cuenta todos los aspectos de aplicación.

El estudio representa a una investigación de tipo analítico por la relación que guarda en la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas que se puedan encontrar en el suelo de fundación y en los materiales de las canteras a utilizar.

3.1.2. Diseño de la investigación.

Según el autor Borja (2016), las investigaciones científicas denominadas diseños no experimentales no establecen, ni son capaces de verificar, vínculos causales directos entre dos variables o entre dos componentes.

La investigación contempla un diseño experimental y se emplea las siguientes etapas de desarrollo: Reconocimiento de campo, Realización de calicatas y extracción de muestras, ensayo de muestras obtenidas en laboratorio y determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo y análisis de los resultados obtenidos en el estudio.



3.1.3. Población y muestra.

3.1.3.1. Población

Para Pino (2007), Representa un conjunto de individuos o cosas que tienen una o más propiedades en común, se encuentran en un espacio o territorio y varían en el transcurso del tiempo. En una investigación se puede tener más de una población, todo depende de la complejidad y variedad de tus objetivos. A veces, cada objetivo requiere una población distinta. En el siguiente párrafo mencionaremos explícitamente a detalle la zona de trabajo.

La población para este estudio está conformada por los Jirones y sus Calles conexas de la Urbanización Nuestra Señora del Carmen, que están ubicadas dentro de la ciudad de Ilave, provincia del El Collao, del Departamento de Puno, y tomando los puntos críticos.

3.1.3.2. Muestra

Según Carrasco (2007), se considera a la muestra como una porción representativa de la población en su conjunto, que contiene las cualidades de ser objetiva y una representación exacta de la población, de modo que cada respuesta de la muestra puede generalizarse para aplicarse a todos los componentes de la población.

La muestra está representada por los especímenes obtenidos de cada calicata que se realizara en puntos críticos, uno por cada jirón y sus calles conexas de la urbanización Nuestra Señora del Carmen de la ciudad de Ilave, siendo un total de 16 especímenes de muestra obtenidos de la misma cantidad de calicatas, los cuales tendrán un peso de 1 kilogramo y estarán georreferenciados con un sistema de posicionamiento global (GPS), para posteriormente ser analizadas en laboratorio.



3.1.4. Variables de la investigación.

3.1.4.1. Variable dependiente

- Construcción de pistas y veredas en la urbanización Nuestra Señora del Carmen del distrito de Ilave.

3.1.4.2. Variables independientes

- Estudios geológicos.
- Estudios geotécnicos.

3.1.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.1.5.1. Técnicas de recolección de datos

Se pueden clasificar como observación, cuestionario, entrevista, Focus Group o Grupo de Enfoque, escala de actitudes y opiniones e instrumentos, escala de apreciación e instrumentos, y recopilación documental (Pino, 2007). Existe una variedad de procedimientos y estándares que pueden ser utilizados para ajustar un procedimiento en particular y los objetivos que se quieren lograr.

Las técnicas para el estudio se dividen en etapas de: trabajo en campo y trabajo en gabinete; la primera consiste en la inspección y visita técnica al área de estudio para el reconocimiento global de la zona, se realizará el levantamiento topográfico y la extracción de muestras de calicatas para su respectivo análisis en el laboratorio. La segunda etapa consiste en la aplicación de herramientas de análisis de datos para representar los resultados obtenidos durante los ensayos, incluye la evaluación e interpretación de los resultados terminando finalmente en la redacción del informe final del estudio.



3.1.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Estación total
- GPS Navegador
- Brújula
- Wincha
- Flexómetro
- Equipos e instrumentos de laboratorio
 - Recipientes.
 - Aparato del límite líquido (Casagrande).
 - Espátula.
 - Horno.
 - Estufa ventilada.
 - Cepillo de alambre.
 - Brocha pequeña.
 - Balanza.
 - Tamices.
 - Cuartero.
 - Molde de compactación,
 - Martillo de compactación.
 - Prensa.
 - Molde de metal.
 - Disco espaciador de metal.

3.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Primera etapa: trabajo en gabinete I.

La etapa de gabinete se enfoca en la recopilación, selección y evaluación de información técnica y bibliográfica disponible del área de estudio. Esta información



puede incluir antecedentes, mapas, fotografías aéreas, entre otros. La revisión de bibliografía relacionada con la geología, geomorfología, hidrogeología, geotecnia, geodinámica y geofísica es fundamental en esta etapa. Además, se elaboran mapas bases preliminares y se revisan mapas nacionales para ubicar el área de estudio. También se realiza un reconocimiento de las unidades geológicas presentes en el área de estudio y alrededores, utilizando los mapeos realizados por el Geocatmin - INGEMMET a nivel regional. Esta etapa es importante para preparar los mapeos de campo y obtener una visión general del área de estudio antes de realizar el trabajo de campo.

3.2.2. Segunda etapa: trabajo en campo.

La etapa de campo implica una visita al área de estudio para realizar un recorrido preliminar y evaluar las condiciones físicas reales del lugar. Durante esta etapa se lleva a cabo el levantamiento de unidades geológicas, geomorfológicas, estructurales, geodinámicas, entre otras, que se plasman en los mapas correspondientes. También se realiza el levantamiento de deformaciones estructurales, tomando datos de rumbos, azimut, buzamiento y dirección de buzamiento para su interpretación. Se explora el subsuelo mediante la ejecución de calicatas en el dique y vaso del represamiento para caracterizar el subsuelo, y se toman muestras de suelos de cada calicata para su posterior análisis. Esta etapa es fundamental para obtener información detallada y precisa del área de estudio y poder realizar un análisis completo del mismo.

3.2.3. Tercera etapa: trabajo en gabinete II.

La segunda etapa de gabinete es la parte final del proceso, en la que se contrasta toda la información obtenida en las etapas de campo y gabinete, así como



los resultados de los ensayos de laboratorio. En esta etapa se realizan diferentes ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas del subsuelo y la roca presente en el área de estudio, como el análisis granulométrico por tamizado, la determinación del límite líquido y plástico, la clasificación SUCS, el contenido de humedad y la densidad natural para suelos, y el reconocimiento macroscópico y microscópico de rocas, la resistencia a la compresión y la compresión triaxial de rocas. Además, se digitalizan los datos de los ensayos de laboratorio y se procesan los certificados correspondientes. Esta etapa es fundamental para obtener información detallada y precisa del área de estudio y poder realizar un análisis completo del mismo.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

4.1. LUGAR DE ESTUDIO

4.1.1. Descripción de la ubicación política.

Políticamente, tanto el departamento de Puno como la provincia de El Collao y el distrito de Ilave son parte del territorio peruano y se rigen por las leyes y estructuras políticas establecidas por el gobierno nacional y regional. A nivel nacional, el departamento de Puno cuenta con representantes en el Congreso de la República del Perú, quienes son elegidos mediante el sistema electoral peruano. A nivel regional, Puno cuenta con un gobierno regional que es encabezado por un gobernador elegido democráticamente. Además, la provincia de El Collao cuenta con una municipalidad provincial y el distrito de Ilave cuenta con una municipalidad distrital, ambas encargadas de la administración local.

- Departamento : Puno
- Provincia : El Collao
- Distrito : Ilave
- Urbanización : “Nuestra señora del Carmen”

4.1.2. Ubicación geográfica.

La región de Puno se encuentra en el sur del Perú, en la cordillera de los Andes. Limita al norte con el departamento de Madre de Dios y Cusco, al este con Bolivia, al sur con el departamento de Tacna y al oeste con el departamento de Moquegua. Su capital es la ciudad de Puno, que se encuentra a una altitud de 3,825 metros sobre el nivel del mar. La región de Puno es conocida por su rica cultura

andina, con festivales como la Fiesta de la Candelaria y el Carnaval de Lampa, así como por sus impresionantes paisajes naturales, que incluyen el Lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo. Además, la región cuenta con una gran cantidad de sitios arqueológicos, como las ruinas de Tiahuanaco y el complejo arqueológico de Sillustani.



Figura 1. *Ubicación política de la Región de Puno.*

La provincia de El Collao se encuentra en el departamento de Puno, en el sur del Perú. Su capital es la ciudad de Ilave, que está ubicada en la parte noreste de la provincia. Limita al norte con la provincia de Huancané, al este con Bolivia, al sur con la provincia de Chucuito y al oeste con la provincia de San Antonio de Putina. La provincia de El Collao tiene una altitud promedio de más de 3,800 metros sobre el nivel del mar y cuenta con paisajes naturales impresionantes, como la cordillera de los Andes y el lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo. Además, la



provincia es conocida por su rica cultura andina y por sus festivales anuales, como la
Fiesta de la Virgen de la Asunción en Ilave.

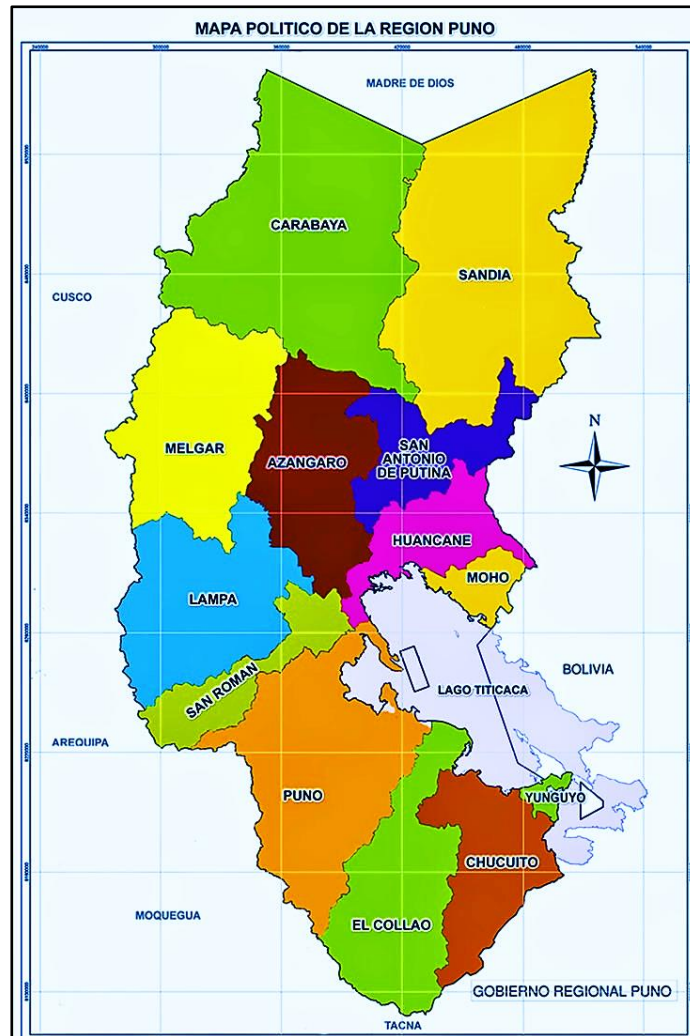


Figura 2. Ubicación política de la provincia de "El Collao".

