



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INCORPORACIÓN DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR
LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA
SUBRASANTE EN LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA,
UBICADA EN EL DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE
ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURÍMAC**

PRESENTADA POR
SAYURI LUYO VARGAS
GRECIA JAZMIN TELLO SLEE
ASESORES
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARIA
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ
2022



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INCORPORACIÓN DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE
EN LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, UBICADA EN EL
DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS,
DEPARTAMENTO DE APURÍMAC**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

**LUYO VARGAS, SAYURI
TELLO SLEE GRECIA, JAZMIN**

ASESORES DE TESIS:

OBLITAS SANTA MARIA, JUAN MANUEL
VILLAR GALLARDO, ERNESTO ANTONIO

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mi padre, Hermes Luyo, quien, en mi formación universitaria, me apoyó decididamente. Le dedico este hito de éxito en mi vida, a un año de su partida, fue la motivación que me impulsó a cumplir la promesa de culminar satisfactoriamente esta etapa.

Misión cumplida papá.

Luyo Vargas, Sayuri

DEDICATORIA

A mis abuelitas, Ana María Trujillo y Simona Gamboa, mi más grande motivación para seguir adelante, gracias a sus oraciones, amor y palabras de aliento que me impulsaron cada día a seguir adelante y a esforzarme para cumplir todos mis objetivos.

Tello Slee, Grecia Jazmin

AGRADECIMIENTO

A mi madre, Julia Vargas, quien siempre me enseñó a superar todos mis límites y creyó en mí en toda esta etapa académica, lo que se convirtió en mi motor para seguir logrando mis metas propuestas, también agradecerle a ella y a mi abuela por la ayuda brindada en el proceso de investigación en campo y la asistencia que nos brindaron en el proceso, este trabajo ha sido logrado gracias a ustedes.

Luyo Vargas, Sayuri

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis maravillosos padres, Juan Tello y Sara Slee, quienes me apoyaron, desafiaron y creyeron en mí desde siempre, los amo, esto se logró por ustedes.

A mi hermano Nicolás Tello, que con sus palabras y ánimos me motivó a seguir esforzándome y ser un buen ejemplo para él.

Tello Slee, Grecia Jazmin

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Situación problemática	1
1.2 Argumentación del problema	5
1.3 Formulación del problema	9
1.4 Objetivos	10
1.5 Justificación	10
1.6 Impacto potencial de la investigación	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	14
2.2 Bases teóricas	20
2.3 Definición de términos básicos	77
2.4 Hipótesis	78
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1 Diseño metodológico	79
3.2 Diseño de la Investigación	79
3.3 Nivel de Investigación	79
3.4 Enfoque de la investigación	79
3.5 Variables	80
3.6 Técnicas de investigación	93
3.7 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	94
3.8 Técnicas e Instrumentos de Procesamiento de Datos	97
3.9 Cronograma de actividades	97
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	
4.1 Ubicación	99
4.2 Mapa de procesos	101
4.3 Visita a Campo para reconocimiento de lugar	102
4.4 Extracción de muestras de suelo arcilloso y ceniza	103
4.5 Trabajo de laboratorio	115

CAPÍTULO V: RESULTADOS	
5.1 Sobre el índice de Plasticidad	125
5.2 Sobre el Índice de CBR	134
5.3 Sobre la capacidad de soporte	149
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Contrastación de hipótesis	152
6.2 Contrastación de antecedentes	158
CONCLUSIONES	161
RECOMENDACIONES	162
FUENTES DE INFORMACIÓN	163
ANEXOS	167

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Clasificación AASHTO % que pasa tamiz N°200	36
Tabla 2. Identificación de variables	86
Tabla 3. Operacionalización de variables	87
Tabla 4. Coordenadas UTM de la ubicación de calicatas	92
Tabla 5. Porcentaje de muestras y simbología representativa	95
Tabla 6. Programación de actividades de trabajo en campo	103
Tabla 7. Ensayos para la investigación	117
Tabla 8. Análisis granulométrico por tamizado	121
Tabla 9. Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO	122
Tabla 10. Análisis granulométrico por tamizado – ceniza	122
Tabla 11. Clasificación de ceniza según SUCS y AASHTO	124
Tabla 12. Análisis de sulfatos de ceniza	125
Tabla 13. Análisis de sulfatos de S70%CL28%C2%	125
Tabla 14. Límite Líquido de la muestra de suelo arcilloso	126
Tabla 15. Límite Líquido Plástico de la muestra de suelo arcilloso	127
Tabla 16. Índice de Plasticidad del suelo arcilloso	127
Tabla 17. Límite Líquido de S80%CL18%C2%	128
Tabla 18. Límite Plástico de S80%CL18%C2%	129
Tabla 19. Índice de Plasticidad de S80%CL18%C2%	129
Tabla 20. Límite Líquido de S70%CL28%C2%	130

Tabla 21. Límite Plástico de S70%CL28%C2%	130
Tabla 22. Índice Plástico de S70%CL28%C2%	131
Tabla 23. Límite Líquido de S60%CL38%C2%	132
Tabla 24. Límite Plástico de S60%CL38%C2%	132
Tabla 25. Índice Plástico de S60%CL38%C2%	133
Tabla 26. Datos de Proctor Modificado de muestra de suelo	134
Tabla 27. Datos de Proctor Modificado de S80%Ce18%Ca2%	136
Tabla 28. Datos de Proctor Modificado de S70%CL28%C2%	137
Tabla 29. Datos de Proctor Modificado de S60%CL38%C2%	138
Tabla 30. Datos de Compactación de CBR en suelo arcilloso	141
Tabla 31. Datos de Expansión de CBR en muestra de suelo arcilloso	141
Tabla 32. Datos de Penetración de CBR en muestra de suelo arcilloso	142
Tabla 33. Datos de Compactación de CBR en S80%CL18%C2%	143
Tabla 34. Datos de Expansión de CBR en S80%CL18%C2%	143
Tabla 35. Datos de Penetración de CBR en S80%CL18%C2%	143
Tabla 36. Datos de Compactación de CBR en S70%CL28%C2%	146
Tabla 37. Datos de Expansión de CBR en S70%CL28%C2%	145
Tabla 38. Datos de Penetración de CBR en S70%CL28%C2%	145
Tabla 39. Datos de Compactación de CBR en S60%CL38%a2%	146
Tabla 40. Datos de Expansión de CBR en S60%CL38%C2%	146
Tabla 41. Datos de Penetración de CBR en S60%CL38%C2%	147

Tabla 42. Capacidad de soporte suelo arcilloso	149
Tabla 43. Capacidad de soporte mezcla de S 80%, CL 18% y C2%	150
Tabla 44. Capacidad de soporte mezcla S70%, CL28% y C2%	150
Tabla 45. Capacidad de soporte mezcla S70%, CL28% y C2%	151
Tabla 46. Histograma clasificación de subrasante	151
Tabla 47. Discusión de hipótesis general	153
Tabla 48. Discusión de hipótesis específica 1	154
Tabla 49. Discusión de hipótesis específica 2	156
Tabla 50. Discusión de hipótesis específica 3	157

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Evolución de la red vial nacional pavimentada 1990-2019	2
Figura 2. Conexión entre la trocha AP-557 y carretera 102	3
Figura 3. Vista en drone del suelo del Centro Poblado Chumbibamba	4
Figura 4. Histograma de respuesta sobre la importancia	6
Figura 5. Histograma de respuesta a problemas de la investigación	7
Figura 6. Diagrama de Causa - Efecto	8
Figura 7. Estructura de un pavimento flexible y funcionalidad	21
Figura 8. Estructura de un pavimento semirrígido y funcionalidad	22
Figura 9. Estructura de un pavimento semirrígido y funcionalidad	23
Figura 10. Componentes de la estructura de la trocha AP-557	24
Figura 11. Cantidad de calicatas para exploración de suelos	26
Figura 12. Vista microscópica de una partícula de arcilla	27
Figura 13. Índice de Plasticidad de la Arcilla Norma ASTM D4318 - 84	28
Figura 14. Clasificación de Suelos Norma ASTM D422	28
Figura 15. SUCS (basado en el material que pasa por el tamiz 75)	31
Figura 16. Gráfica de plasticidad	32
Figura 17. Grupos de suelos clasificados por SUCS	33
Figura 18. Diagrama de flujo de los grupos para limo y arcilla	34
Figura 19. Diagrama de flujo de grupos para limo y arcilla	35
Figura 20. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes	37

Figura 21. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes	38
Figura 22. Proceso para la Identificación del Tipo de Suelo	43
Figura 23. Proceso de Selección del Tipo de Estabilización	44
Figura 24. Guía Referencial para seleccionar el Tipo de Estabilizador	46
Figura 25. Guía Complementaria para la selección del Estabilizador	47
Figura 26. Adición manual de cal para estabilizar suelos	49
Figura 27. Estabilizadora de suelos WR 250 de Wirtgen	50
Figura 28. Máquina de Abrasión Los Ángeles	51
Figura 29. Imagen referencial de tamaños de arena, limo y arcilla.	55
Figura 30. Horno de secado	57
Figura 31. Balanza digital	57
Figura 32. Taras para las muestras de suelo	57
Figura 33. Desecador de vidrio	58
Figura 34. Tenazas de laboratorio de mecánica de suelos	58
Figura 35. Espátulas	59
Figura 36. Cucharas	59
Figura 37. Cantidad mínima de espécimen de material húmedo	60
Figura 38. Ecuación para hallar el Contenido de Humedad	61
Figura 39. Límites de Atterberg	62
Figura 40. Aparato manual para límite líquido	63
Figura 41. Recipiente de porcelana de 115mm	64

Figura 42. Aparato de Casagrande	64
Figura 43. Herramienta de Ranurar (acanalador)	64
Figura 44. Calibrador vernier	65
Figura 45. Balanza digital	65
Figura 46. Recipientes de material anticorrosivo	65
Figura 47. Espátula	66
Figura 48. Condición final de la muestra	66
Figura 49. Factor de límite líquido dependiente del número de golpes	68
Figura 50. Espátulas	69
Figura 51. Recipiente de porcelana de 4 ½ pulgadas	69
Figura 52. Balanza digital con aprox a 0.01g	69
Figura 53. Horno de secado	70
Figura 54. Tamiz N°40	70
Figura 55. Agua destilada	70
Figura 56. Vidrio grueso esmerilado	71
Figura 57. Forma de moldear la muestra para formar los bastoncillos	71
Figura 58. Bastoncillos de la muestra de suelo	72
Figura 59. Ensayo de proctor modificado	74
Figura 60. Categorías de subrasante	76
Figura 61. Centro poblado Chumbibamba, Km 3 de la trocha AP-557	82
Figura 62. Mapa de ubicación de la muestra	83

Figura 63. Fotografía de la trocha AP-557 captada en drone	91
Figura 64. Muestra de suelo arcilloso	92
Figura 65. Criterios secuenciales para el desarrollo de la investigación	93
Figura 66. Criterios secuenciales para el desarrollo de la investigación	98
Figura 67. Imagen satelital de la trocha AP-557 Chumbibamba	99
Figura 68. Puente Santa Rosa	100
Figura 69. Letrero de ingreso al Centro Poblado Chumbibamba	100
Figura 70. Características del terreno arcilloso en Chumbibamba	101
Figura 71. Mapa de procesos	102
Figura 72. Medición de la profundidad en la calicata N°1	104
Figura 73. Calicata N°1 en Km 1 de la trocha AP-557	105
Figura 74. Coordenadas UTM para la geolocalización de calicatas	107
Figura 75. Ubicación de zona de realización de calicata N°2	108
Figura 76. Letrero de Estación Experimental Agraria Chumbibamba	108
Figura 77. Señalización trocha AP-557 Km2	109
Figura 78. Calicata N°2, Km 2 de la trocha AP-557	110
Figura 79. Ubicación para realizar calicata N°3	111
Figura 80. Proceso de realización de calicata N°3	112
Figura 81. Proceso de enfriamiento de horno luego de 2 días	113
Figura 82. Horno de ladrillera artesanal	114
Figura 83. Recolección de cenizas en Llantihuanca	115

Figura 84. Muestras llevadas a laboratorio para ensayo	116
Figura 85. Elementos para ensayo de contenido de sulfatos	118
Figura 86. Horno mufla para ensayo de contenido de sulfatos	119
Figura 87. Curva granulométrica del suelo arcilloso	122
Figura 88. Curva granulométrica de cenizas	123
Figura 89. Histograma de Límites de Atterberg	133
Figura 90. Curva de Compactación de suelo arcilloso	135
Figura 91. Curva de Compactación de S80%CL18%C2%	136
Figura 92. Curva de Compactación de S70%CL28%C2%	138
Figura 93. Curva de Compactación de S60%CL38%C2%	139
Figura 94. Histograma de Densidades Secas	140
Figura 95. Histograma de contenido de humedad	140
Figura 96. Gráfica Resultados CBR de muestras	148
Figura 97. Histograma de CBR	148

RESUMEN

A través de los años, se ha evidenciado que el uso de suelos arcillosos no es recomendable para las pavimentaciones, ya que propiedades como capacidad de soporte e índice de plasticidad no cumplen con los requisitos necesarios. Por ello, se plantea la incorporación de cal y cenizas a un suelo arcilloso como alternativa de estabilización para futuras pavimentaciones. El objetivo de este estudio es mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante del suelo arcilloso de la trocha carrozable AP-557 Chumbibamba, ubicado en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas y departamento de Apurímac. Se realizaron ensayos de contenido de sulfatos, granulometría, límites de atterberg, proctor modificado y CBR; para cuantificar la variación en las propiedades de las tres muestras propuestas con adición de cenizas al 18%, 28% y 38% y cal al 2% cada una, comparadas con la muestra en estado natural. Como resultado se identificó que al añadir 28% de cenizas y 2% de cal a la muestra, esta mejora su CBR en 59.1%, pasando de 4.3% de condición inicial a 63.4%. Se concluye que, la adición de cal y cenizas influye favorablemente, mejorando las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557, ya que incrementa su capacidad de soporte y reduce la plasticidad, obteniendo un suelo con una subrasante excelente, según la clasificación del Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Palabras clave: Propiedades físicas, propiedades mecánicas, cal, cenizas, estabilización, suelo arcilloso

ABSTRACT

Over the years it has been shown that the use of clayey soils is not recommended for paving, since properties such as bearing capacity and plasticity index do not meet the necessary requirements. For this reason, the incorporation of lime and ashes to a clayey soil is proposed as a stabilization alternative for future paving. The objective of this study is to improve the physical and mechanical properties of the subgrade of the clayey soil of the AP-557 Chumbibamba road, located in the district of Talavera, province of Andahuaylas and department of Apurímac. Sulfate content, granulometry, Atterberg limits, modified Proctor and CBR tests were carried out; to quantify the variation of the properties of the three proposed samples with the addition of 18%, 28% and 38% ash and 2% lime each, compared to the sample in its natural state. As a result, it was identified that adding 28% ash and 2% lime to the sample improves its CBR by 59.1%, going from 4.3% of the initial condition to 63.4%. It is concluded that the addition of lime and ash influences favorably, improving the physical and mechanical properties in the subgrade of the AP-557 path, since it increases its support capacity and reduces plasticity, obtaining a soil with an excellent subgrade, according to the classification of the Highway Manual of the Ministry of Transport and Communications.

Keywords: Physical properties, mechanical properties, lime, ashes, frozen, clayey soil

NOMBRE DEL TRABAJO

INCORPORACIÓN DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN

AUTOR

SAYURI LUYO VARGAS / GRECIA JAZMIN TELLO SLEE

RECUENTO DE PALABRAS

26776 Words

RECUENTO DE CARACTERES

139738 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

203 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

51.1MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 6, 2022 7:45 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 6, 2022 7:58 AM GMT-5**● 20% de similitud general**

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

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

**Biblioteca FIA**

Patricia Rodríguez Toledo
Bibliotecóloga

INTRODUCCIÓN

En el Perú, debido a las diversas condiciones climáticas y por la geografía del lugar, tenemos distintos tipos de suelo tanto en costa, sierra y selva, lo cual en muchas ocasiones representa problemas para ser usados en diferentes proyectos de ingeniería ya que no cuentan con las características necesarias según el proyecto y sufren deformaciones, desgastes, agrietamientos a causa de agentes atmosféricos o de su uso como es el caso de las vías. Es así que resulta necesario, en los proyectos de infraestructura vial, realizar un estudio de suelos para evaluar las propiedades físicas y mecánicas que van a determinar la resistencia o capacidad de soporte que posee dicho suelo, y realizar una mejora a sus características para volverlos aptos para su uso.

Este proceso de mejora consta de realizar la estabilización del suelo ya sea por agentes mecánicos como el uso de maquinaria pesada, o químicos como la adición de algún aditivo, sea, por ejemplo, cal, cenizas, obteniendo así un suelo más estable que permita soportar condiciones de diseño críticas como las de tránsito y agentes climáticos.

Estas mejoras, ayudan a no elevar costos futuros por mantenimiento o rehabilitación de un pavimento ya que se estudia en cuál de sus estratos sería adecuado realizar el mejoramiento en el paquete vial, en este caso la subrasante ya que es la primera capa, también el material añadido no representa un costo alguno en su obtención al ser escoria sobrante.

Esta investigación determinará la influencia de cal y cenizas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557 ubicada en el centro poblado de Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas y departamento de Apurímac, esto con el método experimental, recopilando resultados de ensayos como Granulometría, Límites de Atterberg, Próctor Modificado y CBR.

Se determinará la incidencia de esta mezcla respecto a la reducción del índice de plasticidad, que es una propiedad física de estabilidad, ya que con ella se determinará hasta qué grado el suelo puede moldearse sin que se

rompa. Para verificar la influencia de esta mezcla en el suelo en estado natural, se ha determinado la realización de límites de Atterberg para analizar la variación en el índice de plasticidad.

Adicionalmente, se tiene como objetivo específico determinar en qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de CBR en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557, esto para interpretar si el porcentaje de CBR incrementa ya que este índice nos permitirá conocer las variaciones en la capacidad de soporte, mediante el ensayo de CBR sumergidas las muestras por 4 días.

También se buscará determinar la influencia de la incorporación de cal y cenizas para mejorar la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de la trocha AP-557, ya que la capacidad de soporte se refiere a la resistencia que posee un pavimento a los distintos agentes ya sea climático o de diseño, y representa la propiedad mecánica más importante respecto a proyectos de pavimentación. Este resultado será obtenido gracias a la realización de ensayos como Próctor Modificado y CBR.

Para el desarrollo de esta investigación, inicialmente se realizó la validación externa a expertos en este caso, ingenieros dedicados a la geotecnia y luego se elaboró un cuestionario estructurado que fue aplicado a 11 ingenieros civiles de un total de 15.

La importancia de esta investigación, radica en que se busca una alternativa de solución que no está orientado únicamente a la mejora del aspecto ingenieril, sino también beneficia tanto en el desarrollo productivo como social de la población de Chumbibamba ya que contarían con una vía con las condiciones necesarias, sin presentar agrietamientos para ser utilizadas en la conexión de vías para el envío de sus productos ya que el sector es dedicado a la agricultura, adicionalmente, al utilizar la cal y las cenizas para este mejoramiento, evitaría que estas últimas sean desechadas lo cual presenta contaminación, así como implicaría en el factor económico debido a que este material es considerado escoria, no representa un gasto adicional en su obtención ya que se le está dando un segundo uso a los restos

producidos por la quema de eucalipto para la producción de ladrillos artesanalmente.

La presente investigación está estructurada en seis (6) capítulos. El primero corresponde al planteamiento de la situación problemática y formulación del problema. En el segundo, se aborda el marco teórico, donde se encuentran los antecedentes internacionales y nacionales, así como las bases teóricas y el glosario de términos técnicos. En el tercero, se presenta la metodología, con un enfoque mixto.

En el cuarto, se describe el trabajo de campo, la realización de las 3 calicatas, según lo indicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su Manual de Carreteras. En el quinto capítulo, se analizan los resultados obtenidos en laboratorio producto de los ensayos realizados y, en el sexto capítulo, se contrastan las hipótesis con la discusión de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Actualmente, la ingeniería vial avanza progresivamente en cuanto al desarrollo de nuevas tecnologías como la construcción de túneles, puentes, seguridad vial, diseño geométrico de vías, estabilización de taludes, estabilización de suelos, pavimentos, entre otras. Junto al desarrollo se tiene también la ejecución de proyectos de infraestructura que permitan conectar los centros urbanos y rurales para promover el desarrollo del país y dar acceso a la población al transporte.

Según la clasificación de carreteras presentada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) en su Manual de Carreteras: Diseño Geométrico, indica que el Perú cuenta con diversos tipos de vías y carreteras, entre ellas encontramos a las de tipo Autopista de primera clase como la Panamericana (Sur y Norte para la parte peruana) y la Carretera central.

A su vez, estas vías se encuentran clasificadas en vías Nacionales, Departamentales y Vecinales, de las cuales, el Centro de Comercio Exterior (CCEX) de la Cámara de Comercio de Lima, detalla que solo el 16% de la red vial está pavimentada (siendo así su extensión de 16,496 km) y el 84% se encuentra en estado de afirmado o trocha (teniendo una prolongación de 80,367 km).

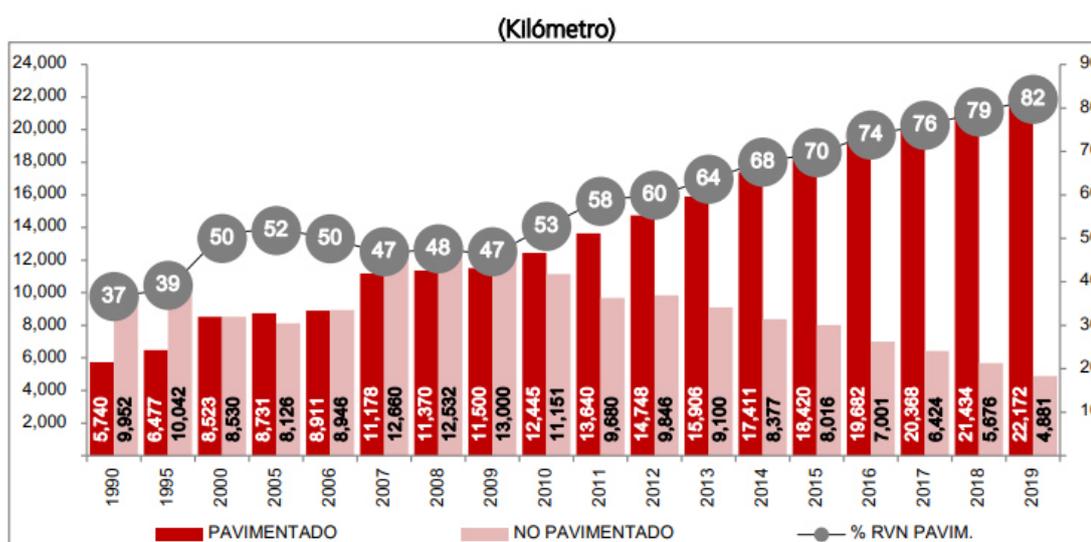
Esto se refleja en la Figura 1, que detalla la información brindada por Provias Nacional en su Memora Anual 2019, como resultado de

intervenciones culminadas entre el 2011 al 2019, la Red Vial Nacional se ha desarrollado positivamente, aumentando de 37% (1990) a 82% en el 2019 su pavimentación.

La comparativa de la evolución de la red vial pavimentada, se presenta a continuación en la figura 1:

Figura 1

Evolución de la red vial nacional pavimentada 1990-2019



Nota. El histograma de la figura 1 representa una comparación anual desde el año 1990 al 2019 de vías pavimentadas y no pavimentadas, reflejando porcentualmente (círculos grises) la variación respecto a cada año. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019).

En cuanto a la red vial Nacional, la provincia de Andahuaylas cuenta con carreteras que conectan con otras provincias presentando una red vial pavimentada, sin embargo, existe una red vial vecinal, que es la trocha AP-557 que conecta con la carretera 102 (red vial departamental) (Ver Figura 2) que no se encuentra pavimentada, representando una longitud de 3 kilómetros aproximadamente.

Esta situación repercute negativamente en la población, ya que esta trocha es el camino de acceso que uno el Centro Poblado de Chumbibamba con el distrito de Talavera en Andahuaylas, a causa de esto, genera un impacto negativo en el desarrollo económico de quienes habitan el centro

poblado ya que las vías en mal estado representan un retraso y dificultad en el transporte de sus productos, ya que el centro poblado Chumbibamba es dedicado a la producción, así como problemas sociales, ya que por la poca transitabilidad, los niños se ven perjudicados al ir a clases, desplazándose a pie largos trayectos.

Figura 2
Conexión entre la trocha AP-557 y carretera 102



Nota. Ubicación en mapa de la conectividad entre la trocha AP-557 y la vía departamental, carretera 102 en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas

Fuente: Los autores (2022)

Por otro lado, para construir una carretera, se debe realizar un estudio de suelo con la finalidad de conocer los factores como sus propiedades físicas y mecánicas, tal es el caso de la capacidad de soporte que es uno de los factores más importantes a considerar, así como la plasticidad ya que considera la resistencia del suelo y su deformación, vinculados en ese sentido el suelo y el agua.

La capacidad de soporte de un suelo es importante de analizar antes de la ejecución de proyectos viales ya que se debe constatar las condiciones a las que uno se enfrenta en el estrato que se esté analizando, las subrasantes deben tener un índice de CBR mayor o igual a 6% para ser considerada apta para la construcción, estos análisis previos permitirán también conocer si podría existir futuras expansiones dependiendo del tipo de suelo, ya que los cambios volumétricos pueden determinar los asentamientos causados por

compresión lo que contribuye con las deformaciones producto de esfuerzos cortante, influyendo así en la estabilidad del suelo. Del mismo modo las propiedades físicas como la plasticidad, en el caso de las arcillas, se encuentran supeditadas al tipo de minerales arcillosos existentes de acuerdo el suelo de estudio.

En el distrito de Talavera, predominan suelos arcillosos, tal es el caso del Centro Poblado de Chumbibamba (Ver Figura 3), el cual gracias a este tipo de suelo es que su actividad económica es la producción de alimentos. Este suelo, en el ámbito de la ingeniería, representa condiciones desfavorables ya que se caracterizan por su baja capacidad de soporte y que al presentarse situaciones como saturación de suelos se generan asentamientos y hasta desprendimientos de estratos de suelo. En ese sentido, en cuanto a los estratos, la subrasante que podemos encontrar es arcillosa, siendo este un problema ya que es el estrato que da el soporte y la resistencia al ser la base del paquete estructural, generando inestabilidad de la carretera arcillosa.

Figura 3

Vista en dron del suelo del Centro Poblado Chumbibamba



Fuente: Los autores (2022)

Ante este problema de inadecuado tipo de suelo, se practican distintos métodos de estabilización que pretende mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, tal es el caso de la estabilización química utilizando

agregados como cenizas producto de la quema de eucalipto y cal, que juntos brindan, así como un método económico por el tipo de agregados.

La utilización de estos productos no solamente representa una solución para la estabilización de un suelo, sino también una alternativa asequible ya que en el distrito de Talavera también se dedican a la producción artesanal de ladrillos, en la cual insumos como ramas de eucalipto y kerosene son utilizados para avivar el fuego de los hornos, produciéndose así las cenizas, consideradas como escoria, que, al ser tal, su obtención no representa costo alguno ya que son desechadas.

A su vez, la aplicación de cal a un suelo arcilloso origina una modificación en las propiedades físicas y químicas de este, debido a la composición mineralógica del suelo y la cal, las mejoras que se presentan son las siguientes:

- Mayor resistencia a medio y largo plazo
- Modificación de las características de compactación
- Reducción del índice de plasticidad
- Reducción del potencial en cambios volumétricos
- Aumento de permeabilidad
- Mayor trabajabilidad
- Aumento inmediato de la consistencia

1.2 Argumentación del problema

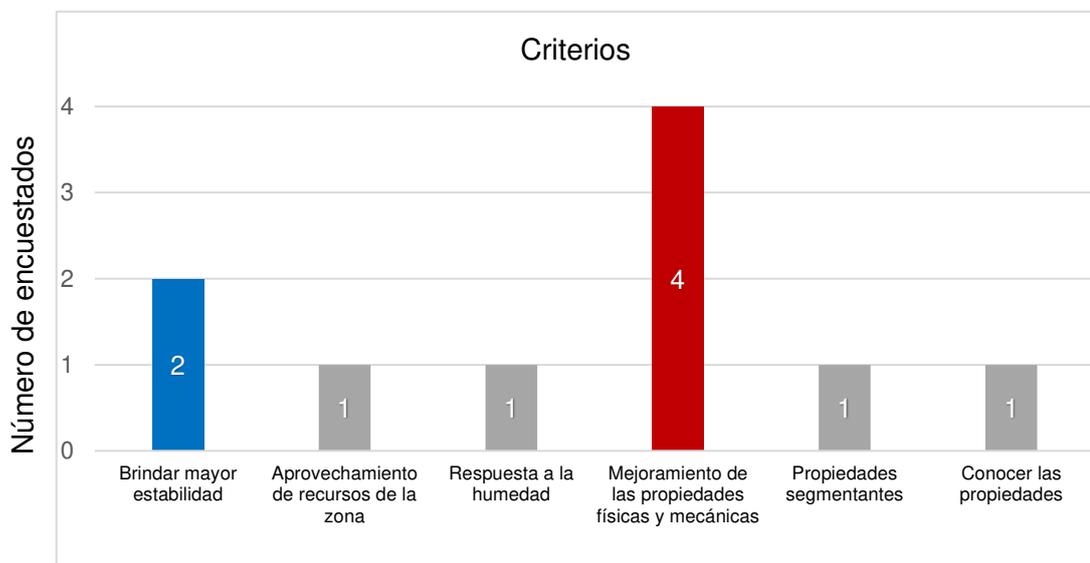
En la actualidad existen pocos estudios en los que se profundice la interacción del suelo arcilloso con cenizas y cal, siendo si la interacción de estos por separado es por ello que recurrimos a la validación externa a 10 expertos mediante entrevistas y encuestas, con el fin de indagar y dar sustento a esta investigación, siendo nuestro punto de partida un enfoque general hasta llegar a preguntas específicas, lo cual nos ayudó a plantear de manera objetiva la problemática.

Se realizó la pregunta: ¿Cuál es la importancia de la investigación?, los expertos respondieron que la mayor importancia por la cual se debe realizar la investigación sería para realizar el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento. En segundo lugar, consideran que es importante brindar mayor estabilidad al pavimento, desde el estrato de la subrasante, ya que esa es la base de todo el paquete estructural.

Las respuestas obtenidas en la encuesta se encuentran resumidas en el histograma presentado en la Figura 4.

Figura 4

Histograma de respuesta sobre la importancia



Fuente: Elaborado por los autores (2022)

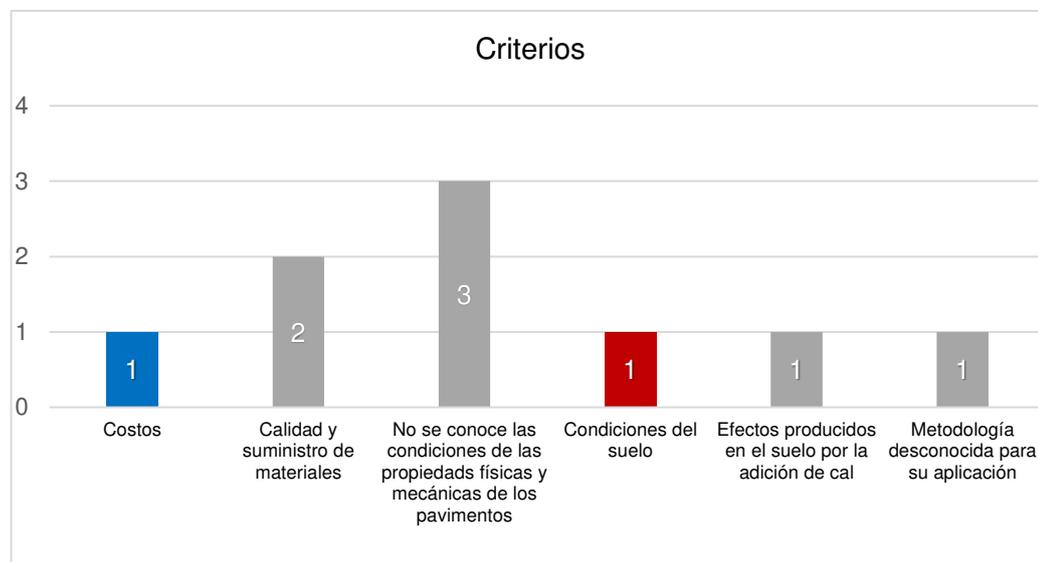
Se determinó producto de la encuesta a expertos, que el problema principal es que no se conoce las condiciones en las que se encuentran las propiedades físicas y mecánicas como la capacidad de soporte y plasticidad.

En segundo lugar, consideraron que es un problema, no conocer los efectos que produce la adición de agregados como las cenizas y cal al suelo.

Las preguntas realizadas para el planteamiento de los problemas se encuentran resumidas en un histograma presentado en la Figura 5.

Figura 5

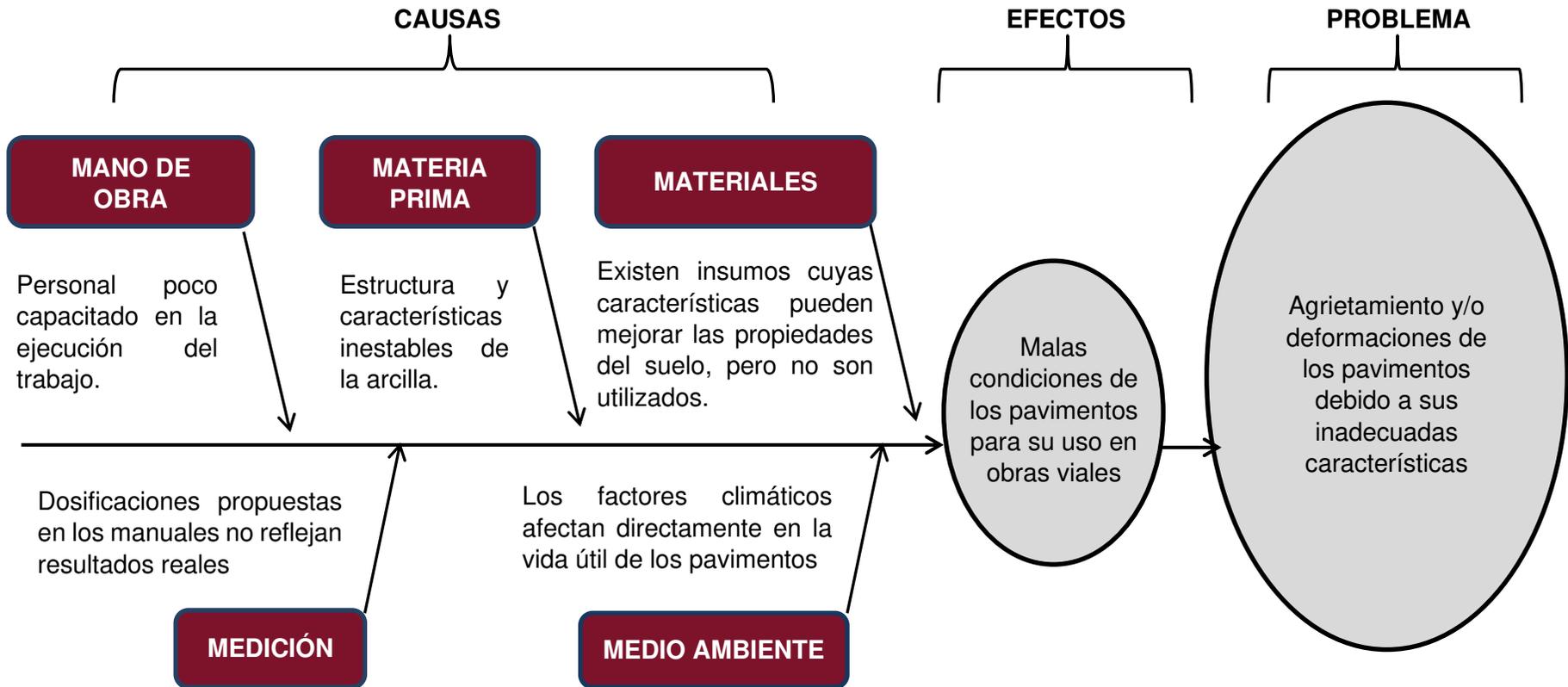
Histograma de respuesta a problemas de la investigación



Fuente: Elaborado por los autores (2022)

Producto de la encuesta realizada a los expertos, como validación externa, se elaboró un diagrama causa efecto (Ver Figura 6), de la implicancia que tiene la medición, el medio ambiente, la mano de obra, la materia prima y los materiales, factores que reflejan las malas condiciones de un pavimento, provocando agrietamiento y/o deformación de los mismos.