El distrito de Ilave es un distrito de la provincia de El Collao, ubicado en el departamento de Puno, en el sur del Perú. Se encuentra a una altitud de 3,825 metros sobre el nivel del mar y se encuentra a unos 54.6 kilómetros al noreste de la ciudad de Puno. Limita al norte con el distrito de Santa Rosa, al este con el distrito de Pilcuyo, al sur con el distrito de Capazo y al oeste con el distrito de Conduriri. Ilave es una ciudad importante en la región y es conocida por su mercado semanal y su festival anual en honor a la Virgen de la Asunción.



Figura 3. Ubicación política del distrito de Ilave

4.2. ACCESIBILIDAD DEL LUGAR DE ESTUDIO

Para llegar al lugar de estudio se debe tomar una carretera asfaltada que conecta la ciudad de Puno con el distrito de Ilave, capital de la provincia de El Collao. Se deben considerar aspectos como la disponibilidad de transporte, el estado de la carretera, las condiciones climáticas, entre otros, para asegurar una accesibilidad adecuada al lugar de estudio.

Tabla 3.

Accesibilidad del lugar del lugar de estudio.

Vías de acceso			
Tramo de la carretera	Distancia (kilómetros)	Tiempo Aproximado (Minutos)	Estado de vía
Puno - Ilave	54.6	70	Asfalto

La Tabla 3 proporciona información sobre la accesibilidad del lugar de estudio a través de las vías de acceso. Se muestra el tramo de la carretera, la distancia en kilómetros y el tiempo aproximado en minutos requeridos para recorrerlo. Además, se indica el estado de la vía, en este caso, la carretera que conecta Puno con Ilave, con una distancia de 54.6 kilómetros y un tiempo estimado de 70 minutos, se encuentra en buen estado y cuenta con asfalto.



Figura 4. Tramo de la vía Puno - Ilave.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. CONDICIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1.1. Geomorfología regional.

La zona de investigación se destaca por su compleja estructura litológica, la cual ha sido moldeada por la acción de los procesos erosivos. Algunas áreas muestran pendientes bajas y presentan estructuras sedimentarias de formación de arenisca, limo arcilloso y arena con una buena graduación debido a las disposiciones coluviales y aluviales.

Los paisajes preponderantes en el área de estudio son las cuencas, las cuales se encuentran ubicadas cerca de la Cordillera Oriental. La geomorfología de las zonas circundantes muestra claramente la influencia de los procesos de tectonismo y vulcanismo, lo cual ha resultado en la aparición de diferentes formas de relieve, como las áreas altiplánicas, las montañosas, las colinas, entre otras, que son comunes en la región del altiplano. Al igual que en el resto de la superficie terrestre, los factores condicionantes están presentes en la zona de investigación en cuanto al modelamiento de la superficie terrestre se refiere.

Las zonas examinadas corresponden a la unidad geomórfica del altiplano, que se caracteriza por una superficie plana entre cadenas de colinas, que consisten principalmente en materiales aluviales y coluviales. En el área del proyecto, se pueden encontrar estratos de roca caliza de la Formación Ayavacas, cuyas edades oscilan entre el Cenozoico y el Cuaternario reciente. La interpretación y descripción de las distintas formaciones presentes en la zona de estudio se detallan a continuación.



5.1.2. Unidades geomorfológicas.

Considerando la información previamente expuesta, se han reconocido en el área del proyecto las siguientes unidades geomorfológicas.

5.1.2.1. Llanura

Se considera a una gran extensión de terreno llano o ligeramente ondulado. Las llanuras se encuentran en tierras bajas, generalmente por debajo de los 200 metros sobre el nivel del mar o en el fondo de los valles. Es posible que se haya formado por la deposición de lava, agua o hielo que fluye desde las colinas y montañas circundantes, o por la erosión eólica.

5.1.2.2. Llanura de inundación

Son áreas adyacentes a ríos o arroyos que están sujetos a inundaciones repetidas o frecuentemente. Debido a su naturaleza en constante cambio, las llanuras aluviales y otras áreas propensas a inundaciones deben estudiarse detalladamente para determinar cómo pueden verse afectadas por el desarrollo.

5.1.2.3 Río

Se considera un río habitualmente al agua dulce, que fluye sobre la superficie de la tierra en una masa de agua más grande, comúnmente un océano. El agua del río fluye hacia abajo bajo la influencia de la gravedad e intenta llegar al océano o al mar, porque estos océanos se encuentran al nivel del mar en las tierras bajas.

5.2. CONDICIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.2.1. Puntos de muestreo.

Se han realizado un total de 16 puntos de muestreo y/o apertura de calicatas a cielo abierto, codificados de una inicial “C” seguido del número de la calicata (C-01, C-02, C-03, C-04, C-05, C-06, C-07, C-08, C-09, C-10, C-11, C-12, C-13, C-14, C-

15 y C-16), estas están estratégicamente distribuidas para cubrir el área interesada de la urbanización “Nuestra Señora del Carmen” de la ciudad de Ilave.



Figura 5. Ubicación de las calicatas o punto de muestreo.

En la Figura 5 se muestra la ubicación de las calicatas o puntos de muestreo utilizados en el estudio. Estos puntos han sido estratégicamente seleccionados para recoger muestras representativas del terreno.

5.2.2. Propiedades físicas del terreno de fundación.

Este estudio geotécnico presenta resultados de propiedades físicas del terreno de fundación para diferentes calicatas y estratos. Los resultados incluyen el contenido de humedad, la clasificación de suelos según SUCS y AASTHO, el análisis granulométrico y los límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) para cada estrato.



A continuación, se presenta en la tabla 6 las propiedades físicas del terreno de fundación de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio “Azacal Ingenieros S.A.C.”.

Tabla 4.

Propiedades físicas del terreno de fundación.

		Propiedades físicas del terreno de fundación								
Calicatas	Estratos	Contenido de humedad	Clasificación de suelos		Análisis granulométrico			Límites de consistencia		
			SUCS	AASTHO	% grava	% arena	% finos	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
C-01	E-03	19.23%	SM	A-4	2.58%	49.08%	48.33%	24.29%	21.40%	2.89%
	E-04	25.71%	SC-SM	A-4	6.52%	50.20%	43.27%	28.11%	22.57%	5.55%
C-02	E-02	27.34%	SC-SM	A-4	15.56%	37.90%	46.54%	25.57%	21.35%	4.23%
	E-03	33.44%	CL-ML	A-4	0.60%	46.36%	53.04%	26.54%	21.27%	5.28%
C-03	E-02	34.26%	CL	A-4	0.33%	36.37%	63.30%	27.35%	19.78%	7.56%
	E-03	29.31%	CL-ML	A-4	0.00%	32.61%	67.39%	25.08%	19.95%	5.12%
C-04	E-02	24.26%	SM	A-4	8.94%	46.21%	44.85%	24.15%	18.29%	5.86%
	E-03	34.86%	CL-ML	A-4	0.00%	38.35%	61.65%	25.69%	20.32%	5.37%
C-05	E-02	9.68%	SP-SM	A-1-b	6.15%	89.88%	3.97%	NP	NP	NP
C-06	E-02	16.06%	SP	A-2-4	1.07%	83.48%	15.45%	NP	NP	NP
	E-03	16.07%	SP-SM	A-1-b	8.95%	86.48%	4.57%	NP	NP	NP
C-07	E-02	9.23%	SP-SM	A-1-b	8.03%	86.47%	5.50%	NP	NP	NP
	E-03	13.05%	SP	A-1-b	4.96%	91.40%	3.64%	NP	NP	NP
C-08	E-03	20.94%	SM	A-4	3.53%	55.56%	40.91%	25.88%	21.59%	4.29%
	E-04	26.61%	CL-ML	A-4	0.00%	48.62%	51.38%	28.50%	22.63%	5.87%
C-09	E-02	19.26%	CL-ML	A-4	0.20%	40.58%	59.22%	24.02%	19.02%	5.00%
	E-03	29.28%	SC	A-6	0.00%	50.07%	49.93%	27.85%	19.84%	8.01%
C-10	E-02	28.94%	SC	A-6	0.00%	53.16%	46.84%	28.00%	20.37%	7.63%
	E-03	27.34%	SM	A-2-4	4.21%	61.20%	34.59%	NP	NP	NP
C-11	E-02	29.90%	SC-SM	A-4	2.79%	52.55%	44.66%	27.67%	23.50%	4.17%
	E-03	32.47%	CL-ML	A-4	3.66%	43.26%	53.08%	24.52%	19.72%	4.79%
C-12	E-02	29.69%	CL-ML	A-4	0.14%	32.05%	67.80%	25.67%	21.31%	4.36%
	E-03	26.29%	ML	A-4	0.00%	42.97%	57.03%	23.78%	19.74%	4.04%
C-13	E-02	16.79%	SM	A-2-4	16.35%	48.56%	35.08%	NP	NP	NP
	E-03	25.15%	ML	A-4	1.30%	45.54%	53.16%	29.22%	25.87%	3.35%
C-14	E-02	18.95%	CL	A-4	1.13%	35.23%	63.63%	27.06%	19.78%	7.27%
	E-03	28.21%	CL-ML	A-4	0.00%	37.59%	62.41%	25.18%	19.41%	5.77%
C-15	E-02	28.99%	CL-ML	A-4	0.66%	37.47%	61.86%	24.62%	19.92%	4.71%
C-16	E-03	24.39%	CL-ML	A-4	0.00%	41.68%	58.32%	25.06%	20.09%	4.97%

La Tabla 4 presenta las propiedades físicas del terreno de fundación en diferentes calicatas. Se proporciona información detallada sobre los estratos del suelo, incluyendo el contenido de humedad, la clasificación de suelos según los sistemas SUCS y AASHTO, el análisis granulométrico y los límites de consistencia, como el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Cada calicata tiene asignada una etiqueta específica (C-01, C-02, etc.) y dentro de cada calicata se identifican diferentes estratos (E-02, E-03, E-04, etc.) con sus respectivas propiedades físicas.

5.2.3. Clasificación de SUCS y AASHTO

Los datos de límite de consistencia, según AASHTO se procede a clasificar la granulometría de acuerdo a la tabla se ubica primeramente el tipo de suelo y a que grupo pertenece con respecto a SUCS también se detalla la clasificación a cada calicata con su respectiva simbología.

C-01		C-02		C-03		C-04	
SM		SC	SM	CL		SM	
SC	SM	CL	ML	CL	ML	CL	ML
C-05		C-06		C-07		C-08	
SP		SP		SP	SM	SM	
SP	SM	SP	SM	SP	CL	ML	ML
C-09		C-10		C-11		C-12	
CL	ML	SC		SC	SM	CL	ML
SC	SM	CL	ML	ML	ML	ML	ML
C-13		C-14		C-15		C-16	
SM		CL		CL		ML	ML
ML	CL	ML	CL	ML	CL	ML	ML

Figura 6. Clasificación de los tipos de calicatas según SUCS



La clasificación SUCS se aprecia en los grupos, las calicatas 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13 son de grupo de combinación del tipo de suelo que existe en la calicata es SM cobertura vegetal con arenas limosas que mayormente está expuesta a cielo abierto y la calidad de material no es buena, en las calicatas 1, 2, 9, 10, 11, son de grupo de combinación de calicata es SC arenas arcillosas con mezcla de arenas y arcillas color gris oscuro y la calidad de material es de calidad moderada o regular, en las calicatas 2, 3, 4, 8, y 9, 11, 12, finalmente 14, 15, 16. Es de grupo de combinación de material CL arcillas orgánicas con arenas finas y limos color gris oscuros, el material es este aspecto mejora su calidad ya finalizando las calicatas 2, 3, 4, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16 de mayor cantidad es ML limos finos con arenas finas son de mejor calidad, en menor proporción se encuentra el material SP arenas mal graduadas con mezcla de arenas y de pocos finos se encontró en las calicatas 5, 6, 7. Como se puede apreciar en la figura 6.

C-01	C-02	C-03	C-04
A-4	A-4	A-4	A-4
C-05	C-06	C-07	C-08
A-1-b	A-2-4	A-1-b	A-4
	A-1-b	A-1-b	
C-09	C-10	C-11	C-12
A-4	A-6	A-4	A-4
A-6	A-2-4		
C-13	C-14	C-15	C-16
A-2-4	A-4	A-4	A-4
A-4			

Figura 7. Clasificación de los tipos de calicatas según AASHTO

La clasificación AASHTO se aprecia en los grupos, las calicatas 1, 2, 3, 4, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16 son de grupo (A-4) en la cual nos indica que es un material de suelos limosos, las calicatas 5, 6, 7 son de grupo (A-1-b) que es un material de arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado, 6, 10, 13 son de grupo (A-2-4) que es un material de grava limosas y arenas limosas o arcillosas la estimación en general de estos tipos de suelos es excelente y bueno para la subrasante, finalmente las calicatas 10, 9, son de grupo (A-6) es un material de suelo arcilloso para una subrasante regular o malo. (Visualizar la figura 7).

5.2.3.1. Contenido de humedad natural

El contenido de humedad es un factor importante a considerar en la ingeniería geotécnica, ya que puede influir en la resistencia del suelo y en su capacidad de soporte. En general, los suelos con un contenido de humedad alto tienden a ser más blandos y menos resistentes, mientras que los suelos secos tienden a ser más duros y resistentes.

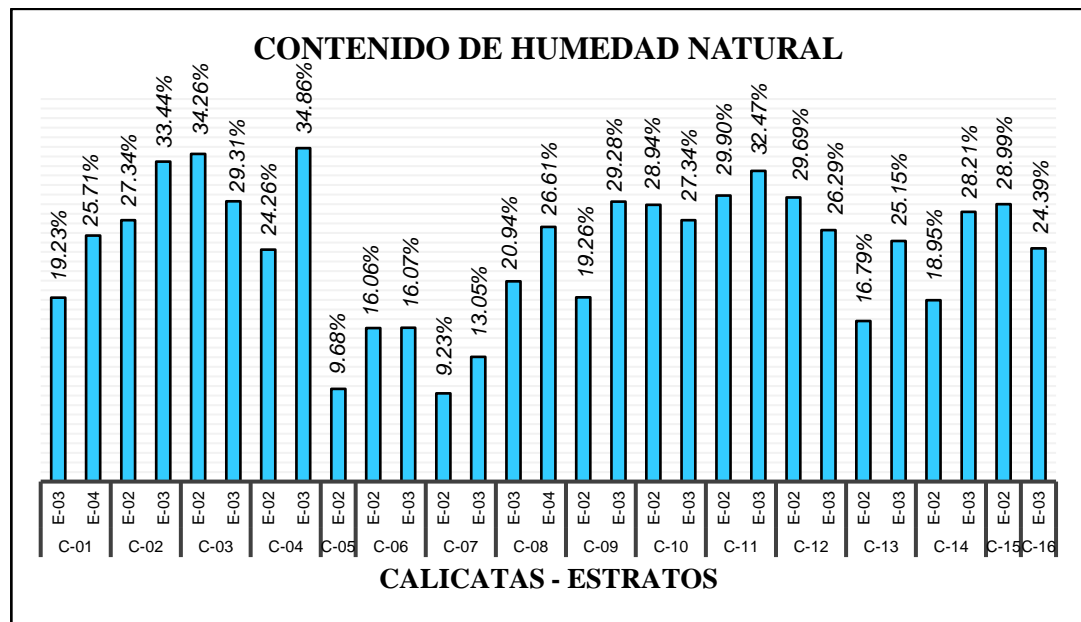


Figura 8. Variación del contenido de humedad natural en cada calicata.

En la figura 8 se puede observar que los contenidos de humedad varían significativamente entre las diferentes calicatas y estratos. En algunos casos, como en la calicata C-05, el contenido de humedad es bastante bajo (9.68%), lo que sugiere un suelo seco y compacto. En otros casos, como en la calicata C-03 y el estrato E-02, el contenido de humedad es bastante alto (34.26%), lo que sugiere un suelo más suelto y húmedo.

5.2.3.1. Análisis granulométrico

Se proporciona información sobre la distribución de tamaños de partículas en el suelo, expresada como porcentaje de grava, arena y finos. En este caso, cada calicata tiene dos estratos (E-02 y E-03), algunas calicatas tienen solo un estrato.

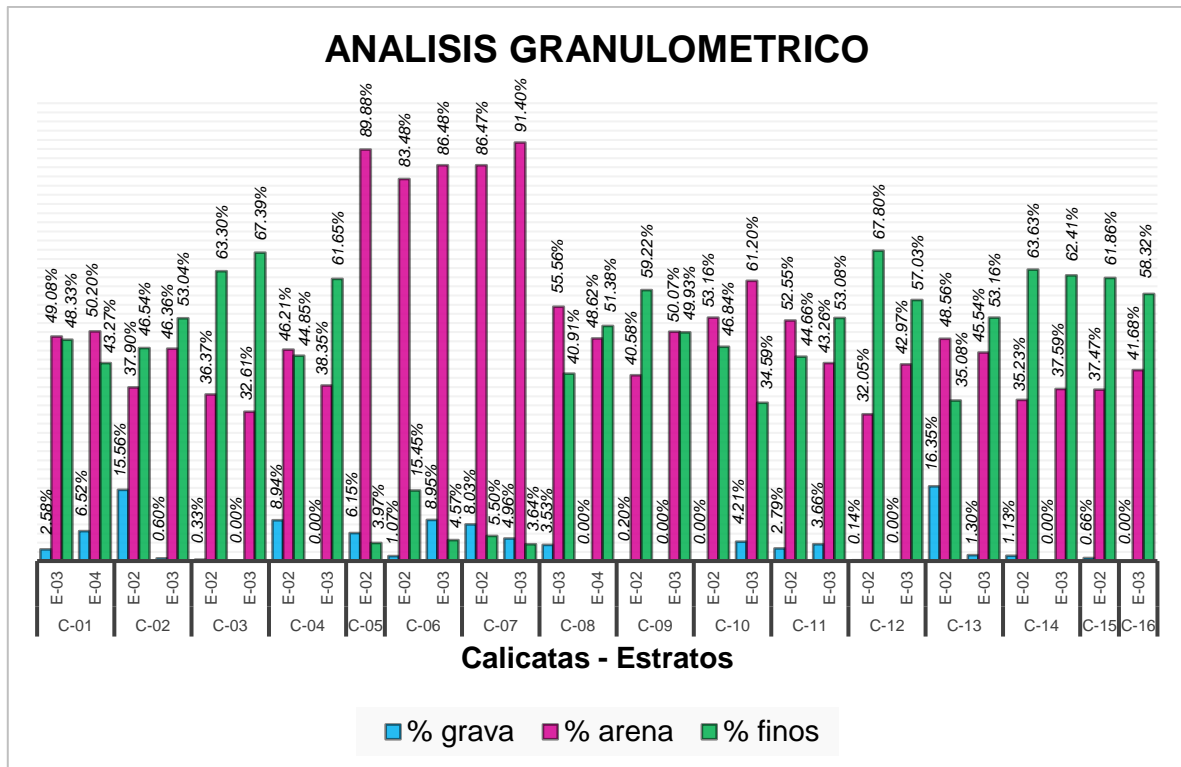


Figura 9. Variación granulométrica por cada calicata.