Figura 6
Diagrama de Causa - Efecto



Fuente: Elaborado por los autores (2022)

La presente investigación busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la trocha AP-557 añadiendo cenizas y cal para mejorar la estabilidad, logrando así aumentar la capacidad de soporte y reducir el índice de plasticidad y de esta manera presentarlo como alternativa para el mejoramiento de suelos arcillosos.

En ese sentido, ante lo expuesto, la pregunta principal que orienta esta investigación es: ¿Cuál es el efecto que genera la influencia de la incorporación de cal y cenizas para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas en la en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general:

El problema general que se detectó fue que las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, no cumplían con los requisitos para su utilización en proyectos.

1.3.2 Problemas específicos:

- ¿En qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de plasticidad en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?

- ¿En qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de CBR en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?

- ¿Cuál es la influencia de la incorporación de ca y cenizas para mejorar la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas de la

subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Determinar la influencia de la incorporación de cal y cenizas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Determinar en qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de plasticidad en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

- Determinar en qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de CBR en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

- Determinar la influencia de la incorporación de cal y cenizas para mejorar la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

-

1.5 Justificación

1.5.1 Importancia de la investigación

La importancia de esta investigación es que se plantea como solución ante la aparición de grietas en el pavimento incorporar las cenizas de

fondo en adición con la cal, buscando mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mismo como el incremento de la capacidad de soporte, y la poca variación volumétrica que son los indicadores principales para evitar que se presenten estas grietas, obteniendo así una vía más adecuada y resistente que permitirá el desarrollo productivo interconectando los centros poblados ya que el sector desarrolla actividades de agricultura y muchas veces se ven afectados por las fallas del camino.

Adicional a esto, la utilización de cal y las cenizas en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo evitaría que estas sean desechadas lo cual contamina muchas veces dependiendo en donde sean depositadas, mejorando así también el entorno social y económico ya que se estaría dando un segundo uso a un elemento que es considerado escoria, evitando así gastos adicionales.

1.5.2 Viabilidad o presupuesto

El presente trabajo de investigación es considerado viable debido a la facilidad de obtención de la muestra de suelo en la trocha AP-557 bajada Chumbibamba, distrito de Talavera debido a que no existen restricciones para dicha intervención al encontrarse en un terreno libre y desocupado, así como la obtención de cenizas emitidas en las ladrilleras artesanales, las cuales serán de forma gratuita al ser considerado desperdicio

El presupuesto será cubierto por los investigadores en su totalidad, destinándose el mismo a la realización de ensayos en un laboratorio privado.

1.5.3 Alcances y limitaciones de la investigación

Los alcances como resultado de esta investigación son mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la subrasante, en la trocha AP-557 perteneciente al Centro Poblado Chumbibamba, distrito de Talavera, con la finalidad de poder contar con una vía que reúna las condiciones adecuadas para su transitabilidad, influyendo positivamente en el ámbito

social de la población ya que permitirá la conexión con otras vías para el acceso a servicios necesarios así como la distribución de sus productos.

La principal limitación fue la falta de información por parte de la Municipalidad de Talavera acerca de esta vía y conexiones a la misma, por lo cual se tuvo que hacer el estudio in situ.

1.6 Impacto potencial de la investigación

1.6.1 Impacto teórico

La información que aportará la presente investigación es una alternativa de utilización de agregados como ceniza, que es considerada escoria producto de la quema de ladrillos, y otro agregado como la cal, para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas como el incremento del índice de CBR para incrementar la capacidad de soporte y la reducción del índice de plasticidad en la subrasante del suelo arcillo de la trocha AP-557, dando como alcance el porcentaje óptimo de estos agregados en función con el suelo arcilloso en estado natural, a fin de comprobar si los rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones es el óptimo y/o dar un nuevo porcentaje que sea factible como resultado de los ensayos.

Esta investigación recoge información de normativas como el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la cual ha adaptado normativas internacionales como las propuestas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) a nuestra realidad, utilizando los mismos criterios de investigaciones internacionales acerca del tema, pero respetando lo establecido por Norma Técnica Peruana.

1.6.2 Impacto práctico

La presente investigación, beneficiará a la población del Centro Poblado de Chumbibamba y al distrito de Talavera, ya que permitirá una mejor conexión y transitabilidad, esto debido a que al poner en práctica la propuesta de mejoramiento de las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante con cenizas y cal se obtendrá una subrasante adecuada y con mayor capacidad

de soporte, por ende una mejor resistencia, reduciendo así las probabilidad de aparición de agrietamiento y/o deformaciones, que son problemas comunes y existentes actualmente en la trocha, siendo útil en una futura pavimentación de la misma al tener una subrasante de mejores características. Este método servirá para la municipalidad de Talavera y otras con suelos de estas características ya que es una opción accesible, puesto que obtener la ceniza no genera costo alguno ya que es escoria de las ladrilleras artesanales, e incluso la cal debido a las fábricas que se encuentran en el lugar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la investigación realizada por Cañar, E. (2017), en Ecuador, sobre “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón”, determinó que al adicionar 25% de cenizas de carbón al suelo arcilloso, mejoró su capacidad portante, reflejado en un aumento de 4.6% en el CBR respecto al suelo arcilloso en condiciones naturales, incrementando así, la resistencia de 15.0% a 19.60%.

En el artículo científico, denominado “Remediation of Expansive Soils Using Agricultural Waste Bagasse Ash.” elaborado por Hasan et al., (2016) en Australia, el objetivo fue estudiar el mejoramiento de suelos expansivos utilizando ceniza de bagazo y cal hidratada. Se elaboraron muestras entre los rangos de 0%, 6%, 10%, 18% y 25% por la masa de suelo, en una proporción de 3:1 respectivamente. Los ensayos realizados fueron la relación de hinchamiento libre, resistencia de compresión no confinada y prueba de soporte California (CBR) por un periodo de curado de 3, 7 y 28 días.

Los resultados obtenidos respecto a la mejora de la capacidad portante del suelo fueron que para 7 días de curado (no sumergido) se mejoró el índice de CBR en un 58.60%, para 28 días de curado (no sumergido) se incrementó el índice de CBR en un 62.60% y para 28 días de

curado y 7 días sumergido el índice de CBR cayó en un 54.8% en relación para la muestra no tratada que obtuvieron valores de 7.1%, 7.1% y 3.2%, respectivamente.

Una investigación de Brasil, de la Universidade Federal de Integração Latino-Americana, que lleva por nombre “Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-Concreto fino (partículas < 2mm) para aplicación de pavimentos”, Ochoa, S. (2019), realizó un análisis de incorporación de escoria de construcciones y demoliciones a un suelo con el fin de mejorar la capacidad de soporte en subrasantes de pavimentos.

Para realizar dicho estudio, el material se extrajo a una profundidad de 80 cm y se sometió a los ensayos correspondientes a la caracterización del suelo de acuerdo a la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), luego se realizaron los análisis mineralógicos a los residuos finos de construcciones y demoliciones, y al cemento. A continuación, se realizó el análisis granulométrico y los límites de consistencia.

Para realizar los ensayos de compactación, ensayo de expansión y CBR (Californian Bearing Ratio) se eligieron cuatro mezclas: el suelo en condiciones naturales, suelo con 20% RCD-C fino, suelo con 40% RCD-D fino y suelo con 60% RCD-C fino. Y como conclusión se obtuvo que la mayor cantidad de soporte obtenida fue con el incremento de 60% del RCD-C fino ya que el CBR aumentó 17.56% veces su valor. Además, los valores de CBR para 40% de RCD-C fino cumplen con el parámetro establecido por la NBR 15115 para ser utilizados como refuerzo de subrasante.

En la investigación realizada por Barragán, C. & Cuervo, H. (2019) en Colombia que lleva por título “Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno-arcilloso”, observó que en Colombia presenta una gran

variedad de suelos, en especial los suelos que presentan baja capacidad portante. Es por ello, que surge el uso de las cenizas de cascarilla de arroz abundan en toneladas en el sector agroindustrial de Colombia, como alternativa de método de estabilización de suelos ya que son de bajo costo y presentan en su composición química compatibilidad con la composición de los suelos arcillosos.

Para lograr su objetivo realizó ensayos de laboratorio tales como: Ensayo de granulometría por tamizado, límites de Atterberg, ensayo de Proctor Modificado y CBR, a una muestra del suelo en terreno condiciones naturales y una muestra de suelo con adición de 1% de ceniza de cascarilla de arroz a la muestra, para poder cuantificar la variación de las propiedades físico mecánicas del suelo, con el fin de analizar los factores ligados a la resistencia del mismo, cuyas características lo clasifican como suelo arcilloso, al adicionarle las cenizas.

Se pudo observar que la adición de 1% de ceniza de cascarilla de arroz a la mezcla generó un efecto positivo en la resistencia del suelo arcilloso, aumentando su CBR en un 19% con respecto a la capacidad del suelo arcilloso en condiciones naturales, concluyendo que la adición de cenizas a una muestra de suelo en condiciones naturales, en la dosificación adecuada resulta de gran beneficio a la capacidad portante.

Castillo, B. (2017) en su tesis, para optar el grado de Magister en Ingeniería en Viabilidad y Transportes, titulada “Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores menores al 5% y límites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes en carreteras”, propone una alternativa para mejorar las propiedades del suelo de la ciudad de Macas mediante la adición de cal al terreno en condiciones naturales.

El objetivo principal de esta investigación es estabilizar con cal viva el km3+100 del paso lateral de Macas, cuyo valor de CBR es menor al 5% y sus límites líquidos son mayores al 100%, con el fin de que la subrasante de este suelo sea adecuada para un pavimento flexible.

Se realizaron mezclas de suelo con 10, 20, 30 y 40% de cal; y se pudo observar la mejora de la capacidad portante inicial de 4.1% ya que, con cada adición de porcentaje de cal, el CBR aumenta en 15.8% y también se observó que al adicionar porcentajes de cal mayores a 30% los valores de CBR son mayores a 100%.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Goñas, O. & Saldaña, J. (2020) en la revista científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, denominada “Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada” sostiene que:

Debido a la baja capacidad de soporte que presentan los suelos de Chachapoyas es desfavorable para su utilización como subrasante, es por eso por lo que Goñas y Saldaña tuvieron como objetivo principal evaluar la influencia que tiene un subproducto obtenido de la quema de carbón mineral y carbón vegetal (cenizas de carbón) proveniente de una industria ladrillera de la ciudad de Chachapoyas en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de muestras de suelo.

Para esta investigación se tomaron muestras de suelo de dos cuadras de la calle denominada Las Lomas y se prepararon combinaciones de suelo con adición de cenizas de carbón al 15%, 20% y 25% para ser sometidas a ensayos mecánicos. En donde se concluyó que para obtener el mejor comportamiento de la subrasante se debe adicionar 25% de cenizas de carbón a la mezcla.

Huancoillo, Y. (2017) describe en la tesis titulada “Mejoramiento de un suelo arcilloso con ceniza volante y cal para uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané-Chupa-Puno” que mediante la incorporación de ceniza volante y cal, se logra estabilizar considerablemente un suelo arcilloso y los resultados se observan en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo tales como, el contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice plástico, proctor modificado y CBR.

Se logró el objetivo por medio de la realización de ensayos de laboratorio tales como granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, proctor y CBR, para la muestra de suelo en condiciones naturales y muestras de suelo con adición de ceniza y cal en diferentes dosificaciones.

La primera muestra fue del suelo sin aditivo (S100), la segunda muestra fue de 90% de suelo, 5% de ceniza volante y 5% de cal (S90/CV5/C5), la tercera muestra estuvo conformada por suelo al 80%, ceniza volante al 15% y cal al 3% (S80/CV15/C5) y la cuarta mezcla estuvo conformada por 70% de suelo, 25% de ceniza volante y 5% de cal (S70/CV25/C5).

Como resultado de los análisis se obtuvieron mejoras en el índice de CBR desde la primera adición de cal y cenizas volantes. El valor del CBR inicial del suelo en condiciones naturales fue de 20%, y según la adición de cenizas y cal en las dosificaciones especificadas anteriormente, el CBR fue de 103%, 123% y 80% para las muestras 1, 2 y 3 respectivamente. Esto indica que la dosificación adecuada es S80/CV15/C5, mejorando el CBR en un 101% respecto del CBR inicial de 20%.

Gomez, D. & Gonzales, Y. (2020) sustentaron en su tesis titulada "Mejoramiento del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación AA.HH. Tahuantinsuyo, Nuevo Chimbote - Ancash - 2020", la cual consistió en demostrar la influencia de las cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación seleccionada. Para lograr dicho objetivo se eligieron los 5 km del asentamiento humano, realizando según norma 1 calicata por cada 1 km. Luego de realizar los ensayos de proctor modificado y CBR, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La adición de la ceniza de cáscara de arroz en 10%, favorece las propiedades mecánicas y físicas del suelo del asentamiento humano Tahuantinsuyo.
- CBR: 20.7% y Densidad máxima seca: 1.855 g/cm³, siendo estos valores más favorables en comparación con el terreno natural.

Vargas, B. (2020) en la investigación que lleva por título “Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento en la subrasante en la progresiva km 5+100 al 6+100 del tramo Asimuri – Rosaspata Huancané” sostiene que:

Generalmente, los suelos arcillosos no son recomendados para su empleo en proyectos de pavimentación ya que su capacidad portante es baja. Es por eso que el objetivo principal de su investigación de tesis es evaluar la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 a 6+100 del tramo Aziruni, Huancané.

Para cumplir con el objetivo propuesto, se realizaron ensayos de laboratorio a la muestra de suelo en condiciones naturales y a tres muestras con adición de ceniza volcánica, que se obtuvo del volcán de Sabancaya, en porcentajes de 15%, 20% y 25%. Es así como la investigación concluye: que, al adicionar ceniza volcánica al suelo arcilloso, mejoran sus propiedades físicas que se evidencia en su índice de plasticidad (IP) que disminuye de 14.85% a 9.08% y también en su expansión al disminuir de 1.074% a 0.304%. Además, mejora significativamente una propiedad mecánica que es la capacidad de soporte ya que su CBR inicial es de 4.58% y con la adición de cenizas en 15%, 20% y 25% logra obtener porcentajes de 8.20%, 11.75% y 6.80%.

A base de los resultados obtenidos en el laboratorio se puede concluir que la adición óptima de ceniza volcánica es del 20%, ya que incrementa la capacidad de soporte en 61.02% respecto a la muestra de suelo arcilloso en condiciones naturales.

En la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el tramo de Pinar-Marian, Distrito de Independencia 2018”; Espinoza, A. & Velásquez, J. (2018), sostienen lo siguiente:

Al notar que los suelos arcillosos no cumplen con los requisitos necesarios para ser utilizados en proyectos de pavimentación, buscan la forma de mejorarlos y es así como surge la alternativa de adicionar

ceniza de caña de azúcar al suelo natural con el fin de mejorar las propiedades del dicho suelo y cumplir con los parámetros establecidos por el MTC.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el tramo de Pinar-María, distrito de Independencia 2018 y para ello se realizaron diversos ensayos en laboratorio, tales como: ensayos de granulometría, contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, proctor modificado y CBR.

Las dosificaciones empleadas a las muestras de suelo se realizaron en porcentajes de 10%, 20% y 30%, los cuales presentaron resultados favorables en sus propiedades físicas y mecánicas; sin embargo, la adición del 20% al suelo arcilloso presentó una mejora significativa que la diferencia de las otras dosificaciones. Estos resultados se vieron reflejados en la capacidad portante cuyo porcentaje inicial era de 15.18% y al final del ensayo resultó ser de 95%, también se redujo el índice de plasticidad de 16.11% a 9.73% y se logró disminuir el porcentaje de expansión de 1.47% a 0.24%. Finalmente se puede decir que estos resultados obtenidos en el laboratorio reflejan que la adición de cenizas al 20% es de beneficio para las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimentos

Según lo mencionado por (Torres, 2014) el pavimento es una capa constituida por materiales, los cuales son soportados por la superficie de un terreno natural, el cual le permitirá soportar las cargas accionantes a la que este está expuesto ya sea de personas o vehículos, entre otros. Los pavimentos pueden ser construidos en zonas rurales, urbanas e industriales.

Entre los tipos de pavimentos se tienen los siguientes:

- Pavimento Flexible
- Pavimento Semirrígidos
- Pavimentos Rígidos

2.2.2 Pavimento flexible

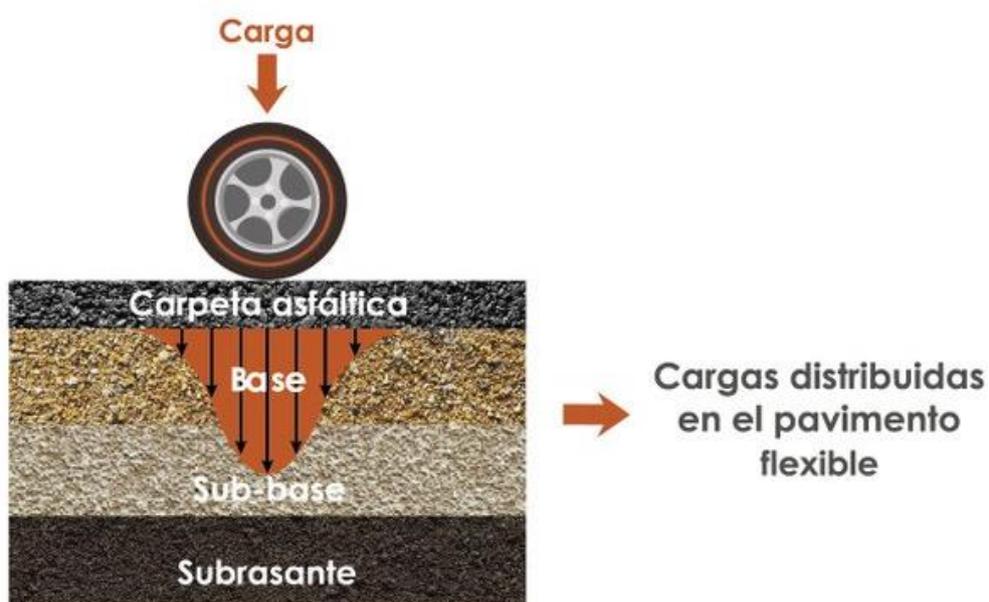
Su estructura está compuesta por capas granulares como la subbase y base, así como una capa de rodadura, compuesta por una carpeta de materiales bituminosos como agregados, aglomerantes y aditivos en ciertos casos. (Ver Figura 7)

Entre las capas de rodadura asfáltica tenemos:

- Mortero asfáltico
- Tratamiento superficial bicapa
- Mezclas asfálticas en frío
- Mezclas asfálticas en caliente
- Micropavimentos
- Macadam asfáltico.

Figura 7

Estructura de un pavimento flexible y funcionalidad



Nota. La figura muestra los componentes de un pavimento flexible como la subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura, así como la funcionalidad de la estructura. Fuente: Loría, G (2020)

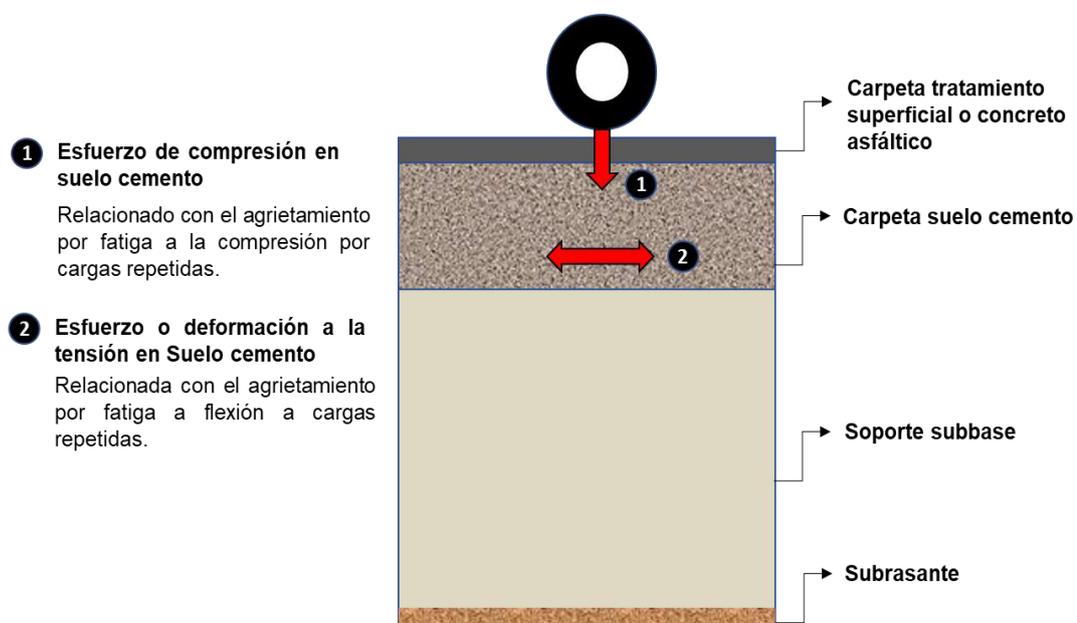
2.2.3 Pavimento semirrígido

Un pavimento semirrígido es una estructura que se compone por capas asfálticas, estas son el conjunto de una carpeta asfáltica en caliente sobre una capa que ha sido previamente tratada con asfalto, otro ejemplo de pavimento semirrígido puede ser una carpeta asfáltica sobre una base tratada con cemento o base tratada con cal. A continuación, en la Figura 8, se muestra la estructura de un pavimento semirrígido y su funcionalidad.

Los pavimentos adoquinados se encuentran en esta clasificación de pavimentos.

Figura 8

Estructura de un pavimento semirrígido y funcionalidad



Nota. La figura muestra los componentes de un pavimento semirrígido, así como la funcionalidad de la estructura. Fuente: Adocem (2013).

2.2.4 Pavimento rígido

De acuerdo con lo mencionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) en el Manual de Carreteras:

El pavimento rígido es una estructura compuesta por una capa subbase granular o por una capa de base granular (ver Figura 9) o de ser el caso, puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura que, a diferencia del pavimento flexible, que contaba con una capa

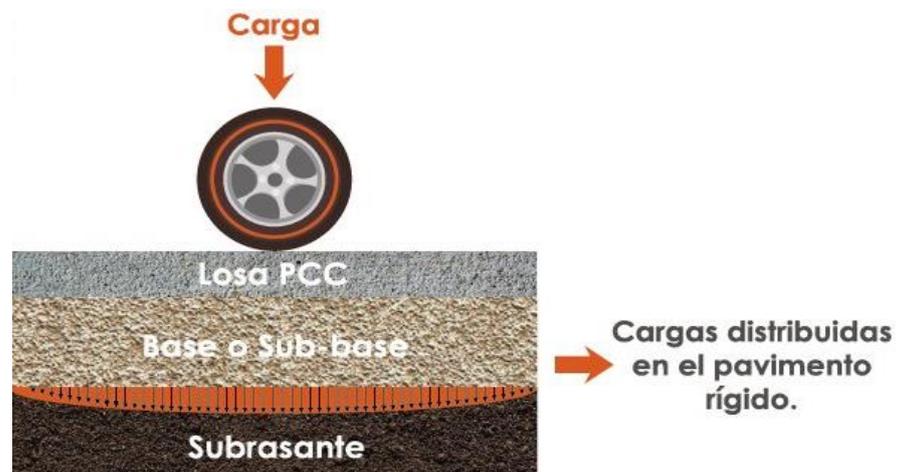
de rodadura de carpeta asfáltica, la capa de rodadura del pavimento rígido es de losa de concreto hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo.

Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.

Figura 9

Estructura de un pavimento semirrígido y funcionalidad



Nota. La figura muestra los componentes de un pavimento rígido como la subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura de losa de cemento, así como la funcionalidad de la estructura. Fuente: Loría.G (2020).

2.2.5 Estructuras que componen un pavimento flexible

Un pavimento por lo general dentro de su estructura abarca los siguientes elementos: subrasante, sub-base, base y la capa de rodadura que a su vez puede ser asfáltica o concreto. (Ver Figura 10)

Figura 10

Componentes de la estructura de la trocha AP-557



Nota. La figura muestra los componentes de la estructura de la trocha AP-557 en Chumbibamba, los cuales son: subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura. Fuente: Los autores (2022)

- **Subrasante:** Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), en la sección de suelos y pavimentos del Manual de Carreteras, clasifica a la subrasante como el soporte directo de la estructura del pavimento, conformada por suelos que cumplan los requerimientos indicados por norma.

- **Subbase:** Según el (MTC, 2014) menciona que es una capa de material que aguanta el peso de la base y la carpeta de rodadura, funciona como drenaje y controla la permeabilidad del agua. En ocasiones esta capa puede obviarse dependiendo de su clasificación, diseño y dimensionamiento del pavimento.
- **Base:** Tiene como función principal, resistir, distribuir las cargas producidas por el tránsito, el material empleado para esta capa será granular drenante. (MTC, 2014).
- **Capa de Rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, ya sea de asfalto flexible o un asfalto de concreto rígido, teniendo la función de sostener directamente la carga del tráfico vehicular. (MTC, 2014).

2.2.6 Caracterización de la subrasante

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), en el Manual de Carreteras, indica que con el objeto de estudiar las propiedades y/o características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante para el mejoramiento, reconstrucción y pavimentos nuevos, se llevarán a cabo investigaciones, mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima, en ese sentido, el manual presenta un cuadro, en el cual se especifica el número mínimo de calicatas por kilómetro a realizar. (Ver Figura 11)

Figura 11

Cantidad de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con 2 o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicaril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con 2 o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	
Carreteras Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 3 calicatas x km	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Transito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 1 calicata x km	

Nota. La figura muestra un cuadro de la cantidad de calicatas a realizarse según el tipo de carreteras, según lo establecido en el Manual de Carreteras. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

2.2.7 Suelos arcillosos

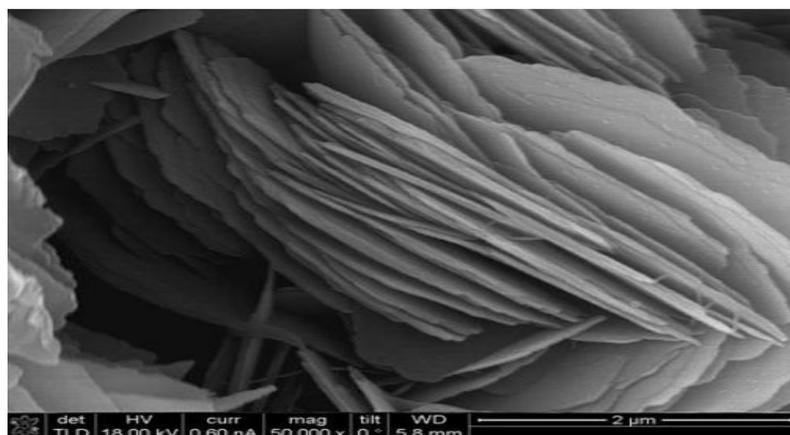
Comúnmente son hallados en zonas caracterizadas por presentar precipitaciones altas, haciendo que presenten deficiencias en el drenaje, estos suelos poseen alto contenido de agua y una baja resistencia in situ, es decir, cuando estos suelos experimentan cambios de humedad, trae consigo cambios de volumen.

El suelo arcilloso se constituye por minerales activos como la montmorillonita en grandes proporciones, y en pocas o casi nulas proporciones, la clorita y la vermiculita.

Los minerales como las caolinitas y las illitas, no se consideran activos, sin embargo, al encontrarse en cantidades altas, pueden incidir en las propiedades expansivas de los suelos. En la Figura 12 se muestra una vista de una partícula de arcilla.

Figura 12

Vista microscópica de una partícula de arcilla



Fuente: Universidad Tecnológica de Chile (2022)

Las dimensiones de sus partículas de acuerdo con la norma: Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM D422), se lo puede observar en la Figura 14. Su índice de plasticidad para característica de un suelo arcilloso se observa en la Figura 13.

Su peso específico varía entre los límites de 2,60 a 2,75 gramos por centímetro cúbico. Mientras más denso es el suelo es más sólido, por lo tanto, presenta alta resistencia a la erosión

Figura 13

Índice de Plasticidad de la Arcilla Norma ASTM D4318 - 84

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
IP >20	Suelos muy arcillosos
20>IP>10	Suelos arcillosos
10>IP>4	Suelos poco arcillosos
IP= 0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016)

Figura 14

Clasificación de Suelos Norma ASTM D422

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE PARTÍCULAS
Grava	75 mm-2mm
Arena	Arena gruesa: 2mm – 0.2mm
	Arena fina: 0.2 mm – 0.005 mm
Limo	0.05 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016)

Su porosidad y humedad tienden a modificarse al incremento de la saturación, un suelo arcilloso puede pasar del estado sólido al líquido, debido al incremento de agua en su interior y provoca una disminución brusca de las fuerzas de cohesión apareciendo una fluidez de sus partículas.

Los suelos arcillosos tienen una cohesión alta que va desde 0,25 kilogramos sobre centímetro cuadrado a 1,5 kilogramos sobre centímetro cuadrado, en ocasiones pasan el rango mencionado.

2.2.8 Clasificación de suelos arcillosos

2.2.8.1 Sistema Unificado de clasificación SUCS

Para establecer el tipo de suelo presente en una determinada zona o área de estudio es necesario clasificarla, para ello se puede emplear el método SUCS O AASHTO. Para la presente investigación emplearemos el método SUCS. Según menciona Braja, (2013). (Ver Figuras 15 y 16)

La clasificación de suelos fue una propuesta de Casagrande en 1948, en la actualidad dicha propuesta ha ido siendo mejorada y es ampliamente usada en el rubro de la construcción civil y se encuentra estipulado en las normas de la ASTM D 2487 32 El sistema unificado presentado por Braja, (2013) clasifica a los suelos en dos grupos los cuales son:

- Los suelos de partículas más gruesas que son representados por las gravas y las arenas, con un porcentaje que pasa por el tamiz n°200 es menos al 50%. Las siglas que los representan son: G (grava) y S (arena).

- Los suelos finos representan el 50% o más que pasan por el tamiz N°200 y los prefijos que simbolizan a los granos finos que son M (limo), C (arcilla inorgánica), O (limo orgánico).

- También se emplean los siguientes símbolos para clasificar a los suelos:

W: Bien gradado

P: Mal gradado

L: Baja Plasticidad ($LL < 50$)

H: Alta plasticidad ($LL > 50$)

Figura 15

SUCS (basado en el material que pasa por el tamiz 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelos de grano grupo Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GW GP	
		Gravas con finos Más de 12% finos ^{a,d}	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GM GC	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos ^b Arena con finos Más de 12% finos ^{b,d}	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SW SP	
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SM SC	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^c $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	CL ML	
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OL	OL	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Límite líquido: no secado Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH MH	
		Orgánico	Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2) Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OH Límite líquido: no secado	OH	
	Suelos altamente orgánicos	Materia principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

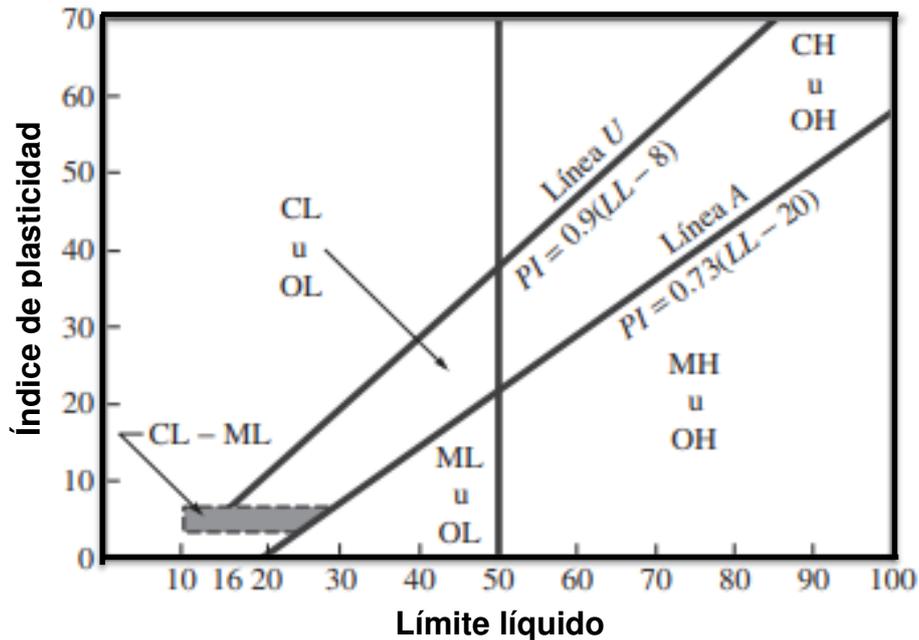
^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición.

Figura 16

Gráfica de plasticidad



Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición.

Para realizar una correcta clasificación en este sistema, debe conocerse lo mencionado en la siguiente tabla:

- Porcentaje de grava (material que es retenido por el tamiz N°4)
- Porcentaje de arena (material que pasa el tamiz N°4 y es retenido en el tamiz N°200)
- Porcentaje de limo y arcilla (fracción más fina que el tamiz N°200)
- Coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de gradación (Cc)
- Límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz N°40

Símbolos de grupos de los suelos de grano grueso: GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM y GP-GC.

Símbolos de grupos de los suelos de grano fino: CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt.

Los nombres de los grupos de los distintos suelos clasificados bajo el Sistema Unificado se pueden determinar usando las siguientes figuras. (Ver figura 17, 18 y 19).