En este caso, cada calicata tiene dos estratos (E-02 y E-03), y se muestra el porcentaje de grava, arena y finos para cada uno. Algunas calicatas tienen solo un estrato.

En la Figura 9 se puede apreciar que los mayores porcentajes de grava se encuentran en la calicata C-13 en el estrato E-02 con un porcentaje del 16.35%, mientras que el menor porcentaje se encuentra en las calicatas C-03 y C-10 en el



estrato E-02 y E-03 respectivamente, con un porcentaje de 0.33% y 0.00% respectivamente.

En cuanto a los mayores porcentajes de arena, se encuentran en la calicata C-05 con un 89.88%, seguida por la calicata C-07 en el estrato E-02 con un 86.47%. Por otro lado, los menores porcentajes se encuentran en la calicata C-12 en el estrato E-02 con un porcentaje del 32.05%, seguida por la calicata C-01 en el estrato E-03 con un 49.08%.

Finalmente, los mayores porcentajes de finos se encuentran en la calicata C-03 en el estrato E-03 con un porcentaje del 67.39%, mientras que los menores porcentajes se encuentran en la calicata C-05 en el estrato E-02 con un porcentaje del 3.97%.

En general, se puede observar que hay una variación considerable en los porcentajes de grava, arena y finos en las diferentes calicatas y estratos. Esto sugiere que la composición del suelo puede variar significativamente en diferentes áreas del sitio de estudio.

5.2.3.1. Límites de consistencia

Los límites de consistencia se refieren a las propiedades de plasticidad del suelo y se miden mediante el límite líquido y el límite plástico. El límite líquido es el contenido de humedad en el cual el suelo cambia de un estado semisólido a un estado líquido. El límite plástico es el contenido de humedad en el cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido.

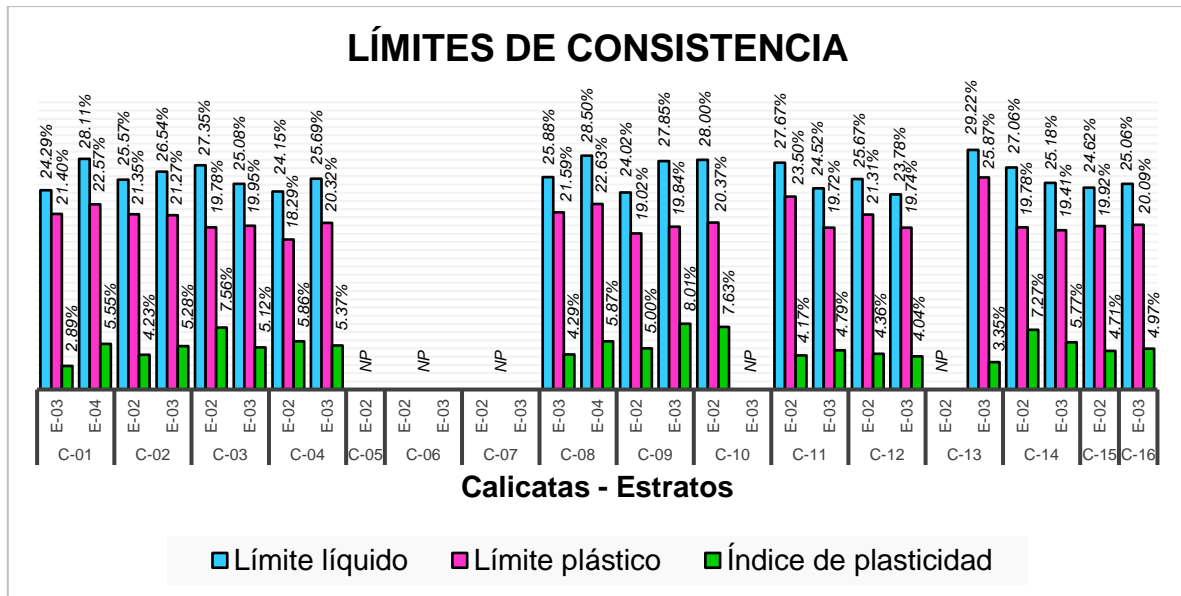


Figura 10. Variación de los límites de consistencia por cada calicata.

En la Figura 10, se observa que los valores del límite líquido oscilan entre 23.78% y 29.22%, mientras que los valores del límite plástico oscilan entre 18.29% y 25.87%. El índice de plasticidad varía de 2.89% a 8.01%.

La comparación de los resultados muestra que algunos suelos tienen un límite líquido y un límite plástico similares, lo que indica una plasticidad moderada. Por ejemplo, los valores de C-02E-02 y C-03E-02 tienen una diferencia de solo 0.22% y 0.57%, respectivamente, entre el límite líquido y el límite plástico. Por otro lado, algunos suelos tienen una diferencia significativa entre el límite líquido y el límite plástico, lo que indica una alta plasticidad. Por ejemplo, C-09E-03 tiene una diferencia de 8.01%, lo que indica que este suelo tiene una alta capacidad de deformación bajo cargas o presiones.

Además, algunos suelos no tienen valores registrados para el límite líquido, el límite plástico o ambos (NP). Esto podría deberse a que los límites de consistencia son propiedades específicas de cada suelo y pueden variar en función de su composición, estructura y otros factores.



5.2.3.2. Propiedades mecánicas del terreno de fundación.

Las propiedades mecánicas del terreno de fundación se refieren a las características físicas y mecánicas del suelo que pueden afectar su capacidad para soportar cargas y deformaciones bajo cargas aplicadas. Estas propiedades incluyen la densidad máxima, el contenido óptimo de humedad y la resistencia a la compresión no confinada o CBR (California Bearing Ratio).



Tabla 5

Propiedades mecánicas del terreno de fundación.

Propiedades mecánicas del terreno de fundación				
Calicatas	Densidad máxima (gr/cm³)	Óptimo contenido de humedad	CBR al 100%	CBR al 95%
C-01	1.83	9.87%	20.32%	16.24%
C-02	1.48	18.76%	10.24%	8.15%
C-03	1.51	19.87%	9.65%	7.74%
C-04	1.45	18.43%	9.11%	7.27%
C-05	1.65	7.76%	21.32%	17.05%
C-06	1.68	7.54%	25.43%	20.31%
C-07	1.85	8.12%	26.54%	21.24%
C-08	1.56	16.54%	12.21%	9.78%
C-09	1.59	11.65%	15.43%	12.34%
C-10	1.64	10.21%	14.32%	11.46%
C-11	1.63	15.76%	13.43%	10.77%
C-12	1.57	16.23%	9.11%	7.27%
C-13	1.61	15.55%	10.40%	8.32%
C-14	1.52	16.76%	11.76%	9.43%
C-15	1.23	25.43%	8.98%	7.16%
C-16	1.34	23.54%	9.99%	7.97%

La tabla 5 proporciona información sobre las propiedades mecánicas del terreno de fundación en diferentes calicatas. Indica que la densidad máxima del suelo se encuentra en un rango de 1.23 a 1.85 gr/cm³, Los valores más altos de densidad indican una mayor compactación del suelo. El contenido de humedad óptimo se encuentra en un rango de 7.54% a 25.43%, lo que indica la cantidad óptima de agua necesaria para lograr una compactación adecuada del suelo. Los valores del CBR al 100% varían de 8.98% a 26.54%, lo que indica la capacidad del suelo para soportar cargas. Los valores del CBR al 95% son ligeramente

más bajos que los del CBR al 100%, lo que sugiere que el suelo puede ser un poco más susceptible a la deformación bajo cargas repetidas.

5.2.3.3. Máxima densidad seca

La máxima densidad seca, es la masa de suelo seco que se puede obtener por unidad de volumen en condiciones de compactación óptimas. Esto es importante en ingeniería civil y geotécnica, ya que se utiliza para determinar la capacidad portante de los suelos en una construcción o fundación.

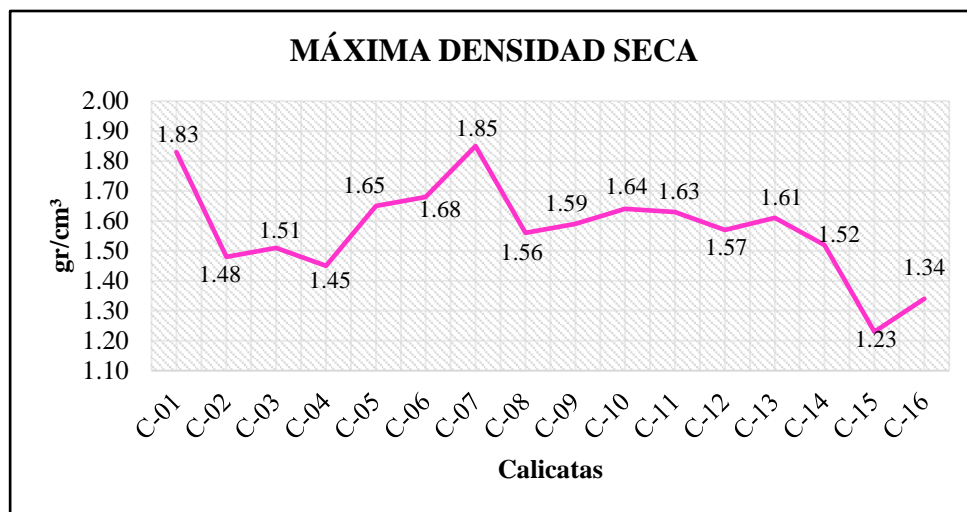


Figura 11. Variación de la máxima densidad seca por cada calicata.

En la figura 11, se observa que la máxima densidad seca varía entre 1.23 y 1.85 gr/cm³ en las diferentes calicatas evaluadas. Los valores más altos de densidad máxima se encuentran en las calicatas C-01, C-07 y C-08, mientras que los valores más bajos se observan en las calicatas C-15 y C-16. Estos resultados indican que hay una variabilidad en la compacidad del suelo de la zona de fundación, lo que puede afectar la capacidad portante del suelo y la distribución de cargas en la cimentación de una estructura.