Figura 17

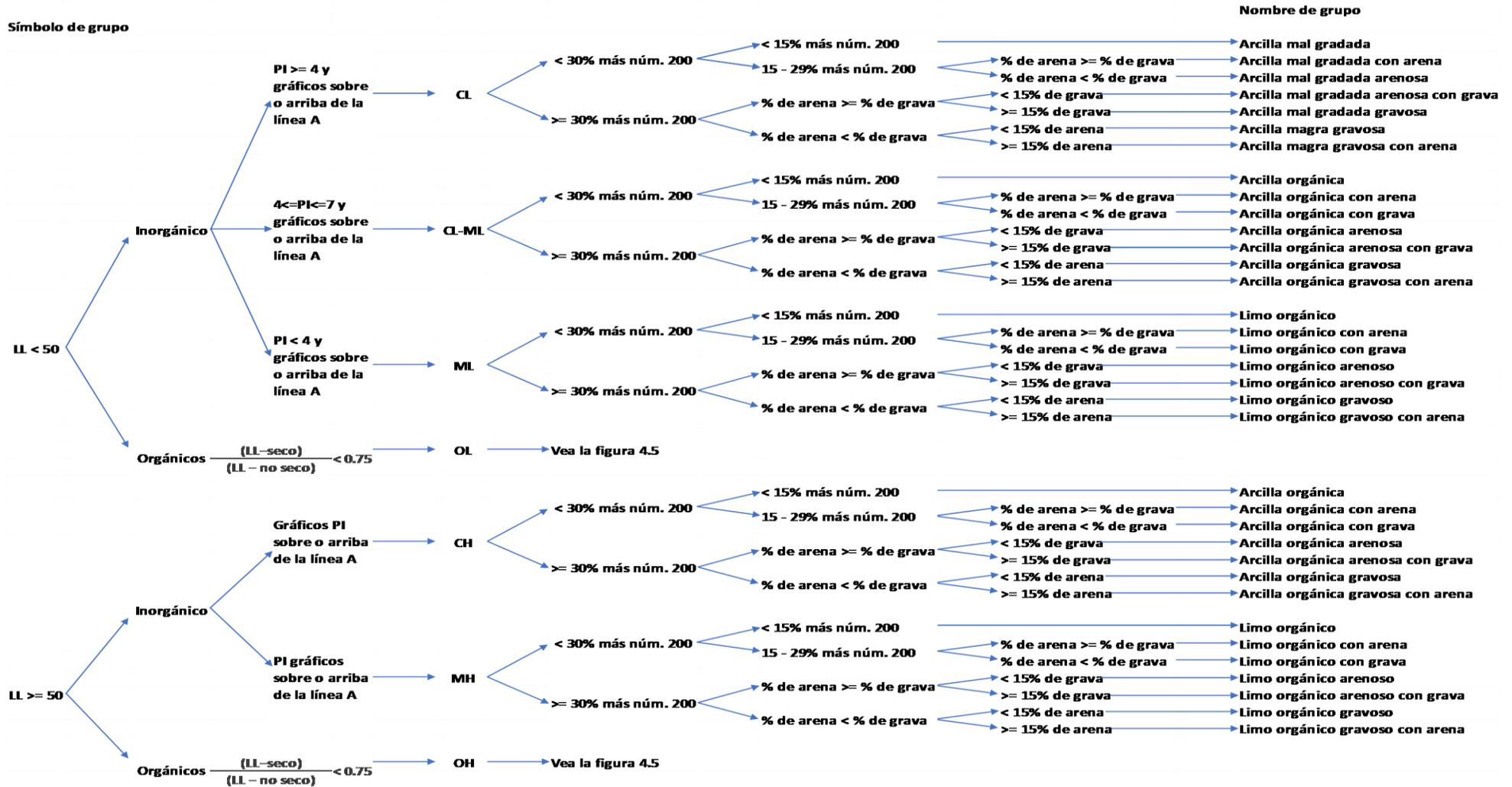
Grupos de suelos clasificados por SUCS

Símbolo de grupo		Nombre de grupo
GW	<15% de arena	Grava bien graduada
	>= 15% de arena	Grava bien graduada con arena
GP	<15% de arena	Grava mal graduada
	>= 15% de arena	Grava mal graduada con arena
GW-GM	<15% de arena	Grava bien graduada con limo
	>= 15% de arena	Grada bien graduada con limo y arena
GW-GC	<15% de arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	>= 15% de arena	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	<15% de arena	Grava mal graduada con limo
	>= 15% de arena	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	<15% de arena	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	>= 15% de arena	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	<15% de arena	Grava limosa
	>= 15% de arena	Grava limosa con arena
GC	<15% de arena	Grava arcillosa
	>= 15% de arena	Grava arcillosa con arena
GC-GM	<15% de arena	Grava limo arcillosa
	>= 15% de arena	Grava limo arcillosa con arena
SW	<15% de arena	Arena bien graduada
	>= 15% de arena	Arena bien graduada con grava
SP	<15% de arena	Arena mal graduada
	>= 15% de arena	Arena mal graduada con grava
SW-SM	<15% de grava	Arena bien graduada con limo
	>= 15% de grava	Arena bien graduada con limo y grava
SW-SC	<15% de grava	Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	>= 15% de grava	Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	<15% de grava	Arena mal graduada con limo
	>= 15% de grava	Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	<15% de grava	Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	>= 15% de grava	Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	<15% de grava	Arena limosa
	>= 15% de grava	Arena limosa con grava
SC	<15% de grava	Arena arcillosa
	>= 15% de grava	Arena arcillosa con grava
SC-SM	<15% de grava	Arena limo arcillosa
	>= 15% de grava	Arena limo arcillosa con grava

Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición.

Figura 18

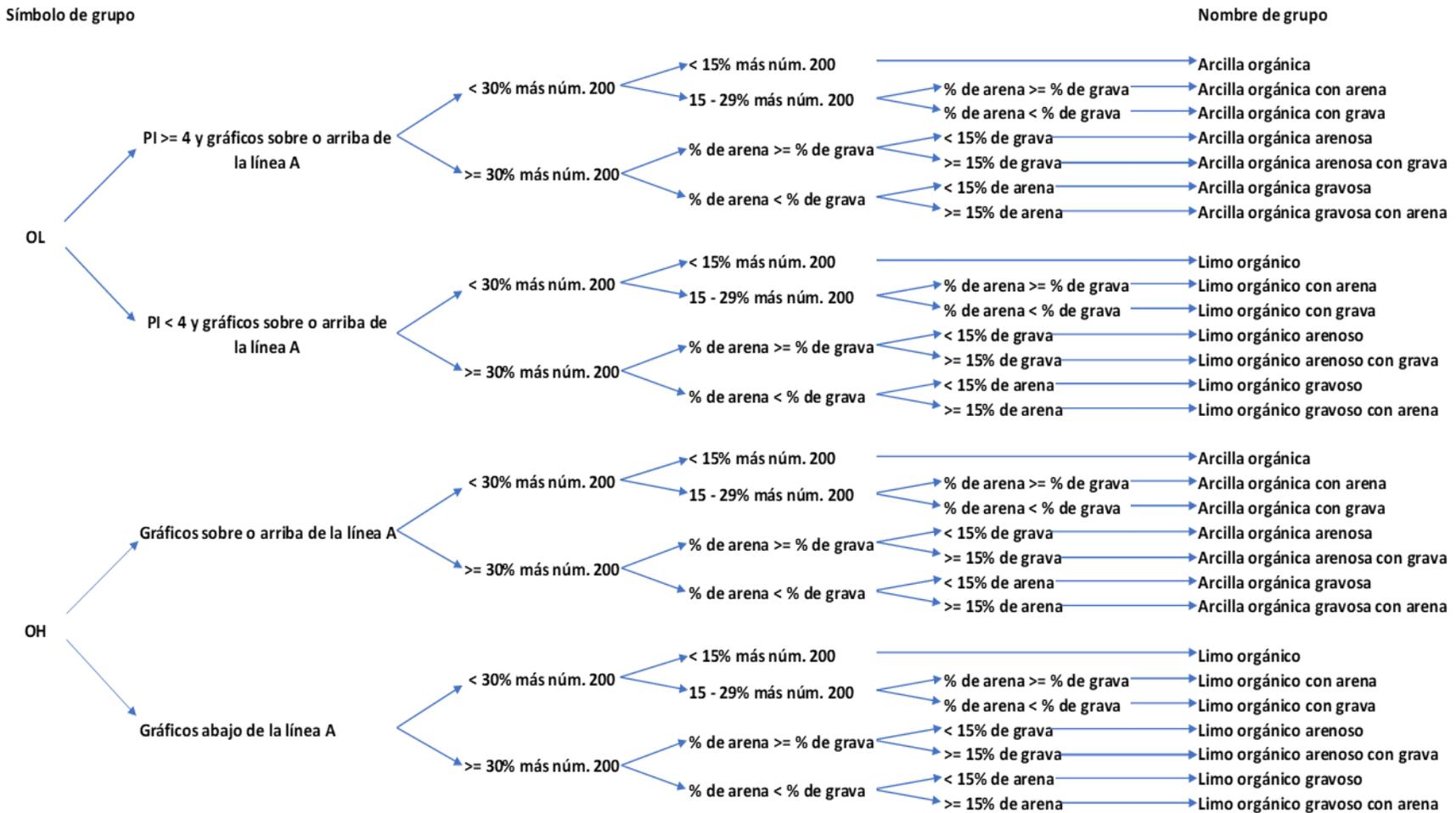
Diagrama de flujo de los grupos para limo y arcilla



Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición.

Figura 19

Diagrama de flujo de grupos para limo y arcilla



Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición.

2.2.9 Sistema de clasificación AASHTO

Fue desarrollado en el año 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras, su actual versión es la Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145, propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945.

De acuerdo a este sistema, el suelo se clasifica en siete grupos principales, los cuales inician desde el A-1 al A-7. (Ver Figuras 20 y 21)

La clasificación de estos grupos, según las partículas retenidas en los tamices, se explica en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación AASHTO % que pasa tamiz N°200

Grupo	Clasificación	Tamiz por el que pasan sus partículas	% que pasa
A-1A-2 y A-3	Materiales granulares	N°200	35% o menos
A-4, A-5, A-6 y A-7	Limo y arcilla		más

Fuente: Los autores (2022)

Figura 20

Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx						
Núm. 40	30 máx	50 máx	51 min.				
Núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad.	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general De la subrasante	Excelente a bueno						

Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición

Figura 21

Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
<i>Grupo de clasificación</i>	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular o malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Fuente: Braja, D. (2018) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición

2.2.10 Cenizas

Las cenizas son residuos provenientes de la combustión de materiales, como el carbón. En las ladrilleras artesanales, los combustibles utilizados en su mayoría son ramas de eucalipto y kerosene, produciendo así emisiones de gases contaminantes en el ambiente. Producto de esta reacción química se obtienen las cenizas denominadas volátiles (las que se esparcen en el aire) y las cenizas de fondo, que son las que se quedan en el horno de la ladrillera.

La ceniza que se queda en el fondo del horno es el 60% de la producida por las emisiones de la combustión.

2.2.11 Origen y proceso de Obtención de Ceniza

Swisscontact (2012). En el Perú existen aproximadamente 2000 hornos para la fabricación de ladrillos artesanales. Los cuales generan 53,500 toneladas/año de ceniza de fondo. Asimismo, la Guía de Buenas Prácticas en Ladrilleras artesanales, emitida por el Ministerio de la Producción (2010), nos indica que los lugares en los que se encuentra mayor cantidad de ladrilleras artesanales son: Cusco, Ayacucho, Arequipa y Apurímac.

En el distrito de Talavera, en ruta hacia el Centro Poblado de Chumbibamba, encontramos ladrilleras artesanales, ya que, según las características e influencia del clima, se encuentra que el sector tiene un alto contenido de arcilla en estado puro en las partes más altas de los cerros, empleado para su uso en utensilios, artesanía y ladrillos.

2.2.12 Cal

La Norma Técnica Peruana 334.125:2017 menciona que la cal es el producto de la calcinación de rocas calizas y principalmente constituido por óxido de calcio (CaO) y otros componentes.

Adicionalmente, la norma indica que, en casos de estabilización de suelos, pueden utilizarse solo los siguientes tipos de cal:

2.2.12.1 Cal viva

La cal viva u óxido de calcio se produce por la calcinación del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO_3) en óxido de calcio (CaO) asociado con óxido de magnesio. Este tipo de cal, tiene una reacción exotérmica en contacto con el agua produciendo así su hidratación o apagado.

Sus ventajas principales son que posee mayor reactividad con los materiales para estabilizar y genera menores cantidades de polvo en su utilización.

Entre los beneficios de la cal se encuentran los siguientes:

- Mejora la trabajabilidad y adherencia en la mezcla.
- Mejora y estabiliza el suelo arcilloso
- Permite desarrollar una mejor compactación, lo cual se verá reflejado en una mayor resistencia incrementando la capacidad de soporte del suelo.
- Larga durabilidad que reduce el costo de mantenimiento

2.2.13 Estabilización de suelos

También denominado mejoramiento de suelos. Según Braja, (2013), la estabilización de suelos es un proceso en el cual las propiedades de un suelo se alteran mediante estabilización química y mecánica.

La estabilización química consiste en aplicar aditivos de carácter químico para modificar el comportamiento de los suelos. Suele emplearse para mejorar el manejo del suelo, disminuir el índice de plasticidad y potencial de expansión y/o contracción del suelo. Si el suelo arcilloso es difícil de compactar, puede añadirsele productos químicos para facilitar el proceso

dispersando ligeramente sus partículas. La estabilización con aditivos químicos refiere al uso de cal, cemento y cenizas volantes. Braja (2013)

La estabilización mecánica implica aplicación de metodologías para mejorar las propiedades de ingeniería de los suelos en condiciones naturales. Comprende la compactación, vibroflotaciones, voladura o blasting, compactación dinámica, precarga y drenes de arena.

El Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Yepes (2014) sostiene que, la estabilización de un suelo consiste en reemplazar a un suelo de calidad baja por un suelo con características y propiedades adecuadas, mejorando su estabilidad volumétrica, resistencia y deformabilidad, además de su durabilidad, mejora su permeabilidad y reduce también la susceptibilidad del suelo al agua. Sostiene también que los procedimientos más sencillos para la estabilización de suelos son mediante el drenaje de agua y la compactación, así como la mezcla de dos tipos de suelos para obtener un suelo con mejor granulometría, plasticidad o permeabilidad.

Para Yepes (2014), los métodos más utilizados para lograr la estabilización de un suelo son con la adición de cemento y la cal, pero también pueden ser utilizadas las cenizas volantes, las escorias granuladas, puzolanas, ligantes hidrocarbonados fluidos, cloruro cálcico, cloruro potásico, entre otros. Es así como llega a la conclusión de que la estabilización de suelos puede ser de dos tipos: mecánica o química.

En la estabilización mecánica se emplea compactación o mezcla de suelo de suelo natural existente con algún tipo de aditivo, en explanadas de carreteras. Mientras que en la estabilización química interviene el tipo de suelo, porcentaje de aditivo y la ejecución de la mezcla. Yepes (2014).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, en la Sección Suelos y Pavimentos, define a la estabilización de suelos como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo por medio de procedimientos mecánicos y por medio de la adición de productos químicos. Generalmente se estabilizan con cemento, cal, asfalto, entre otros productos, a los suelos que tienen una subrasante deficiente.

En el MTC (2014), encontramos los tipos de estabilización de suelos, entre ellos tenemos a la sustitución de la subrasante, estabilización mecánica, combinación de suelos, estabilización con cemento, cal, emulsión asfáltica, química, entre otros. Dichos métodos tienen que contar con la sólida base de los resultados de laboratorio y tramos construidos que demuestren la aptitud de dicho suelo, cumpliendo los requerimientos de las normativas pertinentes.

Entonces se puede afirmar que la estabilización de suelos tiene como finalidad mejorar la resistencia mecánica de los suelos y que dicha resistencia perdure en el tiempo, y para afirmar que un suelo requiere de dichos métodos de mejora o estabilización debe cumplir con ciertos parámetros o criterios geotécnicos.

2.2.14 Criterios Geotécnicos para la Estabilización de Suelos

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, en la Sección Suelos y Pavimentos, los criterios geotécnicos para definir la estabilización de un suelo deben ser los siguientes:

I. Para las capas de la subrasante, se considerará como material apto si tiene un CBR \geq 6%. Si el CBR es menor, lo cual clasificaría a la subrasante como pobre o inadecuada, o si se presentan áreas blandas o zonas húmedas, se procederá a hacer un estudio para determinar si se estabilizará, mejorará o reemplazará el suelo.

II. Cuando la capa de la subrasante esté compuesta de limo o arcilla, y que, en contacto con el agua, puedan penetrar y contaminar las capas del pavimento. El Ingeniero responsable proyectará una capa de algún material anticontaminante (espesor = 10cm mínimo) o un geotextil, dependiendo del requerimiento.

III. Si la subrasante tiene la clasificación de Extraordinaria o Muy Buena, debe estar encima del nivel de la napa freática mínimo unos 60cm; si la subrasante tiene la clasificación de Buena o Regular, deberá estar a 80cm encima de la napa freática como mínimo; si la subrasante se considera Pobre, entonces deberá estar a 1.00m por encima de la napa freática y cuando se trate de una subrasante Inadecuada deberá estar a 1.20m. Se pueden colocar drenes o subdrenes, en caso sean necesarios.

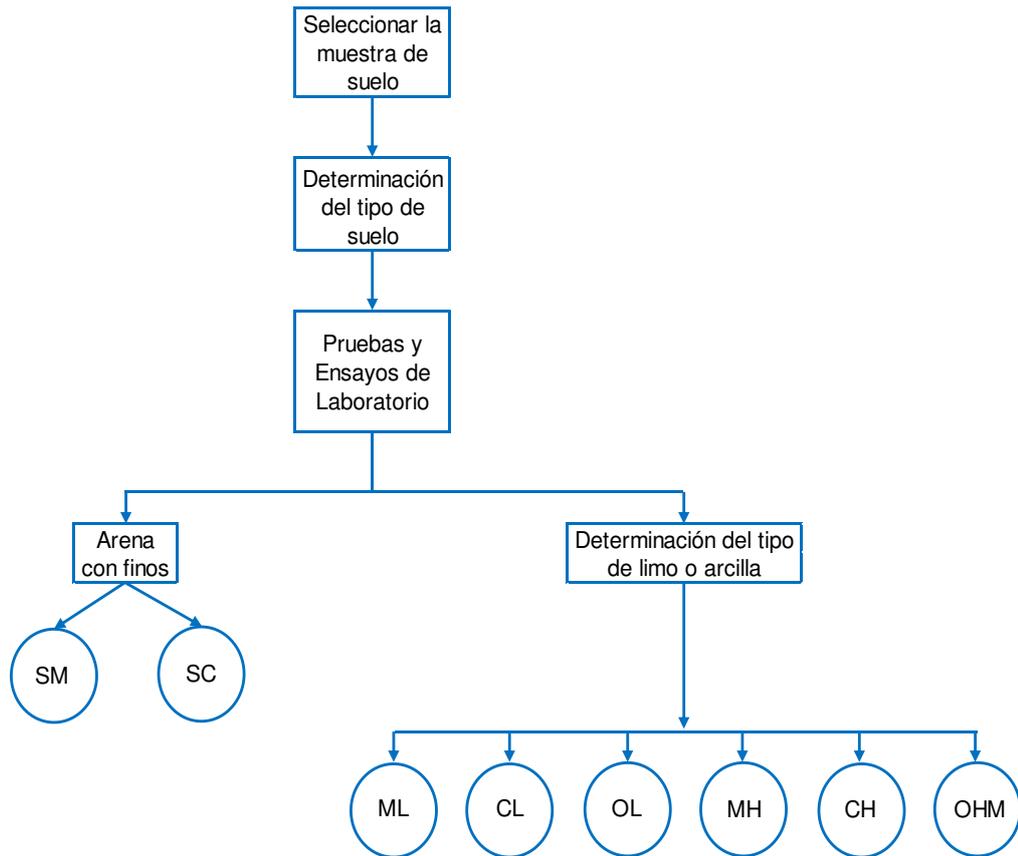
IV. En las zonas que se encuentren en los 4000 msnm, se realizarán evaluaciones de cómo influyen las heladas en los suelos. Si: profundidad de la napa freática > 1.20m, el congelamiento no influirá en el suelo ya que llegará a la capa superior de la subrasante. Si se presentara en los últimos 60cm, capa superior de subrasante, se reemplazará este suelo o se levantará la rasante con el relleno hasta llegar a la medida necesaria, ya que se trataría de un suelo susceptible a la acción de las heladas. Se consideran suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos y suelos cuyo peso de un material de tamaño menor a 0.02mm es mayor del 3%, a excepción de las arenas finas.

V. Tener en cuenta que para definir el tipo de estabilización, se debe primero clasificar el suelo.

A continuación, se muestra un esquema (Ver Figura 22) del proceso de identificación del tipo de suelo.

Figura 22

Proceso para la Identificación del Tipo de Suelo



Nota. La figura muestra el proceso que se debe realizar al suelo para determinar su tipo. Fuente: MTC (2014).

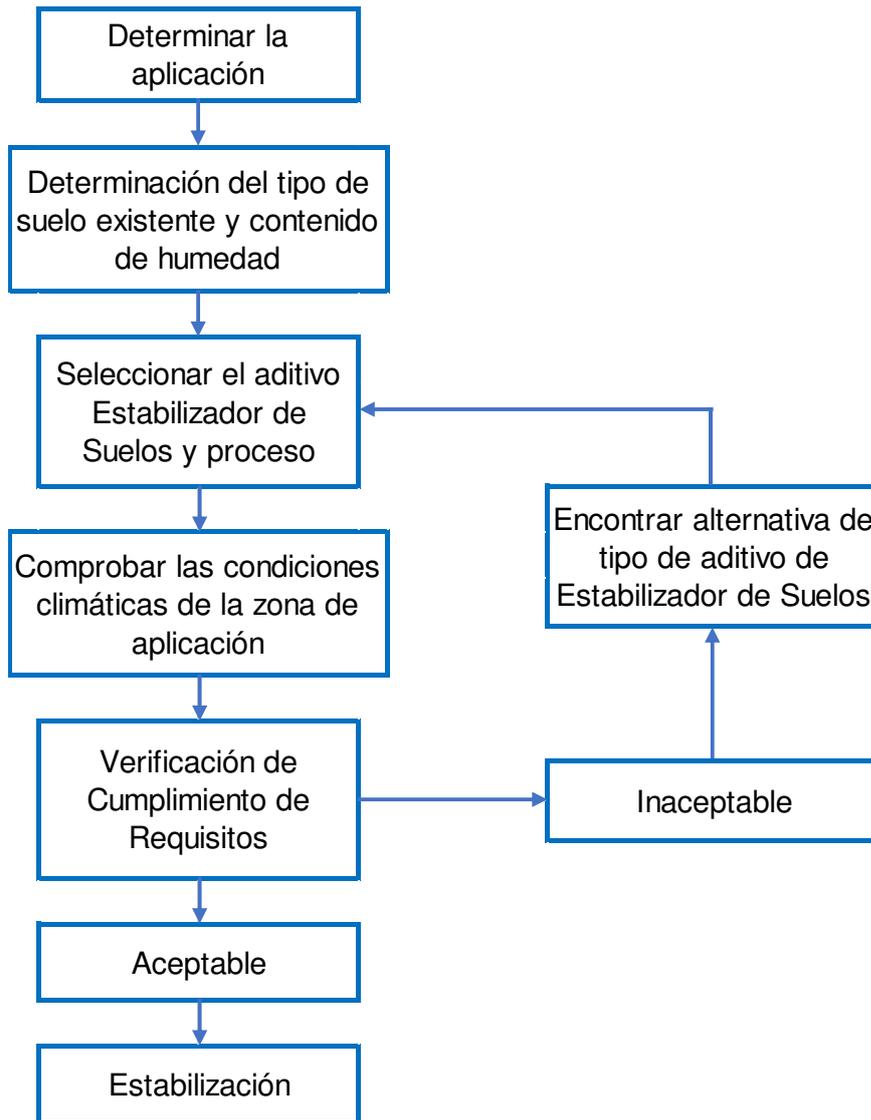
VI. Factores para seleccionar el método adecuado de estabilización:

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

Y para seleccionar el tipo de estabilización, se realiza lo siguiente (Ver Figura 23):

Figura 23

Proceso de Selección del Tipo de Estabilización



Nota. La siguiente figura muestra un diagrama sintetizado del procedimiento a realizar para determinar el método adecuado de estabilización. Fuente: MTC (2014).

- VII. Tener en cuenta las guías referenciales para seleccionar el tipo de estabilizador. (Ver Figuras 24 y 25)

Figura 24

Guía Referencial para seleccionar el Tipo de Estabilizador

Área	Clase de Suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado	Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Portland			
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM-SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30%	
		(2) Cemento Portland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM o GP - GM o GW - GC o GP - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30%	Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1) Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
		(2) Cal	IP no menor de 12		
IP = índice Plástico (b) $IP 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N}^\circ 200) / 4$				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Figura 25

Guía Complementaria para la selección del Estabilizador

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo	Dosificación	Curado (Apertura Al Tránsito)	Observaciones
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO < 1.0% Sulfatos (SO ₄) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca- AF ≤ 10%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO < 1.0% Sulfatos (SO ₄) < 0.6% Abrasión < 50%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO < 3.0% Sulfatos (SO ₄) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50% se puede aplicar en dos etapas. Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO < 3.0% Sulfatos (SO ₄) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 - 35%	1L / 30-33m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos. CMO < 1.0%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

2.2.15 Métodos de estabilización de suelos

2.2.15.1 Estabilización química

- **Estabilización con cal**

La Cal Viva o Anhidrida (óxido cálcico) obtenida por la calcinación de material calizo o, la Cal Hidratada o muerta (hidróxido

cálcico) son las empleadas en la ingeniería civil para estabilizar suelos, principalmente suelos arcillosos, limosos y finos. (Horcalsa, 2021)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, en la Sección Suelos y Pavimentos, sostiene que:

En base a experiencias con esta alternativa de estabilización, se puede afirmar que los elementos de la hidratación del cemento pueden replicarse combinando dos o más componentes primarios tales como CaO, SiO₂, Al₂O₃ y FC₂O₃ en las proporciones adecuadas y en contacto con agua.

Para poder incorporar cal al suelo, este debe cumplir con requisitos establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de Carreteras del MTC, la Especificación AASHTO M-216 o ASTM C-977, y es los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los suelos que califican como finos.

Una vez mezclada la cal con el suelo, se produce la floculación e intercambio iónico de tipo puzolánico formando así nuevos productos químicos. Dos de las partículas del suelo en contacto con el agua, se combinan con la cal para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles, estas partículas mencionadas anteriormente son la sílice y la alúmina.

A continuación, en la figura 26 se observa la adición manual de cal a un suelo.

Figura 26: *Adición manual de cal para estabilizar suelos*



Nota. La siguiente figura muestra una forma de incorporar cal al suelo para estabilizarlo. Fuente: Horcalsa (2020).

Una de las características más importantes de la cal en contacto con el suelo es que altera notoriamente su plasticidad, aumenta la humedad óptima de compactación, densifica la humedad del suelo para así permitir la construcción de la capa de rodadura sobre ellos; ya que, al mezclar un suelo fino con cal, este tiende a desmenuzarse fácilmente y se vuelve más granular, permitiendo un aumento en su LP y humedad óptima, lo cual es de mucho beneficio en obra ya que mejora su trabajabilidad.

En la Figura 27 podemos apreciar un método alternativo de adición de cal, diferente del método tradicional que es manualmente, esto es la estabilización haciendo uso de maquinaria para la compactación posterior a la adición de agregados.

Figura 27

Estabilizadora de suelos WR 250 de Wirtgen



Fuente: CALIDRA (2022).

Los requisitos del suelo elegido deberán cumplir ciertas características establecidas en la Sección 301 B del Manual vigente del (MTC, 2015) en las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de Carreteras. Dichos requisitos son los siguientes:

a. Granulometría:

Debe corresponder a los tipos de suelo como: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.

b. Plasticidad:

Debe pasar por el tamiz N°40, presentar un LL menor a 40 y el valor de su IP debe comprender entre 10% y 50%, según el MTC E110 y el MTC E111.

c. Composición Química:

Para esto se realizará un análisis de sulfatos en laboratorio, el cual no podrá exceder el 0.2% en peso.

d. Abrasión:

Este factor dependerá de si el suelo va a formar parte de una capa estructural, y para eso los agregados gruesos deberán presentar desgaste a la abrasión no mayor a 50%, según el MTC E207. Para ello se usa la máquina de abrasión de Los Ángeles (ver Figura 28)

Figura 28

Máquina de Abrasión Los Ángeles



Fuente: Testmak (2022).

e. Solidez:

Este factor también dependerá si el suelo formará capa estructural y, además, si se encuentra a una altitud mayor o igual a 3000 msnm. La pérdida de sulfato de los agregados gruesos no deberá ser superior al 18% y en agregados finos no deberá perder más del 15%.

La mezcla se suelo con cal, puede prepararse de dos maneras: mezcla in situ y mezcla en planta.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, en la Sección Suelos y Pavimentos explica lo siguiente:

Cuando la mezcla se hace sobre la vía (in-situ), se debe escarificar uniformemente la superficie de la vía hasta llegar a la profundidad necesaria para obtener el volumen de suelo que requiere la mezcla. A continuación, se realiza el mezclado con el equipo adecuado, homogenizado y humedecimiento.

Se debe realizar una compactación correcta y con las herramientas adecuadas para que la superficie esté en óptimas condiciones para proceder a la aplicación de la cal. Se debe utilizar un distribuidor adecuado para distribuir la cal de manera correcta sobre la vía.

Una vez distribuida la mezcla en la superficie, se procede a realizar la mezcla con ayuda del equipo aprobado que cumpla con los estándares requeridos, hasta lograr una mezcla homogénea. Inmediatamente se procede a echar agua mediante la barra de riego de una cisterna, o cualquier otro método de riego uniforme.

Cuando la mezcla es en planta, se utiliza una mezcladora fija que permite obtener la mezcla en base a los requisitos establecidos y su traslado será por medio de volquetes. Un dato importante es que la ubicación de la mezcladora debe ser aprobada por el Supervisor.

Las plantas de mezcladoras fijas también tienen que cumplir con requisitos establecidos, tales como:

- Contar con dispositivos que permitan medir y suministrar, el suelo, cal y agua en las cantidades requeridas en el diseño de la mezcla.
- Agregar la cal de manera uniforme durante todo el proceso de mezcla.

- Contar con los equipos adecuados para la toma de muestras, además deben tener fácil acceso a las mismas durante su producción. También deben contar con medidas de verificación y regulación de proporciones de los materiales en cada fase de la producción.

Tener en cuenta que la vía destinada a la incorporación de la mezcla de suelo y cal debe ser humedecida de manera uniforme sin formar charcos de agua. Y la mezcla se esparcirá con el equipo adecuado que garantice la uniformidad y el espesor requerido.

La mezcla debe ser extendida sobre la vía mediante el uso de esparcidores adecuados, en forma que se logren los espesores de proyecto al proceder a su compactación.

La cal viva y cal hidratada actúan sobre los suelos arcillosos deficientes y pueden hacer que sean aptos para la construcción de carreteras y para diversos de soporte de carga. Usualmente la cal genera que las partículas de arcilla se aglomeren y vuelvan partículas más gruesas, y esto hace que la capacidad portante mejore notoriamente y finalmente el suelo con adición de cal se endurece por la reacción química que causa en presencia de agua.

2.2.15.2 Estabilización mecánica

Este tipo de estabilización tiene como finalidad mejorar el suelo ya existente sin cambiar su composición original, mediante la compactación.

- **Estabilización por combinación de suelos**

El Ministerio de Transportes y comunicaciones en el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014) sostiene que:

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo, donde el suelo se dispersará 15 centímetros cuyo espacio lo cubrirá el material de relleno.

El material de relleno (o aporte) deberán tener la humedad de compactación adecuada para poder ser incorporado al suelo existente. No se dejarán pasar las partículas de 75 mm o más de tamaño.

Finalmente se mezclarán y compactarán los suelos hasta alcanzar el nivel de subrasante que requiera el proyecto. Es importante resaltar que la cantidad de suelo de relleno se definirá en los documentos del proyecto, al igual que los lugares en donde será utilizado; para cumplir con las especificaciones del Manual de Carreteras.

- **Estabilización por sustitución de suelos**

El Ministerio de Transportes y comunicaciones en el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014) sostiene que:

Cuando se prevea la construcción de la sub rasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. El caso N°1, expresa que el suelo se esparcirá y compactará en una profundidad de 15 centímetros.

Cuando se verifique que el material de relleno está correctamente compactado, se procederá a colocar los materiales previamente humedecidos o aireados cuyos espesores logren alcanzar el nivel de subrasante requerido.

En el caso N°2 se reemplazará el suelo existente en su totalidad. Primero se realizará la excavación hasta el nivel indicado

para luego proceder a colocar y compactar los materiales por capas hasta alcanzar el nivel definido.

2.2.16 Granulometría

Es el análisis de las partículas que conforman un suelo, para determinar su textura de acuerdo al contenido de arcilla, arena y limo que posee, y así poder clasificarlo. El objetivo de este ensayo es determinar la cantidad de partículas de tamaño menor a 2mm. Se nota la diferencia de tamaños en la siguiente imagen (Ver Figura 29).

Figura 29

Imagen referencial de tamaños de arena, limo y arcilla.



Nota: En la siguiente figura se pueden apreciar referencialmente la comparación entre los tamaños de arena, limo y arcilla. Fuente: Los autores

2.2.17 Contenido de Humedad

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Manual de Ensayo de Materiales (MTC, 2104), sostiene que el contenido de humedad es un ensayo que, como lo menciona su nombre, tiene como objetivo principal seleccionar el método que determinará el contenido de humedad que posee un suelo.

El contenido de humedad que posee un suelo en una determinada masa se expresa como una relación del peso del agua al peso de las partículas sólidas. Este resultado se expresará en porcentaje.

El contenido de humedad en suelos está comprendido en un rango de 5 a 50% cuando están en su máxima capacidad de retención (capacidad de campo). (TECNAL, 2022)

El método establecido por el MTC determina el contenido de humedad por el medio de secado del suelo en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Esto quiere decir que el peso del suelo que queda después del secado y el peso perdido serán el peso de las partículas sólidas y el peso del agua respectivamente. Este ensayo se realizará bajo la norma ASTM D 2216 que es la norma para el método de prueba estándar para determinar el contenido de agua de suelos y rocas por masa, en laboratorio.

Un dato importante para la realización de este ensayo es que la muestra de suelo no debe tener contenido de yeso u otros minerales que contengan una cantidad alta de agua hidratada o material orgánico.

Equipo y materiales:

El equipo y materiales para utilizar para el ensayo de Contenido de Humedad, según el MTC y ASTM D 2216, son los siguientes:

A) Equipos:

- Horno de secado (Ver Figura 30)
- Balanzas (Ver Figura 31)

B) Materiales:

- Taras o contenedores de especímenes (recipientes) (Ver Figura 32)
- Desecador (opcional) (Ver Figura 33)
- Tenazas
- Espátulas
- Cucharas

Figura 30

Horno de secado



Fuente: Los autores (2022).

Figura 31

Balanza digital



Fuente: Los autores (2022).

Figura 32

Taras para las muestras de suelo



Fuente: Los autores (2022).

Figura 33

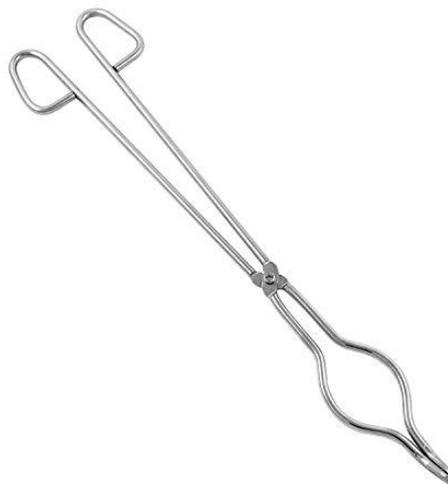
Desecador de vidrio



Fuente: QuercusLab (2022).

Figura 34

Tenazas de laboratorio de mecánica de suelos



Fuente: PROLACEN (2022).

Figura 35

Espátulas



Fuente: GTK Laboratorio Geotécnico (2018).

Figura 36

Cucharas



Fuente: Serve Real Instruments (2022).

Selección de espécimen:

Para seleccionar el espécimen a ser ensayado, se deben tener las siguientes consideraciones. Ver Figura 37

Figura 37

Cantidad mínima de espécimen de material húmedo

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Procedimiento del Ensayo de Contenido de Humedad

- a) Pesar la tara o recipiente limpio y seco, y anotar su valor.
- b) Seleccionar las muestras de suelo representativos según lo indicado en la Tabla N.
- c) Colocar la muestra en el recipiente pesado en el primer paso y anotar su peso. En caso de que se use la tapa del recipiente, este debe ser colocado de manera adecuada y anotar el peso.
- d) En este paso, en caso de haber utilizado la tapa, esta se debe retirar para poder colocar la tara con la muestra en el horno de secado y secar a temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. El tiempo de secado dependerá de los siguientes factores: tipo de material, tamaño de muestra, tipo de horno y la capacidad del mismo.

Se recomienda dejar secar el espécimen durante la noche, aproximadamente de 12 a 16 horas.

- e) Finalizado el secado en horno de la muestra, se removerá del horno y en caso de haber utilizado la tapa, esta se deberá colocar. Se procede

a pesar el contenedor con el material secado y a anotar el nuevo peso, la diferencia se considerará como el peso del agua.

Cálculo del Contenido de Humedad:

Se realiza por la siguiente ecuación: (Ver figura 38)

Figura 38: Ecuación para hallar el Contenido de Humedad

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$
$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Fuente: MTC (2014)

En donde:

W = Contenido de Humedad (%)

MCWS = Peso del contenedor más suelo húmedo (gr)

MCS = Peso del contenedor más suelo secado en horno (gr)

MC = Peso del contenedor (gr)

MW = Peso del agua (gr)

MS = Peso de las partículas sólidas (gr)

2.2.18 Límites de Atterberg

En el año 1911, Albert Atterberg, define los límites de consistencia de suelo para así permitir la clasificación de los suelos de grano fino. Los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad establecen el porcentaje de humedad presente en suelos arcillosos y limosos de grano fino que hacen la transición entre los estados sólido, semisólido, plástico y líquido.

Los científicos Arthur Casagrande y Karl Terzhagi, caracterizaron la plasticidad del suelo para aplicarlo en ingeniería geotécnica a principios del siglo XIX; en donde Arthur estandarizó las pruebas y hasta la actualidad sus métodos se utilizan para determinar los límites de Atterberg. (Universidad Politécnica de Valencia, 2021). Ver Figura 37

Figura 39

Límites de Atterberg



Fuente: ABC Geotechnical Consulting

2.2.18.1 Límite Líquido

El límite líquido es un método de ensayo que forma parte de los ensayos de caracterización suelos de grano fino y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. (MTC, 2014)

La humedad de límite líquido es ocasionada cuando el suelo es afectado por un brusco cambio de estado, debido a que estos suelos contienen cantidades de agua que le brinda propiedades predominantes como el estado sólido. (Guerrero, C. & Cruz, L., 2018)

En el límite líquido se denomina al contenido de humedad como el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo que se cierra a lo largo de su fondo a una distancia de 13 mm (1/2 pulg) luego de haber dejado caer la copa de Casagrande (ver Figura 38) 25 veces desde una altura de 1 cm, dos caídas por segundo. Este valor calculado se debe aproximar al centésimo.

Figura 40

Aparato manual para límite líquido



Fuente: Pinzuar (2022).

Este ensayo se realizará bajo las condiciones establecidas en la NTP.339.129: Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Equipos y Materiales

A) Equipos:

- Recipiente de porcelana de 41/2" de diámetro aproximadamente. (Ver Figura 41)
- Aparato de Casagrande (Ver Figura 42)
- Acanalador (Ver Figura 43)
- Calibrador (Ver Figura 44)
- Balanza (Ver Figura 45)
- Recipientes resistentes a la corrosión (Ver Figura 46)

B) Materiales:

- Espátula (Ver Figura 47)

Figura 41

Recipiente de porcelana de 115mm



Fuente: Superior Marienfeld (2022).

Figura 42

Aparato de Casagrande



Fuente: Jara, M. (2020).

Figura 43

Herramienta de Ranurar (acanalador)



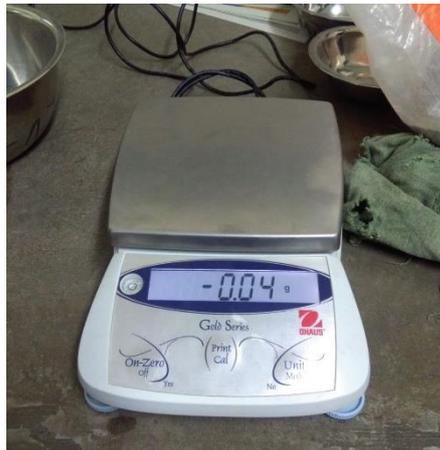
Fuente: Riceli Equipos (2022).

Figura 44
Calibrador vernier



Fuente: TPM Equipos (2022).

Figura 45
Balanza digital



Fuente: Los autores (2022).

Figura 46
Recipientes de material anticorrosivo



Fuente: Los autores (2022).

Figura 47

Espátula



Fuente: Vertex (2021).

Muestra

El tamaño de la muestra para este ensaño puede variar entre 150 y 200 gramos de material pasante por el tamiz N°40. En algunos casos, las partículas que conforman el suelo pueden ser cuarteadas.

Procedimiento

El Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), para límite líquido considera el siguiente procedimiento:

- Se coloca una parte de la muestra preparada al filo del aparato de casa grande, haciendo presión y esparciéndola hasta una profundidad de 10 milímetros en la concavidad.
- Se divide la muestra con ayuda del acanalador, a través de una línea desde el punto más alto hasta el punto más bajo de la copa.

Figura 48: Condición final de la muestra



Fuente: Los autores (2022).

- Limpiar la zona para que no quede material entre la base y la copa. Levantar y soltar la copa con el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo se unan en la base.
- Se registra el número de golpes que se realizaron hasta cerrar la ranura y se extrae una parte del suelo con la espátula para luego extenderlo de extremo a extremo. Se coloca en un recipiente cuyo peso ya se tomó con anterioridad y se tapa.
- Se regresa el suelo que quedó en la copa y luego se limpian todos los materiales para dar el pase a la siguiente muestra.
- Se mezcla toda la muestra de suelo, pero esta vez incorporando agua destilada para que aumente su humedad, lo que ocasiona que el número de golpes necesarios para cerrar la ranura, disminuya. A continuación se repetirán los seis primeros pasos en dos muestras diferentes con adición de agua.

Cálculo del Límite Líquido

Se halla a través de la siguiente ecuación:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

En donde:

N = Número de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad

W^n = Contenido de humedad del suelo

K = factor dado en la tabla

Figura 49

Factor de límite líquido dependiente del número de golpes

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Fuente: MTC (2014).

Límite Plástico (LP)

Se conoce como límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. (MTC, 2014)

El límite plástico se clasifica para determinar las características de expansión de las arcillas, según su grado de peligrosidad han sido correlacionadas en un cuadro la cual se puede determinar el grado de expansión, si el grado de expansión de un suelo va a ser bajo, medio o alto, esto dependiendo al índice plástico de acuerdo con el porcentaje de partículas. (Basha, 2019).

Equipos y materiales

- Espátula de 75 a 100 mm de longitud por 20 mm de ancho (Ver Figura 50)
- Recipiente de porcelana de 115 mm de diámetro (Ver Figura 51)
- Balanza (Ver Figura 52)
- Horno (Ver Figura 53)
- Tamiz N°40 (Ver Figura 54)
- Agua destilada (Ver Figura 55)
- Vidrio grueso esmerilado (Ver Figura 56)

Figura 50

Espátulas



Fuente: ADATEC (2022).

Figura 51

Recipiente de porcelana de 4 ½ pulgadas



Fuente: CIS-LAB (2022).

Figura 52

Balanza digital con aprox a 0.01g



Fuente: GRAINGER (2022).

Figura 53

Horno de secado



Fuente: MATEST (2022).

Figura 54

Tamiz N°40



Fuente: TECFRESH (2022).

Figura 55

Agua destilada



Fuente: Auxilab (2022).

Figura 56

Vidrio grueso esmerilado



Fuente: PyS EQUIPOS (2022).

Procedimiento

- La mitad de la mezcla se moldea de forma elipsoidal y luego se forman bastoncillos con el uso de la mano.
- Si antes de llegar el bastoncillo no se ha roto antes de alcanzar los 3.2 milímetros de diámetro, se repite el proceso las veces necesaria hasta que se quiebre con el diámetro mencionado anteriormente.

Figura 57

Forma de moldear la muestra para formar los bastoncillos



Fuente: Garibay, M. (2006).

Figura 58

Bastoncillos de la muestra de suelo



Fuente: Geotecnia Fácil

- La porción se coloca en taras hasta alcanzar un peso de 6g de suelo y luego se procede a determinar la humedad según la norma MTC E 108.
- Luego se vuelven a hacer los 3 primeros con la otra mitad de la masa.

Cálculo del Límite Plástico

Se halla a través de la siguiente ecuación:

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

Índice de Plasticidad (IP)

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de la muestra ensayada.

Se calcula mediante la siguiente operación:

$$IP = LL - LP$$

2.2.19 Proctor Modificado

Ensayo de compactación en laboratorio cuyo objetivo es determinar la relación entre el Peso Unitario Seco de los suelos mediante la curva de compactación y el Contenido de Humedad mencionado antes.

Se realiza este ensayo a suelos cuyo 30% o menos de su peso, se queda en el tamiz de $\frac{3}{4}$ " pulgadas.

Según el MTC, en el Manual de Ensayo de Materiales (2016), se realizan 3 métodos que son los siguientes:

Método A:

- Molde: 4 pulgadas de diámetro
- Material: partículas que pasan por el tamiz N°4.
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25

Este método se usa cuando es retenido el 20% del material (o menos) en el tamiz N°4.

Método B:

- Molde: 4 pulgadas de diámetro
- Materiales: partículas que pasan por el tamiz de $\frac{3}{8}$ pulgadas
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25

Este método se emplea cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4 y 20% o menos es retenido en el tamiz de $\frac{3}{8}$ " pulgadas.

Método C:

- Molde: 6 pulgadas de diámetro
- Materiales: muestra que pasa por el tamiz de $\frac{3}{4}$ pulgadas
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 56

Este método se usa cuando más del 20% del peso de material se queda en el tamiz de 3/8 pulgadas y menos del 30% es retenido en el tamiz de 3/4 pulgadas.

El ensayo de proctor modificado se deberá realizar acorde a lo indicado en la NTP 339.141 que trata de los ensayos para la compactación del suelo en laboratorio utilizando energía modificada y además, la norma ASTM D 1557. Para un ejemplo, (Ver figura 59)

Figura 59

Ensayo de proctor modificado



Fuente: Ing. Civil (2022).

Los equipos y materiales que se requieren para este ensayo son los siguientes:

Equipos:

- Ensamblaje del Molde
- Molde de 4"
- Molde de 6"
- Pisón o martillo
- Pisón manual
- Pisón mecánico circular

- Pisón mecánico
- Balanza
- Horno

Materiales:

- Regla
- Tamices
- Mezclador

Para la selección de la muestra, el MTC (2016) indica que la masa de la muestra necesaria para los métodos A y B será de 16 kilogramos aproximadamente y para el método C se aproximará a 29 kilogramos de suelo seco.

Para dar inicio al ensayo es importante calibrar los equipos que se emplearán ya que podrían afectar los resultados del ensayo. Luego se procede a elegir el espécimen que se utilizará dependiendo del método seleccionado.

A continuación, se procederá a compactar el espécimen en cinco capas y cada una de las capas debe tener el mismo espesor después de realizado el proceso de compactación con el pisón. Cada capa se compactará con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas y 56 golpes para el molde de 6 pulgadas. Los golpes con el pisón deben ser constantes, firmes y en un ángulo de 5° de la vertical.

Después de la compactación de la última capa, se remueve el collar y el plato base del molde. Con el uso de la regla se homogeneizará la parte superior de la muestra hasta que quede lisa, para finalmente remover el material del molde.

2.2.20 Californian Bearing Ratio (CBR)

Para poder realizar el ensayo de CBR, primero se debe clasificar al suelo por el sistema SUCS y AASHTO, para caminos contemplados en el

Manual de Carreteras – Suelos geología, geotecnia y pavimentos en la sección de Suelos y Pavimentos (MTC, 2014), se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la Máxima Densidad Seca, a una penetración de carga de 2.54 mm.

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones para el cálculo del CBR:

- a) En los sectores con 6 o más valores de CBR , se determinará el valor de CBR como la media de los valores analizados por sector de características homogéneas.
- b) En los sectores con menos de 6 valores de CBR, el valor del CBR mencionado antes se determinará como un promedio de los resultados.
- c) Una vez definido el valor del CBR de diseño, se podrá clasificar la subrasante.

Las categorías de subrasante se muestran en la figura 60.

Figura 60

Categorías de subrasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: MTC (2014).

El método de CBR se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base de pavimentos de vías y de campos de aterrizaje.

Para realizar el ensayo de CBR se requieren los siguientes instrumentos de laboratorio:

- Prensa
- Molde cilíndrico (metal)
- Disco espaciador de metal
- Pisón de compactación
- Pesas
- Pistón de penetración metálico
- Dos diales
- Tanque para el curado de los moldes
- Estufa
- Balanzas
- Tamices N°4, ¾" y 2"
- Misceláneos (cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas)

2.3 Definición de términos básicos

Suelo: Conjunto de partículas minerales, que se forman por la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes.

Compactación: Consolidación natural del suelo por el peso de los sedimentos o compresión similar mediante el apisonado con rodillo de un árido.

Estabilización de suelos: Proceso cuya finalidad es mejorar sus propiedades como su resistencia a la deformación, contenido de humedad, control de erosión y los cambios de volumen.

Arcilla: Material terroso, compuesto de silicatos alumínicos hidratados; posee alta plasticidad, y se contrae y endurece por calcinación.

Cal: Producto de la calcinación de rocas calizas

Contenido óptimo de humedad: Contenido de agua del terreno que permite obtener una densidad máxima mediante su compactación.

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Curva Granulométrica: Resultado del ensayo de granulometría en laboratorio, en la cual se muestra los diferentes tamaños de partículas que conforman un suelo.

Capacidad de soporte: Capacidad que posee un suelo de resistir a deformaciones

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general:

La incorporación de cal y cenizas influencia de manera favorable en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

2.4.2 Hipótesis específicas:

H1: La incorporación de cal y cenizas disminuye el índice de plasticidad en más del 10% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

H2: La incorporación de cal y cenizas incrementa el índice de CBR en más del 30% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

H3: La incorporación de cal y cenizas aumenta la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de la Investigación

Esta investigación, es del tipo aplicada ya que se basa en los conceptos teóricos para ponerlos en práctica según con lo establecido en sus normas, tal es el caso del Manual de Carreteras y Normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que estamos utilizando de referencia y según sus recomendaciones, se aplicarán para la propuesta de incorporación de cal y cenizas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas y así reducir las probabilidades de agrietamiento en una futura pavimentación en la trocha carrozable AP-557.

3.2 Diseño de la Investigación

La presente investigación utiliza un diseño de carácter experimental, se usará este diseño ya que se tiene total manejo de la variable independiente al poder manipularla de manera intencional para los fines propuestos con relación a la variable dependiente. Es así como, mediante la incorporación de cal y cenizas de fondo emitido por las ladrilleras artesanales en la subrasante del suelo arcilloso, se mejorarán las propiedades físicas y mecánicas de la trocha AP-577, bajada Chumbibamba, en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas.

3.3 Nivel de Investigación

La siguiente investigación se encuentra en un nivel explicativo, descriptivo, ya que se explicarán y describirán los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio. Se dice también que es correlacional ya que los resultados obtenidos reflejan que el comportamiento de una variable es en función de la otra variable, se puede observar una relación causa-efecto.

3.4 Enfoque de la investigación

Presenta un enfoque mixto ya que parte del estudio de la recolección de conceptos teóricos y datos cualitativos y también el estudio y análisis

cuantitativo mediante ensayos de laboratorio, expresando resultados en números. utilizados ya existentes para ser aplicados directamente a casos prácticos reales. Tal es este caso, en el que se buscará explicar experimentalmente la influencia de la cal y cenizas de fondo en la mejora de la subrasante de un pavimento flexible.

3.5 Variables

En la Tabla 2 se presenta la identificación de las variables: dependiente e independiente. Ver Tabla 2.

Tabla 2

Identificación de variables

Variable dependiente (x)	Variable independiente (y)
Propiedades físicas y mecánicas	Cal y ceniza

Fuente: Los autores (2022)

De acuerdo con los criterios utilizados para elaborar la matriz de consistencia, se procederá a explicar la medición de las variables formuladas en la hipótesis como se indica en la Tabla 3, para realizar la medición se desglosaron en indicadores.

Tabla 3

Operacionalización de variables

HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR
<u>Hipotesis general</u>		<u>Variable independiente</u>	
La incorporación de cal y cenizas influencia de forma favorable en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba , distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	Cal	Tipo	Cal hidratada
		Porcentaje óptimo del aditivo	2% cal
	Cenizas	Porcentaje óptimo del aditivo	M1 = 18% M2 = 28% M3 = 38%
		Reacción en el suelo	Ensayo de sulfatos
<u>Hipótesis específicas</u>		<u>Variable dependiente</u>	
La incorporación de cal y cenizas disminuye el índice de plasticidad en más del 10% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac	Físicas y mecánicas	Caracterización del suelo	Granulometría de suelo arcilloso por tamizado
La incorporación de cal y cenizas incrementa el índice de CBR en más del 30% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac			Límite líquido
			Límite plástico
			Índice de plasticidad
Contenido de humedad			
La incorporación de cal y cenizas aumenta la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba , distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac	Capacidad de soporte	índice de % CBR > 6	

Fuente: Los autores (2022)

3.5.1 Población y muestra

3.5.2 Población

Para la presente investigación, la población está conformada por el Centro Poblado de Chumbibamba, ubicado en el distrito de Talavera, Andahuaylas, Apurímac – Perú. (Ver Figura 61), el tamaño de la población asciende a 140 habitantes, según datos obtenidos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Figura 61

Centro poblado Chumbibamba, Km 3 de la trocha AP-557



Fuente: Los autores (2022)

En cuanto al tipo de muestreo, para la presente investigación se aplica el muestreo cuantitativo, ya que estará constituido por la extracción de suelo mediante 3 calicatas cuyas dimensiones son 1x1x1.5m, en la trocha AP-557.

3.5.2.1 Criterios de inclusión y de exclusión

Para llevar a cabo la investigación, se establecieron una serie de criterios en cuanto a la delimitación de la población muestral

detallada a continuación. Dichos criterios nos permitieron establecer qué se va a incluir para ser estudiado y qué se excluirá del estudio, para no abarcar más de lo indicado y que la investigación sea lo más precisa posible.

Inclusión: Todo el tramo que abarque o se encuentre en el territorio del Centro Poblado de Chumbibamba.

Exclusión: Para la presente investigación, no se considerarán vías alternas pavimentadas ya que estas contienen otro tipo de características para su correcto uso en las obras viales.

3.5.3 Muestra

Como muestra, se tomaron los 3km de la trocha AP-557 ubicada en el Centro Poblado Chumbibamba, de la cual se elaborará el estudio de suelos mediante la realización de 3 calicatas, según lo indicado para vías de IMDA<200, indicado en el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos.

Para detallar la distribución de las calicatas, se presenta su ubicación en el mapa de la Figura 62

Figura 62

Mapa de ubicación de la muestra



Fuente: Los autores (2022)

Respecto a la muestra, la trocha AP-557, cuenta con una clasificación de vía de densidad baja, lo cual nos permitió realizar con mayor facilidad la extracción de las 3 muestras, como se puede apreciar en la Figura 63, esta vía es muy poco transitada. Hicimos uso de un drone para poder geolocalizar las coordenadas y medir los kilómetros que separaba cada calicata de la otra.

Figura 63

Fotografía de la trocha AP-557 captada en drone



Fuente: Los autores (2022)

La muestra, presenta en su totalidad presencia de suelo arcilloso como se puede apreciar en la Figura 64, el cual cuenta con las características como el color rojizo, la consistencia y su pureza, esto determinado previamente y siendo comprobado posteriormente en laboratorio.

Figura 64

Muestra de suelo arcilloso



Fuente: Los autores (2022)

3.5.4 Instrumentos para la obtención de muestras

Para poder estudiar la muestra representada por la trocha AP-557, se utilizó como instrumentos la elaboración de 3 calicatas con herramientas manuales, en segundo lugar, tenemos aplicaciones GPS, este instrumento servirá para medir y registrar las coordenadas UTM, como se indica en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la Tabla 4 presenta las ubicaciones de las 3 calicatas geolocalizadas mediante coordenadas UTM

Tabla 4

Coordenadas UTM de la ubicación de calicatas

Elemento	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
Calicata 1 (C-01)	666834	8490885
Calicata 2 (C-02)	666891	8491165
Calicata 3 (C-03)	666834	8490885

Fuente: Los autores (2022)

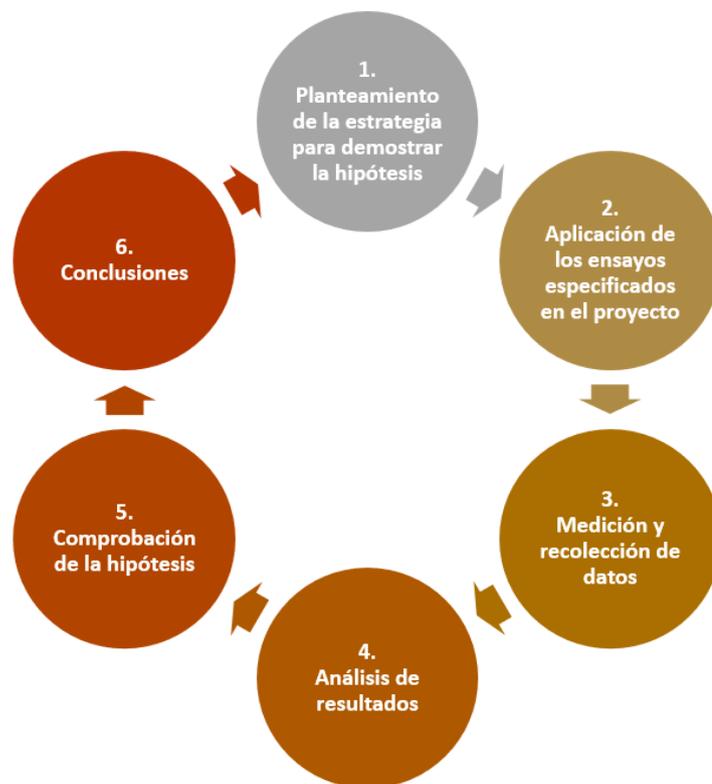
La fiabilidad y validez será analizada por los resultados que se obtendrán a partir de los ensayos de laboratorio, certificados por un especialista, con lo que se constatará lo indicado por los Manuales o bases teóricas consultadas.

3.6 Técnicas de investigación

Se elaboró un diagrama en base a los criterios que se usaron para el desarrollo del proceso de la investigación. (Ver Figura 65)

Figura 65

Criterios secuenciales para el desarrollo de la investigación



Fuente: Los autores (2022).

1. En base a investigaciones pasadas y las normativas correspondientes, se definieron los ensayos a realizar en laboratorio a cuatro muestras de suelo (una muestra en condiciones naturales y tres muestras con adición de ceniza de ladrilleras artesanales en diferentes porcentajes y un solo porcentaje de cal). El fin de estos ensayos es lograr una mejora en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante del suelo arcilloso.

2. Se realizaron los ensayos definidos en la etapa de planeamiento de estrategia, los cuales fueron los siguientes: Granulometría, Contenido de Humedad, Límite Líquido, Límite Plástico, índice de Plasticidad, Proctor Modificado y CBR (Californian Bearing Ratio).
3. Se tomaron datos en formatos ya establecidos y hojas de cálculo para cada ensayo realizado.
4. Una vez concluidos los ensayos de laboratorios, se realizaron gráficas en donde se puede observar la reacción del suelo arcilloso en contacto con la ceniza y cal y se observó que hubo mejora de las propiedades físicas y mecánicas con adición de 18% y 28% de ceniza y 2% de cal; y que al adicionar el 38% y 2% de cal las propiedades presentan una disminución en la mejora.
5. Se comprobó la hipótesis planteada logrando grandes mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso del Centro Poblado Chumbibamba, Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Departamento de Apurímac.
6. Se concluye que la adición de cenizas de ladrilleras artesanales y cal, en las dosificaciones adecuadas, da como resultado mejorías en la capacidad portante del suelo arcilloso y lo vuelve óptimo y recomendable para su uso en pavimentaciones.

3.7 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Los materiales utilizados en la presente investigación son suelo arcilloso en estado natural, cenizas de ladrilleras artesanales y cal, de nuestra arcilla en estado natural y aditivos (ceniza y cal), se realizaron combinaciones con diferentes proporciones, las cuales describimos en la Tabla 5, asignándole el nombre de muestras.

Tabla 5*Porcentaje de muestras y simbología representativa*

Material/Mezcla	% de Suelo arcilloso	% de Ceniza de ladrillera	% de Cal	Simbología
Suelo arcilloso	100%	-	-	100S
M1	80%	18%	2%	80S/18CL/2C
M2	70%	28%	2%	70S/28CL/2C
M3	60%	38%	2%	60S/38CL/2C

Fuente: Los autores (2022)

Como técnicas de recolección de datos se realizó la observación experimental, obtenidos a partir de los ensayos realizados en laboratorio tales como:

- **Granulometría por tamizado (ASTM D 422)**

El análisis granulométrico determina la distribución de los diferentes tamaños de los granos que constituyen un suelo. Para ello se emplean distintos tamices.

- **Límites de Atterberg (ASTM D 4318)**

- a. Límite líquido**

Lo indicado por la Pontificia Universidad Católica del Perú (2012), el límite líquido es el porcentaje de agua que posee un suelo, para determinarlo se realiza el ensayo de Casagrande.

Se realiza empleando un artefacto compuesto por una copa de bronce y una base de hule duro. El ensayo consiste en que se debe dejar caer la copa sobre la base a una altura de 10mm, el número de golpes es de 25, como sugerencia se debe realizar al menos tres pruebas para el mismo suelo ya que es difícil satisfacer el cierre de 12 mm.

b. Límite plástico

Según Morales, D. (2015), el límite plástico se refiere al contenido de humedad que está representada en porcentaje del suelo seco, en el cual un suelo puede cambiar del estado plástico a un estado semisólido y de un estado semisólido a un estado sólido. Este límite se considera como el más bajo contenido de humedad. El procedimiento consiste en enrollar elipsoidalmente una masa de suelos sobre una placa de vidrio, en un diámetro de 3,2 mm, luego el suelo se vuelve quebradizo por pérdida de humedad, se mide el contenido de humedad, si el suelo presenta una plasticidad bien definida se le agrega más agua la pasta de suelo restante en la cápsula y se realiza el ensayo de límite líquido.

Cuando el suelo presenta poca plasticidad, hay que realizar el ensayo del límite líquido y de inmediato con la pasta de suelo restante se realiza el ensayo de límite plástico, es recomendable hacer el procedimiento tres veces para obtener mejores resultados. Para hallar el límite plástico hallar un promedio de las humedades multiplicadas por 100 que muestra la siguiente ecuación:

- **Contenido de humedad (ASTM D 2216)** Es uno de las pruebas más importantes en la caracterización de los suelos, ya que determinará la cantidad de agua que contiene una muestra de suelo, expresada porcentualmente.

- **Ensayo de compactación de Proctor Modificado (ASTM D 1557)**
Es realizado para determinar el porcentaje de humedad óptima, donde una muestra de suelo compactada alcanza su máxima densidad seca.

- **Índice de CBR (California Bearing Ratio)** Se realiza para determinar la curva de deformación del suelo con el uso del equipo de prueba estándar CBR.

Como instrumentos de recolección de datos tenemos los informes de resultados finales obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio mencionados anteriormente.

3.8 Técnicas e Instrumentos de Procesamiento de Datos

Para poder constatar lo resuelto por la investigación en laboratorio, se utilizaron como instrumentos de procesamiento de datos, los gráficos estadísticos de programas como Excel, así como las tablas para el registro de la información realizada en el procedimiento de sus ensayos.

3.9 Cronograma de actividades

Para el desarrollo de la presente investigación, se planteó el siguiente cronograma de actividades, que abarca la elaboración del plan de tesis hasta el procesamiento de resultados de laboratorio, como se presenta en la Figura 66.

Figura 66

Criterios secuenciales para el desarrollo de la investigación

INCORPORACIÓN DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, UBICADO EN EL DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS Y DEPARTAMENTO DE APURÍMAC																				
					Cronograma de Elaboración de Tesis															
Descripción/Mes	Mar-22				Abr-22				May-22				Jun-22				Jul-22			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Plan de tesis																				
Presentación de la propuesta de tesis																				
Elaboración de bases teóricas																				
Recopilación de muestra																				
Realización de ensayos																				
Procesamiento de resultados																				
Levantamiento de observaciones																				
Presentación de tesis																				
Fin de taller de tesis																				
Sustentación de tesis																				

Fuente: Los autores (2022)

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

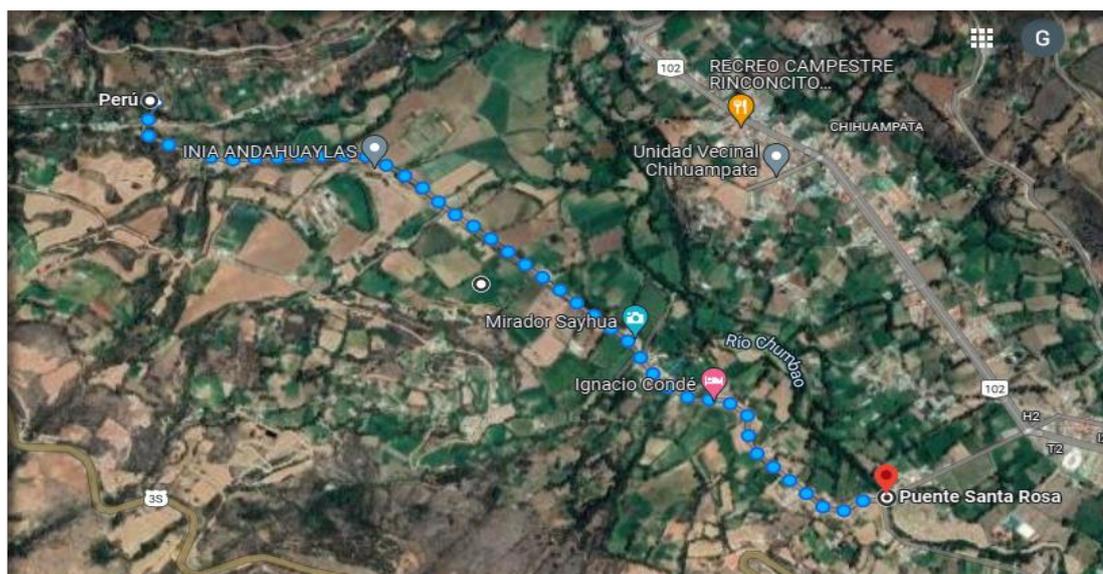
4.1 Ubicación

Con el objetivo de llevar a cabo la realización de la presente investigación, se realizó el viaje hacia la provincia de Andahuaylas, distrito de Talavera, para realizar los trabajos en campo respecto a la recolección de muestras de suelo arcilloso y cenizas que junto con la cal serán nuestros aditivos estabilizantes.

La población de diseño es el centro poblado de Chumbibamba, del cual se ha delimitado como muestra el suelo arcilloso de la trocha AP-557. En la figura 67.

Figura 67

Imagen satelital de la trocha AP-557 Chumbibamba



Fuente: Google Earth

La trocha AP-557 tiene una extensión de aproximadamente 3km, conectando el distrito de Talavera con la vía departamental 102, esta trocha inicia en el Puente Santa Rosa, como se puede observar en la Figura 68, el cual es nuestro punto de inicio para el recorrido del estudio de suelo in situ.

Figura 68

Puente Santa Rosa



Fuente: Los autores (2022)

Al recorrer el primer kilómetro de la trocha AP-557, encontramos también un letrero que nos indicaba estar en el Centro Poblado Chumbibamba, como se puede evidenciar en la Figura 69 presentada a continuación.

Figura 69

Letrero de ingreso al Centro Poblado Chumbibamba



28/04/22

Fuente: Los autores (2022)

El Centro Poblado Chumbibamba, es una zona dedicada a la agricultura, esto debido al suelo altamente arcilloso que posee el territorio, como podemos observar en la Figura 70, obtenida del vuelo del dron que fue realizado para el reconocimiento del lugar de estudio.

Figura 70

Características del terreno arcilloso en Chumbibamba



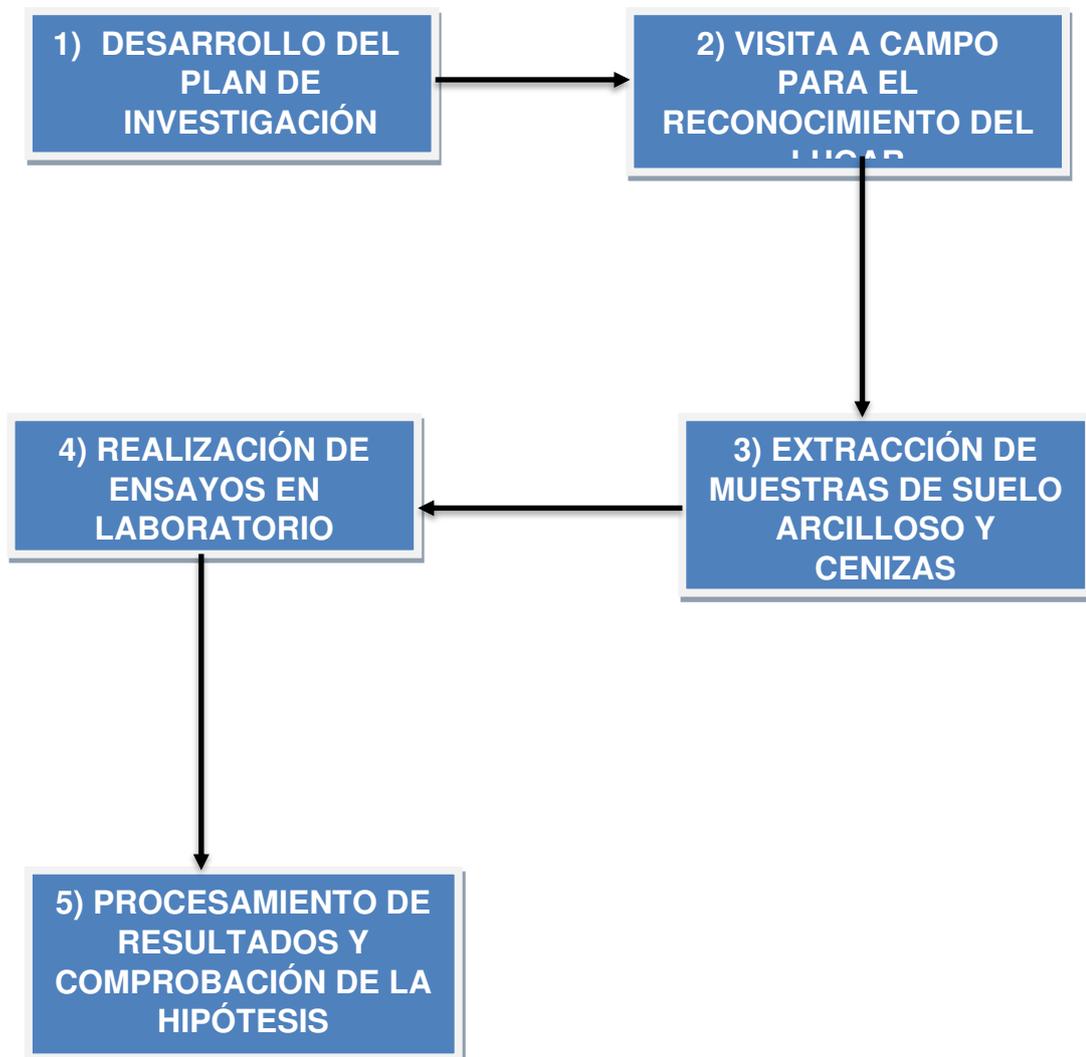
Fuente: Los autores (2022)

4.2 Mapa de procesos

Para la realización del presente trabajo de investigación, se planificó todo el proceso operativo que correspondía al trabajo en gabinete y trabajo en campo, el cual tenía etapas las cuales se detallan a continuación en el siguiente mapa de procesos elaborado para el cumplimiento de lo acordado. Ver Figura 71.

Figura 71

Mapa de procesos



Fuente: Los autores (2022)

4.3 Visita a Campo para reconocimiento de lugar

Con motivo de la recolección de información, se programó el viaje las fechas 28 de abril al 01 de mayo del presente año, dicha programación estuvo estructurada por fechas para poder lograr realizar todas las actividades propuestas y concluir con la fase de trabajo en campo para la entrega de muestras al laboratorio.