5.2.3.4. Óptimo contenido de humedad

El óptimo contenido de humedad es la cantidad de agua que debe estar presente en un suelo para obtener la máxima densidad seca en un ensayo de compactación estándar. En otras palabras, es el nivel de humedad en el que el suelo es más fácil de compactar y adquiere la máxima densidad posible. En la Figura 12, se muestra el óptimo contenido de humedad para cada una de las calicatas evaluadas.

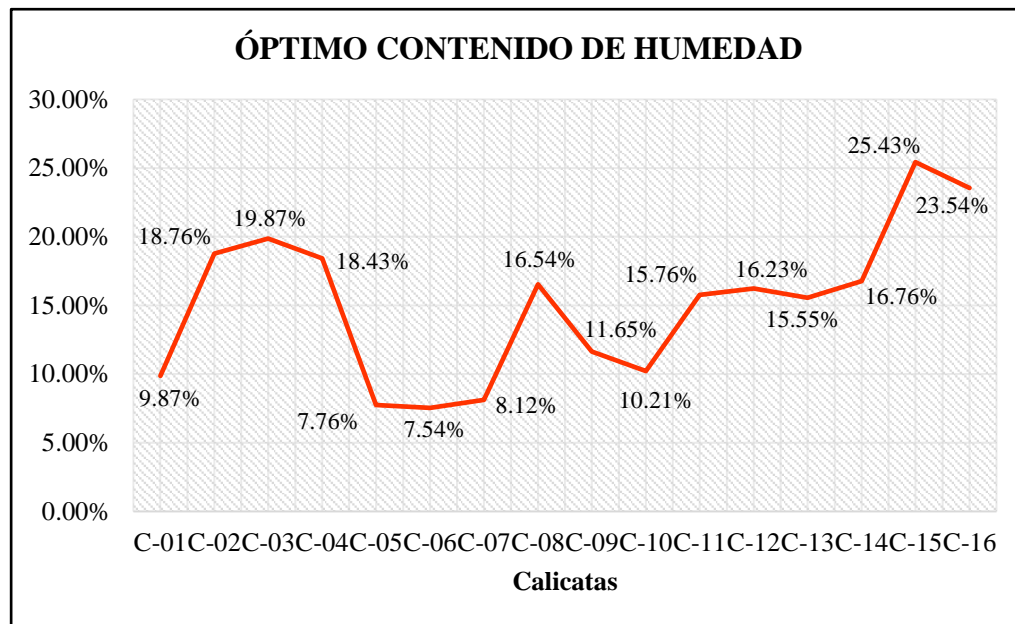


Figura 12. Variación del óptimo contenido de humedad por cada calicata.

El óptimo contenido de humedad es la cantidad de agua que un suelo debe tener para que alcance su máxima compactación, es decir, su máxima densidad seca, se visualiza en la Figura 12, se puede observar que los valores del óptimo contenido de humedad varían entre el 7.54% y el 25.43%, lo que indica que cada tipo de suelo requiere diferentes cantidades de agua para alcanzar su máxima densidad seca.

Por ejemplo, se puede observar que la calicata C-15 requiere un contenido de humedad del 25.43% para alcanzar su máxima densidad seca, mientras que la calicata C-01 solo requiere un 9.87%. Esta información es importante en la construcción de cimientos y

estructuras, ya que permite determinar cuánta agua se debe agregar o extraer del suelo para lograr la densidad adecuada y, por lo tanto, garantizar una base sólida para la construcción.

5.2.3.5. Capacidad de soporte

El CBR (California Bearing Ratio) es un ensayo de laboratorio utilizado para medir la capacidad de soporte relativa de un suelo al ser cargado en compresión. Es decir, es una medida de la resistencia de un suelo a la penetración de un pistón estandarizado en comparación con la resistencia de un material de referencia. Se expresa en porcentaje y se utiliza comúnmente en la ingeniería civil para evaluar la calidad del suelo y su capacidad de soporte para la construcción de carreteras, pistas de aterrizaje, entre otras estructuras.

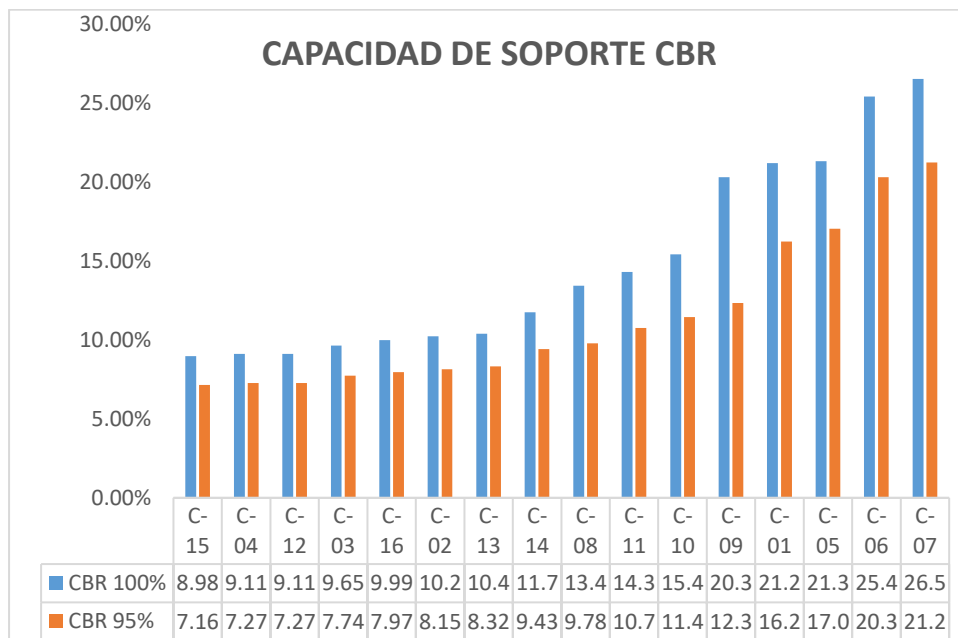


Figura 13. Variación de la capacidad de soporte por cada calicata.

Se observó que el CBR al 100% varía entre un mínimo de 8.98% en la C-15 y un máximo de 26.54% se obtuvo de la C-7 lo que indica que la capacidad de soporte del suelo varía ampliamente. Los valores de CBR al 95% son ligeramente más bajos como 7.16% y el más alto es 21.20% con respecto a los valores de CBR al 100%, lo que sugiere que a medida



que se aumenta la carga aplicada, la capacidad de soporte del suelo disminuye, con respecto a la figura 13. Los valores de CBR más bajos se observan en las ubicaciones C-02, C-03, C-04, C-12, C-13, C-15 y C-16 lo que sugiere que el suelo en esas áreas es menos resistente y puede tener dificultades para soportar cargas más pesadas. Por otro lado, las ubicaciones con los valores de CBR más altos son C-06 y C-07, lo que indica que el suelo en estas áreas es más resistente y capaz de soportar cargas más pesadas.

5.3. CONDICIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS

5.3.1. Cantera liga apacheta.

- **Ubicación:**

La cantera está ubicada a una distancia aproximada de 5.5 kilómetros desde la ciudad de Ilave, provincia de “El Collao”.

- **Descripción:**

La cantera se caracteriza por albergar un material de hormigón para uso en mezcla de sub - base y base.

- **Método de explotación:**

Se emplea maquinaria como la retroexcavadora – cargador frontal y tractor oruga para la explotación de este material.

- **Propiedades:**

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material de la cantera “Liga Apacheta” presenta las siguientes propiedades:

Tabla 6*Propiedades de la cantera Liga Apacheta - Ilave.*

Cantera de liga Apacheta				
Ensayos	Normativa	Resultados de laboratorio	Requerimientos a ≥ 3000 msnm	Obs.
Contenido de humedad	ASTM D 2216	16.43%	-	-
Clasificación de suelos	SUCS AASTHO	ASTM D 422 AASTHO T 27	SP-SC A-1-a	- -
Análisis granulométrico	% grava	ASTM D 422	40.20%	-
	% arena	ASTM D 422	48.21%	-
	% finos	ASTM D 422	11.59%	-
Límite líquido	ASTM D 4318	29.72%	25% máx.	No cumple
Límite plástico	ASTM D 4318	21.88%	-	-
Índice de plasticidad	ASTM D 4318	7.84%	4% máx.	No cumple
Abrasión los ángeles	ASTM C 131	-	50% máx.	-
Máxima densidad seca	ASTM D 1557	1.89 gr/cm ³	-	-
Óptimo contenido de humedad	ASTM D 1557	10.32%	-	-
CBR al 100%	ASTM D 1883	26.54%	40% mín.	No cumple

De la tabla 6 podemos afirmar que la cantera de liga Apacheta tiene un alto contenido de arena y grava, con 48.21% y 40.20% respectivamente, mientras que el porcentaje de finos es de 11.59%, su clasificación de suelos es SP-SC o A-1-a, dependiendo de la normativa utilizada. De los ensayos de límite líquido e índice de plasticidad, se encontró que el suelo no cumple con los requerimientos a una altitud de 3000 msnm, ya que el límite líquido es del 29.72%, superando el límite máximo permitido del 25%, mientras que el índice de plasticidad es del 7.84%, superando el máximo permitido del 4%. Lo mismo ocurre con el CBR al 100%, lo que sugiere que su uso puede ser limitado o requiere tratamientos específicos.



5.3.2. Cantera de hormigón del río Ilave.

- **Ubicación:**

La cantera está ubicada a una distancia de 1.65 kilómetros desde la ciudad de Ilave, provincia de “El Collao”.

- **Descripción:**

La cantera se caracteriza por un suelo de arena limo arcilloso con arenas mal graduadas.

- **Método de explotación:**

Se emplea maquinaria como la retroexcavadora – cargador frontal y tractor oruga para la explotación de estos materiales.

- **Propiedades:**

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material de la cantera “Liga Apacheta” presenta las siguientes propiedades:



Tabla 7

Propiedades de la cantera de hormigón del río Ilave.