En la Tabla 6, se detalla la programación de actividades por fechas.

Tabla 6

Programación de actividades de trabajo en campo

Fecha	Hora	Detalle de actividad
Jueves 28.04.2022	12:30 pm	Llegada a Talavera
Jueves 28.04.2022	3:00 pm	Visita a Chumbibamba para el reconocimiento del lugar
Jueves 28.04.2022	3:30 pm	Delimitación y marcación de puntos para la realización de calicatas en la trocha AP-557
Viernes 29.04.2022	8:00 am	Llegada a Chumbibamba
	10:00 am	Realización de la calicata 1
	12:00 am	Realización de la calicata 2
	2:00 pm	Realización de la calicata 3
	3:00 pm	Vuelo de drone por la zona
Viernes 29.04.2022	4:00 pm	Visita a LLantihuanca para la recolección de cenizas de las ladrilleras artesanales.
Sábado 30.04.2022	12.00pm	Colocación de sacos de muestra en agencia para envío a Lima

Fuente: Los autores (2022)

4.4 Extracción de muestras de suelo arcilloso y ceniza

4.4.1 Extracción de muestras de suelo arcilloso

Se realizaron 3 calicatas a lo largo de la trocha AP-557 que cuenta con una extensión de 3 km, siguiendo lo establecido en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el cual se indica que para el tipo de carretera de bajo volumen se deben seguir los criterios antes mencionados.

Las dimensiones de la calicata fueron de 1x1x1.50 m, establecido también por el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, en su capítulo sobre instrumentos de recolección de muestras de suelo, calicatas y/o pozos exploratorios, para la exploración de suelos.

- **Calicata N°1**

En la figura 73, se observa la calicata N°1 ya terminada, la cual fue realizada en la trocha AP-557, kilómetro 1. Y en la Figura 72 se observa el avance de profundidad de la calicata.

Figura72

Medición de la profundidad en la calicata N°1



Nota. Autor corroborando la profundidad de 1.50m para cada calicata. Fuente: Los autores (2022)

Figura 73

Calicata N°1 en Km 1 de la trocha AP-557



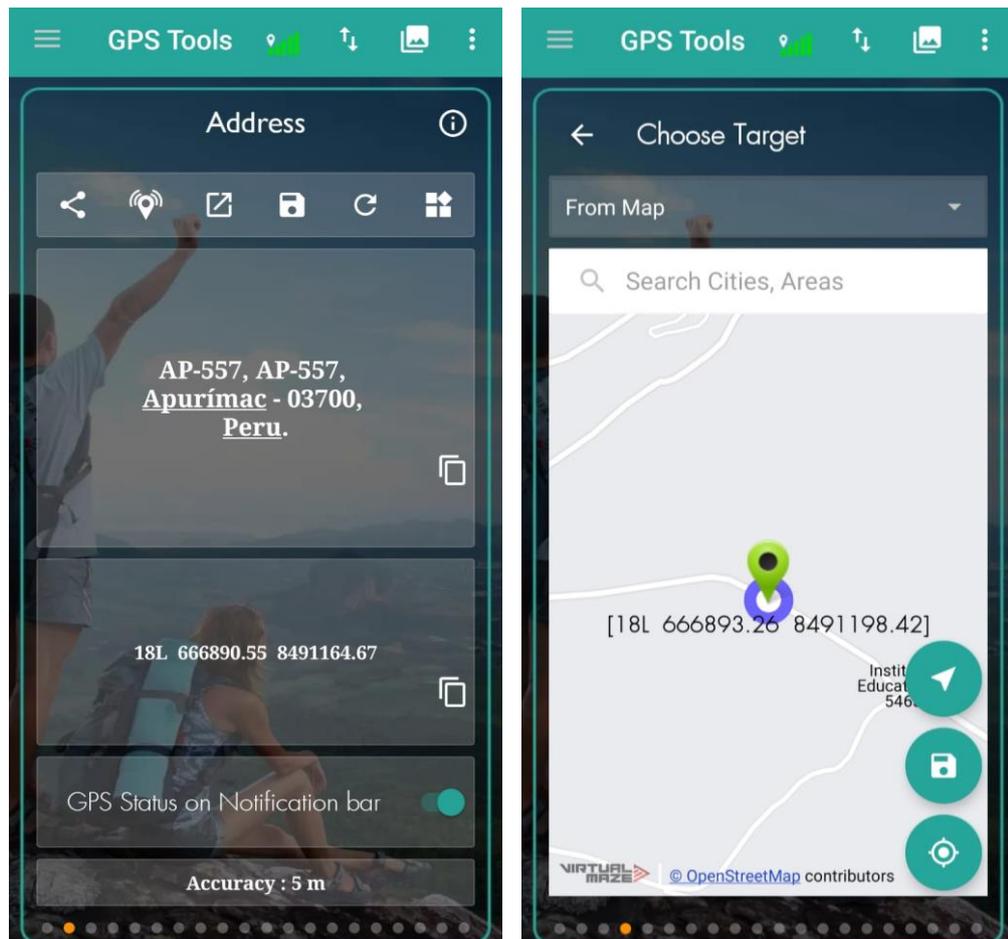
Nota. Autores en calicata N°1. Fuente: los autores (2022)

La forma de identificar en el panel o letrero informativo de la calicata, también se encuentra establecido en el Manual de Carreteras, en este, se debe colocar las coordenadas UTM, seguido del nombre del proyecto, así como una simbología que represente el nombre de la calicata, para ello

hicimos uso de dispositivos GPS y brújula para poder dar con la ubicación exacta en dichas coordenadas, como se representa en la Figura 74 respecto a la geolocalización.

Figura 74

Coordenadas UTM para la geolocalización de calicatas



Nota. Registro de aplicativo de GPS para la ubicación de coordenadas UTM y la geolocalización en el mapa interactivo. Fuente: Los autores (2022)

- **Calicata N°2**

Para el estudio de la calicata N°2, la extracción de material se realizó frente a las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Chumbibamba del Instituto Nacional de Innovación Agraria, la ubicación se representa en la figura 75 a continuación.

Figura 75

Ubicación de zona de realización de calicata N°2



Fuente: Los autores (2022)

El acceso a esta zona resulta sencillo ya que, a 500 metros de la Estación Experimental Agraria Chumbibamba, se encuentra un letrero informativo del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, que indica que en el sector se encuentra esta estación (Figura 76).

Figura 76

Letrero de Estación Experimental Agraria Chumbibamba



Nota. Evidencia captada por cámara de video de drone en el sector del Instituto Nacional de Investigación Agraria en Chumbibamba. Fuente: los autores (2022)

Se realizó la calicata N°2 en ese sector ya que la señalización de la trocha AP-557 indicaba el inicio del nuevo kilómetro (Figura 77), asimismo con la ayuda de dispositivos electrónicos se pudo corroborar la información de la distancia.

Figura 77

Señalización trocha AP-557 Km2



Nota. Letrero descriptivo de calicata N°2 en el Km 2 de la trocha AP-557.
Fuente: Los autores (2022)

En esta zona, el proceso de extracción del suelo resultó un poco más complicado al encontrarnos en un estrato con rocas grandes, y al estar el suelo húmedo ya que se dedican al cultivo y la Estación Experimental Agraria realiza sus funciones en ese territorio. En la figura 78 se observa la calicata, así como las características del ella.

Figura 78

Calicata N°2, Km 2 de la trocha AP-557



Nota. Calicata N°2 en el Km 2 de la trocha AP-557, vista de su profundidad de 1.50 m. Fuente: Los autores (2022)

- **Calicata N°3**

La calicata N°3 fue hecha en el Km 3 de la trocha AP-557 y el final de la misma, ya que en este punto es donde conecta hacia la Vía departamental 102, así mismo, como puede apreciarse en la Figura 79, que el letrero de Chumbibamba que nos acompañaba.

Figura 79

Ubicación para realizar calicata N°3



Fuente: Los autores (2022)

Esta última calicata fue realizada siguiendo las medidas establecidas por el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La Figura 80 muestra el proceso de extracción del suelo para su posterior ensayo.

Figura 80

Proceso de realización de calicata N°3



Fuente: Los autores (2022)

4.4.2 Obtención de muestras de ceniza

La ceniza, fue obtenida del sector de LLantihuanca, también ubicado en el distrito de Talavera y es uno de los que alberga mayor cantidad de ladrilleras artesanales. El proceso de obtención fue el siguiente:

1. Primero, se realiza la quema del ladrillo previamente enmoldado, para iniciar el encendido o la propagación de las llamas, utilizan eucalipto y kerosene.
2. Luego del quemado de ladrillos, tiene que transcurrir 2 días para poder retirar los excedentes, es decir, la ceniza. Ver Figura 81

Figura 81

Proceso de enfriamiento de horno luego de 2 días



Fuente: Los autores (2022)

3. El mayor porcentaje de ceniza se queda reposado mientras que el menor, se propaga por el aire.

4. Para recolectar la ceniza, solo basta con que el horno ya esté frío (por ello la espera de mínimo 2 días) En la figura 82, se presenta un horno después de los 2 días de quema de ladrillo.

Figura 82

Horno de ladrillera artesanal



Fuente: Los autores (2022)

5. Se procede a retirar con una pala, escoba o escobilla y almacenarlo en bolsas de polipropileno ya que estas muestras debían ser traídas a Lima por encomienda.

6. Al ser escoria producto de la quema de ladrillos, obtenerlo no resultó un gasto adicional, sino que solamente necesitamos acercarnos y recolectarlo por nosotros mismos. (Ver Figura 83)

Figura 83

Recolección de cenizas en Llantihuanca



Fuente: Los autores (2022)

4.4.3 Obtención de cal

La cal, al ser un producto comercial en la construcción y mantenimiento, se ha conseguido en compra por kilos para poder administrarla correctamente en las dosificaciones que se requieren realizar.

4.5 Trabajo de laboratorio

Una vez ya obtenidos los 3 insumos, se llevaron a laboratorio para realizar los ensayos detallados con la finalidad de demostrar nuestra hipótesis

general, cumpliendo con el objetivo de la tesis, tal cual se muestra en la Figura 84.

Figura 84

Muestras llevadas a laboratorio para ensayos



Fuente: Los autores (2022)

Producto de la extracción de muestra de suelo arcilloso mediante 3 calicatas, se recopilaron 175 kg aproximado, 25kg de ceniza y 5kg de cal hidratada.

Las muestras, se almacenaron en sacos de polipropileno y fueron caracterizadas según lo indicado en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para conservar y mantener en buen estado las muestras enviadas vía terrestre.

4.5.1 Relación de ensayos de laboratorio a realizar

Para lograr comprobar la hipótesis en base a nuestros objetivos, se programaron los siguientes ensayos, indicados en la Tabla 7.

Tabla 7

Ensayos para la investigación

Ensayos	Norma
Análisis granulométrico a muestra de 100%S	ASTM D-6913
Análisis granulométrico de ceniza	ASTM D-4318 / MTC E-110 y E-111
Límites de Atterberg a muestra de 100%S	ASTM D-4318 / MTC E-110 y E-111
Límites de Atterberg a muestra de 80S/18CL/2C	ASTM D-4318 / MTC E-110 y E-111
Límites de Atterberg a muestra de 70S/28CL/2C	ASTM D-4318 / MTC E-110 y E-111
Límites de Atterberg a muestra de 60S/38CL/2C	ASTM D-4318 / MTC E-110 y E-111
CBR + Proctor a muestra de 100S	ASTM D-1883 / MTC E-132
CBR + Proctor a muestra de 80S/18CL/2C	ASTM D-1883 / MTC E-132
CBR + Proctor a muestra de 70S/28CL/2C	ASTM D-1883 / MTC E-132
CBR + Proctor a muestra de 60S/38CL/2C	ASTM D-1883 / MTC E-132
Ensayo de sulfatos a 100% ceniza	NTP 339.178
Ensayo de sulfatos a muestra de 70S/28CL/2C	NTP 339.178

Fuente: Los autores (2022)

4.5.2 Ensayo de sulfatos NTP 339.178

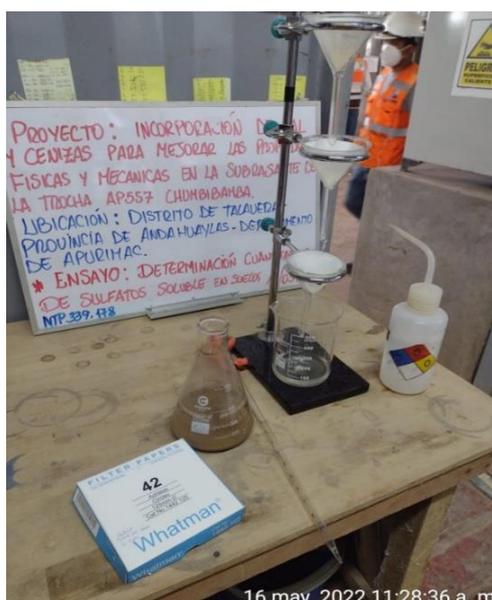
El presente ensayo fue realizado para determinar el contenido de sulfatos de la ceniza al 100% y de la Mezcla 3 de 70% de arcilla, 28% de ceniza y 2% de cal.

Para el presente ensayo, se tomaron 100 gramos de muestra de ceniza para realizarle el siguiente procedimiento:

1. Se agregó una gota de ácido nítrico y fue llevada a calentar en una plancha de calentamiento el vaso de precipitado.
2. Se añadió cloruro de bario al 10% caliente para posteriormente ser agitado por una varilla de vidrio.
3. Se dejó reposar la solución en caliente para que pueda precipitar el sulfato de bario por un tiempo no menor a 2 horas.
4. Se procedió a filtrar con un embudo de vidrio, el vaso de precipitado acompañado de una rejilla de filtración y Whatman 42, como se puede apreciar en la figura 85.

Figura 85

Elementos para ensayo de contenido de sulfatos



Fuente: Los autores (2022)

5. Se agregó agua desionizada caliente para lavar hasta eliminar los cloruros presentes, para tener una mayor certeza y control, se añadió unas gotas de solución de AgNO_3 .
6. Se llevó a calcinar por 1 hora a 800°C en un horno mufla, como se puede apreciar en la Figura 86 a continuación:

Figura 86

Horno mufla para ensayo de contenido de sulfatos



Fuente: Los autores (2022)

7. Se llevó a enfriar con el desecador, para posteriormente llevar a pesar en una balanza el Sulfato de bario (BaSO_4)

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Para poder llegar a los objetivos planteados en la presente investigación y dar respuesta a las hipótesis generadas, se realizaron una serie de ensayos en laboratorio con las muestras propuestas para el estudio.

Como primer paso, se realizaron estudios al suelo para poder dar paso a los ensayos que resolverán las hipótesis planteadas. La caracterización del suelo se realiza para comprobar y dar validez a la clasificación del suelo como arcilloso, para esto se realizó el ensayo de granulometría al suelo en estado natural, la prueba de sulfatos fue necesaria para compro

Caracterización del suelo por granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría para clasificar el suelo según SUCS y AASHTO.

En el ensayo granulométrico realizado mediante el método de tamizado, que consiste en que la muestra de suelo pase por todos los tamaños de tamices mediante movimientos laterales, se tomaron los datos de la cantidad que pasó cada tamiz y se anotaron los siguientes resultados. Ver Tabla 8.

Tabla 8

Análisis granulométrico por tamizado

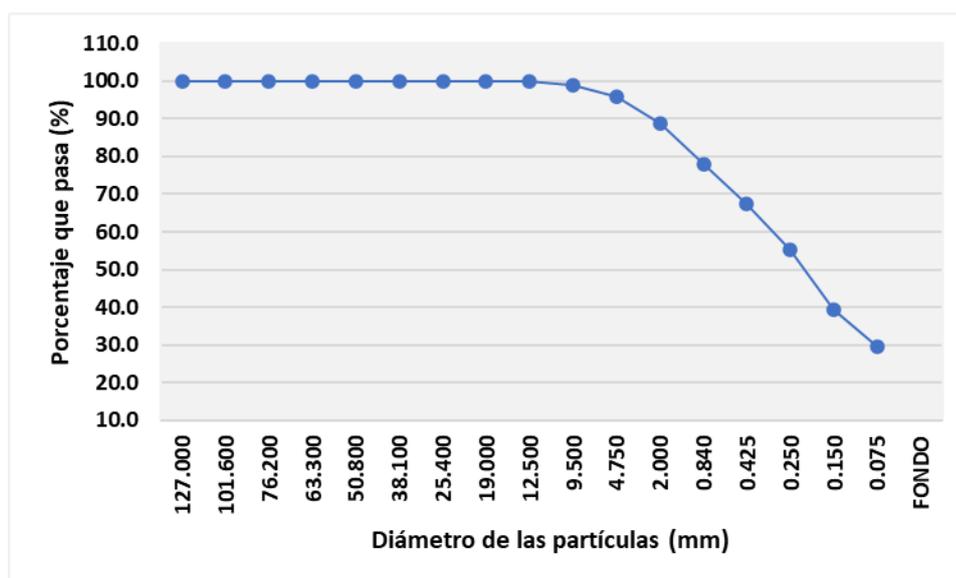
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PORCENTAJE QUE PASA
5"	127.000	100.0
4"	101.600	100.0
3"	76.200	100.0
2 1/2"	63.300	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.000	100.0
1/2"	12.500	100.0
3/8"	9.500	98.8
N°4	4.750	98.2
N° 10	2.000	95.7
N° 20	0.840	89.8
N° 40	0.425	83.7
N° 60	0.250	77.8
N° 80	1.777	73.8
N° 100	0.150	69.8
N° 200	0.075	60.5
< N° 200	FONDO	

Fuente: Los autores (2022).

A continuación, tomamos los resultados obtenidos en el análisis granulométrico para elaborar la curva granulométrica, como se puede observar en la Figura 87.

Figura 87

Curva granulométrica del suelo arcilloso



Fuente: Los autores (2022).

Finalmente, basándonos en la cantidad de material que pasa por los diferentes tamices y lo que queda en el fondo, podemos clasificar al suelo mediante SUCS y AASHTO, que nos indica que la muestra pertenece a la categoría de CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad) y al grupo de A-7-6 (suelos arcillosos), respectivamente. Es así como

concluimos que la muestra de suelo si corresponde a un suelo arcilloso, en este caso denominado Arcilla de baja compresibilidad. Ver Tabla 9.

Tabla 9

Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
Clasificación SUCS (ASTM D2487)	CL
Clasificación AASHTO (D3282)	A-7-6 (10)
Nombre del Grupo	Arcilla de baja compresibilidad

Fuente: Los autores (2022).

Granulometría de ceniza

Se realizó el ensayo de granulometría, mediante tamizado, a la ceniza que se obtuvo de la ladrillera artesanal, para conocer y definir su clasificación según SUCS y AASHTO. Los resultados de porcentaje que pasa cada tamiz fueron los siguientes. (Ver Tabla 10)

Tabla 10

Análisis granulométrico por tamizado – ceniza

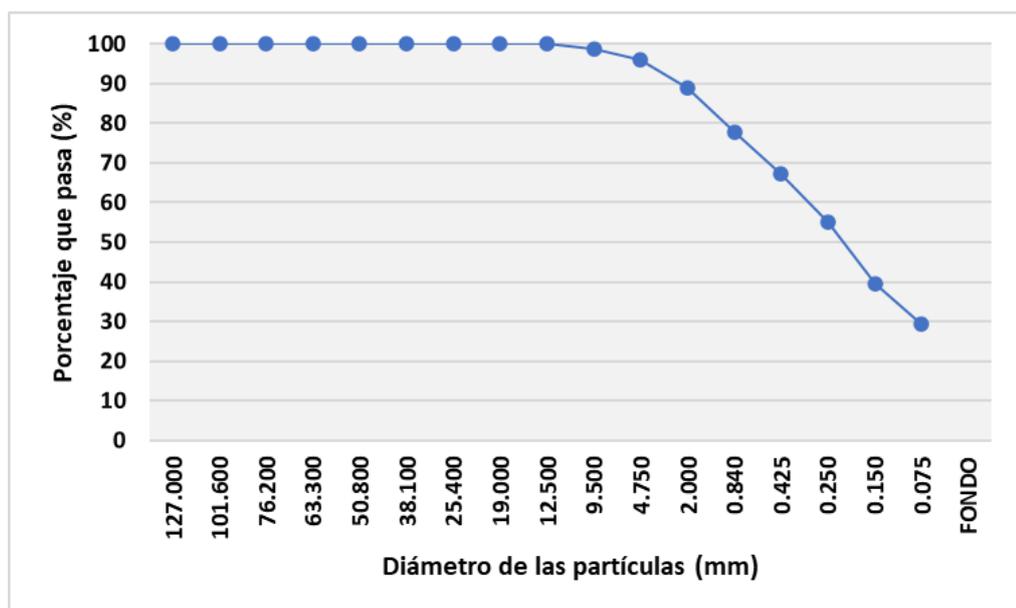
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PORCENTAJE QUE PASA
5"	127.000	100.0
4"	101.600	100.0
3"	76.200	100.0
2 1/2"	63.300	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.000	100.0
1/2"	12.500	100.0
3/8"	9.500	98.8
N°4	4.750	95.9
N° 10	2.000	88.9
N° 20	0.840	77.9
N° 40	0.425	67.4
N° 60	0.250	55.2
N° 80	1.777	-
N° 100	0.150	39.4
N° 200	0.075	29.5
< N° 200	FONDO	

Fuente: Los autores (2022).

Con los datos tomados de proceso de tamizado, se elabora la curva granulométrica de las cenizas, así como lo indica la Figura 88.

Figura 88

Curva granulométrica de cenizas



Fuente: Las autoras (2022).

Una vez tomados los datos de los tamices y la curva granulométrica, se procede a clasificar al suelo mediante SUCS y AASHTO.

Este ensayo nos indica que la muestra pertenece a la categoría de SM (Arenas limosas, mezclas arena – limo) según SUCS y según la clasificación AASHTO, clasifica a las cenizas en la categoría A-2-4 (Suelos granulados arcillosos o barrosos. Arenas y gravas con un alto contenido de finos). Es así que concluimos que la muestra de suelo se denomina Arena limosa con grava, como se puede ver en la Tabla 11.

Tabla 11

Clasificación de ceniza según SUCS y AASHTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
Clasificación SUCS (ASTM D2487)	SM
Clasificación AASHTO (D3282)	A-2-4 (0)
Nombre del Grupo	Arena limosa con grava

Fuente: Los autores (2022).

Análisis de Sulfatos

Los sulfatos representan un efecto contraproducente en los suelos y pueden llegar a causar fisuras, es por eso que se realizaron ensayos de sulfatos al aditivo y a la mezcla con la dosificación óptima de aditivos para cuantificar la variación.

Análisis de Sulfatos de Ceniza.

El análisis de sulfatos a la ceniza muestra que presenta un 0.558% en contenido de sales solubles, un pH de 9.6% y de contenido de sulfatos presenta 0.114% lo cual está en el rango según la Norma Técnica Peruana NTP 339.176. Ver Tabla 12 para resultados.

Tabla 12*Análisis de sulfatos de ceniza*

ENSAYOS	RESULTADOS		NORMA
	p.p.m	%	
Contenido de sales solubles totales	5583	0.558	MTC E-219
Contenido de cloruros			
Contenido de sulfatos	1136	0.114	NTP 339.175
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	9.6	NTP 339.176

Fuente: Los autores (2022).

Análisis de Sulfatos de S70%CL28%C2%

Una vez realizados los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, proctor modificado y CBR, se reflejó en los resultados que la mezcla de suelo al 70% con cenizas al 28% y cal al 2% fue la que mejores propiedades físicas y mecánicas adquirió.

Es por eso que se seleccionó dicha muestra para el correspondiente análisis de sulfatos y poder realizar una comparativa entre los resultados de sulfatos de las cenizas y este nuevo suelo mejorado, con el fin de observar cómo interactúa el suelo con la ceniza y anticipar la variación química que tendrá al mezclarse. Ver Tabla 13.

Tabla 13*Análisis de sulfatos de S70%CL28%C2%*

ENSAYOS	RESULTADOS		NORMA
	p.p.m	%	
Contenido de sales solubles totales	2436	0.244	MTC E-219
Contenido de cloruros	-		NTP 339.177
Contenido de sulfatos	716	0.072	NTP 339.178
Potencial de Hidrógeno (pH)			NTP 339.176

Fuente: Los autores (2022).

5.1 Sobre el índice de Plasticidad

Para poder comprobar la hipótesis que indica que la adición de cenizas y cal al suelo arcilloso reduce el índice de plasticidad, se realizaron ensayos de

Límites de Atterberg o también conocidos como Límites de Consistencia, cuya finalidad es el estudio del comportamiento de los suelos finos mediante el cálculo de los siguientes indicadores: límite líquido, límite plástico e índice plástico (o índice de plasticidad). Además, se logra conocer la cantidad de agua que poseen los suelos y saber si su uso es recomendable para la construcción.

5.1.1 Índice de plasticidad de la Arcilla

Los datos recopilados a continuación, se tomaron de la muestra de suelo arcilloso que pasó el tamiz N°40 (0.425mm) y los resultados de Límite Líquido (ver Tabla 14), Límite Plástico (ver Tabla 15) e Índice de Plasticidad (ver Tabla 15) se muestran a continuación.

Límite Líquido de la Arcilla

Se tomaron 200 gr de muestra de suelo en condiciones naturales que pasaron por el tamiz N°40 (0.425mm), tal cual indica el Manual de Ensayo de Materiales (MTC 2016) para realizar el procedimiento con el aparato de Casagrande y se obtuvieron los siguientes datos. Ver Tabla 14.

Tabla 14

Límite Líquido de la muestra de suelo arcilloso

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. De Recipiente		2	33	20
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	39.53	39.21	40.5
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.	36.19	26.24	37.11
Peso de Recipiente (C)	gr.	29.31	29.79	29.57
Peso del Agua (A-B)	gr.	3.34	2.97	3.39
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.	6.88	6.45	7.54
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%	48.55	46.05	44.96
N° De Golpes		17	26	32

Fuente: Los autores (2022).

Una vez tomados los datos de los 3 puntos de límite líquido (48.55, 46.05 y 44.96), se promedian esos valores y se aproxima al entero inferior, ya que el límite líquido es un valor entero. Es así que se

determina que el límite líquido del suelo arcilloso en condiciones naturales es 46.

Límite Plástico de la Arcilla

Con la muestra que se separó del paso anterior (límite líquido), se forman barritas de 3.2 mm de diámetro rodando dicha porción de mezcla entre la palma de la mano y una superficie lisa. Luego del procedimiento respectivo, se tomaron los resultados que se observan en la tabla 14.

Tabla 15

Límite Líquido Plástico de la muestra de suelo arcilloso

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE PLÁSTICO	
Nro. De Recipiente		32	5
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	41.52	39.86
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.	39.35	37.68
Peso de Recipiente (C)	gr.	30.72	29.03
Peso del Agua (A-B)	gr.	2.17	2.18
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.	8.63	8.65
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%	25.14	25.20
Nº De Golpes			

Fuente: Los autores (2022).

Para definir el límite plástico se promedian los valores del contenido de humedad y se aproxima al entero más cercano, siendo 25 el valor del límite plástico.

Índice Plástico de la Arcilla

El índice plástico es la diferencia entre el índice líquido y el índice plástico, es por eso que tenemos que el resultado es 21, como indica la Tabla 16.

Tabla 16

Índice de Plasticidad del suelo arcilloso

LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
LÍQUIDO	PLÁSTICO	
46.0	25.0	21.0

Fuente: Los autores (2022).

5.1.2 Índice de plasticidad de la muestra S80%Ce18%C2%

Se realizaron con el material que pasó el tamiz N°40 y los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad fueron los siguientes. Ver Tablas 17, 18 y 19.

Límite Líquido de S80%CL18%C2%

Se determinó que el límite líquido es 43.0, este resultado se obtiene de promediar el contenido de humedad tomado en los puntos de 17, 26 y 33 golpes.

$$LL = \frac{41.77 + 42.93 + 44.6}{3} = 43.1$$

Como se mencionó anteriormente, el Límite Líquido es un número entero, por tal motivo se aproxima 43.1 al entero próximo.

Tabla 17

Límite Líquido de S80%CL18%C2%

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. De Recipiente		2	33	11
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	42.89	43.45	45.08
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.	39.16	39.35	40.33
Peso de Recipiente (C)	gr.	30.23	29.8	29.68
Peso del Agua (A-B)	gr.	3.73	4.1	4.75
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.	8.93	9.55	10.65
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%	41.77	42.93	44.6
N° De Golpes		33	26	17

Fuente: Los autores (2022).

Límite Plástico de S80%Ce18%C2%

De los dos valores de contenido de humedad obtenido en el ensayo realizado (ver Tabla 18), se realiza el promedio para tener el valor del límite plástico de la primera muestra de suelo con adición de ceniza al 18% y cal al 2%.

$$LL = \frac{31.71 + 31.63}{2} = 31.67$$

Aproximando al entero más cercano, tenemos que el LP es 32

Tabla 18*Límite Plástico de S80%CL18%C2%*

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE PLÁSTICO	
Nro. De Recipiente		4	15
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	47.96	34.37
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.	45.62	33.27
Peso de Recipiente (C)	gr.	38.24	29.79
Peso del Agua (A-B)	gr.	2.34	1.10
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.	7.38	3.48
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%	31.71	31.61
N° De Golpes			

Fuente: Los autores (2022).

Índice Plástico de S80%CL18%C2%

Con la primera adición de cenizas y cal, ya se observa un considerable cambio en el índice plástico, ya que disminuye en 10% con respecto al índice plástico del suelo natural.

Tabla 19*Índice de Plasticidad de S80%CL18%C2%*

LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
LÍQUIDO	PLÁSTICO	
43.0	32.0	11.0

Fuente: Los autores (2022).

5.1.3 Índice de plasticidad de la muestra S70%CL28%C2%

Se realizaron con el material que pasó el tamiz N°40 y los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad fueron los siguientes. Ver Tablas 20, 21 y 22.

Límite Líquido de S70%CL28%C2%

Con la incorporación del 28% de ceniza en la mezcla, se observa que la muestra ya no presenta límite líquido, como se puede observar en la

tabla 20. Esto quiere decir que el contenido de agua en el suelo arcilloso disminuyó considerablemente.

Tabla 20

Límite Líquido de S70%CL28%C2%

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. De Recipiente				
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	NP		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.			
Peso de Recipiente (C)	gr.			
Peso del Agua (A-B)	gr.			
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.			
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%			
N° De Golpes				

Fuente: Los Autores (2022).

Límite Plástico de S70%CL28%C2%

De la misma manera que no presenta límite líquido, tampoco presenta límite plástico (ver tabla 21). Indicando que la incorporación de cenizas al 28% reduce considerablemente el contenido de agua de la mezcla.

Tabla 21

Límite Plástico de S70%CL28%C2%

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. De Recipiente				
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	NP		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.			
Peso de Recipiente (C)	gr.			
Peso del Agua (A-B)	gr.			
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.			
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%			
N° De Golpes				

Fuente: Los autores (2022).

Índice Plástico de S70%CL28%C2%

La condición de NP en el índice plástico indica que una de las propiedades físicas del suelo ha mejorado considerablemente con la incorporación de cal y cenizas al 28% y 2% respectivamente. Ver Tabla 22.

Tabla 22

Índice Plástico de S70%CL28%C2%

LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
LÍQUIDO	PLÁSTICO	
NP	NP	NP

Fuente: Los autores (2022).

5.1.4 Índice de plasticidad de S60%CL38%Ca2%

Se realizaron con el material que pasó el tamiz N°40 y los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad fueron NP, lo que significa que la muestra ya no presenta plasticidad. El suelo ya es un suelo estabilizado en cuando a los límites de Atterberg.

Límite Líquido de S60%CL38%C2%

Ya no se muestran valores en la tabla de toma de datos del límite líquido dado que el contenido de agua ha disminuido considerablemente. Los resultados se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23*Límite Líquido de S60%CL38%C2%*

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. De Recipiente				
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	NP		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.			
Peso de Recipiente (C)	gr.			
Peso del Agua (A-B)	gr.			
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.			
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%			
N° De Golpes				

Fuente: Los Autores (2022).

Límite Plástico de S60%CL38%C2%

Ya no se muestran valores de plasticidad en la mezcla de suelo con 38% de ceniza en su muestra (Tabla 24), lo cual representa una gran mejora en sus propiedades físicas.

Tabla 24*Límite Plástico de S60%CL38%C2%*

DESCRIPCIÓN	UNID.	LÍMITE PLÁSTICO	
Nro. De Recipiente			
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	gr.	NP	
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.		
Peso de Recipiente (C)	gr.		
Peso del Agua (A-B)	gr.		
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.		
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%		
N° De Golpes			

Fuente: Los Autores (2022).

Índice Plástico de S60%CL38%C2%

Ya que no se presentan valores en el límite líquido y límite plástico de la mezcla; y el índice plástico es la diferencia de ambos, por consecuencia se indica que la muestra de suelo mejorado con 38% de ceniza y 2% de cal, no presenta índice de plasticidad. Ver Tabla 25.

Tabla 25

Índice Plástico de S60%CL38%C2%

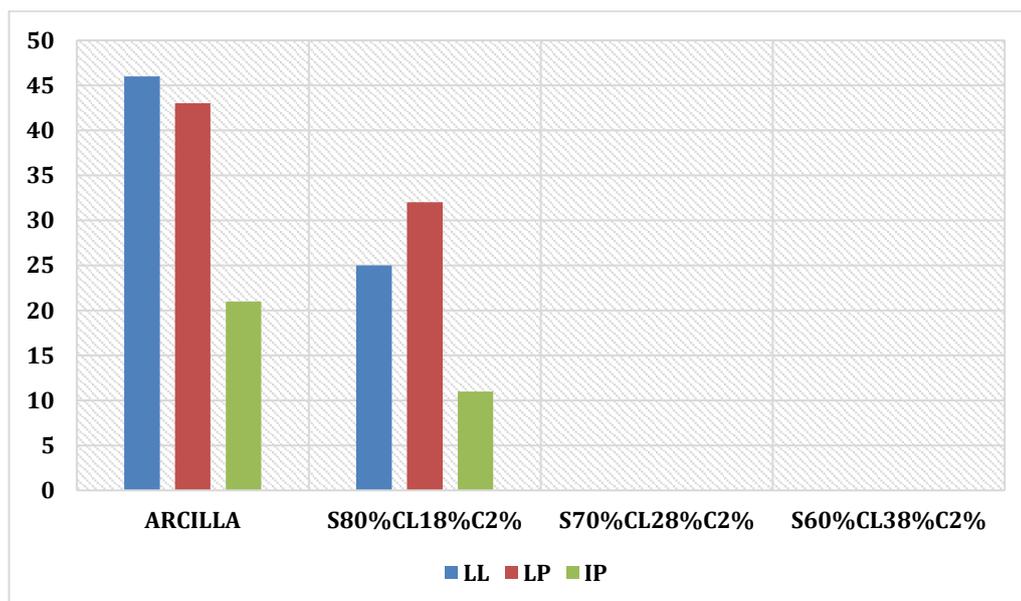
LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
LÍQUIDO	PLÁSTICO	
NP	NP	NP

Fuente: Los Autores (2022).

En la siguiente Figura 89 se encuentra el histograma de límites de Atterberg, en donde se observa cómo varía con la incorporación de cal y cenizas en diferentes dosificaciones:

Figura 89

Histograma de Límites de Atterberg



Fuente: Los autores (2022).

5.2 Sobre el Índice de CBR

Para poder comprobar el incremento del índice de CBR, se tuvo que analizar primero las muestras en el ensayo de Proctor Modificado, el cual se detallará a continuación.

Proctor Modificado en suelo arcilloso en condiciones naturales

Para realizar este ensayo, se seleccionaron 6000 gr de la mezcla del suelo natural clasificado como CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad).

Por las características del suelo, se definió utilizar el Método C de Proctor Modificado y para ello se empleó un pisón de 10 lb, un molde de volumen 2121 cm³ cuyo peso es 6169 gr. Después de dar 56 golpes a cada una de las 5 capas de los especímenes, se obtuvieron los siguientes resultados. Ver Tabla 26 y Figura 90.

Tabla 26

Datos de Proctor Modificado de muestra de suelo

Determinación (Puntos)	Nº	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10193	10483	10452	10321
Peso de Molde	g	6169	6169	6169	6169
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	4024	4314	4283	4152
Volumen del Molde	cm ³	2121	2121	2121	2121
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.897	2.034	2.019	1.958
Tara (Recipiente)	Nº				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2531.0	2614.0	2584.0	2510.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2191.3	2224.9	2161.5	2067.2
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	339.7	389.1	422.5	442.8
Peso del Suelo Seco	g	2191.3	2224.9	2161.5	2067.2
Contenido de Agua	%	15.5	17.5	19.5	21.4
Peso Volumétrico Seco	g/cm ³	1.643	1.731	1.689	1.612

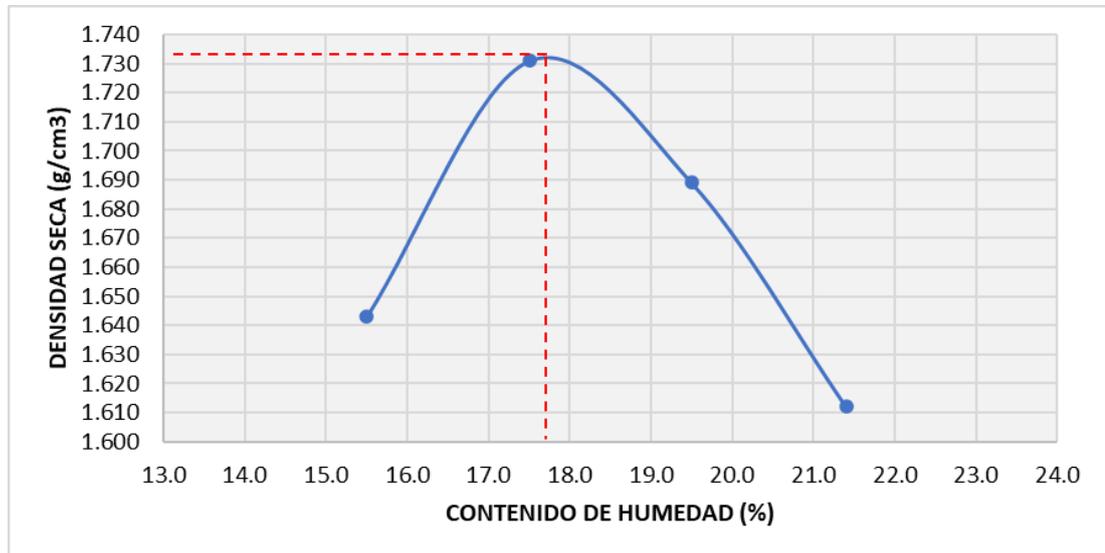
Fuente: Los autores (2022).

Con los valores obtenidos del ensayo de Proctor Modificado, podemos elaborar la curva de compactación de la muestra del suelo arcilloso en condiciones naturales.

La curva se muestra a continuación en la Figura 90.

Figura 90

Curva de Compactación de suelo arcilloso



Fuente: Los autores (2022).

En la gráfica de compactación se observa la relación de la densidad seca y el contenido de humedad, en donde la densidad máxima seca es 1.732 g/cm³ y su humedad óptima es 17.7%.

Proctor Modificado en mezcla de arcilla 80%, ceniza 18% y cal 2%

Este ensayo se realizó con el Método C de Proctor Modificado, en el cual se seleccionaron 6000 gr de la mezcla del suelo natural de clasificación CL. Se emplearon los siguientes equipos y materiales:

- Equipo de Compactación : Pisón de 10 lb
- Volumen del Molde : 2121 cm³
- Peso de Molde : 6169 g

Se empleará el Método C, en donde se aplicarán 56 golpes y el espécimen estará compuesto por 5 capas uniformemente compactadas.

A continuación, en la Tabla 27 y Figura 91, se pueden observar los resultados del ensayo de Proctor Modificado al suelo arcilloso 80%, ceniza 18% y cal 2% (S80%CL18%C2%).

Tabla 27

Datos de Proctor Modificado de S80%Ce18%Ca2%

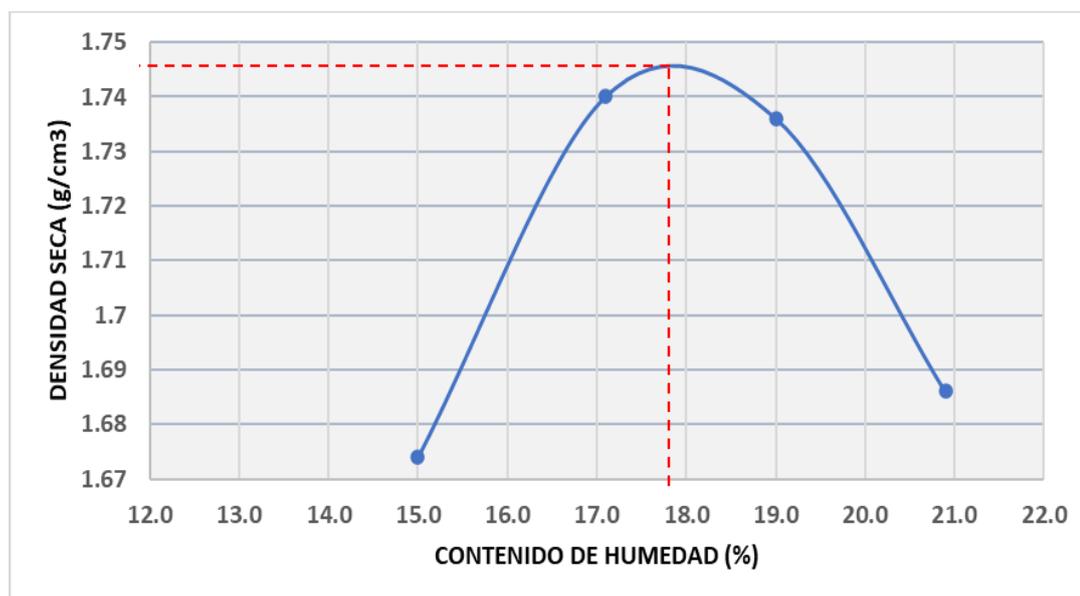
Determinación (Puntos)	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10253	10490	10550	10492
Peso de Molde	g	6169	6169	6169	6169
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	4084	4321	4381	4323
Volumen del Molde	cm ³	2121	2121	2121	2121
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.926	2.037	2.066	2.038
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2614.0	2531.0	2576.0	2561.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2272.7	2161.4	2164.5	2118.3
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	341.3	369.6	411.5	442.7
Peso del Suelo Seco	g	2272.7	2161.4	2164.5	2118.3
Contenido de Agua	%	15.0	17.1	19.0	20.9
Peso Volumétrico Seco	g/cm ³	1.674	1.740	1.736	1.686

Fuente: Los autores (2022).

La curva de compactación nos ayuda a ver gráficamente los datos obtenidos del ensayo de proctor modificado. (Ver Figura 91).

Figura 91

Curva de Compactación de S80%CL18%C2%



Fuente: Los autores (2022).

Como resultado de este ensayo se determinó que la densidad máxima de la muestra fue de 1.745 g/cm³ y su humedad óptima, de 17.9%

Proctor Modificado en mezcla de arcilla 70%, ceniza 28% y cal 2%

Los equipos, materiales y muestra necesarios son los siguientes:

- Preparación de la Muestra : 6000 g de CL
- Equipo de Compactación : Pisón 10 lb
- Volumen del Molde : 2113 cm³
- Peso de Molde : 6202 g

Se empleará el Método C, en donde se aplicarán 56 golpes y el espécimen estará compuesto por 5 capas uniformemente compactadas.

A continuación, en la Tabla 28 y Figura 92, se pueden observar los resultados del ensayo de Proctor Modificado al suelo arcilloso 70%, ceniza 28% y cal 2% (S70%CL28%C2%).

Tabla 28

Datos de Proctor Modificado de S70%CL28%C2%

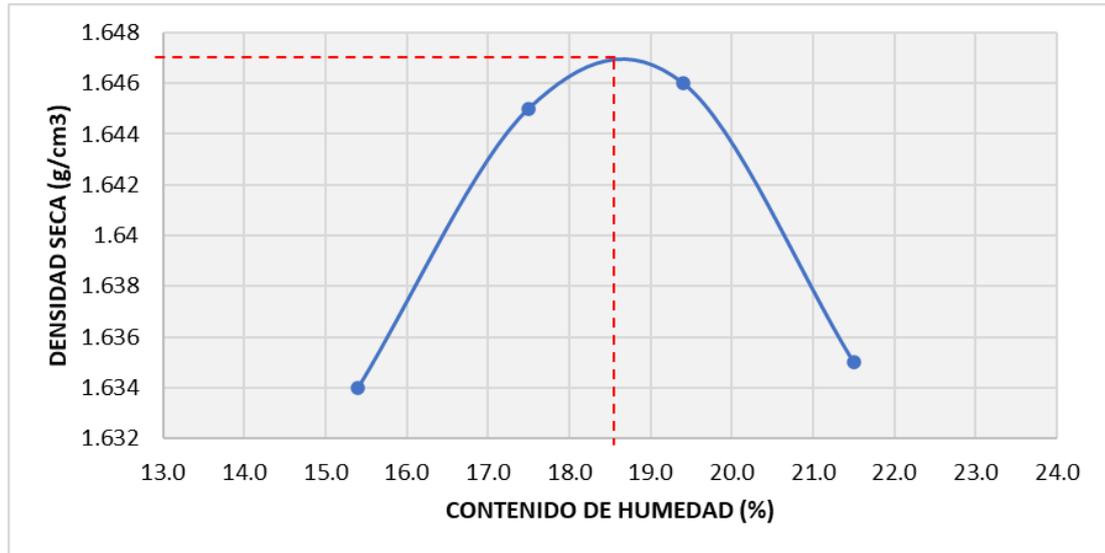
Determinación (Puntos)	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10187	10288	10356	10400
Peso de Molde	g	6202	6202	6202	6202
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	3985	4086	4154	4198
Volumen del Molde	cm ³	2113	2113	2113	2113
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.886	1.934	1.966	1.987
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2584.0	2654.0	2781.0	2599.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2238.7	2258.3	2328.7	2138.7
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	345.3	395.7	452.3	460.3
Peso del Suelo Seco	g	2238.7	2258.3	2328.7	2138.7
Contenido de Agua	%	15.4	17.5	19.4	21.5
Peso Volumétrico Seco	g/cm ³	1.634	1.645	1.646	1.635

Fuente: Los autores (2022).

A continuación, se presentan los resultados de la tabla 28 en una manera gráfica (Figura 92), para observar el comportamiento de la densidad seca y el contenido de humedad durante el ensayo.

Figura 92

Curva de Compactación de S70%CL28%C2%



Fuente: Los autores (2022).

De la gráfica de la curva de compactación se logran observar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo resultando 1.647 g/cm³ y 18.6%, respectivamente.

Proctor Modificado en mezcla de arcilla 60%, ceniza 38% y cal 2%

Se empleará el Método C, en donde se aplicarán 56 golpes y el espécimen estará compuesto por 5 capas uniformemente compactadas.

Los equipos, materiales y muestra a emplear, serán:

- Preparación de la Muestra : 6000 g de CL
- Equipo de Compactación : Pisón 10 lb
- Volumen del Molde : 2113 cm³
- Peso de Molde : 6202 g

Podemos ver los resultados a continuación en la Tabla 29 y Figura 93.

Tabla 29

Datos de Proctor Modificado de S60%CL38%C2%

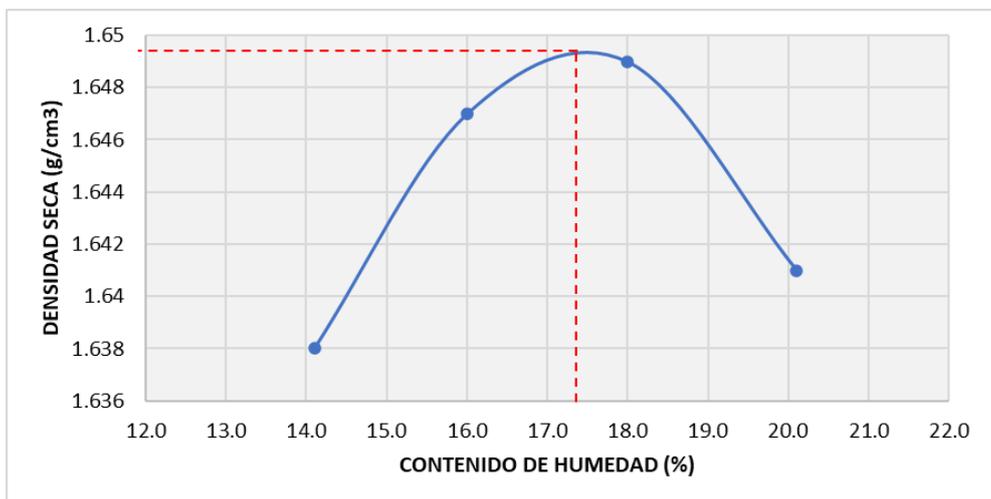
Determinación (Puntos)	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10152	10240	10314	10367
Peso de Molde	g	6202	6202	6202	6202
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	3950	4038	4112	4165
Volumen del Molde	cm ³	2113	2113	2113	2113
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.869	1.911	1.946	1.971
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2652.0	2513.0	2604.0	2712.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2323.8	2166.0	2206.3	2258.1
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	328.2	347.0	397.7	453.9
Peso del Suelo Seco	g	2323.8	2166.0	2206.3	2258.1
Contenido de Agua	%	14.1	16.0	18.0	20.1
Peso Volumétrico Seco	g/cm ³	1.638	1.647	1.649	1.641

Fuente: Los autores (2022).

Con los datos obtenidos de la compactación, elaboramos la curva de compactación siguiente. (Ver Figura 93).

Figura 93

Curva de Compactación de S60%CL38%C2%



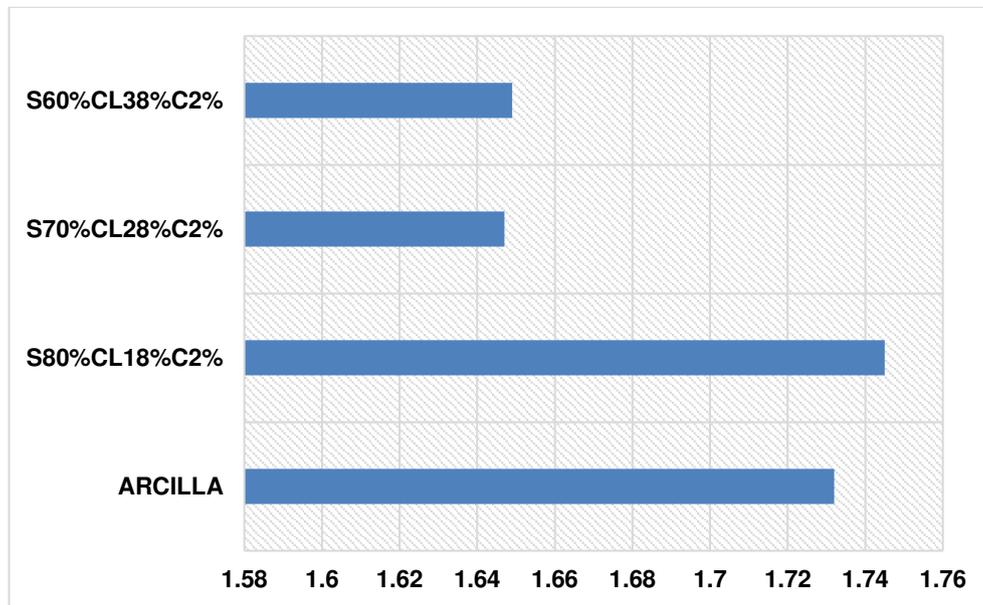
Fuente: Los autores (2022).

Como resultado de este ensayo, se determinó que para la mezcla de suelo al 60%, cenizas al 38% y cal al 2%, la densidad máxima es 1.649 g/cm³ y la humedad óptima es 17.4%.

En las siguientes figuras (ver figura 94 y 95), se observa el comportamiento de la densidad seca y contenido de humedad, en cada una de las muestras.

Figura 94

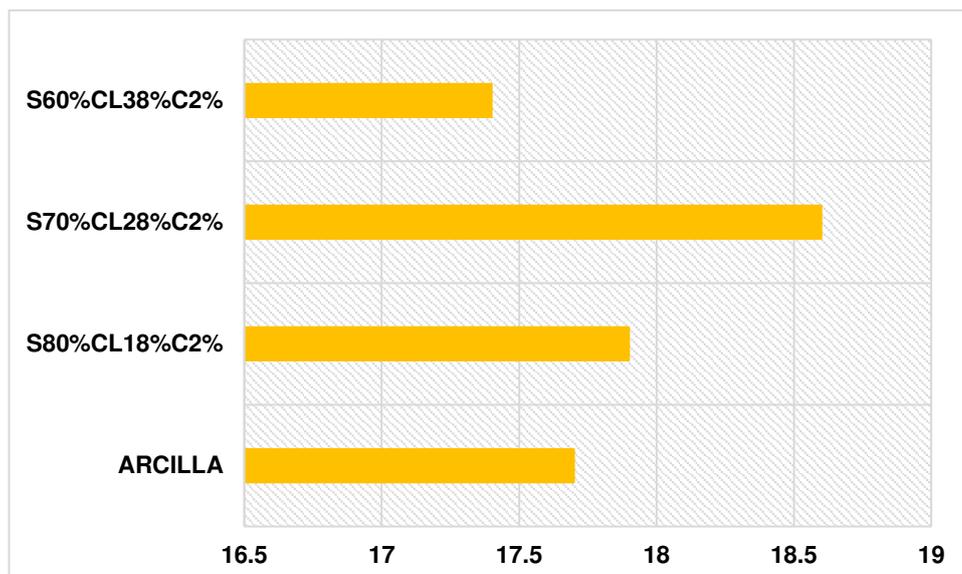
Histograma de Densidades Secas



Fuente: Los autores (2022).

Figura 95

Histograma de contenido de humedad



Fuente: Los autores (2022).

Californian Bearing Ratio (CBR)

Con el fin de comprobar la hipótesis específica 2, después de haber realizado los ensayos mencionados anteriormente, se realizará el análisis de CBR del suelo arcilloso en condiciones naturales y también se analizará el CBR a las demás muestras, con el fin de cuantificar la variación de este al incorporar cenizas y cal en su mezcla.

5.2.1. Índice de CBR en suelo natural

Resultados de compactación, expansión y penetración en suelo arcilloso. Ver Tablas 30, 31 y 32.

Tabla 30

Datos de Compactación de CBR en suelo arcilloso

COMPACTACIÓN						
Molde N°	001		002		003	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo	12157.0	12400.0	11965.0	12255.0	11410.0	11734.0
Peso de molde (g)	7825.0	7825.0	7837.0	7837.0	7489.0	7489.0
Peso del suelo húmedo (g)	4332.0	4575.0	4128.0	4418.0	3921.0	4245.0
Volumen del molde (cm ³)	2125.0	2125.0	2128.0	2128.0	2135.0	2135.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.039	2.153	1.940	2.076	1.837	1.988
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-
Peso suelo húmedo+tara (g)	2635.0	2608.0	2653.0	2235.0	2631.0	2352.0
Peso suelo seco + tara (g)	2238.5	2091.0	2253.2	1764.0	2235.0	1830.0
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua (g)	396.50	517.00	399.80	471.00	396.00	522.00
Peso de suelo seco (g)	2238.50	2091.00	2253.20	1764.00	2235.00	1830.00
Contenido de humedad (%)	17.7	24.7	17.7	26.7	17.7	28.5
Densidad seca (g/cm ³)	1.732	1.723	1.648	1.639	1.56	1.547

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 31

Datos de Expansión de CBR en muestra de suelo arcilloso

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/05/2022	11:40	24	202	5.131	4.4	286	7.264	6.3	380	9.652	8.4
11/05/2022	11:46	48	207	5.258	4.6	290	7.366	6.4	386	9.804	8.5
12/05/2022	11:52	72	214	5.436	4.7	295	7.493	6.5	391	9.931	8.6
13/05/2022	11:58	96	218	5.537	4.8	298	7.569	6.6	396	10.058	8.7

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 32*Datos de Penetración de CBR en muestra de suelo arcilloso*

PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN mm	CARGA STAND. kg/cm ²	IPK-LAB-001				IPK-LAB-002				IPK-LAB-003			
		CARGA		CORRECIÓN		CARGA		CORRECIÓN		CARGA		CORRECIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		28	28.0			13	13.0			9	9.0		
1.270		56	56.0			31	31.0			19	19.0		
1.905		80	80.0			47	47.0			26	26.0		
2.540	70.5	103	103.0	99.6	7	64	64.0	63.5	4	34	34.0	32	2.2
3.175		128	128.0			79	79.0			42	42.0		
3.810		149	149.0			94	94.0			49	49.0		
4.445		170	170.0			108	108.0			55	55.0		
5.080	105.7	190	190.0	185	9	120	120.0	119	6	62	62.0	60	2.8
7.620		257	257.0			164	164.0			85	85.0		
10.160		311	311.0			205	205.0			102	102.0		
12.700		361	361.0			238	238.0			119	119.0		

Fuente: Los autores (2022).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- CBR al 100% M.D.S. (%) : 6.9%
- CBR al 95% M.D.S. (%) : 4.3%

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Manual de Ensayo de Materiales (2016) sostiene que al tratarse de una subrasante, en los últimos 0.30m debajo del nivel superior, deberán ser compactados al 95%.

En base a estos resultados, afirmamos que el suelo arcilloso de la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba alcanza un CBR de 4.3% por lo que no considera como apta; por el contrario, se considera como una subrasante insuficiente o pobre.

5.2.2. Índice de CBR en mezcla de arcilla 80%, ceniza 18% y cal 2%

Al incorporar ceniza y cal a la muestra de suelo natural, se logró mejorar considerablemente el CBR, ya que pasó de 4.3% a 19.2%. Esto quiere decir que se logró una mejora de 14.9% en la capacidad de soporte del suelo, volviéndolo apto para trabajar.

A continuación, la toma de datos de compactación, expansión y penetración del espécimen para el cálculo del CBR, en las Tablas 33, 34 y 35.

Tabla 33*Datos de Compactación de CBR en S80%CL18%C2%*

COMPACTACIÓN						
Molde N°	001		002		003	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo	12330.0	12428.0	11804.0	11969.0	11668.0	11864.0
Peso de molde (g)	7946.0	7946.0	7633.0	7633.0	7759.0	7759.0
Peso del suelo húmedo (g)	4384.0	4482.0	4171.0	4336.0	3909.0	4105.0
Volumen del molde (cm ³)	2118.0	2118.0	2125.0	2125.0	2116.0	2116.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.070	2.116	1.963	2.040	1.847	1.940
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-
Peso suelo húmedo+tara (g)	2561.0	2600.0	2633.0	2620.0	2741.0	2540.0
Peso suelo seco + tara (g)	2171.8	2152.0	2232.6	2133.0	2324.0	2042.6
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua (g)	389.23	448.00	400.36	487.00	416.98	497.40
Peso de suelo seco (g)	2171.77	2152.00	2232.64	2133.00	2324.02	2042.60
Contenido de humedad (%)	17.9	20.8	17.9	22.8	17.9	24.4
Densidad seca (g/cm ³)	1.755	1.752	1.664	1.661	1.566	1.56

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 34*Datos de Expansión de CBR en S80%CL18%C2%*

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/05/2022	14:00	24	37	0.94	0.8	55	1.1397	1.2	81	2.057	1.8
11/05/2022	14:06	48	38	0.965	0.8	56	1.422	1.2	82	2.083	1.8
12/05/2022	14:12	72	39	0.991	0.8	57	1.448	1.3	83	2.108	1.8
13/05/2022	14:18	96	40	1.016	0.8	58	1.448	1.3	104	2.642	2.3

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 35*Datos de Penetración de CBR en S80%CL18%C2%*

PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN mm	CARGA STAND. kg/cm ²	IPK-LAB-001				IPK-LAB-002				IPK-LAB-003			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		65	65.0			44	44.0			41	41.0		
1.270		161	161.0			122	122.0			95	95.0		
1.905		268	268.0			196	196.0			128	128.0		
2.540	70.5	364	364.0	377	25.9	267	267.0	276	19.0	163	163.0	160	11.0
3.175		438	438.0			330	330.0			197	197.0		
3.810		510	510.0			388	388.0			236	236.0		
4.445		569	569.0			434	434.0			269	269.0		
5.080	105.7	628	628.0	633	29	488	488.0	478	22	300	300.0	29.1	13.4
7.620		788	788.0			636	636.0			401	401.0		
10.160		891	891.0			754	754.0			484	484.0		
12.700		984	984.0			861	861.0			571	571.0		

Fuente: Los autores (2022).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- CBR al 100% M.D.S. (%) : 25.9%
- CBR al 95% M.D.S. (%) : 19.2%

Se toma el valor del CBR al 95% de su máxima densidad seca, entonces podemos afirmar que, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Manual de Ensayo de Materiales (2016), la subrasante con un CBR de 19.2% clasifica como una subrasante buena.

5.2.3. Índice de CBR en mezcla de arcilla 70%, ceniza 28% y cal 2%

Al usar esta dosificación de suelo arcilloso, ceniza y cal, se observó una gran mejora en la capacidad de soporte, ya que el CBR alcanzó un porcentaje de 63.4%, lo que significa una mejora de más del 59.1% comprobando así la hipótesis específica 2.

A continuación, la toma de datos para el cálculo del CBR, en las Tablas 36, 37 y 38.

Tabla 36

Datos de Compactación de CBR en S70%CL28%C2%

COMPACTACIÓN						
Molde N°	001		002		003	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo	11821.0	11944.0	11233.0	11416.0	11401.0	11634.0
Peso de molde (g)	7662.0	7662.0	7291.0	7291.0	7646.0	7646.0
Peso del suelo húmedo (g)	4159.0	4282.0	3942.0	4125.0	3755.0	3988.0
Volumen del molde (cm ³)	2114.0	2114.0	2123.0	2123.0	2135.0	2135.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.967	2.026	1.857	1.943	1.759	1.868
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-
Peso suelo húmedo + tara (g)	2658.0	2561.0	2584.0	2658.0	2630.0	2811.0
Peso suelo seco + tara (g)	2240.7	2097.5	2178.3	2139.9	2216.6	2225.3
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua (g)	417.27	463.54	405.66	518.08	413.40	585.70
Peso de suelo seco (g)	2240.73	2097.46	2178.34	2139.92	2216.60	2225.30
Contenido de humedad (%)	18.6	22.1	18.6	24.2	18.7	26.3
Densidad seca (g/cm ³)	1.659	1.659	1.565	1.564	1.482	1.479

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 37*Datos de Expansión de CBR en S70%CL28%C2%*

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/05/2022	14:00	24	1	0.025	0.0	3	0.076	0.1	9	0.229	0.2
16/05/2022	14:06	48	1	0.025	0.0	4	0.102	0.1	10	0.254	0.2
17/05/2022	14:12	72	2	0.051	0.0	5	0.127	0.1	11	0.279	0.2
18/05/2022	14:18	96	2	0.051	0.0	5	0.127	0.1	12	0.305	0.3

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 38*Datos de Penetración de CBR en S70%CL28%C2%*

PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN mm	CARGA STAND. kg/cm ²	IPK-LAB-001				IPK-LAB-002				IPK-LAB-003			
		CARGA		CORRECIÓN		CARGA		CORRECIÓN		CARGA		CORRECIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		171	171.0			207	207.0			90	90.0		
1.270		429	429.0			445	445.0			226	226.0		
1.905		705	705.0			675	675.0			374	374.0		
2.540	70.5	1019	1019.0	1154.9	79.5	894	894.0	889	61.2	521	521.0	599.2	41.2
3.175		1293	1293.0			1112	1112.0			676	676.0		
3.810		1646	1646.0			1326	1326.0			843	843.0		
4.445		1955	1955.0			1504	1504.0			987	987.0		
5.080	105.7	2235	2253.0	2328.1	106.8	1710	1710.0	1655.1	75.9	1161	1161.0	1217.1	55.8
7.620		3289	3289.0			2248	2248.0			1747	1747.0		
10.160		4182	4182.0			2599	2599.0			2172	2172.0		
12.700		4749	4749.0			2820	2820.0			2457	2457.0		

Fuente: Los autores (2022).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- CBR al 100% M.D.S. (%) : 79.5%
- CBR al 95% M.D.S. (%) : 63.4%

Logrando un CBR de 63.4% con la adición de cenizas y cal, la subrasante logra la calidad de Excelente, según lo indicado en las categorías de subrasantes del Manual de Carreteras en la sección de Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

5.2.4. Índice de CBR en mezcla de arcilla 60%, ceniza 38% y cal 2%

A continuación, la toma de datos del ensayo de CBR en las Tablas 39, 40 y 41.

Tabla 39

Datos de Compactación de CBR en S60%CL38%a2%

COMPACTACIÓN						
Molde N°	004		005		006	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo	11807.0	11934.0	11313.0	11453.0	11363.0	11560.0
Peso de molde (g)	7642.0	7642.0	7380.0	7380.0	7641.0	7641.0
Peso del suelo húmedo (g)	4165.0	4292.0	3933.0	4073.0	3722.0	3919.0
Volumen del molde (cm ³)	2141.0	2141.0	2126.0	2126.0	2117.0	2117.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.945	2.005	1.850	1.916	1.758	1.851
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-
Peso suelo húmedo + tara (g)	2548.0	2596.0	2647.0	2695.0	2635.0	2632.0
Peso suelo seco + tara (g)	2169.9	2141.5	2254.0	2206.5	2244.0	2130.0
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua (g)	378.06	454.48	392.96	488.53	391.00	502.00
Peso de suelo seco (g)	2169.94	2141.52	2254.04	2206.47	2244.00	2130.00
Contenido de humedad (%)	17.4	21.2	17.4	22.1	17.4	23.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.657	1.654	1.575	1.569	1.497	1.498

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 40

Datos de Expansión de CBR en S60%CL38%C2%

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/05/2022	14:00	24	1	0.025	0.0	5	0.127	0.1	81	2.057	1.8
16/05/2022	14:06	48	2	0.051	0.0	6	0.152	0.1	82	2.083	1.8
17/05/2022	14:12	72	2	0.051	0.0	7	0.178	0.2	83	2.108	1.8
18/05/2022	14:18	96	3	0.076	0.1	7	0.178	0.2	16	0.406	0.4

Fuente: Los autores (2022).

Tabla 41*Datos de Penetración de CBR en S60%CL38%C2%*

PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN mm	CARGA STAND. kg/cm ²	IPK-LAB-004				IPK-LAB-005				IPK-LAB-006			
		CARGA		CORRECIÓN		CARGA		CORRECIÓN		CARGA		CORRECIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		194	194.0			152	152.0			90	90.0		
1.270		428	428.0			310	310.0			209	209.0		
1.905		662	662.0			150	450.0			283	283.0		
2.540	70.5	914	9914.0	918.9	63.2	606	606.0	597.5	41.1	359	359.0	352	24.2
3.175		1133	1133.0			750	750.0			434	434.0		
3.810		1372	1372.0			886	886.0			520	520.0		
4.445		1557	1557.0			1003	1003.0			594	594.0		
5.080	105.7	1722	1722.0	1727.5	79.2	1115	1115.0	1097.0	50.3	660	660.0	641.4	29.4
7.620		2372	2372.0			1471	1471.0			882	882.0		
10.160		2867	2867.0			1697	1697.0			1066	1066.0		
12.700		3210	2310.0			1804	1804.0			1256	1256.0		

Fuente: Los autores (2022).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

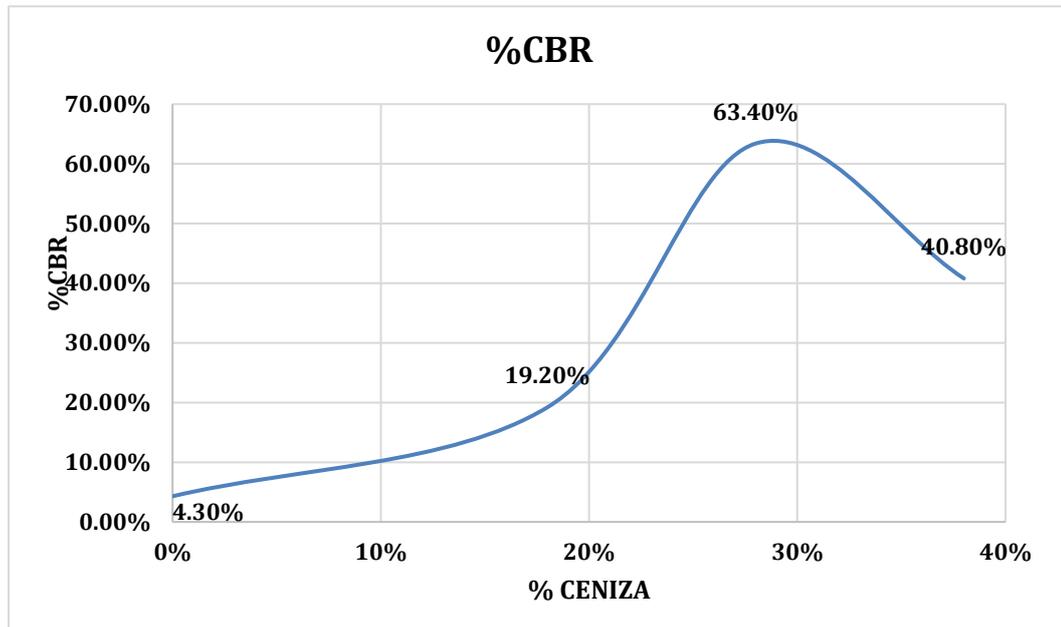
- CBR al 100% M.D.S. (%) : 63.2%
- CBR al 95% M.D.S. (%) : 40.8%

Se observa que el valor del CBR disminuye con respecto a la muestra anterior, sin embargo no deja de calificar como Subrasante Excelente ya que es mayor al 30%.

Una vez con los valores obtenidos, se puede representar la variación, un curva e histograma, del CBR, (ver Figura 96 y 97) entre el suelo arcilloso en condiciones normales y las muestras con incorporación de cal y cenizas.

Figura 96

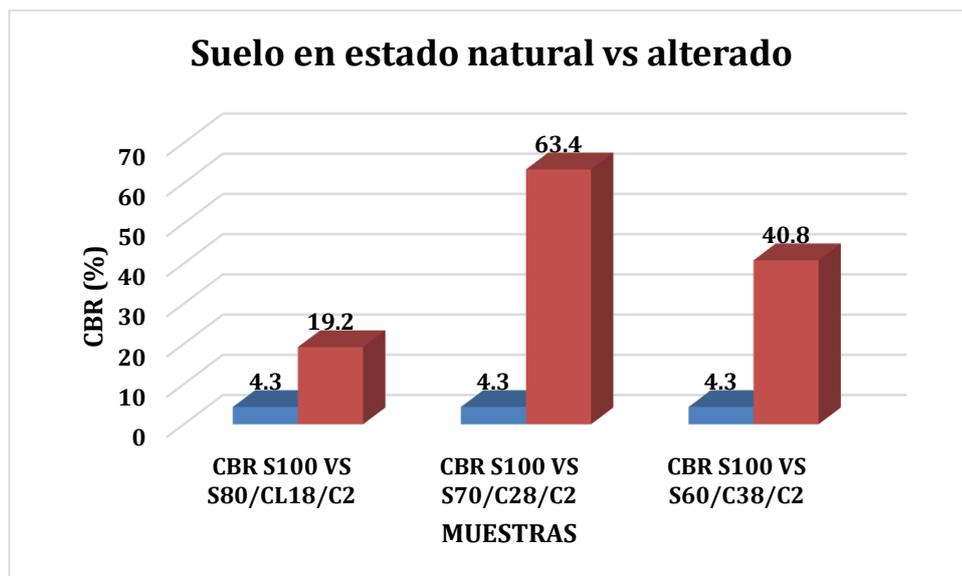
Gráfica Resultados CBR de muestras



Fuente: Los Autores (2022).