Cantera hormigón del río Ilave				
Ensayos	Normativa	Resultados de laboratorio	Requerimientos a ≥ 3000 msnm	Obs.
Contenido de humedad	ASTM D 2216	5.93%	-	-
Clasificación de suelos	SUCS AASTHO	ASTM D 422 AASTHO T 27	GP-GW A-1-a	- -
Análisis granulométrico	% grava	ASTM D 422	79.86%	-
	% arena	ASTM D 422	18.68%	-
	% finos	ASTM D 422	1.46%	-
Límite líquido	ASTM D 4318	NP	25% máx.	Cumple
Límite plástico	ASTM D 4318	NP	-	-
Índice de plasticidad	ASTM D 4318	NP	4% máx.	Cumple
Abrasión los ángeles	ASTM C 131	25.53%	50% máx.	Cumple
Máxima densidad seca	ASTM D 1557	2.10 gr/cm ³	-	-
Óptimo contenido de humedad	ASTM D 1557	5.40%	-	-
CBR al 100%	ASTM D 1883	42.32%	40% mín.	Cumple

De la tabla 7 se puede afirmar que la cantera hormigón del río Ilave tiene un alto contenido de grava, con un 79.86%, mientras que el porcentaje de arena es de 18.68% y el de finos es del 1.46%. La clasificación de suelos según SUCS es GP-GW o A-1-a según AASHTO.

En cuanto a los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se encontró que el suelo cumple con los requerimientos a una altitud de 3000 msnm. Los valores para límite líquido e índice de plasticidad son "NP", lo que significa que no se pudo determinar el valor, pero la normativa permite que sean nulos en este caso.



El ensayo de abrasión de Los Ángeles también cumple con el requerimiento, con un valor del 25.53%, lo que indica una buena resistencia del material ante el desgaste por fricción.

El valor del CBR al 100% es de 42.32%, lo que cumple con el requerimiento mínimo del 40%, indicando que el suelo tiene una buena capacidad de soporte y puede ser utilizado en la construcción de carreteras y pavimentos.

5.3.3. Combinación de canteras.

La combinación de canteras se refiere a la mezcla de dos o más tipos de materiales pétreos para obtener un producto con propiedades y características específicas. Esta combinación puede ser útil en la construcción de carreteras, edificios, puentes, entre otros, ya que permite aprovechar las ventajas de cada uno de los materiales utilizados y superar sus limitaciones individuales.



Tabla 8

Propiedades resultantes de la combinación de canteras.

33% cantera de liga Apacheta + 67% cantera hormigón llave				
Ensayos	Normativa	Resultados de laboratorio	Requerimientos a ≥ 3000 msnm	Obs.
Contenido de humedad	ASTM D 2216	8.43%	-	-
Clasificación de suelos	SUCS ASTM D 422	GW	-	-
	AASTHO AASTHO T 27	A-1-a	-	-
Análisis granulométrico	% grava ASTM D 422	66.89%	-	-
	% arena ASTM D 422	30.15%	-	-
	% finos ASTM D 422	2.96%	-	-
Límite líquido	ASTM D 4318	22.61%	25% máx.	Cumple
Límite plástico	ASTM D 4318	21.09%	-	-
Índice de plasticidad	ASTM D 4318	1.51%	4% máx.	Cumple
Abrasión los ángeles	ASTM C 131	26.37%	50% máx.	Cumple
Máxima densidad seca	ASTM D 1557	2.12 gr/cm ³	-	-
Óptimo contenido de humedad	ASTM D 1557	8.43%	-	-
CBR al 100%	ASTM D 1883	52.12%	40% mín.	Cumple

Los resultados de la Tabla 8 se observa que la mezcla de 33% de cantera de liga Apacheta y 67% de cantera de hormigón llave tiene un contenido de humedad del 8.43%, que cumple con los requerimientos a ≥ 3000 msnm. En cuanto a la clasificación de suelos, según la normativa SUCS es GW, lo que indica que se trata de una grava bien graduada, mientras que según la normativa AASTHO T 27 es A-1-a, lo que indica que se trata de un suelo con granulometría uniforme y sin finos. El análisis granulométrico muestra que la mezcla tiene un alto contenido de grava (66.89%), un contenido moderado de arena (30.15%) y un bajo contenido de finos (2.96%).



En cuanto a los ensayos de consistencia, el límite líquido de la mezcla es del 22.61%, lo que cumple con el requerimiento máximo del 25%, mientras que el límite plástico es del 21.09%. El índice de plasticidad es del 1.51%, lo que cumple con el requerimiento máximo del 4%. El ensayo de abrasión de los ángeles arroja un resultado del 26.37%, lo que cumple con el requerimiento máximo del 50%. El ensayo de CBR al 100% muestra un resultado del 52.12%, lo que cumple con el requerimiento mínimo del 40%.

En general, los resultados de laboratorio indican que la mezcla de cantera de liga Apacheta y cantera de hormigón Ilave es adecuada para su uso en construcciones a una altitud mayor o igual a 3000 msnm, ya que cumple con los requerimientos de consistencia y resistencia necesarios.

5.3.3.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad es una medida importante para los materiales de construcción ya que puede afectar su resistencia, su durabilidad y su estabilidad dimensional. En la tabla presentada, se muestran los resultados del contenido de humedad para tres tipos de materiales de construcción: Cantera Apacheta, Cantera de río Ilave y una mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave.

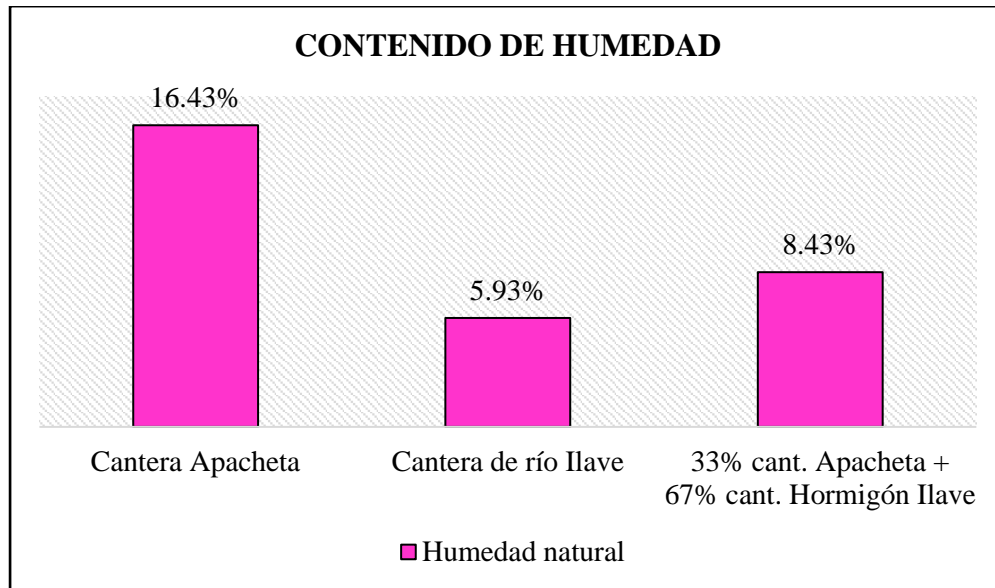


Figura 14. Variación del contenido de humedad de las canteras.

La figura 14 muestra el resultado del contenido de humedad de la Cantera Apacheta (16.43%) que indica que este material contiene una cantidad significativa de agua en relación a su peso, se visualiza en la figura 14. Un alto contenido de humedad en la Cantera Apacheta puede tener consecuencias negativas en su uso, como la pérdida de resistencia y la contracción del material durante el proceso de secado.

Por otro lado, el resultado del contenido de humedad de la Cantera de río Ilave (5.93%) indica que este material tiene una cantidad menor de agua en comparación con la Cantera Apacheta. Es posible que este material tenga una mayor resistencia y estabilidad dimensional debido a su bajo contenido de humedad.

La mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave tiene un contenido de humedad del 8.43%, que es significativamente menor que el de la Cantera Apacheta sola. Esto puede deberse a que el Hormigón Ilave tiene un contenido de humedad más bajo que la Cantera Apacheta, lo que disminuye el

contenido de humedad total de la mezcla. La disminución del contenido de humedad de la mezcla puede mejorar la resistencia y la estabilidad dimensional de la misma.

5.3.3.1. Límites de consistencia

En la Figura 15, se muestran los resultados de los límites de consistencia para tres tipos de materiales de construcción: Cantera Apacheta, Cantera de río Ilave y una mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave.

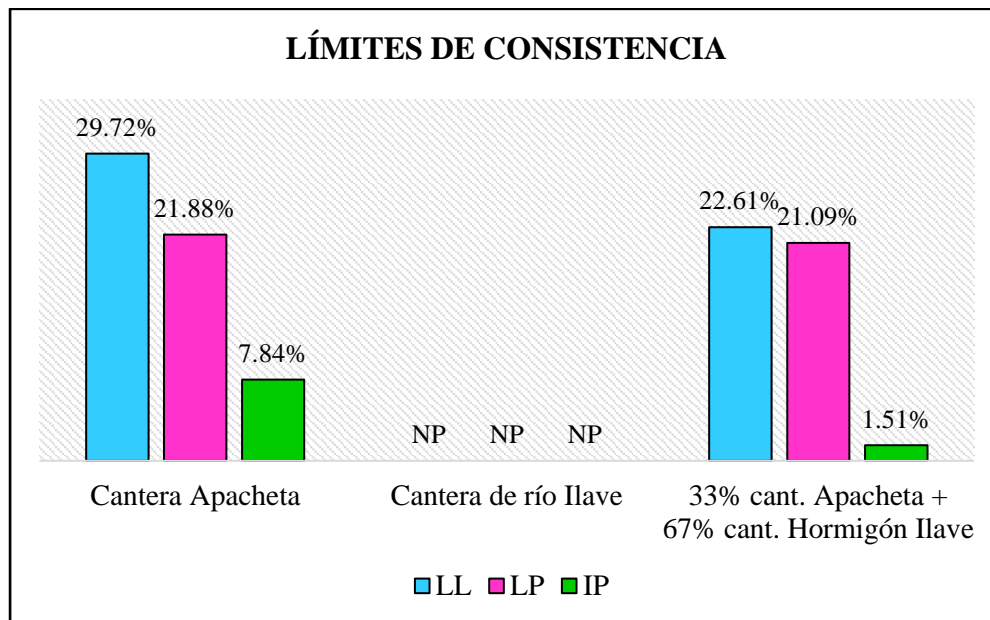


Figura 15 Variación de los límites de consistencia de las canteras.

Según la Figura 15 presentada, el resultado del límite líquido de la Cantera Apacheta es del 29.72%, lo que indica que este material tiene una alta plasticidad y capacidad para deformarse sin fracturarse. Por otro lado, el resultado del límite plástico de la Cantera Apacheta es del 21.88%, lo que indica la cantidad de humedad requerida para que el material pierda su forma y comience a fluir. El índice de plasticidad de la Cantera Apacheta (7.84%) indica la capacidad del material para cambiar de forma y adaptarse a las cargas.

La mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave tiene un límite líquido de 22.61%, lo que indica que la plasticidad del material disminuyó en comparación con la Cantera Apacheta sola. El límite plástico de la mezcla es del 21.09%, que es similar al de la Cantera Apacheta, y el índice de plasticidad es de 1.51%, lo que indica una disminución significativa en la capacidad del material para cambiar de forma y adaptarse a las cargas.

5.3.3.1. Abrasión los ángeles

La prueba de abrasión de Los Ángeles es una medida común de la resistencia a la abrasión de los materiales de construcción. En la Figura 14, se muestran los resultados de la prueba de abrasión de Los Ángeles para tres tipos de materiales de construcción: Cantera Apacheta, Cantera de río Ilave y una mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave.

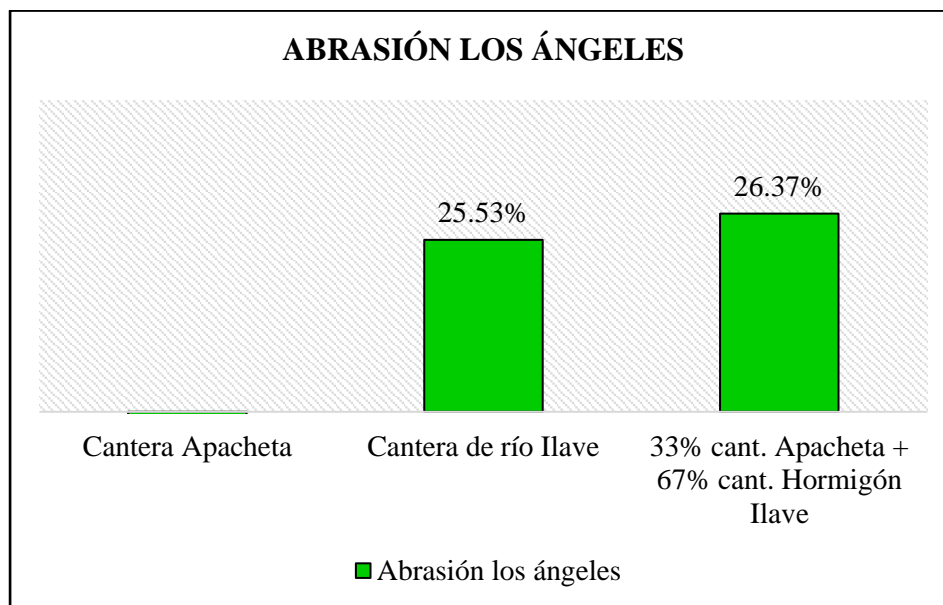


Figura 16. Variación de los resultados de la abrasión los ángeles de las canteras.

La Figura 16 muestra el resultado de la prueba de abrasión de Los Ángeles de la Cantera de río Ilave es del 25.53%, lo que indica que este material es más susceptible a la abrasión que la Cantera Apacheta. La mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave tiene un resultado de prueba de abrasión de Los Ángeles de 26.37%, lo que indica que la resistencia a la abrasión del material aumenta en comparación con las dos canteras anteriores.

5.3.3.1. Capacidad de soporte del material de cantera para subbase

El índice de resistencia al corte o CBR (California Bearing Ratio, por sus siglas en inglés) es una medida de la capacidad de un suelo para soportar cargas. En la tabla presentada, se muestran los resultados del CBR al 100% para tres tipos de materiales de construcción: Cantera Apacheta, Cantera de río Ilave y una mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave.

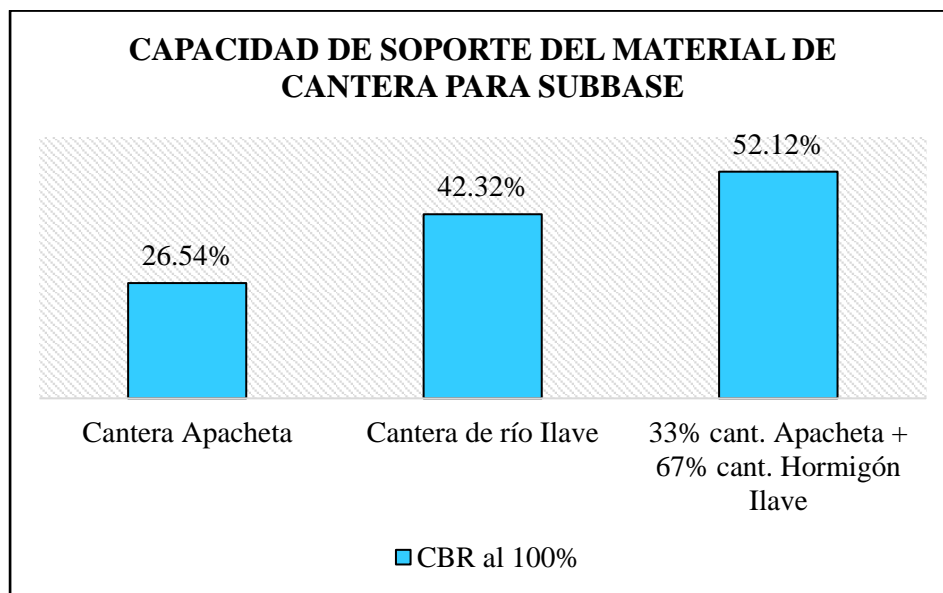


Figura 17. Variación de la capacidad de soporte de las canteras.

La Figura 17 muestra que el resultado del CBR al 100% de la Cantera Apacheta es del 26.54%, lo que indica una resistencia moderada a la compresión. El resultado del CBR al 100% de la Cantera de río Ilave es del 42.32%, lo que indica



una mayor resistencia a la compresión que la Cantera Apacheta. La mezcla de 33% de Cantera Apacheta y 67% de Hormigón Ilave tiene un resultado del CBR al 100% de 52.12%, lo que indica una mayor resistencia a la compresión que la Cantera de río Ilave y la Cantera Apacheta.

5.4. DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos encontrados se afirma lo indicado de (Silva & Navas, 2019) que presentaron como objetivo “identificar, evaluar y caracterizar las propiedades geológicas y geotécnicas de un suelo arcilloso”, al tratarse de una investigación con pruebas reales, los resultados revelan suelos con un alto porcentaje de partículas, en conclusión el autor también da a conocer que mediante los estudios geológicos y geotecnia no siempre los suelos están en un buen estado por lo tanto es necesario tratar o mejorar los terrenos de fundación.

Los valores obtenidos en el terreno de fundación con el CBR al 100% los valores oscilan entre 8.98% a 26.54%, y los valores del CBR al 95% oscilan entre 7.27% a 21.24% y podemos decir que según (Sandoval & Rivera, 2018), en su investigación sus resultados al 95% son entre 26% al 93% lo cual son totalmente distintos los resultados.

Según (Lujano, 2021) indica que al examinar las características geotécnicas del suelo de cimentaciones y de los materiales de préstamos para la rehabilitación en carreteras Pomata – Yorocho (PU 675) encontraron el contenido de humedad hasta el 16%, límite líquido de 18,40% al 29,60% y límite plástico del 1,10% al 12,5% y por último el CBR está entre el 8% y el 26%. Lo que es de la cantera apache resultaron lo siguiente contenido de humedad como máximo es de 16.47% podría que es casi verídico los resultados, y límite líquido es de 23.78% y 29.22%, límite plástico 18.29% y 25.87%. y el CBR al 100% varían de 8.98% a 26.54%, podríamos corroborar con los datos del otro autor y que los resultados tienen una similitud.



VI. CONCLUSIONES

La evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno de fundación para la construcción de pistas y veredas en la urbanización Nuestra Señora del Carmen, en el Distrito de Ilave, Puno, ha proporcionado información crucial para el desarrollo de este proyecto. A través del análisis de calicatas y la obtención de datos sobre las propiedades físicas del suelo, se ha logrado comprender mejor las características geológicas del terreno y su capacidad para soportar las cargas de las estructuras. Estos hallazgos permitirán tomar decisiones más acertadas al beneficio de los constructores, para los distintos proyectos en ejecución y a futuro. Asimismo, se destaca la importancia de considerar las condiciones geotécnicas del terreno durante la planificación y ejecución de proyectos de construcción, para garantizar la seguridad y eficiencia en la implementación de las pistas y veredas en la urbanización mencionada.

La zona de estudio se destaca por su compleja estructura litológica, que ha sido moldeada por la acción de los procesos erosivos. Las áreas examinadas corresponden a la unidad geomórfica del altiplano, que se caracteriza por una superficie plana entre cadenas de colinas, que consisten principalmente en materiales aluviales y coluviales. La geomorfología de las zonas circundantes muestra claramente la influencia de los procesos de tectonismo y vulcanismo, lo cual ha resultado en la aparición de diferentes formas de relieve, como las áreas altiplánicas, las montañosas, las colinas, entre otras, que son comunes en la región del altiplano. Finalmente, en la zona de estudio se pueden encontrar estratos de roca caliza de la Formación Ayavacas, cuyas edades oscilan entre el Cenozoico y el Cuaternario reciente.