Figura 97

Histograma de CBR



Fuente: Los autores (2022).

5.3 Sobre la capacidad de soporte

Antes de realizar la adición de los agregados al suelo en estado natural, este estaba clasificado, según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como subrasante pobre e insuficiente, a partir de la adición de los materiales, se compara el incremento de estos valores.

5.3.1 Capacidad de soporte en suelo natural

Para el suelo en estado natural, se contaba con un CBR de 4.3%, clasificado como subrasante insuficiente según el Manual de Carreteras (Ver Tabla 42) esto se debe a la alta plasticidad del suelo arcilloso de la muestra. Estos suelos presentan problemas frecuentes como agrietamientos en sus pavimentos al no ser estabilizados o con el mantenimiento adecuado.

Tabla 42

Capacidad de soporte suelo arcilloso

Índice CBR	Subrasante	
	Valores	Categoría
4.3%	De CBR \geq 3% A CBR < 6%	Subrasante insuficiente

Fuente: Los autores (2022)

5.3.2 Capacidad de soporte mezcla S80%, CL18% y C2%

Para el caso del suelo adicionado con ceniza al 18% y cal al 2%, notamos un aumento en su índice de CBR, obteniendo una capacidad de soporte de 19.2%, encontrándose en el rango de 10% a 20%, clasificando como una subrasante buena (Ver Tabla 43), así mismo, se cuenta con una mejora en las propiedades físicas, ya que el índice de plasticidad se redujo a 11 respecto al 21 que tenía en suelo arcilloso en estado natural.

Tabla 43*Capacidad de soporte mezcla de S 80%, CL 18% y C2%*

Índice CBR	Subrasante	
	Valores	Categoría
19.2%	De CBR \geq 10% A CBR < 20%	Subrasante Buena

Fuente: Los autores (2022)

5.3.3 Capacidad de soporte mezcla S70%, CL28% y C2%

Para este caso, se tuvo un incremento considerable en cuanto al índice de CBR, el cual se incrementó al 63.4%, clasificando como subrasante excelente (Ver Tabla 44), esto también implicó una variación en su plasticidad, ya que no solo se mejoraron las propiedades físicas sino también mecánicas.

Tabla 44*Capacidad de soporte mezcla S70%, CL28% y C2%*

Índice CBR	Subrasante	
	Valores	Categoría
63.4%	CBR \geq 30%	Subrasante Excelente

Fuente: Los autores (2022)

5.3.4 Capacidad de soporte mezcla S60%, CL38% y C2%

En la siguiente mezcla, en la cual se añadió mayor cantidad de ceniza, se obtuvo una mejora de su capacidad de soporte reflejada en un CBR de 40.8%, el cual decayó en comparación de la mezcla anterior que no tenía tanto porcentaje de ceniza, sin embargo, sigue teniendo una clasificación de

subrasante excelente (Ver Tabla 45) respecto a la subrasante del suelo arcilloso en estado natural.

Respecto al índice de plasticidad, para esta mezcla no hubo presencia lo cual se puede indicar que ante mayor incorporación de ceniza y al no generar mayor capacidad de soporte, en este rango, la muestra empieza a actuar como relleno.

Tabla 45

Capacidad de soporte mezcla S70%, CL28% y C2%

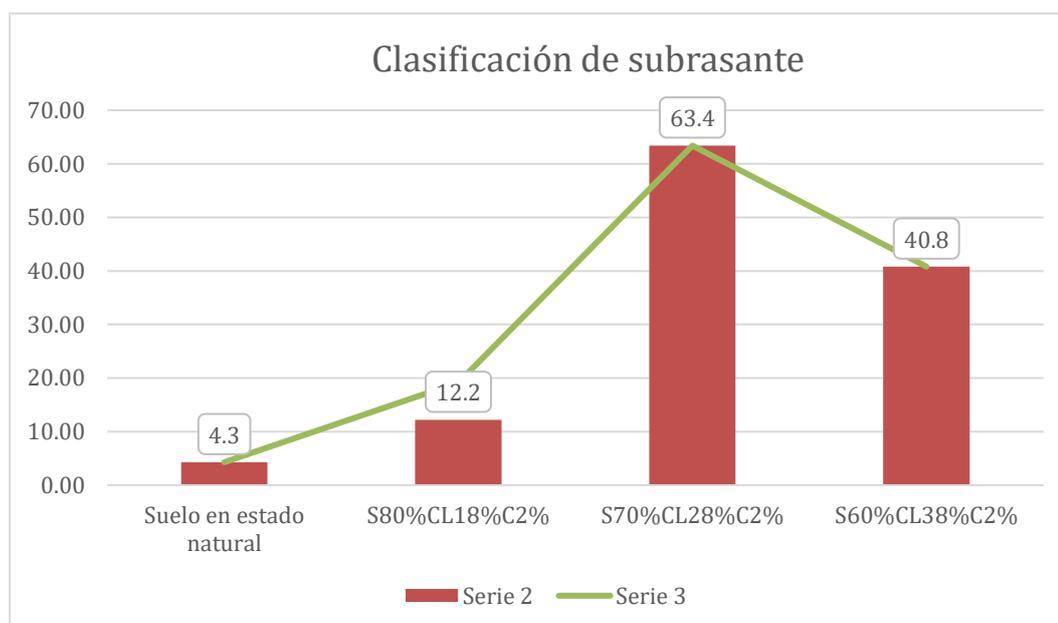
Índice CBR	Subrasante	
	Valores	Categoría
40.8%	CBR \geq 30%	Subrasante Excelente

Fuente: Los autores (2022)

A partir de los resultados, se elaboró el siguiente histograma para la comparación de los resultados. (Tabla 46)

Tabla 46

Histograma clasificación de subrasante



Fuente: Los autores (2022)

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis

6.1.1 Hipótesis general

HG: La incorporación de cal y cenizas influencia de manera favorable en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

Al evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural y con la incorporación de distintos porcentajes de cenizas y cal, se comprueba que la influencia de la incorporación de estos aditivos es favorable ya que mejora propiedades físicas como índice de plasticidad y mecánicas como capacidad de soporte, asimismo la subrasante adquiere una clasificación de excelente respecto a su clasificación inicial como pobre e insuficiente respecto a sus características.

En la Tabla 47 se detalla el proceso de contrastación de la hipótesis general, los métodos aplicados para llegar a dar solución, así como los resultados obtenidos a partir de ellos y observaciones que surgieron.

Tabla 47*Discusión de hipótesis general*

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
La incorporación de cal y cenizas influencia de manera favorable en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	Ensayo de Granulometría CBR Límites de Atterberg	En la evaluación de las propiedades físicas, se redujo el índice de plasticidad. Sobre las propiedades mecánicas, se aumentó la capacidad de soporte.	Se confirmó la hipótesis general, ya que, añadiendo cal y cenizas al suelo, se mejoraron las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso.

Fuente: Los autores (2022)

6.1.2 Hipótesis específicas

H1: La incorporación de cal y cenizas disminuye el índice de plasticidad en más del 10% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

Al realizar la evaluación de los ensayos de Límites de Atterberg, se comprobó que la adición de cenizas y cal disminuye el índice de plasticidad en más del 10% ya que con la primera mezcla (S80%/CL18%/C2%), se varió de 21 a 11 el índice de plasticidad y con las restantes (S70%/CL28%/C2% y S60%/CL38%/C2%) no se registra

presencia transformando el suelo de altamente arcilloso a uno no plástico, mejorando sus características para la construcción.

Además, producto de este resultado, podemos plantear una nueva hipótesis indicando que un suelo que presenta mayor porcentaje de arcilla tiene mayor porcentaje de plasticidad.

En la Tabla 48 se detalla el proceso de contrastación de la hipótesis general, los métodos aplicados para llegar a dar solución, así como los resultados obtenidos a partir de ellos y observaciones que surgieron.

Tabla 48

Discusión de hipótesis específica 1

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
La incorporación de cal y cenizas disminuye el índice de plasticidad en más del 10% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	Límites de Atterberg	En la evaluación de las propiedades físicas, se redujo el índice de plasticidad en un 10% con relación a la mezcla de S80%/CL18%/C2% y en más del 10% con la mezcla de S70%/CL28%/C2% ya que no hubo presencia de plasticidad.	Se confirmó la hipótesis específica 1, el índice de plasticidad varió de 21 a 11 con la mezcla de S80%/CL18%/C2% y no presentó plasticidad al añadir S70%/CL28%/C2% y S60%/CL38%/C2%. Podemos decir que, a mayor cantidad de arcilla, mayor plasticidad.

Fuente: Los autores (2022)

H2: La incorporación de cal y cenizas incrementa el índice de CBR en más del 30% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

Al realizar la evaluación de los ensayos de Proctor modificado y CBR, se comprobó que la adición de cenizas y cal incrementa el índice de CBR, no solamente en 30% sino que incrementó en un 59.10% adicionando 28% de ceniza y 2% de cal para un porcentaje de suelo arcilloso de 70%, obteniendo como resultado un CBR de 63.40% siendo el máximo índice obtenido.

En la Tabla 49 se detalla el proceso de contrastación de la hipótesis específica 2, los métodos aplicados para llegar a dar solución, así como los resultados obtenidos a partir de ellos y observaciones que surgieron.

Tabla 49

Discusión de hipótesis específica 2

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
La incorporación de cal y cenizas incrementa el índice de CBR en más del 30% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	Proctor modificado Ensayo de CBR	En la evaluación de las propiedades mecánicas se incrementó el índice de CBR a 19.20% con S80%/CL18%/C2%, 63.40% con S70%/CL28%/C2% siendo este su máximo porcentaje ya que al utilizar la mezcla de S60%/CL18%/C2% bajó a 40.80%	Se confirmó la hipótesis específica 2, ya que al realizar los ensayos de CBR al suelo en estado natural y con las 3 mezclas, se obtuvo un incremento de 59.10% respecto al mayor índice de CBR que fue de 63.40%

Fuente: Los autores (2022)

H3: La incorporación de cal y cenizas aumenta la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

Al evaluar las propiedades físicas con el ensayo de CBR, se incrementó este índice ya que inicialmente se tuvo un CBR de 4.3% del suelo en estado natural, siendo esto clasificado como subrasante pobre e insuficiente, y luego de incorporar 28% de cenizas y 2% de cal a un 70% de suelo arcilloso, se logró un CBR de 63.4%, clasificando, así como subrasante

excelente, lo cual valida la hipótesis específica 3, demostrando el incremento en la capacidad de soporte.

Producto de este resultado, podemos plantear también como nueva hipótesis que el aumento del índice de CBR de un suelo, reduce el porcentaje de expansión.

En la Tabla 50 se detalla lo indicado para contrastar la hipótesis.

Tabla 50
Discusión de hipótesis específica 3

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
La incorporación de cal y cenizas aumenta la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	Ensayo de CBR	Al adicionar S70%C28%/C2 % de cal al suelo arcilloso, se obtuvo un CBR de 63.4% respecto al 4.3% de CBR del suelo en condiciones naturales.	La variación de 59.1% del CBR del suelo en condiciones naturales (4.3%), clasifica a la subrasante como excelente, debido al incremento de su capacidad de soporte a 63.40%. Se puede observar que a mayor índice de CBR, menor porcentaje de expansión

Fuente: Los autores (2022)

6.2 Contratación de antecedentes

Se realizó la contratación de antecedentes, que fueron investigaciones que sirvieron como base para nuestra investigación, esto con el fin de comprobar la similitud de lo referenciado o dar como resultado nuevos alcances.

6.2.1 Antecedentes internacionales

Hasan, H. et al (2016), en su investigación: Remediation of Expansive Soils Using Agricultural Waste Bagasse Ash, Australia.

Métodos aplicados: Ensayo de CBR

Resultados obtenidos: La mezcla de 18.75% de ceniza de bagazo y 6.5% de cal dio como resultado un índice de CBR de 62.6% respecto al índice de CBR de 7.1% del suelo en estado natural.2.

Observaciones: Los resultados difieren ya que comprobamos que, con menor cantidad de cal, (2%), y, mayor cantidad de ceniza, logramos un mejor resultado que el obtenido por el autor, en este caso 63.4% para nuestra investigación

Castillo, B. (2017) en su investigación denominada Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores menores al 5% y límites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes en carreteras, Ecuador.

Métodos aplicados: Ensayo de CBR y Límites de Atterberg.

Resultados obtenidos: La mezcla de suelo con 20% y 16% de cal mejora el límite de plasticidad, reduciéndolo de un 118.13% a un valor del 0%.

Observaciones: Los resultados coinciden, ya que se comprueba que el uso de cal y cenizas, en la dosificación correcta, mejora el índice de plasticidad de un suelo arcilloso con un alto porcentaje de humedad reduciéndolo a 0%, en nuestro caso de 21% a NP.

6.2.2 Antecedente nacional

Huancoillo, Y. (2017), en su investigación denominada Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané-Chupa-Puno, Perú.

Métodos aplicados: Ensayo de CBR

Resultados obtenidos: La mezcla de suelo arcilloso con 5% de ceniza y 15% de cal, dieron como resultado un CBR de 123% respecto al índice de CBR de 20% del suelo en condiciones naturales.

Observaciones: Los resultados coinciden ya que, se comprueba que el uso de cal y cenizas en la dosificación correcta, mejora de la capacidad de soporte de un suelo arcilloso, al pasar de 20% a 123% en el índice de CBR y, al también se comprobó que mayor cantidad de ceniza, para una misma dosificación de cal, no necesariamente mejora el índice de CBR.

Gomez, D. & Gonzales, Y. (2020), en su investigación denominada Mejoramiento del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación AA.HH. Tahuantinsuyo, Nuevo Chimbote – Ancash - Perú, Perú.

Métodos aplicados: Ensayo de CBR, Límites de Atterberg

Resultados obtenidos: La mezcla de suelo con presencia de 10% de cenizas de cenizas de cascarilla de arroz, logra mejorar su CBR de 11.70% a 20.70%. En cuanto a los límites de Atterberg no se presentó resultado de índice de plasticidad debido al tipo de suelo de la zona A-3 (0).

Observaciones: Los resultados difieren ya que, se logra mejorar la capacidad de soporte, mas no el índice de plasticidad. Además, las

muestras no presentan el uso de cal en la mezcla, debido a las pocas bases nacionales existentes de mejora de suelos con subrasante y cal.

CONCLUSIONES

1. La incorporación de cal y cenizas mejora las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba reduciendo su índice de plasticidad y aumentando su capacidad de soporte.
2. Se ha reducido el índice de plasticidad de 21 a 11 con la adición de 18% de ceniza y 2% de cal de la mezcla 1, siendo una variación de 10%, que significa una mejora en las propiedades físicas al reducir las condiciones plásticas del suelo, comprobando que se cumple con el objetivo específico 1.
3. Se ha incrementado el índice de CBR de 4.3% en estado natural a 63.4% con la adición de 28% de ceniza y 2% de cal correspondiente a la mezcla 2, siendo una variación de 59.1%, lo cual significa que las propiedades mecánicas del suelo han mejorado al aumentar su capacidad de soporte, comprobando que se cumple con los objetivos específicos 2 y 3.
4. Al tener una variación del índice de CBR de 59.1% con la adición de 28% de ceniza y 2% de cal respecto al 4.3% de CBR del suelo en estado natural, se obtuvo una subrasante clasificada como excelente ($CBR_{\geq 30\%}$) logrando la mejora en la capacidad de soporte.
5. Al adicionar al suelo en estado natural, ceniza en el rango de 28%-38%, no se registra presencia de plasticidad, lo cual significa que, en este rango, la mezcla empieza a comportarse como material de relleno.

RECOMENDACIONES

1. Analizar el contenido de sulfatos de las distintas mezclas para comprobar la reactividad que posee al estar en contacto con el suelo, y las posibles incidencias en sus propiedades físicas y mecánicas.
2. Considerar rangos entre 25% a 30% de adición de cenizas ya que se ha demostrado que a mayor contenido de cenizas en el suelo (porcentaje mayor a 35%), este deja de brindar estabilidad, y se vuelve un material de relleno.
3. Implementar esta alternativa de estabilización de suelo para una futura pavimentación de la trocha AP-557 ya que se ha comprobado su factibilidad y se demuestra que es económicamente viable.
4. Incorporar este proyecto al Plan de Desarrollo Local Concertado de la Municipalidad de Talavera 2019-2028, para sus Proyectos priorizados en el marco del Programa Multianual de Inversiones.
5. Considerar los resultados de las dosificaciones óptimas en la normativa del Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para estabilización de suelos arcillosos, ya que se cuenta con validación interna por medio de ensayos y externa por especialistas.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Fuentes electrónicas:

Barragán, C. y Cuervo, H. (2019). *Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno-arcilloso*. [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena]

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6488/AN%C3%81LISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20FISICO-MECANICO%20DE%20LA%20ADICI%C3%93N%20DE%20CENIZA%20DE%20CASCARILLA%20DE%20ARROZ%20DE%20VARIEDAD%20BLANCO%20A%20UN%20SUELO%20ARENO%20ARCILLOSO%2010-10-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bueno, J. & Torre, H. (2019) *Mejoramiento de la estabilidad del suelo con cenizas de carbón con fines de pavimentación en el barrio del Pinar, Independencia, Huaraz, 2018*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40554>

Gomez, D. & Gonzáles, Y. (2020). *Mejoramiento del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación AA. HH. Tahuantinsuyo, Nuevo Chimbote-Ancash-2020*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57572>

Gonzales, F. (2018). *Análisis experimental de suelos estabilizados con ceniza volante, cemento y cal para subrasante mejorada de pavimentos en la ciudad de Puno*. [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2155>

Goñas, O. & Saldaña, J. (2020). Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. *Revistas Científicas UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589>

Mamani, L. & Yataco, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho*. [Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres]. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/3635>

Ingeniería Civil Info (2015). *Ingeniería Civil: Estructura de los minerales de Arcillas*. <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/estructura-de-los-minerales-de-arcilla.html>

Swisscontact. (2012). *Estudio de análisis de ciclo de vida de ladrillos y bloque de concreto San Jerónimo-Cusco*. https://www.academia.edu/24989427/ESTUDIO_DE_ANALISIS_DE_CICLO_DE_VIDA_DE_LADRILLOS_Y_BLOQUES_DE_CONCRETO_SAN_JERONIMO_CUSCO.

Humpiri, K. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la Región de Puno*. [Tesis de grado Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez] <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/426>

Morales, D. (2015). *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. [Tesis de grado, Universidad de Medellín]. Recuperado <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - 2014*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Durán, G (2016). *Mejoramiento de un suelo arcilloso con ceniza de madera: agregando valor a los residuos de la industria de ladrillos artesanales en el Perú*. Perú, Cuzco. Universidad San Antonio Abad del Cuzco. http://www.usmp.edu.pe/vision2018/pdf/materiales/Congreso_Ingenieria_20-Oct-16.pdf

Cubas, K, & Falen, J. (2016). *Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas*. Pimentel, Lambayeque -Peru: Universidad Señor de Sipan. <https://repositorio.uss.edu.pe//handle/20.500.12802/3134>

Perez, C. (2014). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada*. Lima -Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/589>

Vargas, B. (2020). *Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en el progresivo km 5+100 a 6+100 del tramo Asirumi – Rosaspata Huancané*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión].

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3487/Brayan_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Espinoza, A. & Velásquez, J. (2018). *Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza De Caña De Azúcar En El Tramo De Pinar-Marian, Distrito De Independencia 2018*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26696>

Cañar, E. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos y finos combinadas con cenizas de carbón*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. [dehttps://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25266/1/Tesis%201115%20-%20Ca%C3%B1ar%20Tiviano%20Edwin%20Santiago.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25266/1/Tesis%201115%20-%20Ca%C3%B1ar%20Tiviano%20Edwin%20Santiago.pdf)

Ochoa, S. (2019). *Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-Concreto Fino (partículas < 2mm) para aplicación en pavimentos*. [Tesis de grado, Universidad Federal de Integración Latino-Americana].

<https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/5903/Estudio%20Experimental%20sobre%20la%20Estabilizaci%C3%B3n%20de%20una%20Subrasante%20Limo%20Arcillosa...?sequence=1&isAllowed=y>

Municipalidad Distrital de Talavera. (2019). Plan de Desarrollo Local. Concertado 2019-2028.

https://www.munitalavera.gob.pe/images/Documentos/Otros/Plan_de_Desarrollo_Local_Concertado_Talavera_2019-2028.pdf

Hasan, H. et. al. (2016). Remediation of Expansive Soils Using Agricultural Waste Bagasse. *Procedia Engineering*, (143), 1368-1375.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.161>

Castillo, B. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores menores al 5% y límites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes en carreteras*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26917>

Huancoillo, Y. (2017). *Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané – Chupa – Puno*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6963>

ANEXOS

	MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TEMA:	INCORPORACIÓN DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS Y DEPARTAMENTO DE APURÍMAC					
ELABORADO POR:	Luyo Vargas Sayuri Tello Slee Grecia Jazmin					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	METODOLOGÍA
Problema central	Objetivo general	Hipotesis general	Variable independiente		DISEÑO	
¿Cuál es la influencia en la incorporación de cal y cenizas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?	Determinar la influencia en la incorporación de cal y cenizas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	La incorporación de cal y cenizas influencia de forma favorable en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	Cal	Tipo	Cal hidratada	Tipo de Investigación: Mixto
				Porcentaje óptimo del aditivo	2% cal	Nivel de Investigación: Explicativo
			Cenizas	Porcentaje óptimo del aditivo	M1 = 18% M2 = 28% M3 = 38%	Diseño de Investigación: Experimental
				Reacción en el suelo	Ensayo de sulfatos	MUESTRA La población está conformada por el centro poblado Chumbibamba, distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas y Departamento de Apurímac.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente			
¿En qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de plasticidad en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?	Determinar en qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de plasticidad en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	La incorporación de cal y cenizas disminuye el índice de plasticidad en más del 10% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac	Físicas y mecánicas	Caracterización del suelo	Granulometría de suelo arcilloso por tamizado	La muestra está compuesta por la trocha carrozable cuya denominación es AP-557.
					Límite líquido	
					Límite plástico	Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos: Ensayos de laboratorio (CBR, Proctor Modificado, Límites de Atterberg, Análisis químico y Granulometría)
					Índice de plasticidad Contenido de humedad	
¿En qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de CBR en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?	Determinar en qué medida incide la incorporación de cal y cenizas en el índice de CBR en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac	La incorporación de cal y cenizas incrementa el índice de CBR en más del 30% en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac	Físicas y mecánicas	Capacidad de soporte	Índice de % CBR > 6	PROCESAMIENTO DE DATOS
¿Cuál es la influencia de la incorporación de cal y cenizas para mejorar la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac?	Determinar la influencia de la incorporación de cal y cenizas para mejorar la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de la trocha AP-557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.	La incorporación de cal y cenizas aumenta la capacidad de soporte en las propiedades físicas y mecánicas en la subrasante de la trocha AP557 Chumbibamba, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac				Técnicas e Instrumentos de Procesamiento de datos: Cuadros comparativos de resultados, Análisis gráficos

Ensayo de Granulometría de suelo arcilloso en estado natural.



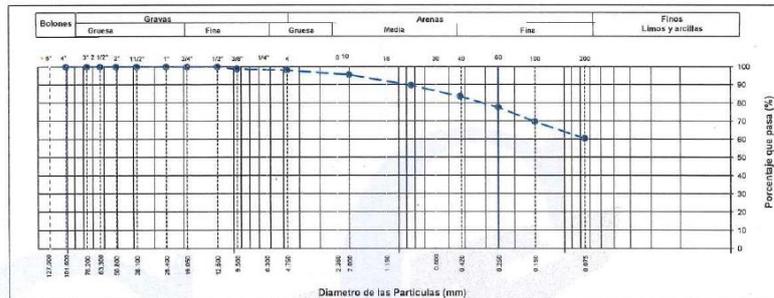
INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavín
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	Código	FRM_CyC_LEM_001
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	19/01/2022
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D-6913 / MTC E-107			
SOLICITANTE : LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA			
OBRA : INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP507 CHUMBAMBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUYTAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC			
UBICACIÓN : DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUYTAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC			
CANTERA : C-01, C-02, C-03			
PROGRESIVA : -			
MUESTRA : MATERIAL DE ARCILLA Fecha de ensayo: 03/05/2022			

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
5"	127.000	100.0		CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216) Contenido Humedad (%) 12.2 LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318) Límite Líquido (LL) 46 Límite Plástico (LP) 25 Índice Plástico (IP) 21 Grava (%) 1.9 Arena (%) 37.7 Finos (%) 60.5 CLASIFICACION DE SUELOS Clasificación SUCS (ASTM D2487) CL Clasificación AASHTO (D3282) A-7-6 (10) Nombre del Grupo Arcilla arenosa de baja plasticidad INDICACIONES: El método de secado para el ensayo de contenido de humedad fue en horno de laboratorio controlado a 110±5°C hasta masa constante.
4"	101.600	100.0		
3"	76.200	100.0		
2 1/2"	63.500	100.0		
2"	50.800	100.0		
1 1/2"	38.100	100.0		
1"	25.400	100.0		
3/4"	19.000	100.0		
1/2"	12.500	100.0		
3/8"	9.500	98.8		
Nº 4	4.750	98.2		
Nº 10	2.000	95.7		
Nº 20	0.840	89.8		
Nº 40	0.425	83.7		
Nº 60	0.250	77.8		
Nº 80	0.177	—		
Nº 100	0.150	69.8		
Nº 200	0.075	60.5		
< Nº 200	FONDO			

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: Victor Michael Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: Control de Calidad
--	---	---

Ensayo de Granulometría de ceniza.



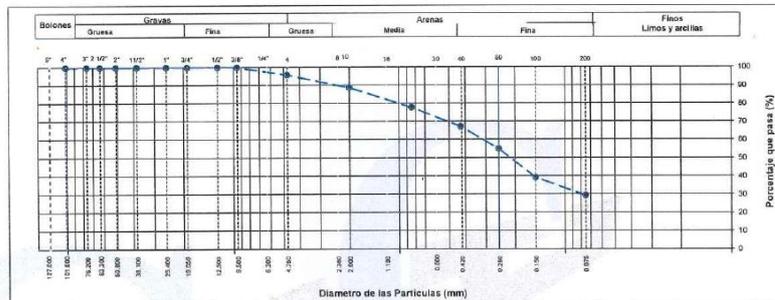
INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 93535636
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO CLASIFICACIÓN DE SUELOS	Código	FRM_CyC_LEM_001
		Revisión	0
		Aprobado	GA-CyC
		Fecha	10/01/2022
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D-6913 / MTC E-107			
SOLICITANTE OBRA	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GREDA INDORFORACION DE CAL Y CENZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBAMBIA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
UBICACIÓN CANTERA	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTHUANGA, TALAVERA		
PROGRESIVA MUESTRA	CENIZA Fecha de ensayo: 16/05/2022		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
5"	127.000	100.0		CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)
4"	101.600	100.0		Contenido Humedad (%) 1.6
3"	76.200	100.0		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)
2 1/2"	63.500	100.0		Limite Líquido (LL) N.P
2"	50.800	100.0		Limite Plástico (LP) N.P
1 1/2"	38.100	100.0		Indice Plástico (IP) N.P
1"	25.400	100.0		Grava (%) 66.4
3/4"	19.000	100.0		Arena (%) 29.6
1/2"	12.500	100.0		CLASIFICACIÓN DE SUELOS
3/8"	9.500	100.0		Clasificación SUCS (ASTM D2487) SM
Nº 4	4.750	95.9		Clasificación AASHTO (D3282) A-2-4 (0)
Nº 10	2.000	88.9		Nombre del Grupo Arena limosa con grava
Nº 20	0.840	77.9		INDICACIONES:
Nº 40	0.425	57.4		El método de secado para el ensayo de contenido de humedad fue en horno de laboratorio controlado a 110 ± 5°C hasta masa constante.
Nº 60	0.250	55.2		
Nº 80	0.177	55.2		
Nº 100	0.150	39.4		
Nº 200	0.075	29.5		
< Nº 200	FONDO			

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por: José Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: Víctor Manuel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD Vº Bº Controlador
---	---	---

Ensayo de contenido de sulfatos, ceniza en estado natural



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356387
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYO DE MATERIALES (LEM)	INFORME ENSAYO DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES, CLORUROS, SULFATOS y pH EN SUELOS Y AGREGADOS	Código	FRM_CyC_LEM_011
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 NTP 339.152/ NTP 339.177/ NTP 339.178/ NTP 339.176/ AASHTO T290/ AASHTO T291/MTC E-219

SOLICITANTE	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA
ATENCION	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA
PROYECTO	: INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC
UBICACION	: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC
CANTERA	: LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA
MUESTRA	: CENIZA
PROFUNDIDAD	: --

Fecha de ensayo: 23/04/2022

ENSAYOS	RESULTADOS		NORMA
	p.p.m.	%	
CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES	5583	0.558	MTC E-219
CONTENIDO DE CLORUROS			
CONTENIDO DE SULFATOS	1136	0.114	NTP 339.178
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	-	9.6	NTP 339.176

INDICACIONES:

* Durante la preparación, el material fue secado a temperatura ambiente (80°C).

OBSERVACIONES:

* Muestra provista e identificada por el solicitante.
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad

Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: Victor Miguel Zavateza Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad
--	--	---

Ensayo de contenido de sulfatos, suelo al S70%CL28%C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavín
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYO DE MATERIALES (LEM)	CERTIFICADO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES, SULFATOS, CLORUROS, Ph EN SUELOS Y AGREGADOS.	Código	FRM_CyC_LEM_011
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 NTP 339.152/ NTP 339.177/ NTP 339.178/ NTP 339.176/ AASHTO T290/ AASHTO T291/MTC E-219

SOLICITANTE	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA
PROYECTO	: INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC
UBICACIÓN	: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC
CANTERA	: C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA
MUESTRA	: MEZCLA DE ARCILLA 70%, CENIZA 28%, CAL 2%
PROFUNDIDAD	: -
Fecha de ensayo: 16/05/2022	

ENSAYOS	RESULTADOS		NORMA
	p.p.m.	%	
CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES	2436	0.244	MTC E-219
CONTENIDO DE CLORUROS	-	-	NTP 339.177
CONTENIDO DE SULFATOS	716	0.072	NTP 339.178
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)			NTP 339.178

INDICACIONES:

* Durante la preparación, el material fue secado a temperatura ambiente (60°C).

OBSERVACIONES:

* Muestra provista e identificada por el solicitante.

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad

Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD VºBº Control de Calidad
--	--	--

Límites de Atterberg. Muestra = Arcilla 100%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367

Calle Caraz Mz "C", Lote 6
Los Portales de Chavin
3ra Etapa - SMP - Lima

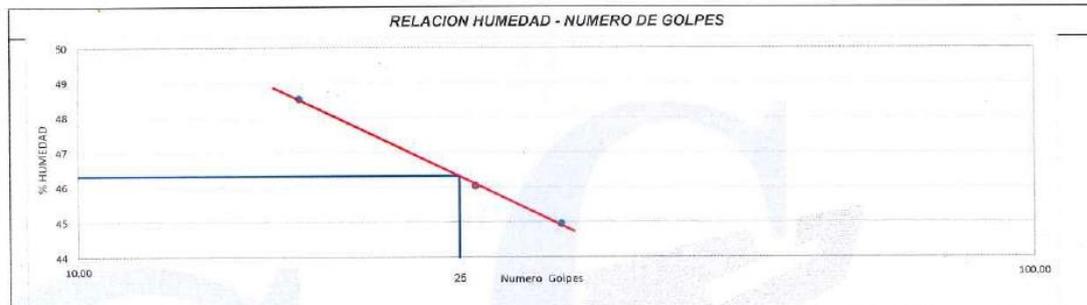
Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FRM_CyC_LEM_002
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			
SOLICITANTE	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA		
OBRA	: INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
UBICACIÓN	: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC		Fecha de ensayo: 03/05/2022
CANTERA	: C-01, C-02, C-03		
PROGRESIVA	: -		
MUESTRA	: MATERIAL DE ARCILLA		

DESCRIPCION	UNIDAD
Nro. de Recipiente	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gr.
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.
Peso de Recipiente (C)	gr.
Peso del Agua (A-B)	gr.
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	%
Nº De Golpes	

Material Pasante Tamiz Nº 40					
LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
2	33	20	32	5	
39.53	39.21	40.50	41.52	39.86	
36.19	36.24	37.11	39.35	37.68	
29.31	29.79	29.57	30.72	29.03	
3.34	2.97	3.39	2.17	2.18	
6.88	6.45	7.54	8.63	8.65	
48.55	46.05	44.96	25.14	25.20	
17.00	26.00	32.00			

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		INDICE PLASTICO
	LIQUIDO	PLASTICO	
	46.0	25.0	



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Control de Calidad

Límites de Atterberg. Muestra = Arcilla 80%18CL2%C



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavín
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FRM_CyC_LEM_002
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			
SOLICITANTE	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA		
OBRA	INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBAMBÁ, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
UBICACIÓN	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC		Fecha de ensayo: 17/05/2022
CANTERA	C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA		
PROGRESIVA			
MUESTRA	MEZCLA DE ARCILLA 80%, CENIZA 18%, CAL 2%		

DESCRIPCION	UNIDAD	Material Pasante Tamiz N° 40					
		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
Nro. de Recipiente		23	33	11	4	15	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gr.	42.89	43.45	45.08	47.99	34.37	
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.	39.16	39.35	40.33	45.62	33.27	
Peso de Recipiente (C)	gr.	30.23	29.80	29.68	38.24	29.79	
Peso del Agua (A-B)	gr.	3.73	4.10	4.75	2.34	1.10	
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.	8.93	9.55	10.65	7.38	3.48	
Contenido Humedad $W = \frac{(A-B)}{(B-C)} * 100$	%	41.77	42.93	44.60	31.71	31.61	
N° De Golpes		33	25	17			

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		INDICE PLASTICO
	LIQUIDO	PLASTICO	
	43.0	32.0	11.0



OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante.
- El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA
- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por: <i>Jose Luis Berru Ch.</i> Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: <i>Victor Daniel Zavaleta Cueva</i> Victor Daniel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD
---	---	--

Límites de Atterberg. Muestra = Arcilla 70%28CL2%C



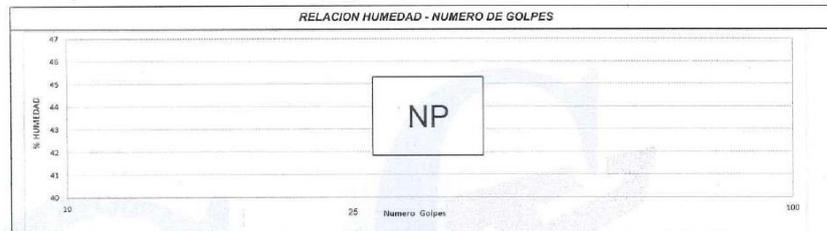
INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavín
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FRM_CyC_LEM_002
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			
SOLICITANTE OBRA	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA : INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP857 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
UBICACIÓN	: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC Fecha de ensayo: 17/05/2022		
CANTERA	: C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA		
PROGRESIVA	: -		
MUESTRA	: MEZCLA DE ARCILLA 70%, CENIZA 28%, CAL 2%		

DESCRIPCION	UNIDAD	Material Pasante Tamiz Nº 40	
		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
Nro. de Recipiente			
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gr.	NP	NP
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.		
Peso de Recipiente (C)	gr.		
Peso del Agua (A-B)	gr.		
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.		
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	%		
Nº De Golpes			

RESULTADOS OBTENIDOS	LIMITES DE CONSISTENCIA		INDICE PLASTICO
	LIQUIDO	PLASTICO	
		NP	



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: Víctor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD
---	---	--