Se realizaron 16 puntos de muestreo y/o apertura de calicatas a cielo abierto para estudiar la condición geotécnica de la zona de estudio en la urbanización “Nuestra Señora



del Carmen” de la ciudad de Ilave. Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio para cada estrato incluyen el contenido de humedad, la clasificación de suelos según SUCS y AASHTO, el análisis granulométrico y los límites de consistencia. Según los resultados, se observa que la zona de estudio presenta una gran variabilidad en las propiedades físicas del terreno de fundación, siendo esta una característica típica de depósitos aluviales. Los suelos se clasifican principalmente como SM, SC-SM, CL-ML y SP-SM, con un contenido de humedad que varía entre 9,23% y 34,86%. Los límites de consistencia indican que los suelos son predominantemente plásticos, con índices de plasticidad que oscilan entre 2,89% y 7,56%.

Las propiedades de cada cantera difieren significativamente, teniendo la cantera "Liga Apacheta" un alto porcentaje de arena y grava, mientras que la cantera "Hormigón del Río Ilave" tiene un mayor porcentaje de grava. Los resultados de las pruebas realizadas indican que el material de la cantera "Liga Apacheta" no cumple los requisitos para ser utilizado a una altitud de 3000 metros sobre el nivel del mar. El material tiene un límite líquido y un índice de plasticidad elevados, y el CBR al 100% también es inferior al requisito mínimo. Por otro lado, el material de la cantera "Hormigón del Río Ilave" cumple los requisitos para su uso a una altitud de 3000 metros sobre el nivel del mar, con un límite líquido y un índice de plasticidad bajos.



VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo una evaluación geológica más detallada de la zona de estudio, con el fin de identificar y caracterizar con mayor precisión las unidades litológicas y geomorfológicas presentes. Esto permitirá una mejor comprensión de los procesos geológicos que han dado forma a la zona, y ayudará a prevenir posibles riesgos geológicos en el futuro.

Se recomienda realizar más puntos de muestreo y ensayos de laboratorio, así como también considerar la realización de pruebas in situ, tales como ensayos de penetración estándar y ensayos de presión de poros, para una mejor evaluación de las propiedades geotécnicas del suelo. Con esta información se puede definir de manera más precisa los criterios de diseño para las estructuras que se construirán en la zona.

Debido a que la cantera Liga Apacheta no cumple con los requisitos de límite líquido, índice de plasticidad y CBR al 100%, se recomienda realizar pruebas adicionales y considerar el uso de técnicas de mejora de suelos, como la estabilización con cemento, para asegurar la calidad del material y su adecuación para la construcción de carreteras. Dado que la cantera contiene una cantidad significativa de finos y no cumple con los requisitos de límite líquido e índice de plasticidad, se recomienda su uso en capas de sub-base o base en lugar de la capa superior de pavimento.

Respecto a la cantera de hormigón del río Ilave, el material de esta cantera se recomienda utilizar para la construcción de carretera de la urbanización Nuestra Señora del Carmen, ya que cumple con los requisitos establecidos por el manual de carreteras R.D.N° 10-2014-MTC/14 en referencia a límite líquido e índice de plasticidad. Sin embargo, debido a



su alta proporción de grava, se recomienda su uso en capas de sub-base o base en lugar de la capa superior de pavimento.



VIII. REFERENCIAS

- Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E., Sparks, D. L., & Hatfield, J. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*.
- Arumala, J., & Jumbe, A. (2017). *Geotechnical engineering laboratory experiments*. Malawi: The Polytechnic Press.
- ASTM D1557. (2012). *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort*.
- ASTM D1883-18. (2018). *Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory compacted soils*.
- ASTM D2216-16. (2016). *Standard test methods for laboratory determination of water (Moisture) content of soil and rock by mass*.
- ASTM D422-63. (2007). *Standard test method for particle size analysis of soils*.
- ASTM D4318-17. (2017). *Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*.
- ASTM D6913-04. (2004). *Standard test methods for particle size distribution (gradation) of soils using sieve analysis*.
- Basu, A., Bhattacharya, G., & Roy, B. (2017). Slope stability analysis of a limestone quarry by back analysis of a failure: A case study from cherrapunji, India. *Journal of the Geological Society of India*.
- Bocanegra, D., & Cristopher, F. (2021). *Evaluación geológica y geotécnica y su relación con una propuesta de mejoramiento de suelos reforzados en la carretera Yurimaguas - Munichis, Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto*. Tarapoto: Repositorio Universidad Científica del Perú. Retrieved from <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1744>
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para Ingenieros*. Chiclayo. Retrieved from https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw-Will.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. Prentice Hall.
- Brewer, R. (1964). *Moisture Density Relations of Soil Cement Mixtures*. Highway Research Record.
- Brinkgreve, R. B., & Broere, W. (2014). Geotechnical aspects of underground construction in soft ground. *CRC Press*.
- Buol, S. W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (2011). Soil genesis and classification. *John Wiley & Sons*.



- Carranza Torres, C., Garcia Rodriguez, Y., & Franco Arroyo, A. (2020). *Evaluacion geotecnica para la explotacion de canteras*. Revista de investigacion cientifica.
- Carranza Torres, C., Hernandez Flores, L., Cruz Orozco, O., & Ramirez Alvarez, S. (2019). Evaluacion de la calidad del material de cantera para la construccion de carreteras. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*.
- Carrasco, S. (2007). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Craig, R. F. (2013). *Soil Mechanics*. London: Spon Press.
- Curse, Y., & Huaman, I. (2019). *Estudio geológico - geotécnico para la factibilidad del asfalto de la carretera San Salvador - Occoruro - Progresivas 0+000 al 18+440 distrito de Calca - Departamento del Cusco*. Cusco: Repositorio Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Retrieved from <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4401?locale-attribute=en>
- Das, B. M. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston: Cengage Learning.
- De la Rosa, J. M., Arango Serna, M., & Lopez Salazar, H. (2018). Evaluacion de la calidad de rocas sedimentarias y igneas en una cantera de Bogota. *Revista de la Facultad de Ingenieria*.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- Fernandez, G. (2022). *Caracterización geológica - geotecnica del terreno de fundación y canteras para la construcción de la carretera Curayllo - Chupa. Provincia de Azángaro - Puno*. Puno: Repositorio Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/18485/Fernandez_Mamani_Gabriel_Rosario.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gomez Ortiz, D., Diaz Martinez, E., Pons, J. A., Garcia Gonzales, R., & Tenza Abril, A. J. (2009). *Estudio geotecnico de una cantera de aridos: una metodologia integrada*. Materiales de construccion.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México : Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice Hall.
- Huisman, B. A., Brouwer, F., Snepvangers, J. J., & Verheijen, F. G. (2016). Monitoring of the effects of extraction on porosity and permeability in a natural sand and gravel deposit. *Environmental Earth Sciences*.
- Ibarra, K. (2019). *Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén*. Neuquén: Repositorio Universidad Nacional del Comahue. Retrieved from <https://1library.co/document/y654vxoz-caracterizacion-geotecnica-sector-ciudad-neuquen.html>
- Jaeger, J. C., & Cook, N. G. (1979). *Fundamentals of Rock Mechanics*. London: Chapman and Hall.
- Kumar, P., Rai, R., & Singh, T. N. (2017). *Effect of vibratory energy on compaction characteristics of soil*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.



- Lambe, H. B., & Whitman, R. V. (1969). *Soil mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Lujano, L. (2021). *Estudio geotécnico para el mejoramiento de la carretera Pomata - Yorohoco (PU 675), Provincia de Chucuito - Puno*. Puno: Repositorio Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/16672/Lujano_Quispe_Litza_Liria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J. (2012). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. CRC Press.
- Mora Ramirez, A., Mendez Paredes, C., & Rosas Carbajal, M. (2019). Evaluación geotécnica de una cantera para la extracción de piedra caliza. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias y Tecnología*.
- Nwachukwu, N. N., Ukoha, P. O., & Ugwuanyi, K. U. (2018). Soil survey and land evaluation for sustainable agriculture: a review. *Journal of Agricultural Science*.
- Pallasco, J. (2018). *Evaluación y propuesta de mantenimiento del pavimento flexible de la Avenida Quevedo en Santo Domingo de los Tsáchilas*. Quevedo: repositorio.
- Pandey, S., Mishra, S., & Gupta, R. (2015). Environmental impact assessment of quarries and crushers in Al-Abiad village, Southern Al-Batina Governorate, Sultanate of Oman. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (2008). *Foundation engineering*. John Wiley & Sons.
- Pino, R. (2007). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Portada, L. (2020). *Determinación de la condición geológico - geotécnica de la carretera Ayaviri - Purina tramo km 00+000 hasta 19+375*. Puno: Repositorio Universidad Nacional del Altiplano. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13972/Portada_Mamani_Luis_Alberto.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Rimayhuaman Taipe, E. (2021). *Estudio de Geología y Geotecnia para el Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación del Camino Vecinal Mara – Haqira – Cotabambas – Apurímac*. Lima.
- Sandoval, E., & Rivera, W. (2018). Correlación del CBR con la resistencia a la compresión confinada. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 135-151. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/911/91160956009/html/>
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). *Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses*. Berkeley: University of California.
- Seed, H. B., & Woodward, R. J. (1955). *Calculation of Stresses and Settlements in Soil due to Load*. Proceedings of the 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Silva, R., & Navas, J. (2019). *Caracterización geotécnica y estudio Geológico Regional de un suelo arcilloso procedente de la formación Bucaramanga*. Bucaramanga: Repositorio



Universidad Pontificia Bolivariana. Retrieved from
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8617/39435.pdf?sequence=1>

Tarbutck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. G. (2017). *Earth. An Introduction to Physical Geology: Global Edition*. Boston: Pearson Education.

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons.

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: Wiley.



ANEXOS

ANEXO A. PLANOS.

ANEXO B. CERTIFICADOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO.

ANEXO C. PANEL FOTOGRAFICO.

ANEXO D. OTROS