Límites de Atterberg. Muestra = Arcilla 60%38CL2%C



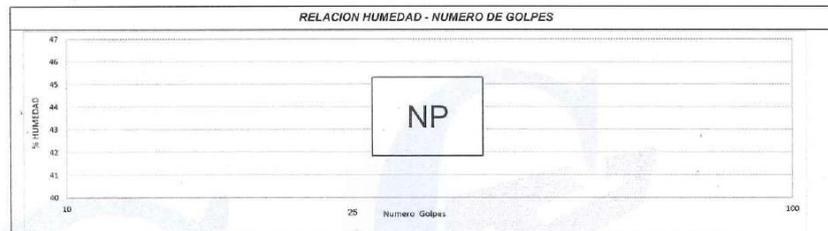
INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FRM_Cyc_LEM_002
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			
SOLICITANTE OBRA	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO S.LEE GRECIA : INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP57 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
UBICACIÓN CANTERA	: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC : C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA		Fecha de ensayo: 17/05/2022
PROGRESIVA MUESTRA	: MEZCLA DE ARCILLA 60%, CENIZA 38%, CAL 2%		

DESCRIPCION	UNIDAD	Material Pasante Tamiz Nº 40	
		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
Nro. de Recipiente		NP	NP
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gf.		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gf.		
Peso de Recipiente (C)	gf.		
Peso del Agua (A-B)	gf.		
Peso del Suelo Seco (B-C)	gf.		
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%		
Nº De Golpes			

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		INDICE PLASTICO
	LIQUIDO	PLASTICO	
		NP	



OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante.
- El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA
- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por: <i>Jose Luis Berru Ch.</i> Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: <i>Victor Michel Zavaleta Cueva</i> Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: <i>[Signature]</i> C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. VºBº CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad
--	---	--

Límites de Atterberg. Muestra = Ceniza 100%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavín
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA	Código	FRM_CyC_LEM_002
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS ASTM D4318 / MTC E - 110 / MTC E - 111			
SOLICITANTE OBRA	LUYO YARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
UBICACIÓN	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC Fecha de ensayo: 18/05/2022		
CANTERA	LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA		
PROGRESIVA			
MUESTRA	CENIZA		

DESCRIPCION	UNIDAD	Material Pasante Tamiz N° 40	
		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
Nro. de Recipiente		NP	NP
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	gr.		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	gr.		
Peso de Recipiente (C)	gr.		
Peso del Agua (A-B)	gr.		
Peso del Suelo Seco (B-C)	gr.		
Contenido Humedad $W=(A-B)/(B-C)*100$	%		
Nº De Golpes			

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
	LIQUIDO	PLÁSTICO	
	N.P	NP	



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * El contenido de humedad reportado corresponde a la humedad registrada a la llegada de la muestra al laboratorio de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA

Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos	Revisado por: Victor Michel Zavateza Cueva Ingeniero Civil CIP 95095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD VºBº
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad - GEOTECNIA

Proctor Modificado. Muestra = Arcilla 100%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO			Código	FRM_CyC_LEM_004
	RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557 / MTC E-209)			Revisión	0
				Aprobado	QA-CyC
				Fecha	10/01/2022
SOLICITANTE : LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA			FECHA MUESTREO : 6/05/2022		
PROYECTO : INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC			MUESTREADO POR : -		
UBICACIÓN : DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC			ENSAYADO POR : J. B. CH.		
CANTERA : C-01, C-02, C-03			TIPO DE MATERIAL : ARCILLA		
PROGRESIVA : -			FECHA : 7/05/2022		
MUESTRA : MATERIAL DE ARCILLA					
PROGRESIVA - NORTE: - ESTE: - COTA: -					
Preparación de la Muestra: 6000 g		Equipo de Compactación: Pisón 10 lb		N° de Capas: 5	
Clasificación del suelo ASTM D2487 : CL		Molde N°: -		N° de Golpes: 56	
		Volumen del Molde: 2121 cm³		Agua agregada, Total: -	
		Peso de Molde: 6169 g		Método Usado : C	
Peso Específico (ASTM C127):					
Determinación (Puntos)					
	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10193	10483	10452	10321
Peso de Molde	g	6169	6169	6169	6169
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	4024	4314	4283	4152
Volumen del Molde	cm³	2121	2121	2121	2121
Densidad Húmeda	g/cm³	1.897	2.034	2.019	1.958
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2531.0	2614.0	2584.0	2510.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2191.3	2224.9	2161.5	2067.2
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	339.7	389.1	422.5	442.8
Peso del Suelo Seco	g	2191.3	2224.9	2161.5	2067.2
Contenido de Agua	%	15.5	17.5	19.5	21.4
Peso Volumétrico Seco	g/cm³	1.643	1.731	1.689	1.612
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 65%;"> </div> <div style="width: 30%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>DATOS OBTENIDOS</p> <p>DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³) 1.732</p> <p>HUMEDAD ÓPTIMA % 17.7</p> <hr/> <p>CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³) -</p> <p>HUMEDAD ÓPTIMA % -</p> <hr/> <p>DATOS DE LA GRANULOMETRÍA</p> <p>Material > N° 4 : 53.9</p> <p>Material Fino < N° 4 : 36.1</p> </div> </div>					
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos		 Victor Miguel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos			
Jefe de Laboratorio		Ingeniero de Suelos y Pavimentos		Control de Calidad	

CBR. Muestra = Arcilla 100%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO						Código	FRM_CyC_LEM_006					
	RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E-132 / AASTHO T-193)						Revisión	0					
							Aprobado	QA-CyC					
							Fecha	10/01/2022					
							Página	1 de 2					
SOLICITANTE	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA						FECHA MUESTREO : 6/05/2022						
PROYECTO	INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC						MUESTRADO POR : -						
UBICACION	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC						ENSAYADO POR : J. B. CH.						
CANTERA	C-01, C-02, C-03						TIPO DE MATERIAL: ARCILLA						
PROGRESIVA	-						FECHA DE ENSAYO : 9/05/2022						
MUESTRA	MATERIAL DE ARCILLA												
PROGRESIVA:	-	NORTE:	-	ESTE:	-	COTA: -							
COMPACTACION													
Molde N°	001		002		003								
Capas N°	5		5		5								
Golpes por capa N°	56		26		10								
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso de molde + Suelo húmedo	12157.0	12400.0	11965.0	12255.0	11410.0	11734.0							
Peso de molde (g)	7825.0	7825.0	7837.0	7837.0	7489.0	7489.0							
Peso del suelo húmedo (g)	4332.0	4575.0	4128.0	4418.0	3921.0	4245.0							
Volumen del molde (cm³)	2125.0	2125.0	2128.0	2128.0	2135.0	2135.0							
Densidad húmeda (g/cm³)	2.039	2.153	1.940	2.076	1.837	1.988							
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-							
Peso suelo húmedo + tara (g)	2635.0	2608.0	2653.0	2235.0	2631.0	2352.0							
Peso suelo seco + tara (g)	2238.5	2091.0	2253.2	1764.0	2235.0	1830.0							
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
Peso de agua (g)	396.50	517.00	399.80	471.00	396.00	522.00							
Peso de suelo seco (g)	2238.50	2091.00	2253.20	1764.00	2235.00	1830.00							
Contenido de humedad (%)	17.7	24.7	17.7	26.7	17.7	28.5							
Densidad seca (g/cm³)	1.732	1.726	1.646	1.639	1.560	1.547							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
10/05/2022	11:40	24	202	5.131	4.4	266	7.264	6.3	360	9.652	8.4		
11/05/2022	11:46	48	207	5.258	4.6	290	7.366	6.4	366	9.804	8.5		
12/05/2022	11:52	72	214	5.436	4.7	295	7.493	6.5	391	9.931	8.6		
13/05/2022	11:58	96	218	5.537	4.8	298	7.569	6.6	396	10.058	8.7		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm²	IPK-LAB-001				IPK-LAB-002				IPK-LAB-003			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		26	28.0			13	13.0			9	9.0		
1.270		56	58.0			31	31.0			19	19.0		
1.905		80	80.0			47	47.0			26	26.0		
2.540	70.5	103	103.0	99.6	6.9	64	64.0	63.5	4.4	34	34.0	32.1	2.2
3.175		128	128.0			79	79.0			42	42.0		
3.810		149	149.0			94	94.0			49	49.0		
4.445		170	170.0			108	108.0			55	55.0		
5.080	105.7	190	190.0	184.8	8.5	120	120.0	119.1	5.5	62	62.0	60.1	2.8
7.620		257	257.0			164	164.0			85	85.0		
10.160		311	311.0			205	205.0			102	102.0		
12.700		361	361.0			238	238.0			119	119.0		
Elaborado por:		Revisado por:				Aprobado por:							
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos		 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos											
Jefe de Laboratorio		Ingeniero de Suelos y Pavimentos				Socio de Calidad							

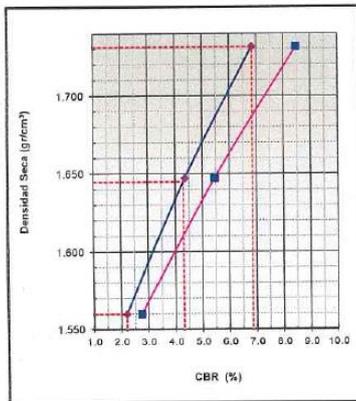
CBR. Muestra = Arcilla 100%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 998636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E- 132 / AASTHO T-193)	Código	FRM_CyC_LEM_006
		Revisión	0
		Aprobado	QA-CyC
		Fecha	10/01/2022
		Página	2 de 2
SOLICITANTE	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA	FECHA MUESTREO :	6/05/2022
PROYECTO	INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	MUESTRADO POR :	-
UBICACIÓN	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC	ENSAYADO POR :	J. B. CH.
CANTERA	C-01, C-02, C-03	TIPO DE MATERIAL:	ARCILLA
PROGRESIVA	-	FECHA DE ENSAYO :	9/05/2022
MUESTRA	MATERIAL DE ARCILLA		
PROGRESIVA:	-	NORTE:	-
		ESTE:	-
		COTA:	-

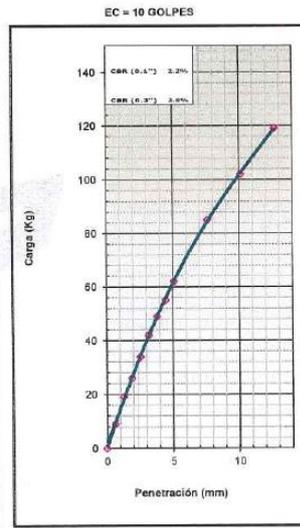
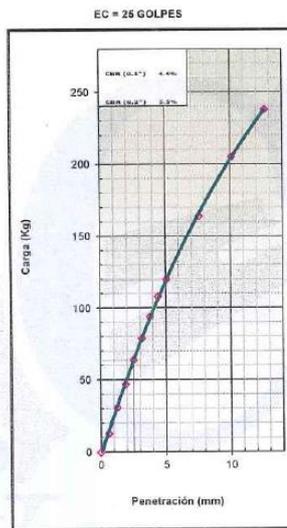
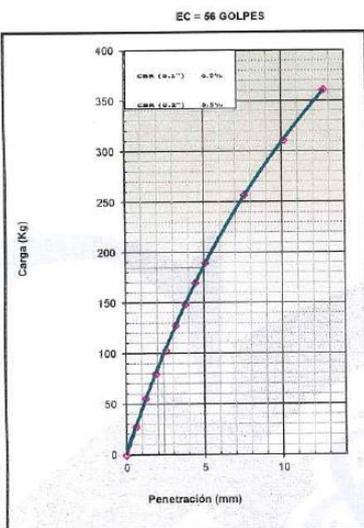


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.732
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 17.7
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.645

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	6.9	0.2":	8.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	4.3	0.2":	5.4

RESULTADOS:
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = **6.9** (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 4.3 (%)

OBSERVACIONES:
 MATERIAL MUESTREADO POR EL CLIENTE



Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio	Revisado por: Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. V°B° CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad
---	---	--

Proctor Modificado.Muestra = Arcilla 80%, Ceniza 18% y Cal 2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 93535636
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557 / MTC E-209)	Código	FRM_CyC_LEM_004		
		Revisión	0		
		Aprobado	QA-CyC		
		Fecha	10/01/2022		
SOLICITANTE	: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA	FECHA MUESTREO	: 6/05/2022		
PROYECTO	: INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	MUESTRADO POR	: -		
UBICACIÓN	: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC	ENSAYADO POR	: J. B. CH.		
CANTERA	: C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA	TIPO DE MATERIAL	: MEZCLA DE ARCILLA 80%, CENIZA 18%, CAL 2%		
PROGRESIVA	: -	FECHA	: 7/05/2022		
MUESTRA	: MEZCLA DE ARCILLA 80%, CENIZA 18%, CAL 2%				
PROGRESIVA	NORTE: - ESTE: - COTA: -				
Preparación de la Muestra:	6000 g	Equipo de Compactación:	Pisón 10 lb		
Clasificación del suelo ASTM D2487 :	CL	Molde N°:	-		
		Volumen del Molde:	2121 cm ³		
		Peso de Molde:	6169 g		
Peso Especifico (ASTM C127):		N° de Capas:	5		
		N° de Golpes:	56		
		Agua agregada, Total:	-		
		Método Usado :	C		
Determinación (Puntos)	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10253	10490	10550	10492
Peso de Molde	g	6169	6169	6169	6169
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	4084	4321	4381	4323
Volumen del Molde	cm ³	2121	2121	2121	2121
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.926	2.037	2.066	2.038
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2614.0	2531.0	2576.0	2561.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2272.7	2161.4	2164.5	2118.3
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	341.3	369.6	411.5	442.7
Peso del Suelo Seco	g	2272.7	2161.4	2164.5	2118.3
Contenido de Agua	%	15.0	17.1	19.0	20.9
Peso Volumétrico Seco	g/cm ³	1.674	1.740	1.736	1.696

CURVA DE COMPACTACIÓN

DATOS OBTENIDOS

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)

1.745

HUMEDAD ÓPTIMA %

17.9

CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)

-

HUMEDAD ÓPTIMA %

-

DATOS DE LA GRANULOMETRÍA

Material > N° 4: 63.9

Material Fino < N° 4: 36.1

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos	Revisado por: Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos	Aprobado por:
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E-132 / AASTHO T-193)						Código	FRM_CyC_LEM_006					
							Revisión	0					
							Aprobado	QA-CyC					
							Fecha	10/01/2022					
							Página	1 de 2					
SOLICITANTE : LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA						FECHA MUESTREO : 8/05/2022							
PROYECTO : INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC						MUESTREADO POR : -							
UBICACIÓN : DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC						ENSAYADO POR : J. B. CH.							
CANTERA : C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA						TIPO DE MATERIAL: MEZCLA							
PROGRESIVA : -						FECHA DE ENSAYO : 9/05/2022							
MUESTRA : MEZCLA DE ARCILLA 80%, CENIZA 18%, CAL 2%													
PROGRESIVA: - NORTE: - ESTE: - COTA: -													
COMPACTACION													
Molde N°	004		005		006								
Capas N°	5		5		5								
Golpes por capa N°	56		25		10								
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso de molde + Suelo húme	12330.0	12428.0	11804.0	11969.0	11668.0	11864.0							
Peso de molde (g)	7946.0	7946.0	7633.0	7633.0	7759.0	7759.0							
Peso del suelo húmedo (g)	4384.0	4482.0	4171.0	4336.0	3909.0	4105.0							
Volumen del molde (cm³)	2118.0	2118.0	2125.0	2125.0	2116.0	2116.0							
Densidad húmeda (g/cm³)	2.070	2.116	1.963	2.040	1.847	1.940							
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-							
Peso suelo húmedo + tara (g)	2561.0	2600.0	2633.0	2620.0	2741.0	2540.0							
Peso suelo seco + tara (g)	2171.8	2152.0	2232.6	2133.0	2324.0	2042.6							
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
Peso de agua (g)	389.23	448.00	400.36	487.00	416.98	497.40							
Peso de suelo seco (g)	2171.77	2152.00	2232.64	2133.00	2324.02	2042.60							
Contenido de humedad (%)	17.9	20.8	17.9	22.8	17.9	24.4							
Densidad seca (g/cm³)	1.755	1.752	1.664	1.661	1.566	1.560							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
10/05/2022	14:00	24	37	0.940	0.8	55	1.397	1.2	81	2.057	1.8		
11/05/2022	14:06	48	38	0.965	0.8	56	1.422	1.2	82	2.083	1.8		
12/05/2022	14:12	72	39	0.991	0.9	57	1.448	1.3	83	2.108	1.8		
13/05/2022	14:18	96	40	1.016	0.9	57	1.448	1.3	104	2.642	2.3		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	IPK-LAB-004				IPK-LAB-005				IPK-LAB-006			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		65	65.0			44	44.0			41	41.0		
1.270		161	161.0			122	122.0			95	95.0		
1.905		268	268.0			196	196.0			128	128.0		
2.540	70.5	364	364.0	377.1	25.9	267	267.0	275.5	19.0	163	163.0	159.7	11.0
3.175		438	438.0			330	330.0			197	197.0		
3.810		510	510.0			388	388.0			236	236.0		
4.445		569	569.0			434	434.0			269	269.0		
5.080	105.7	628	628.0	632.7	29.0	488	488.0	487.2	22.3	300	300.0	291.1	13.4
7.620		788	788.0			636	636.0			401	401.0		
10.160		891	891.0			754	754.0			484	484.0		
12.700		984	984.0			861	861.0			571	571.0		
Elaborado por:				Revisado por:				Aprobado por:					
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos				 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos				 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD V.B.					
Jefe de Laboratorio				Ingeniero de Suelos y Pavimentos				Control de Calidad					

.CBR. Muestra = Arcilla 80%, Ceniza 18% y Cal 2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)		INFORME DE ENSAYO RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E- 132 / AASTHO T-193)		Código	FRM_CyC_LEM_006										
				Revisión	0										
				Aprobado	QA-CyC										
				Fecha	10/01/2022										
				Página	2 de 2										
SOLICITANTE		LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA		FECHA MUESTREO :		6/05/2022									
PROYECTO		INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		MUESTRADO POR :		-									
UBICACION		DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC		ENSAYADO POR :		J. B. CH.									
CANTERA		C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTHUANCA, TALAVERA		TIPO DE MATERIAL:		MEZCLA									
PROGRESIVA		-		FECHA DE ENSAYO :		9/05/2022									
MUESTRA		MEZCLA DE ARCILLA 80%, CENIZA 18%, CAL 2%		NORTE:		-									
PROGRESIVA:		-		ESTE:		-									
				COTA:		-									
		METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) : 1,755 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 17,9 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) : 1,668		<table border="1"> <tr> <td>C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)</td> <td>0.1"</td> <td>25.9</td> <td>0.2"</td> <td>29.0</td> </tr> <tr> <td>C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)</td> <td>0.1"</td> <td>19.2</td> <td>0.2"</td> <td>22.6</td> </tr> </table>		C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	25.9	0.2"	29.0	C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	19.2	0.2"	22.6
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	25.9	0.2"	29.0											
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	19.2	0.2"	22.6											
		RESULTADOS: Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 25.9 (%) Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 19.2 (%)													
		OBSERVACIONES: MATERIAL MUESTREADO POR EL CLIENTE													
EC = 56 GOLPES 		EC = 28 GOLPES 		EC = 10 GOLPES 											
Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio		Revisado por: Victor Miguel Zavateza Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos		Aprobado por: Control de Calidad											

Proctor Modificado. Muestra = S70%,CL28%,C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO			Código	FRM_CyC_LEM_004
	RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD PROCTOR MODIFICADO			Revisión	0
	(ASTM D1557 / MTC E-209)			Aprobado	QA-CyC
				Fecha	10/01/2022
SOLICITANTE	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA			FECHA MUESTREO	12/05/2022
PROYECTO	INCORPORACION DE CAL Y CENZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP597 CHUBIBAMBAS, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUYAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC			MUESTRADO POR	-
UBICACIÓN	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUYAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC			ENSAYADO POR	J. B. CH.
CANTERA	C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTHUANCA, TALAVERA			TIPO DE MATERIAL	MEZCLA DE ARCILLA 70%, CENIZA 28%, CAL 2%
PROGRESIVA	-			FECHA	13/05/2022
MUESTRA	MEZCLA DE ARCILLA 70%, CENIZA 28%, CAL 2%				
PROGRESIVA	NORTE:	ESTE:	COTA:		
Preparación de la Muestra:	6000 g	Equipo de Compactación:	Pisón 10 lb	N° de Capas:	5
Clasificación del suelo ASTM D2487:	CL	Molde N°:	-	N° de Golpes:	56
		Volumen del Molde:	2113 cm³	Agua agregada, Total:	-
		Peso de Molde:	6202 g	Método Usado:	C
Peso Especifico (ASTM C127):					
Determinación (Puntos)	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10187	10288	10356	10400
Peso de Molde	g	6202	6202	6202	6202
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	3985	4086	4154	4198
Volumen del Molde	cm³	2113	2113	2113	2113
Densidad Húmeda	g/cm³	1.886	1.934	1.966	1.987
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2584.0	2654.0	2781.0	2599.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2238.7	2258.3	2328.7	2138.7
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	345.3	395.7	452.3	480.3
Peso del Suelo Seco	g	2238.7	2258.3	2328.7	2138.7
Contenido de Agua	%	15.4	17.5	19.4	21.5
Peso Volumétrico Seco	g/cm³	1.634	1.645	1.646	1.635
CURVA DE COMPACTACIÓN					
DATOS OBTENIDOS					
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)					
1.647					
HUMEDAD ÓPTIMA %					
18.6					
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)					
-					
HUMEDAD ÓPTIMA %					
-					
DATOS DE LA GRANULOMETRÍA					
Material > N° 4: 03.9					
Material Fino < N° 4: 36.1					
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos		 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos			
Jefe de Laboratorio		Ingeniero de Suelos y Pavimentos		Control de Calidad	

CBR Muestra= S70%CL28%C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavín
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO				Código	FRM_CyC_LEM_006							
	RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR				Revisión	0							
	(ASTM D-1883 / MTC E-132 / AASTHO T-193)				Aprobado	QA-CyC							
					Fecha	10/01/2022							
				Página	1 de 2								
SOLICITANTE	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA				FECHA MUESTREO :	12/03/2022							
PROYECTO	INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA APS57 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC				MUESTRADO POR :	-							
UBICACION	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC				ENSAYADO POR :	J. B. CH.							
CANTERA	C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA				TIPO DE MATERIAL:	MEZCLA							
PROGRESIVA					FECHA DE ENSAYO :	14/05/2022							
MUESTRA	MEZCLA DE ARCILLA 70%, CENIZA 28%, CAL 2%												
PROGRESIVA:	NORTE: -		ESTE: -		COTA: -								
COMPACTACION													
Molde N°	001		002		003								
Capas N°	5		5		5								
Golpes por capa N°	56		25		10								
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso de molde + Suelo húme	11821.0	11944.0	11233.0	11416.0	11401.0	11634.0							
Peso de molde (g)	7652.0	7662.0	7291.0	7291.0	7646.0	7646.0							
Peso del suelo húmedo (g)	4159.0	4282.0	3942.0	4125.0	3755.0	3988.0							
Volumen del molde (cm³)	2114.0	2114.0	2123.0	2123.0	2135.0	2135.0							
Densidad húmeda (g/cm³)	1.967	2.026	1.857	1.943	1.759	1.866							
Tara (N°)	-	-	-	-	-	-							
Peso suelo húmedo + tara (g)	2658.0	2561.0	2584.0	2658.0	2530.0	2811.0							
Peso suelo seco + tara (g)	2240.7	2097.6	2178.3	2139.9	2216.6	2225.3							
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
Peso de agua (g)	417.27	463.54	405.66	518.08	413.40	585.70							
Peso de suelo seco (g)	2240.73	2097.40	2178.34	2139.92	2216.00	2225.30							
Contenido de humedad (%)	18.6	22.1	18.6	24.2	18.7	26.3							
Densidad seca (g/cm³)	1.659	1.659	1.565	1.564	1.482	1.479							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
				mm	%	mm	%	mm	%	mm	%		
18/06/2022	14:00	24	1	0.025	0.0	3	0.076	0.1	9	0.229	0.2		
18/06/2022	14:06	48	1	0.025	0.0	4	0.102	0.1	10	0.254	0.2		
18/06/2022	14:12	72	2	0.051	0.0	5	0.127	0.1	11	0.279	0.2		
18/06/2022	14:18	96	2	0.051	0.0	5	0.127	0.1	12	0.305	0.3		
PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND.	IPK-LAB-001				IPK-LAB-002				IPK-LAB-003			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION				
mm	kg/cm²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		171	171.0			207	207.0			90	90.0		
1.270		429	429.0			445	445.0			226	226.0		
1.905		705	705.0			675	675.0			374	374.0		
2.540	70.5	1019	1019.0	1154.9	79.5	894	894.0	869.0	61.2	521	521.0	599.2	41.2
3.175		1293	1293.0			1112	1112.0			676	676.0		
3.810		1646	1646.0			1326	1326.0			843	843.0		
4.445		1955	1955.0			1504	1504.0			987	987.0		
5.080	105.7	2235	2235.0	2328.1	106.8	1710	1710.0	1655.1	75.9	1161	1161.0	1217.1	55.8
7.620		3269	3269.0			2248	2248.0			1747	1747.0		
10.180		4182	4182.0			2599	2599.0			2172	2172.0		
12.700		4749	4749.0			2820	2820.0			2457	2457.0		
Elaborado por:				Revisado por:				Aprobado por:					
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio				 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos				 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. V°B° CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad					

CBR. Muestra= S70%CL28%C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)		INFORME DE ENSAYO RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E-132 / AASTHO T-193)		Código	FRM_CyC_LEM_006										
				Revisión	0										
				Aprobado	QA-CyC										
				Fecha	10/01/2022										
				Página	2 de 2										
SOLICITANTE		: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA		FECHA MUESTREO		: 12/05/2022									
PROYECTO		: INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUYAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		MUESTRADO POR		: -									
UBICACION		: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUYAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC		ENSAYADO POR		: J. B. CH.									
CANTERA		: C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTHUANCA, TALAVERA		TIPO DE MATERIAL		: MEZCLA									
PROGRESIVA		: -		FECHA DE ENSAYO		: 14/05/2022									
MUESTRA		: MEZCLA DE ARCILLA 70%, CENIZA 28%, CAL 2%		PROGRESIVA		: - NORTE - ESTE - COTA -									
		METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.859 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 18.8 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.576		<table border="1"> <tr> <td>C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)</td> <td>0.1"</td> <td>79.5</td> <td>0.2"</td> <td>106.8</td> </tr> <tr> <td>C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)</td> <td>0.1"</td> <td>63.4</td> <td>0.2"</td> <td>78.9</td> </tr> </table>		C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	79.5	0.2"	106.8	C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	63.4	0.2"	78.9
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	79.5	0.2"	106.8											
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	63.4	0.2"	78.9											
		RESULTADOS: Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 79.5 (%) Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 63.4 (%)		OBSERVACIONES:											
		MATERIAL MUESTREADO POR EL CLIENTE													
EC = 56 GOLPES 		EC = 25 GOLPES 		EC = 10 GOLPES 											
Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio		Revisado por: Victor Michel Zavaleña Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos		Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad											

Proctor modificado. Muestra= S60%CL38%C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 993556367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557 / MTC E-209)			Código	FRM_CyC_LEM_004
				Revisión	0
				Aprobado	QA-CyC
				Fecha	10/01/2022
SOLICITANTE	LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA			FECHA MUESTREO	12/05/2022
PROYECTO	INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP57 CHALINBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUYAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC			MUESTRADO POR	-
UBICACIÓN	DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUYAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC			ENSAYADO POR	J. B. CH.
CANTERA	C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA			TIPO DE MATERIAL	MEZCLA DE ARCILLA 60%, CENIZA 38%, CAL 2%
PROGRESIVA	-			FECHA	13/05/2022
MUESTRA	MEZCLA DE ARCILLA 60%, CENIZA 38%, CAL 2%				
PROGRESIVA	NORTE:	ESTE:	COTA:		
Preparación de la Muestra:	8000 g	Equipo de Compactación:	Pisón 10 lb	N° de Capas:	5
Clasificación del suelo ASTM D2487:	CL	Moide N°:	-	N° de Golpes:	56
		Volumen del Molde:	2113 cm³	Agua agregada, Total:	-
		Peso de Molde:	6202 g	Método Usado:	C
Peso Especifico (ASTM C127):					
Determinación (Puntos)	N°	1	2	3	4
Peso de Suelo + Molde	g	10152	10240	10314	10367
Peso de Molde	g	6202	6202	6202	6202
Peso de Suelo Húmedo Compactado	g	3950	4038	4112	4165
Volumen del Molde	cm³	2113	2113	2113	2113
Densidad Húmeda	g/cm³	1.869	1.911	1.946	1.971
Tara (Recipiente)	N°				
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	2652.0	2513.0	2604.0	2712.0
Peso del Suelo Seco + Tara	g	2323.8	2166.0	2206.3	2258.1
Peso de Tara (Recipiente)	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Agua	g	328.2	347.0	397.7	453.9
Peso del Suelo Seco	g	2323.8	2166.0	2206.3	2258.1
Contenido de Agua	%	14.1	16.0	18.0	20.1
Peso Volumétrico Seco	g/cm³	1.638	1.647	1.649	1.641
CURVA DE COMPACTACIÓN 				DATOS OBTENIDOS DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³) 1.649 HUMEDAD ÓPTIMA % 17.4	
				CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³) - HUMEDAD ÓPTIMA % -	
OBSERVACIONES:				DATOS DE LA GRANULOMETRÍA Material > N° 4: 63.9 Material Fino < N° 4: 36.1	
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio		 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos		 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad	

CBR. Muestra= S60%CL38%C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chavin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)	INFORME DE ENSAYO RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E-132 / AASTHO T-193)						Código	FRM_CyC_LEM_006					
							Revisión	0					
							Aprobado	QA-CyC					
							Fecha	10/01/2022					
						Página	1 de 2						
SOLICITANTE : LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA							FECHA MUESTREO : 12/05/2022						
PROYECTO : INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC							MUESTRADO POR : -						
UBICACIÓN : DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC							ENSAYADO POR : J. B. CH.						
CANTERA : C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTIHUANCA, TALAVERA							TIPO DE MATERIAL: MEZCLA						
PROGRESIVA : -							FECHA DE ENSAYO : 14/05/2022						
MUESTRA : MEZCLA DE ARCILLA 60%, CENIZA 38%, CAL 2%													
PROGRESIVA: NORTE: ESTE: COTA: -													
COMPACTACION													
Molde Nº	004		005		006								
Capas Nº	5		5		5								
Golpes por capa Nº	56		25		10								
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso de molde + Suelo húme	11807.0	11934.0	11313.0	11453.0	11363.0	11560.0							
Peso de molde (g)	7642.0	7642.0	7390.0	7390.0	7641.0	7641.0							
Peso del suelo húmedo (g)	4165.0	4292.0	3933.0	4073.0	3722.0	3919.0							
Volumen del molde (cm³)	2141.0	2141.0	2126.0	2126.0	2117.0	2117.0							
Densidad húmeda (g/cm³)	1.945	2.005	1.850	1.916	1.758	1.851							
Tara (Nº)	-	-	-	-	-	-							
Peso suelo húmedo + tara (g)	2548.0	2596.0	2647.0	2695.0	2635.0	2832.0							
Peso suelo seco + tara (g)	2169.9	2141.5	2254.0	2206.5	2244.0	2130.0							
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
Peso de agua (g)	378.06	454.48	392.96	488.53	391.00	502.00							
Peso de suelo seco (g)	2169.94	2141.52	2254.04	2200.47	2244.00	2130.00							
Contenido de humedad (%)	17.4	21.2	17.4	22.1	17.4	23.6							
Densidad seca (g/cm³)	1.657	1.654	1.575	1.569	1.497	1.498							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION				
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%			
15/05/2022	14:00	24	1	0.025	0.0	5	0.127	0.1	81	2.057	1.8		
16/05/2022	14:05	48	2	0.051	0.0	6	0.152	0.1	82	2.083	1.8		
17/05/2022	14:12	72	2	0.051	0.0	7	0.178	0.2	83	2.108	1.8		
18/05/2022	14:18	96	3	0.076	0.1	7	0.178	0.2	16	0.406	0.4		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm²	IPK-LAB-004				IPK-LAB-005				IPK-LAB-006			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		194	194.0			152	152.0			90	90.0		
1.270		428	428.0			310	310.0			209	209.0		
1.905		662	662.0			450	450.0			283	283.0		
2.540	70.5	914	914.0	918.9	63.2	606	606.0	597.5	41.1	359	359.0	352.0	24.2
3.175		1133	1133.0			750	750.0			434	434.0		
3.810		1372	1372.0			896	896.0			520	520.0		
4.445		1557	1557.0			1003	1003.0			594	594.0		
5.080	105.7	1722	1722.0	1727.5	79.2	1115	1115.0	1097.0	50.3	690	690.0	641.4	29.4
7.620		2372	2372.0			1471	1471.0			882	882.0		
10.160		2867	2867.0			1697	1697.0			1066	1066.0		
12.700		3210	3210.0			1804	1804.0			1256	1256.0		
Elaborado por:				Revisado por:				Aprobado por:					
 Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio				 Victor Michel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos				 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD V03					

CBR. Muestra= S60%CL38%C2%



INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

01-4875842 / 996636128 / 935356367
 Calle Caraz Mz "C", Lote 6
 Los Portales de Chevin
 3ra Etapa - SMP - Lima
 Informescyc01@gmail.com

ENSAYOS DE MATERIALES (LEM)		INFORME DE ENSAYO RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (ASTM D-1883 / MTC E-132 / AASTHO T-193)		Código	FRM_CyC_LEM_006										
				Revisión	0										
				Aprobado	QA-CyC										
				Fecha	10/01/2022										
				Página	2 de 2										
SOLICITANTE		: LUYO VARGAS SAYURI / TELLO SLEE GRECIA		FECHA MUESTREO		: 12/05/2022									
PROYECTO		: INCORPORACION DE CAL Y CENIZAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA AP557 CHUMBIBAMBA, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		MUESTRADO POR		: -									
UBICACION		: DISTRITO DE TALAVERA - PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS - DEPARTAMENTO DE APURIMAC		ENSAYADO POR		: J. B. CH.									
CANTERA		: C-01, C-02, C-03 / LADRILLERA ARTESANAL DE LLANTHUANCA, TALAVERA		TIPO DE MATERIAL		: MEZCLA									
PROGRESIVA		: -		FECHA DE ENSAYO		: 14/05/2022									
MUESTRA		: MEZCLA DE ARCILLA 60%, CENIZA 38%, CAL 2%		PROGRESIVA:		: -									
PROGRESIVA:		NORTE:		ESTE:		COTA:									
<p>Densidad Seca (g/cm³) vs CBR (%)</p>		METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) : 1.657 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 17.4 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) : 1.574		<table border="1"> <tr> <td>C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)</td> <td>0.1":</td> <td>63.2</td> <td>0.2":</td> <td>79.2</td> </tr> <tr> <td>C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)</td> <td>0.1":</td> <td>40.8</td> <td>0.2":</td> <td>49.9</td> </tr> </table>		C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	63.2	0.2":	79.2	C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	40.8	0.2":	49.9
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	63.2	0.2":	79.2											
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	40.8	0.2":	49.9											
		RESULTADOS: Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 63.2 (%) Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 40.8 (%)													
		OBSERVACIONES:		MATERIAL MUESTREADO POR EL CLIENTE											
<p>EC = 56 GOLPES</p>		<p>EC = 25 GOLPES</p>		<p>EC = 10 GOLPES</p>											
Carga (Kg) vs Penetración (mm)		Carga (Kg) vs Penetración (mm)		Carga (Kg) vs Penetración (mm)											
Elaborado por: Jose Luis Berru Ch. Jefe de Laboratorio C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Jefe de Laboratorio		Revisado por: Victor Manuel Zavaleta Cueva Ingeniero Civil CIP 96095 C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA SAC Suelos Concretos y Pavimentos Ingeniero de Suelos y Pavimentos		Aprobado por: C&C INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad											