



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Diego Francisco Salazar Torres

Jose Enrique Vargas Salazar

Asesor:

Mg. Carlos Elder Rudecindo Calua Carrasco

<https://orcid.org/0000-0002-7791-0251>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	LIZBETH MILAGROS MERMA GALLARDO	40012838
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	HECTOR ARTURO CUADROS ROJAS	43275350
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	MARIO RENE CARRANZA LIZA	26602358
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a mis padres y familia que fueron un soporte para seguir en este camino, motivo esencial para seguir adelante y cumplir mis metas.

Salazar Torres, Diego Francisco

Esta investigación está dedicada a mis padres, hermanos y mis dos sobrinos, por ser mi apoyo, motivación y el motivo principal de no rendirme y poder lograr todas mis metas.

Vargas Salazar, José Enrique

AGRADECIMIENTO

Inicio agradeciendo a Dios por darme la vida y las nuevas oportunidades que vienen en un futuro, a mis padres y hermanos por el constante apoyo hacía mi persona para salir adelante y no bajar los brazos, a mi asesor por brindarme las enseñanzas y ayudarme a culminar de manera exitosa mi tesis, a mi compañero de tesis por el esfuerzo dedicado y el apoyo incondicional para poder lograr culminar de manera exitosa esta investigación.

José Enrique Vargas Salazar

Agradezco a mis padres y familiares por el infinito apoyo que me brindaron en este camino, así mismo, a mi asesor que nos brindó su tiempo para guiarnos en este proceso y a mi compañero por su compromiso interminable de concluir esta meta juntos.

Diego Francisco Salazar Torres

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad Problemática	16
1.2. Justificación	19
1.3. Formulación del problema	41
1.4. Objetivos	41
1.5. Hipótesis	42
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	43
CAPÍTULO III: RESULTADOS	62
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	140
REFERENCIAS	146
ANEXOS	150

Índice de tablas

Tabla 1 Proctor modificado (astm d1557, mtc e 115, ntp 339.141)	39
Tabla 2 Protocolos utilizados en los ensayos	46
Tabla 3 Calicata 1 W%	62
Tabla 4 Calicata 2 W%	62
Tabla 5 Calicata 3 E1 W%	62
Tabla 6 Calicata 3 E2 W%	63
Tabla 7 Granulometría de la calicata 1	64
Tabla 8 Granulometría de la calicata 2	65
Tabla 9 Granulometría de la calicata 3 estrato 1	66
Tabla 10 Granulometría de la calicata 3 estrato 2	67
Tabla 11 Granulometría de la calicata 1	69
Tabla 12 Granulometría de la calicata 2	70
Tabla 13 Granulometría de la calicata 3 estrato 1	71
Tabla 14 Granulometría de la calicata 3 estrato 2	72
Tabla 15 Límite líquido de la calicata 1	74
Tabla 16 Límite plástico de la calicata 1	74
Tabla 17 Límite líquido de la calicata 2	75
Tabla 18 Límite plástico de la calicata 2	75
Tabla 19 Límite líquido de la calicata 3 estrato 1	76
Tabla 20 Límite plástico de la calicata 3 estrato 1	76
Tabla 21 Límite líquido de la calicata 3 estrato 2	77
Tabla 22 Límite plástico de la calicata 3 estrato 2	77

Tabla 23 Peso específico de la calicata 1 piedra	79
Tabla 24 Peso específico de la calicata 2 piedra	79
Tabla 25 Peso específico de la calicata 3 estrato 1 piedra	79
Tabla 26 Peso específico de la calicata 3 estrato 2 piedra	79
Tabla 27 Proctor modificado calicata 1 (muestra patrón)	81
Tabla 28 Proctor modificado calicata 1 (+4% cal apagada)	82
Tabla 29 Proctor modificado calicata 1 (+6% cal apagada)	83
Tabla 30 Proctor modificado calicata 1 (+8% cal apagada)	84
Tabla 31 Proctor modificado calicata 1 (+4% cal viva)	86
Tabla 32 Proctor modificado calicata 1 (+6% cal viva)	87
Tabla 33 Proctor modificado calicata 1 (+8% cal viva)	88
Tabla 34 Proctor modificado calicata 2 (muestra patrón)	90
Tabla 35 Proctor modificado calicata 2 (+4% cal apagada)	91
Tabla 36 Proctor modificado calicata 2 (+6% cal apagada)	92
Tabla 37 Proctor modificado calicata 2 (+8% cal apagada)	93
Tabla 38 Proctor modificado calicata 2 (+4% cal viva)	95
Tabla 39 Proctor modificado calicata 2 (+6% cal viva)	96
Tabla 40 Proctor modificado calicata 2 (+8% cal viva)	97
Tabla 41 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (muestra patrón)	99
Tabla 42 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+4% cal apagada)	100
Tabla 43 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+6% cal apagada)	101
Tabla 44 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+8% cal apagada)	102
Tabla 45 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+4% cal viva)	104

Tabla 46 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+6% cal viva)	105
Tabla 47 Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+8% cal viva)	106
Tabla 48 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)	108
Tabla 49 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+4% cal apagada)	109
Tabla 50 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+6% cal apagada)	110
Tabla 51 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+8% cal apagada)	111
Tabla 52 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+4% cal viva)	113
Tabla 53 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+6% cal viva)	114
Tabla 54 Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+8% cal viva)	115
Tabla 55 CBR de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)	117
Tabla 56 Ensayo carga-penetración de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)	117
Tabla 57 CBR de la calicata 3 estrato 2 (+4% cal apagada)	119
Tabla 58 Ensayo carga-penetración de la calicata 3 estrato 2 (+4% de cal apagada)	119
Tabla 59 CBR de la calicata 3 estrato 2 (+4% cal viva)	121
Tabla 60 Ensayo carga-penetración de la calicata 3 estrato 2 (+4% de cal viva)	121
Tabla 61 Matriz de consistencia	150

Índice de figuras

Figura 1 Trocha carrozable	29
Figura 2 El ciclo de la cal	33
Figura 3 Cuadro de clasificación de suelo	41
Figura 4 Ubicación de la zona de trabajo	45
Figura 5 Procedimiento para la recolección de datos	46
Figura 6 Calicata n° 1	47
Figura 7 Calicata n° 2	48
Figura 8 Calicata n° 3	48
Figura 9 Calera phuyu yuraq	49
Figura 10 Procedimiento de análisis de datos	60
Figura 11 Promedio de contenido de humedad %	63
Figura 12 Curva granulométrica de la calicata 1	64
Figura 13 Curva granulométrica de la calicata 2	65
Figura 14 Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 1	66
Figura 15 Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 2	67
Figura 16 Resumen de gráficas de la granulometría de finos	68
Figura 17 Curva granulométrica de la calicata 1	69
Figura 18 Curva granulométrica de la calicata 2	70
Figura 19 Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 1	71
Figura 20 Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 2	72
Figura 21 Resumen de gráficas de la granulometría de gruesos	73
Figura 22 Gráfica del límite líquido de la calicata 1	74

Figura 23 Gráfica del límite líquido de la calicata 2	75
Figura 24 Gráfica del límite líquido de la calicata 3 estrato 1	76
Figura 25 Gráfica del límite líquido de la calicata 3 estrato 2	77
Figura 26 Índice de plasticidad %	78
Figura 27 Promedio del peso específico "us"	80
Figura 28 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 (muestra patrón)	81
Figura 29 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 + 4% cal apagada	82
Figura 30 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 + 6% cal apagada	83
Figura 31 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 + 8% cal apagada	84
Figura 32 Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 1 + cal apagada	85
Figura 33 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 + 4% cal viva	86
Figura 34 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 + 6% cal viva	87
Figura 35 Gráfica del proctor modificado de la calicata 1 + 8% cal viva	88
Figura 36 Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 1 + cal viva	89
Figura 37 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 (muestra patrón)	90
Figura 38 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 + 4% cal apagada	91
Figura 39 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 + 6% cal apagada	92
Figura 40 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 + 8% cal apagada	93
Figura 41 Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 2 + cal apagada	94
Figura 42 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 + 4% cal viva	95
Figura 43 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 + 6% cal viva	96
Figura 44 Gráfica del proctor modificado de la calicata 2 + 8% cal viva	97
Figura 45 Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 2 + cal viva	98

Figura 46	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (muestra patrón)	99
Figura 47	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 4% cal apagada	100
Figura 48	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 6% cal apagada	101
Figura 49	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 8% cal apagada	102
Figura 50	Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 3 estrato 1 + cal apagada	103
Figura 51	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 4% cal viva	104
Figura 52	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 6% cal viva	105
Figura 53	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 8% cal viva	106
Figura 54	Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 3 estrato 1 + cal viva	107
Figura 55	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)	108
Figura 56	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 4% cal apagada	109
Figura 57	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 6% cal apagada	110
Figura 58	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 8% cal apagada	111
Figura 59	Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 3 estrato 2 + cal apagada	112
Figura 60	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 4% cal viva	113
Figura 61	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 6% cal viva	114
Figura 62	Gráfica del proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 8% cal viva	115
Figura 63	Resumen de las gráficas del proctor de la calicata 3 estrato 2 + cal viva	116
Figura 64	Gráfica de la curva del esfuerzo-penetración de la calicata 3 estrato 2	118
Figura 65	Gráfica de la curva del esfuerzo-penetración de la calicata 3 estrato 2 +4% de cal apagada	120
Figura 66	Gráfica de la curva del esfuerzo-penetración de la calicata 3 estrato 2 +4% de cal viva	122

Figura 67 Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 1	123
Figura 68 Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 1	124
Figura 69 Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 2	125
Figura 70 Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 2	126
Figura 71 Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 3 estrato 1	127
Figura 72 Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 3 estrato 1	128
Figura 73 Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 3 estrato 2	129
Figura 74 Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 3 estrato 2	130
Figura 75 Densidad máxima seca obtenida en el cbr de la c3 e2 (100%)	131
Figura 76 Densidad máxima seca obtenida en el cbr de la c3 e2 (95%)	1316
Figura 77 Perfil estratigráfico de la calicata 1	133
Figura 78 Clasificación por AASHTO a la calicata 1 según la norma ASTM D3282	134
Figura 79 Perfil estratigráfico de la calicata 2	135
Figura 80 Clasificación por AASHTO a la calicata 2 según la norma ASTM D3282	136
Figura 81 Perfil estratigráfico de la calicata 3	137
Figura 82 Clasificación por AASHTO a la calicata 3 estrato 1 según la norma ASTM D3282	138
Figura 83 Clasificación por AASHTO a la calicata 3 estrato 2 según la norma ASTM D3282	139

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Porcentaje de humedad (w%)	50
Ecuación 2 Porcentaje retenido	52
Ecuación 3 Porcentaje retenido acumulado	52
Ecuación 4 Porcentaje que pasa	52
Ecuación 5 Cálculo del límite plástico	54
Ecuación 6 Cálculo del índice de plasticidad	54
Ecuación 7 Peso específico	55
Ecuación 8 Densidad húmeda	57
Ecuación 9 Densidad seca máxima	57
Ecuación 10 California bearing ratio (densidad húmeda)	59
Ecuación 11 California bearing ratio (densidad seca máxima)	59

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal el análisis del comportamiento de la cal viva y cal apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo – Otuzco, Cajamarca. Para poder realizar este análisis de estudio se tuvo como muestra un tramo de 400 m de la trocha carrozable en la cual se realizaron 3 calicatas cada 200 m para poder obtener material y ser llevado al laboratorio de la Universidad Privada del Norte para sus ensayos respectivos. La metodología que se utilizó para este estudio fue de tipo aplicada – experimental, dónde se realizaron ensayos de laboratorio tales como: contenido de humedad, granulometría, límites de atterberg, peso específico de sólidos, proctor modificado, CBR y clasificación de suelos por SUCS. Estos ensayos nos permitieron conocer el estado del suelo y las mejoras que nos proporcionan al adicionar la cal viva y apagada en un 4%, 6% y 8%. Realizando la adición de este material en los porcentajes anteriormente mencionados se llega a concluir que el suelo mejora su resistencia significativamente, mejora su densidad seca máxima de un 2.012 (Ds) a 2.037 (Ds) y aumenta sus propiedades relativamente, así mismo, el porcentaje más óptimo que se ha podido rescatar es el 8% tanto para la cal viva como para la cal apagada.

PALABRAS CLAVES: Estabilización, cal viva, cal apagada, trocha carrozable.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El suelo desde tiempos remotos viene siendo utilizado por los seres humanos, desde ser la materia prima para cultivos hasta la construcción de hogares y proyectos de ingeniería tales como elaboración de carreteras o vías. Pero en muchas ocasiones este material no presenta las mejores características para poder ser usado en este tipo de obras, esto se debe a que presentan una resistencia deficiente, sufren deformaciones, desgastes y al largo plazo se deterioran de manera negativa a causa de los agentes atmosféricos (Parra, 2018) Por tal motivo es imprescindible realizar procesos de modificación o adecuaciones las cuales permitan mejorar dichas características para mover al suelo óptimo y apto para su correcto uso (Rivera et. al., 2020). Estos procesos de estabilización constan de cierta manipulación o tratamiento que permiten sacar el máximo provecho de las cualidades del suelo de interés, obteniendo superficies más estables, firmes y capaces de soportar las condiciones más críticas ya sea de tránsito o climáticas (Parra, 2018).

La estabilización de suelos se define como el proceso en el cual se mejora sustancialmente las propiedades del suelo en cuestión, incrementa la capacidad de soporte o capacidad portante suelo en estudio, mejora la resistencia al corte, aumenta la resistencia al ablandamiento por acción del agua, proporciona estabilidad volumétrica ya que se minimiza la permeabilidad del agua, disminuye la plasticidad y aumenta el peso unitario de los suelos tratados (Rivera et. al., 2020). Cabe resaltar que existen diversos tipos de estabilización, entre estos se encuentran los de tipo física en donde se mezcla y se compacta el suelo de granulometría variada para lograr conseguir una cohesión entre las partículas, del mismo modo es importante hacer hincapié al hecho de que estabilización de suelos más simples que

se han implementado son la compactación y el drenaje de suelos; sin embargo, estas dos técnicas en algunos casos no son suficientes para lograr una buena estabilización de los terrenos, por lo que se recurre a la mejora de la gradación del tamaño de las partículas del suelo, siendo uno de los procesos de estabilización de suelos más utilizados, y se puede lograr agregando aglutinante (Makusa, 2013). Por otro lado, está la estabilización de tipo química, en la cual cambia la estructura interna del suelo mediante la adición proporcionada de materiales o diversas sustancias con las cuales mediante intercambios moleculares generan reacciones químicas, existen diversos tipos de materiales empleados, algunos de estos son: productos asfálticos, cloruros, polímeros y óxido de calcio (cal) (Parra, 2018).

En la etapa de proyecto de una vía (trocha carrozable), debe efectuarse teniendo muy en cuenta el cuidado del medio ambiente, sin embargo, algunos ingenieros se resisten a tal propósito y registran deficiencias en el diseño, que al final tales descuidos generan deterioro o destrucción de las vías. La construcción de carreteras, es tal vez una de las acciones de la humanidad moderna que más crea modificaciones en la superficie del suelo; los efectos naturales principalmente las precipitaciones pluviales son las que origina los problemas geotécnicos que afectan de manera negativa. Por lo que la construcción de carreteras, debe considerar en su concepción adoptar actividades que garanticen la conservación, reconstrucción y mitigación de las zonas afectadas. (Vilca & Calli, 2017)

En las zonas rurales de nuestro país, la mayoría de carreteras con $IMDA < 200$ Veh/Día han sido diseñadas con el Manual de Caminos vecinales desde el año 1978, y posteriormente con el manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen

de Tránsito versión 2005 y 2008. Ya en el año 2013 en adelante el Ministerio de Transportes y Comunicaciones emite normas de Diseño Geométrico de Carreteras, los cuales dejan de proponer parámetros de diseño geométrico para trochas carrozables, por ende, al momento de diseñar este tipo de carreteras no se tiene claro que criterios emplear ni que dimensiones mínimas tomar, por lo que mucho de los proyectos de carreteras rurales tienen un diseño incorrecto. (Romásn & Saldaña, 2018)

Esta realidad no es ajena a la ciudad de Cajamarca en donde se puede observar que las carreteras aledañas o trochas carrozables de la región no califican como caminos en los cuales los pobladores de la región puedan transportarse de una manera plena sin la gravedad de los problemas mencionados como baches, asentamientos, etc. Generados por diferentes factores como el mal diseño, filtración del agua o una no correcta estabilización del suelo lo cual desemboca a los problemas ya mencionados.

En Cajamarca los problemas que existen de transitabilidad tanto vehicular como peatonal son del día a día, y la gravedad de este problema aumenta en gran medida en las zonas alejadas donde existen trochas carrozables, esto se puede observar claramente en la trocha carrozable ubicada en Cerrillo - Otuzco, en esta zona se evidencia claramente la falta de mantenimiento y abandono de esta vía, generando así la creación de baches, acumulación de lodos y zonas intransitables las cuales llegan a perjudicar directa y drásticamente a la población.

Por otro lado, la gran variedad de suelos y su composición, hace que cada método de estabilización sea aplicable a un cierto número de ellos; por lo tanto, es necesaria la realización de un análisis para determinar cuáles son las características del material que se

requiere estabilizar para de esta manera poder buscar el método de tratamiento más adecuado. Desde este punto, es imprescindible realizar un estudio específico para la zona.

Justificación

Por esta razón, el fin de la presente investigación es realizar un análisis del comportamiento de la cal viva y cal apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo – Otuzco, siendo la cal un material muy importante y que ayuda de manera positiva en los mejoramientos de carreteras. Para seleccionar la zona de trabajo consideramos los puntos más críticos que se ven comúnmente en las trochas carrozables considerados como los baches, asentamientos e inestabilidad generados por las constantes lluvias durante los meses de diciembre a abril, parte de ello es que genera la incomodidad de transeúntes que frecuentan esta zona. Así mismo, se consideró que esta trocha mantiene un constante movimiento de vehículos por ser un acceso principal desde la ciudad de Cajamarca a la zona de Cerrillo, al realizar nuestro mapeo de IMD se pudo obtener que en la zona transitan 145 veh/día. (Ver anexos). Por lo cual nuestro estudio se centró en buscar mejoras para poder mitigar los problemas cotidianos que afrontan los pobladores de esta zona para así poder generar un crecimiento y bienestar social.

Esta constante búsqueda e investigaciones sobre la cal o agente estabilizador está presente alrededor del mundo, esto lo demuestra (Tique et. al., 2019), en su artículo denominado “Comparación del rendimiento de dos agentes químicos en la estabilización de un suelo arcilloso” en el cual realizaron una comparación del rendimiento de dos agentes químicos en la estabilización de un suelo arcilloso, el objetivo fundamental fue determinar el rendimiento del óxido de calcio o cal viva y el cloruro de sodio como agentes estabilizadores para el suelo en estudio. El criterio de mejora del terreno para esta investigación fue la disminución del IP,

debido a que más pequeño sea este valor mejor será el comportamiento del suelo, los agentes químicos que se utilizaron para reducir la plasticidad del suelo fueron el cloruro de sodio o sal común (grano fino) y el óxido de calcio (cal). Los agentes químicos se aplicaron de la siguiente manera, primero, el suelo se secó al sol por 24 horas, posteriormente se tamizó por la malla número 40 (4.25 mm de abertura). A continuación, el suelo se dividió en dos grupos, A y B. Cada grupo estaba compuesto de seis pares de muestras de 300 g de suelo cada una. Estas muestras se colocaron individualmente en vasos de aluminio de 1 litro de capacidad. A cada grupo se le adicionó con un solo agente estabilizador. El agente se agregó a cada par de muestras como un porcentaje de su peso seco (300 g). Los porcentajes utilizados de los agentes químicos en esta investigación fueron 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % y 16 %. Como resultados se observa que ambos agentes químicos redujeron el límite líquido en aproximadamente un 25 %. En cuanto al límite plástico (Ip), las muestras que experimentaron mayor reducción fueron las adicionadas con el CaO. El agente químico que demostró ser más eficaz para reducir el índice de plasticidad fue el NaCl, ya que fue capaz de reducir este parámetro en un 88.93 % con respecto a su valor inicial. En conclusión se demostró que para el suelo en estudio, la cantidad óptima de cada agente estabilizador es 8 %, sin embargo, la sal de mesa (NaCl) es el agente con mejores resultados, ya que para un mismo porcentaje óptimo (8% en peso seco de suelo) reduce el ip un 37 % más que la cal. Finalmente se estableció que la cal es uno de los agentes estabilizadores de mayor éxito a nivel mundial por su efectividad y gran manejabilidad, sin embargo, para el caso particular del suelo analizado en esta investigación el mejor agente estabilizador es la sal de mesa.

En Nicaragua, (Altamiran & Díaz, 2015), realizaron una investigación denominada “Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San

Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas”, el objetivo fue realizar la estabilización de las arcillas presentes en las vías de la comunidad con una mezcla de cal. La metodología utilizada constó de varias etapas, partiendo desde la recopilación, exploración y evaluación de los puntos, posteriormente se realizó la extracción y muestreo del suelo para poder realizar los análisis en laboratorio, seguidamente se realizó la estabilización de los suelos con cal y finalmente se analizaron e interpretaron los datos obtenidos. Los resultados obtenidos en laboratorio son los siguientes: se obtuvo que el suelo que predomina es un A-7-6 que según la normativa AASHTO son suelos con baja capacidad de carga y un alto índice de plasticidad, se propusieron dosificaciones de los cuales los porcentajes 3, 6, 9 y 12 fueron los que mayor cambio mostraron, al determinar las propiedades con estos porcentajes se obtuvo una mejora significativa en cuanto a la plasticidad, densidad de compactación; se aumentó la humedad requerida en este proceso debido a la reacción exotérmica producida entre la cal y la arcilla, se aumentó significativamente la capacidad de soporte del suelo. De los porcentajes anteriores se determinó que con 9% de cal se obtenían las mejores condiciones de suelo cumpliendo con la mayor parte de las propiedades propuestas. Como conclusión es evidente que no se llegó a cumplir a cabalidad con los estándares requeridos, sin embargo, se logró una mejora considerable en estas propiedades y tomando en cuenta que un proyecto vial de este tipo, no solo incluye la estabilización de una subrasante, puede ser aplicado siempre y cuando se tome en cuenta para diseñar el resto de la estructura del pavimento.

Parra (2018) realizó un estudio denominado “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante”, el cual tuvo como objetivo realizar la estabilización química de un suelo (caolín), mediante la adición de cal y ceniza en diferentes porcentajes para determinar la

dosificación óptima de estabilizante, por medio de la resistencia a la compresión y a la tracción. Inicialmente, para la investigación fue necesario consultar algunos conceptos y estado del arte, que permitió tomar como base algunos trabajos de grado (guardando cierta relación con el presente proyecto) realizados en diferentes universidades. Para la caracterización del caolín, se procedió a realizar ensayos de laboratorio consultados en la Norma INVIAS 2013 como Gravedad Específica, Proctor Estándar; realizada la caracterización, se establecieron las dosificaciones de cada material para luego agregarlas al suelo a estabilizar. Adquiridos los materiales y definidas las dosificaciones, se partió de los parámetros de humedad óptima y densidad seca máxima para calcular la masa necesaria según la dosificación requerida, seguidamente se realizó el mezclado en seco para proceder con la compactación. Finalmente se realizaron los ensayos de compresión y tracción. Como resultados se obtuvo que independientemente del porcentaje de adición de cal viva, fue notorio el aumento de la resistencia en dichos cuerpos de prueba, lo que permitió ratificar la versatilidad de este material en la estabilización de tipo química en los suelos con altos contenidos de arcilla, de igual forma, a tracción, la cal demostró un buen comportamiento mecánico especialmente para la adición del 8%, de acuerdo a esto, se puede concluir que, respecto a la muestra de control, la resistencia a la tracción aumentó, mejorando el comportamiento de la muestra. En cuanto al uso de la ceniza volante, no mostró un comportamiento tan satisfactorio en el ensayo a compresión, puesto que su deformación unitaria fue mayor comparada con la de la cal (9.8% ceniza volante y 5.7% cal), a tracción las muestras de ceniza volante, mostraron un esfuerzo máximo similar al obtenido con cal. En conclusión, la cal otorgó una mejor resistencia al caolín en lo referente a esfuerzos y deformaciones máximas, mientras que la ceniza no aportó una significativa mejora al suelo,

en términos generales tuvo un mejor comportamiento a tracción sin superar los resultados con cal.

Del mismo modo en Perú se realizó una investigación denominada “Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Desechos De Policloruro De Vinilo Y Cal En El Sector Vial De Huanchac – Ancash 2021”, en donde Huapaya y Villacaqui (2021) tuvieron como objetivo analizar el efecto de estabilidad del suelo arcilloso de baja capacidad portante a través de la utilización de desechos de policloruro de vinilo reciclados al 6%, 9% y cal 4% en el sector vial de Huanchac. El estudio fue de tipo cuantitativo y el diseño de investigación experimental ya que se obtuvo la muestra de la superficie a estabilizar y se analizó las capacidades con diferentes porcentajes de los aditivos de Policloruro de Vinilo y cal viva en Huanchac, posee dos variables, independiente y dependiente las cuales son el policloruro de vinilo y cal y la estabilización de suelos arcillosos respectivamente. La población está conformada por los suelos arcillosos de la carretera ubicados en la localidad de Huanchac con una longitud de 5.482 km, partiendo de este punto la muestra extraída es una fracción del tramo total desde el km 0+850 hasta 1+350. Los ensayos realizados a la muestra fueron granulometría, proctor modificado y el ensayo de CBR. Como resultado se obtuvo que con la adición de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal el suelo arcilloso logró estabilizarse, se logró un soporte al 95% de 18.63%, una densidad seca de 2.01 T/m³ con un óptimo contenido de humedad de 5.34% y reduciendo el índice de plasticidad (I.P.) de un 37.82% a 24.73%, de la misma manera se logró disminuir la expansión de un 0.206% a un 0.142%. Por lo tanto, se concluyó que estos aditivos empleados juntos ayudan a estabilizar mejor un suelo arcilloso para sus diferentes aplicaciones. (Huapaya & Villacaqui, 2021).

En Puno, Tique A. (2020), realizó una investigación titulada “Estabilización de suelos incorporando cal y aceites reciclados de vehículos motorizados en el tramo Collacachi–Inchupalla, Puno 2022”, en la cual se buscó mejorar la accesibilidad de las carreteras no pavimentadas, tuvo como objetivo determinar la estabilización de subrasante donde se incorporó cal y aceites reciclados de vehículos motorizados en el tramo Collacachi – Inchupalla, Puno 2022. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo de tipo aplicada, para el desarrollo de los objetivos se realizó los estudios previos para su análisis en laboratorio mediante calicatas tomadas del lugar in situ de la parte más representativa del tramo Collacachi – Inchupalla, seguidamente se procedió al análisis en laboratorio de acuerdo a las normas establecidas en la Norma Técnica Peruana E050 (2018) Suelos y cimentaciones. La población de estudio es la carretera conformada por el tramo entre Collacachi – Inchupalla, la muestra es un tramo de 2 km del tramo Collacachi – Inchupalla el cual es el tramo más crítico a nivel de fallas presentadas por la población. Los ensayos realizados son contenido de humedad, análisis granulométrico, peso específico, límites de plasticidad, clasificación de suelos SUCS y ASSHTO, Proctor modificado, CBR y método estándar para contenido óptimo de cal mediante el PH. Los resultados que obtuvieron fueron primeramente el valor CBR de la sub rasante el cual indica que es un suelo pobre y requiere ser mejorado puesto que con la muestra se obtuvo un valor de CBR al 95% de densidad máxima seca con un valor de 5.2% para el cual el MTC indica que debe ser mayor a 6%. que la subrasante tenía presencia de arcilla arenosa de baja plasticidad, esta se estabilizó mediante la incorporación de cal y aceites reciclados respectivamente, además se determinó que el contenido óptimo de incorporación de la cal es de un 6% y de aceite en un 3% respectivamente, mejorando un 6.8% las condiciones del suelo, con esto lograron aumentar la capacidad de soporte CBR

para 95% de densidad máxima seca a un 12%. Como conclusión la incorporación más adecuada para la estabilización de la subrasante en el tramo Collacachi – Inchupalla, Puno 2022 es con la dosificación de 6% de cal y 3% de aceites reciclados añadiendo propiedades hidrofóbicas al suelo estabilizado.

(Martin & Morales, 2019) en su estudio titulado “Análisis comparativo entre los aditivos oxido de calcio y cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de suelos arcillosos – Huánuco 2019”, buscó comparar mediante ensayos de laboratorio, los métodos de estabilización química del suelo, esto adicionando cloruro de sodio y oxido de calcio respectivamente en la subrasante de un suelo arcilloso. El objetivo principal del estudio fue determinar la influencia del aditivo óxido de calcio en la comparación al cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en suelos arcillosos – Huánuco 2019. El estudio fue de tipo experimental, se midió el efecto de los dos tipos de aditivos químicos estabilizantes de la subrasante en el suelo arcilloso. Como población se estipula por el suelo arcilloso, por otro lado, la muestra dio como resultado que es un método no probabilístico puesto que los modelos estudiados son elegidos a criterio personal. Finalmente se logró conocer la influencia de la adición de cloruro de sodio y el óxido de calcio en la California Bearing Ratio (CBR), después de ser estabilizado con diferentes porcentajes de cloruro de sodio 4%, 6%, 8% y oxido de calcio 4%, 6%, 8% a finalizar se obtuvo características químicas más favorables para uso en la ingeniería. Como resultado se obtuvo que la variación de índice de plasticidad fue disminuyendo al incorporar mayor porcentaje de cloruro de sodio (sin cloruro de sodio 12.9%, añadiendo el 4% resultado 9.1%, añadiendo el 6% resultado 6.4% y por último añadiendo el 8% resultado 2.3%). Así mismo sucedió al añadir óxido de calcio el índice de plasticidad fue disminuyendo (añadiendo el 4% resultado 8.7%, añadiendo el 6% resultado 7% y

por último añadiendo un 8% resulto 1.9%). Se observó que el suelo estabilizado con óxido de calcio tiene valores más bajos en los Límites Atterberg que el suelo estabilizado con Cloruro de sodio. La relación de la densidad y el contenido de humedad de la muestra indica que mientras más se utilice el Cloruro de Sodio en la estabilización se aumenta su densidad y requiere menor agua para su compactación y mientras más se utilice la Cal en la estabilización se disminuye su densidad y requiere mayor agua para su compactación. En conclusión, el aditivo estabilizante con óxido de calcio al 8% demostró tener mejor comportamiento que el porcentaje óptimo de Cloruro de Sodio, en todo su análisis el óxido de calcio demostró cumplir casi con todos los parámetros.

En la ciudad de Trujillo una investigación realizada por Abanto y Salinas, titulada “Análisis de la estabilización de subrasantes con uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal en el Perú”, tuvo como objetivo general realizar el análisis de la estabilización de subrasantes con el uso de Ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal en el Perú. La investigación fue de tipo aplicada, debido a que se empleó conocimientos y reglamentos ya definidos, y un diseño no experimental transversal, se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico por juicio de experto para un mejor nivel de estudio, esta técnica permite seleccionar basándose únicamente en el conocimiento y la credibilidad del investigador, el tamaño de la muestra son 50 artículos y tesis relacionados con la estabilización de subrasantes, la técnica de recolección de datos es el análisis documental en la cual se utiliza libros, normas técnicas, manuales entre otros para desarrollar la investigación, el instrumento de recolección de datos son las fichas resumen y el análisis de datos se realiza mediante estadística descriptiva. . Como resultado se obtuvo que se analizó la estabilización de subrasantes con ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal teniendo como % óptimo de adición

entre un 15 y 20% y un 4 y 6% respectivamente para un suelo tipo CL, se observó que ambos tipos de materiales logran mejoras en las subrasantes convirtiéndolas de una subrasante muy mala a una regular o buena, finalmente se obtuvo que el mayor número de estudios revisados el mayor índice analizado es el suelo tipo CL. (2021).

En la ciudad de Cajamarca Tantaquilla y Valdivia realizaron una investigación titulada “Comparación entre las influencias de cal hidratada y aditivo Quim kd-40 para estabilización de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco-Cajabamba 2019”, esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia que tiene la cal hidratada y el aditivo Quim kd-40 para la estabilización de suelos como capa subrasante en pavimentos flexibles en el tramo Chaquilbamba-Habas Horco en la carretera Huamachuco- Cajabamba. El diseño de la investigación fue experimental puesto que se manipularon variables y datos que mejoraron sus propiedades. La población en esta investigación fue la carretera en estudio Chaquilbamba – Habas, la muestra es no probabilística en la cual se tomó las progresivas del km 21 al km 25. La unidad de estudio fueron los especímenes del suelo con adición de cal hidratada y con adición del aditivo por ende se realizó un total de 8 calicatas a lo largo de 4km de la carretera para extraer las muestras. Los ensayos realizados fueron contenidos de humedad, clasificación ASSHTO, análisis granulométrico, límites de plasticidad, proctor modificado, y el ensayo de CBR, Como resultados principales obtuvieron que en la adición de 2% y 4% de cal mejora significativamente las propiedades físicas del suelo, esto es un CBR de 16.91% y 31.11% respectivamente. Se concluyó que al adicionar 4% de cal mejora significativamente las propiedades físicas del suelo. (2019).

De lo anteriormente descrito se puede determinar que en general las propiedades y características de la superficie terrestre son en su mayoría deficiente o no cumple con los parámetros mínimos para su utilización, en el Perú existen diversas características geológicas, diferentes tipos de superficies, relieves abruptos y el clima es muy variado, estas debido a las actividades de la cordillera de los andes. Del mismo modo, en la zona de la sierra la mayoría de las superficies geológicas sobresalientes localizadas en el área son básicamente superficies arcillosas y al impregnarse muestra alteraciones en su volumen que le origina desequilibrio, asimismo tienen una capacidad portante baja y deficiente, por lo que no es posible su uso en la capa sub rasante en asfaltados (Huapaya & Villacaqui, 2021).

Trocha Carrozable

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (Manual de carreteras: diseño geométrico DG - 2018, 2018)

Figura 1

Trocha carrozable



Nota. Se muestra la trocha carrozable de Cerrillo-Otuzco, Cajamarca. Fuente: Propia

Suelo

El suelo es como una mezcla de varios minerales meteorizados y de materia orgánica en descomposición, este se encuentra en una capa delgada que cubre la corteza terrestre la cual tiene su origen en la descomposición de las rocas debido a la acción de los agentes del intemperismo (Tique et. al, 2019). El suelo contiene grandes cantidades de agua y aire que sirven de sustento y soportes a los seres vivos como plantas, animales y demás organismos

(Chocontá, 2020). Además, Gómez (2018) señala que, desde la perspectiva de la ingeniería civil, el suelo se define como un material no consolidado compuesto por partículas líquidas, sólidas y vacíos que ocupan espacio entre ellas.

El suelo es considerado como el material de construcción más antiguo y complejo utilizado por los ingenieros, siendo las propiedades fisicoquímicas y mecánicas, tales como la compresibilidad, resistencia, permeabilidad, estabilidad volumétrica y durabilidad, de gran importancia en la ingeniería, ya que prácticamente todas las estructuras civiles están cimentadas sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Por otro lado, el suelo no solo es un elemento de soporte de las construcciones civiles, sino que también brinda innumerable materia prima para la fabricación de elementos de mampostería y la construcción de estructuras. Rivera et. al., afirman que el problema radica cuando dicho suelo no cumple con los parámetros y especificaciones necesarias requeridas para la correcta elaboración de la construcción, tal es el caso de la mayoría de proyectos viales (2020).

Estabilización del suelo

La estabilización del suelo es un concepto en el cual se aplica una serie de métodos físicos y químicos para permitir el mejoramiento de una muestra de suelo, esto se logra el uso adecuado de este. En el contexto de vías o carreteras, la estabilización incluye aquellos métodos que permitan mejorar suelos para proporcionar o generar capas que sirvan a una estructura de pavimento, como pueden ser bases, capas de rodadura, sub bases y sub rasantes, llevándolas a condiciones óptimas de humedad y densidad que provean mejores propiedades en cuanto a durabilidad, economía y resistencia (Parra, 2018).

La estabilización físico-química. Esta realiza en suelos con gran cantidad de finos plásticos, como limos y arcillas. Si el suelo es tratado con hidróxido de calcio (cal), produce en la masa de suelo resultante un intercambio iónico y cementación, con este tipo de estabilización se busca reducir la plasticidad del suelo, aumentar su resistencia, trabajabilidad y estabilidad volumétrica (Linares, 2019).

Propiedades de los suelos utilizados en carreteras.

Las propiedades de los suelos que se desean estabilizar deben ser previamente establecidas para obtener un buen resultado al momento de obtener una mejora de estas propiedades, estas son:

Resistencia: Es una propiedad que se hace necesaria aumentar para lograr mayor cohesión entre las partículas del suelo, con la adición de cementantes o la compactación de tipo mecánica, vibratoria, por carga o estabilización química (cal), para evitar asentamientos en el caso de suelos cohesivos (arcillas), se aumenta la resistencia evitando la entrada de humedad en las partículas con la adición de cementantes que, modifiquen la película de agua entre granos o partículas (Fontalvo et. al.,2006)

Compresibilidad: En esta propiedad se debe tener mucho cuidado, puesto que si no es controlada genera otros daños en el suelo que hacen que no sea apto para el uso; Dicho de otra manera, las fuerzas entre partículas se vuelven débiles lo que provoca desplazamientos o expansiones (Parra, 2018).

Permeabilidad: La permeabilidad se define como la propiedad que tienen los suelos de permitir el paso de un fluido a través de ellos, sin alterar las propiedades existentes.

Teniendo en cuenta esto, es importante que el agua que fluya sobre el suelo tenga un buen medio filtrante para evitar daños el comportamiento del suelo (Frankie, 2013)

Retracción y expansión: Estas dos propiedades se deben tener en cuenta ya que se producen por los cambios de humedad en el suelo, por ende, la formación de grietas u otros fallos, es importante tener un contenido óptimo de material plástico como la arcilla para evitar estas propiedades (Parra, 2018).

Durabilidad: Propiedad de los suelos que se refiere a la resistencia que tenga a procesos de erosión o absorción de cargas por tráfico. En vías, para evitar problemas de durabilidad, se deben construir las diferentes capas con sus respectivos espesores para evitar que se afecten tanto los materiales naturales como los estabilizados (Fontalvo et. al.,2006).

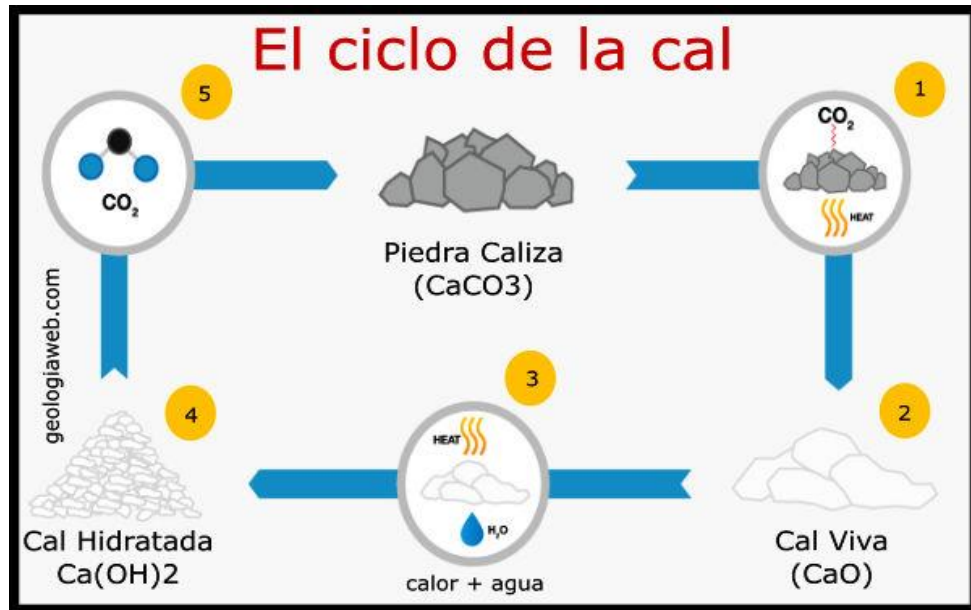
Uso de la cal como estabilizante del suelo

¿Qué es la cal?:

El CaO (Óxido de calcio) es un producto derivado de la piedra caliza (materia prima), aquella que se somete a un proceso de descomposición térmica a grandes temperaturas para obtener como producto final dos tipos de cal, cuya principal diferencia reside en la hidratación o no del producto. El primer tipo se denomina óxido de calcio (CaO) o “cal viva” es un tipo de cal no hidratada la cual genera una reacción exotérmica en el momento en que se combina con agua alcanzando temperaturas superiores a los 80° C. El segundo tipo es el hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) o “cal muerta o apagada” y a diferencia del CaO no presenta la reacción exotérmica. (Amaya, Botero, & Efrain, 2018)

Figura 2

El ciclo de la cal



Nota. La figura muestra el ciclo de la cal. Fuente: Google Imágenes.

Tipos de cal

Como se ha comentado líneas arriba la cal es uno de los materiales más utilizados en la estabilización de suelos. Se puede usar en diferentes formas dependiendo del tipo de aplicación; la cal viva, por ejemplo, se utiliza en ocasiones como desecante de suelos muy húmedos; la cal hidratada para estabilización de suelos arcillosos de grano fino. Al aplicar la cal a suelos arcillosos inmediatamente sus partículas pierden poder de cohesión transformando al suelo plástico en un material más granular (Rivera et. al., 2020).

Cal viva: La cal viva se obtiene de la calcinación, al desprender dióxido de carbono, se convierte en óxido de calcio (CaO), cuando se le añade agua se obtiene el mortero de cal para realizar tareas de estabilización. Algunas de las ventajas de este tipo de material son lo económico, pues al existir cantidad de este material se reducen costos por traslado, su

almacenamiento se requiere menor volumen disponible, tiene buen comportamiento en temporadas de lluvia ya que disminuye la expansividad de suelos arcillosos. Por otro lado, una en cuanto a desventajas, la hidratación requiere un cuidado especial y existen problemas de seguridad durante la aplicación (Parra M. , 2018), además este producto es considerado altamente reactivo al punto que de no tenerla bien almacenada es capaz de absorber el vapor del agua.

Cal apagada: Este tipo de cal posee un componente principal de hidróxido de cal proveniente de la reacción del óxido de calcio con el agua. Las ventajas que posee son que tiene facilidad de aplicación, tiene mayor efectividad en suelos con poca humedad. En cuanto a desventajas, se genera polvo a la hora de la aplicación, mayor costo de traslado debido a su peso volumétrico, la dosificación se pierde en lugares con mucho viento pues se pierde material o contenido de agua, el proceso de hidratación es más caro ya que la mayoría de las veces se realiza en plantas especializadas (Parra M. , 2018).

La cal es una buena opción para modificar las propiedades del suelo, esto pues puede modificar casi todos los suelos finos. Sin embargo, Linares (2019), señala que, es importante recalcar que la mejora más acentuada se produce en suelos arcillosos con plasticidad de moderada a alta.

Efectos que produce la adición de cal en los suelos

Cuando se agrega cal a un suelo arcilloso, las propiedades físicas de este se alteran, obteniendo una mejora considerable en la plasticidad, trabajabilidad y en las características de resistencia, deformación por tensión y fatiga. Estos cambios dependerán de varios factores, entre ellos: el tipo de suelo, tipo y contenido de cal, energía de compactación,

período y condiciones de curado (Moncaleano, 2021), los efectos que sufren los suelos adicionados con cal son:

Secado del suelo: Este secado sucede al momento de usar el óxido de calcio la presencia de agua provoca una reacción exotérmica (generación de calor), esta evapora la humedad contenida en el suelo generando el secado. Cuando el suelo tiene alto contenido de arcilla se acelera mejorando la capacidad portante del suelo en cuestión. Por otro lado, en el caso de cal hidratada o cal apagada, el secado ocurre por cambios químicos del suelo que reducen la capacidad de este para retener agua, aumentando significativamente la estabilidad del suelo. (Parra M. , 2018).

Modificación interna del suelo: Luego de la mezcla inicial, los iones de hidróxido de calcio migran hacia las partículas arcillosas para desplazar el agua, convirtiendo al suelo en una masa más fácil de compactar y trabajar, ya que el índice de plasticidad disminuye drásticamente reduciendo fenómenos de hinchamiento y contracción (Parra M. , 2018).

El índice de plasticidad es propiedad que ocasiona que algunos suelos cambien su consistencia en función de su contenido de humedad, es decir, cuando los suelos arcillosos están secos muestran gran resistencia y muy poca deformabilidad, pero al humedecerse pierden gran parte de su resistencia volviéndose suelos muy compresibles. El parámetro que permite cuantificar la plasticidad en los suelos es el índice de plasticidad (IP); esta se define como la diferencia entre el límite líquido (contenido de agua en porcentaje para el cual un suelo pasa de un estado plástico a líquido) y el límite plástico (contenido de agua en porcentaje para el cual un suelo pasa de un estado semisólido a plástico). En general, se

considera que cuando el (IP) es mayor a 18 se presenta inestabilidad volumétrica en las arcillas (Tique et. al, 2019).

Como bien se ha explicado, la cal modifica la plasticidad de los suelos, por lo que para suelos con índices de plasticidad menores a 15, el límite líquido sufre un incremento no tan significativo por la cal. Pero, por otro lado, para suelos con Índice de plasticidad (IP) mayor a 15, la cal disminuye el límite líquido y aumenta el (LP), por consiguiente, disminuyendo el (IP). Parra afirma que esto genera que exista una ganancia progresiva de resistencia a la compresión, una barrera resistente al agua, reducción de agrietamientos debido a la expansión, etc (2018).

Estabilización del suelo: La estabilización se produce al añadir la cantidad adecuada de cal para aumentar el pH del suelo y hacerlo alcalino con el fin de romper las partículas de arcilla. Para estimar la cantidad adecuada se requiere realizar ensayos de laboratorio para obtener el porcentaje óptimo de cal el cual generar hidratos de calcio y aluminio produciendo el material cementante. Al producirse la reacción de cal y agua el suelo disminuye su permeabilidad y aumenta la capacidad de carga en pocas horas formando finalmente una capa estructural fuerte y flexible (Parra M. , 2018). Favoreciendo la formación de aluminatos de calcio y silicatos (responsables de la resistencia y unión de partículas).

Densidad seca del suelo: La compactación de suelo con cal disminuye la densidad seca de este, esto se debe a que se incrementa la resistencia del suelo. Esto quiere decir que, al existir un agente químico en suelo natural, se produce un nuevo material con propiedades físicas y químicas diferentes, lo que conlleva a que la propia densidad máxima alcanzada tenga una mayor y mejor resistencia que un suelo original ya compactado (Parra M. , 2018).

Resistencia del suelo: Con una correcta dosificación de cal aumenta la resistencia del suelo, esto se debe a que se produce un efecto cementante que permite la unión entre granos del suelo, arcillas y cal; es importante hacer hincapié en que este efecto no es inmediato, sino que se va dando a medida que avanza el periodo de curado del suelo. Esto se sabe con la aplicación del ensayo de CBR (Parra M. , 2018).

Ensayos de laboratorio

MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo

El contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada en porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. El peso del agua es considerado cómo la pérdida del peso debido al secado.

Una referencia normativa es la ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock. (MTC, 2017)

MTC E 107 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Este modo operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200). Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

Tiene como objeto determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo, una referencia normativa es la ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils. (MTC, 2017)

MTC E 111 Determinación Del Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas existentes de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de los suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en grupo, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Tiene como objetivo determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

Cómo referencia se tiene NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos. (MTC, 2017)

MTC E 113 Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

La gravedad específica de los sólidos de suelo es usada en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación, así mismo, se usa para calcular la densidad de los sólidos de suelo. Esto se logra del producto de su gravedad específica por la densidad de agua (a una temperatura apropiada).

Tiene cómo referencia a la norma NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo. (MTC, 2017)

MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación utilizados en laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)).

Tiene como objeto establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)), como referencias normativas tenemos la NTP 339.141 y ASTM D1557. (MTC, 2017)

Se proporciona tres métodos alternativos, el método a utilizar debe ser indicado en las especificaciones del material que será ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material. (MTC, 2017)

Tabla 1

Proctor Modificado (ASTM D1557, MTC E 115, NTP 339.141)

TIPO	A	B	C
MOLDE (Diam.)	4" (101.6 mm)	4" (101.6 mm)	6" (152.4 mm)
MATERIAL	PASANTE POR EL TAMIZ 4.75 mm (N° 4)	PASANTE POR EL TAMIZ 9.5 mm (3/8")	PASANTE POR EL TAMIZ 19.0 mm (3/4")
N° CAPAS	5	5	5
GOLPES POR CAPA	25	25	56

Nota. MTC (2017).

MTC E 132 CBR DE SUELOS (LABORATORIO)

Este método de ensayo se usa para evaluar y analizar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales que fueron reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible. Este índice es utilizado para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

Tiene como objeto describir el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio), una referencia normativa es la ASTM D 1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. (MTC, 2017)

ASTM D3282 Clasificación por AASHTO

La práctica descrita clasifica suelos de cualquier ubicación geográfica en grupos según los resultados de las pruebas obtenidas en laboratorio prescritas para determinar la característica de tamaño de partícula, límite líquido e índice de plasticidad.

La asignación de un símbolo e índice de un grupo se utiliza para ayudar en la evaluación de las propiedades significativas del suelo para carreteras y aeródromos.

Las diferentes agrupaciones de este sistema de clasificación se correlacionan de manera general con el comportamiento de ingeniería de suelos. Además, de manera general, el comportamiento técnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo. Por lo tanto,

esta práctica facilita un primer paso útil en cualquier investigación de campo o laboratorio con fines de ingeniería geotécnica. (ASTM, 2019)

Figura 3

Cuadro de clasificación de suelo

General Classification	Granular Materials (35 % or less passing No. 200)						Silt-Clay Materials (More than 35 % passing No. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, % passing:											
No. 10 (2.00 mm)	50 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 µm)	30 max	50 max	51 min	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 µm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 µm):											
Liquid limit	...	...	...	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	...	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min ⁴
Usual types of significant constituent materials	Stone Fragments, Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General rating as subgrade	Excellent to Good						Fair to Poor				

Nota. Criterios para la clasificación de suelos según AASHTO. Fuente: ASTM, 2019.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento de la cal viva y apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo – Otuzco, Cajamarca 2023?

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Analizar el comportamiento de la cal viva y apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo – Otuzco.

Objetivos Específicos

- Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de atterberg, peso específico, proctor modificado y CBR.
- Clasificar el tipo de suelo por método AASHTO de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco.

- Determinar la variación de la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad del suelo en estudio cuando se le adiciona cal viva y apagada al 4%, 6% y 8%.
- Determinar el porcentaje de CBR agregando cal viva y apagada a la calicata más crítica según los resultados obtenidos en el Proctor.
- Determinar la mejor opción a utilizar entre la cal viva y la cal apagada comparando los resultados más óptimos.

1.4. Hipótesis

Hipótesis General

- El comportamiento de la cal viva mejora la estabilización en un 3 % y muestra un mejor desempeño en la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco, Cajamarca 2023.
- El comportamiento de la cal apagada mejora la estabilización en un 2% de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco, Cajamarca 2023.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo aplicada – experimental, según (Oblitas, 2018), este tipo de estudio está centrado en encontrar mecanismos o estrategias las cuales permitan lograr un objetivo específico. Se basa principalmente en la manipulación de las variables en condiciones controladas observando el grado en la que las variables manipuladas e implicadas producen un efecto o una consecuencia determinada.

Según la naturaleza de los resultados analizados es de carácter cuantitativo, (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018), señala que, estos estudios tienen como principal enfoque la medición numérica. Por lo general se utiliza la recolección y análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar la veracidad de las hipótesis previamente establecidas.

De tal manera, la presente investigación realiza el estudio del análisis del comportamiento de la cal viva y apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo – Otuzco, esto mediante datos obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio las cuales están fundamentadas y basadas en normas técnicas y la manipulación de las variables.

La unidad de estudio serán las muestras obtenidas del suelo con la adición de cal viva y cal apagada los cuales serán extraídos de las calicatas realizadas en la zona de Cerrillo – Otuzco, Cajamarca.

La población de estudio está conformada por el suelo de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco ubicada en el distrito de Cajamarca, con las coordenadas 7°08'05” S 78°29'24” W 2.690 m.

La muestra del estudio está conformada por 400 metros de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco, en los cuales se realizaron 3 calicatas cada 200 metros y se extrajo

de cada calicata 7 sacos (20kg por saco) para poder realizar los ensayos anteriormente mencionados, se consideró esta cantidad debido a que en los ensayos de Proctor y CBR se realizaron muestras patrón y muestras con la adición de cal viva y cal apagada en diferentes porcentajes. Para los dos tipos de suelos que se obtuvieron según AASHTO (A-4 y A-7-5) se realizaron los mismos ensayos los cuales son: Contenido de humedad, granulometría, límites, peso específico, proctor y CBR.

Se tuvieron en cuentas algunos criterios de inclusión y exclusión para la extracción de muestras en las 3 calicatas:

- Se excluyó la primera capa de excavación de las calicatas (50 cm) por ser considerado un material de relleno.
- La muestra que se consideró para realizar los ensayos en laboratorio fue extraída después de retirar la capa de relleno (50 cm), cuidadosamente se extrajo el material y se almacenó en sacos de polietileno, así mismo, para el contenido de humedad de cada calicata se almacenaron de 3 a 5 kg de muestra en bolsas herméticas para evitar la pérdida de agua.

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013), para carreteras de bajo volumen de tránsito con un IMDA < 200 veh/día se debe realizar una calicata por kilómetro. Para la presente investigación se realizó un mapeo de estudio de la transitabilidad de vehículos de un día en la trocha carrozable de Cerrillo, Otuzco – Cajamarca. En la cual se obtuvo un valor de IMDA de 145 veh/día cumpliendo así con lo que indica la norma. Por lo cual, se realizaron 3 calicatas a fin de obtener el material adecuado y una buena cantidad de muestra del suelo para posteriormente realizar los ensayos en laboratorio.

Figura 4

Ubicación de la zona de trabajo



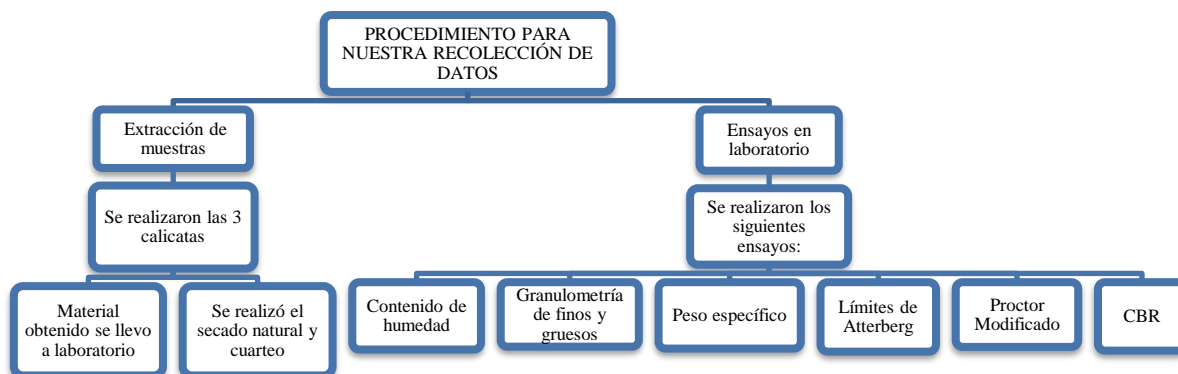
Nota. Se identifica la ruta para llegar a la zona de trabajo, desde la Universidad Privada del Norte hasta la trocha carrozable de Cerrillo Otuzco, Cajamarca. Tomado desde Google Earth.

La técnica de recolección de datos para el desarrollo de esta investigación es la observación directa, aplicando la siguiente técnica conoceremos cómo se comporta nuestro objeto de estudio, para poder registrar toda la información que sea necesaria y poder lograr los resultados que se plantearon como objetivos.

Los instrumentos de recolección de datos a utilizar para este estudio son los protocolos de ensayos brindados por el laboratorio de la UPN, los cuales serán utilizados para realizar los cálculos de los diferentes ensayos a las muestras obtenidas del suelo adicionados con cal viva y apagada; se hará uso de normas y manuales con las cuales se trabajan en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte (NTP, ASTM Y MTC). Así mismo se harán uso de equipos fotográficos para poder registrar nuestros datos obtenidos en el laboratorio y así mismo registrarlos en nuestros formatos y anexos.

Figura 5

Procedimiento para la recolección de datos



Nota. En la siguiente gráfica se muestra de manera detallada los pasos realizados para poder obtener nuestros resultados. Elaboración propia.

La técnica de análisis de datos es la estadística descriptiva, puesto que se recopilarán los datos obtenidos en laboratorio para posteriormente desarrollar y realizar los cálculos respectivos de cada uno de los resultados de los ensayos.

Finalmente, el instrumento de análisis de datos será el programa Microsoft Excel, en el cual se realizará cálculos, gráficos y tablas para la presentación de los resultados.

Tabla 2

Protocolos utilizados en los ensayos

ENSAYOS REALIZADOS	NORMAS	FINALIDAD
CONTENIDO DE HUMEDAD	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127	PORCENTAJE DE HUMEDAD
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS Y FINOS	ASTM D421 / ASTM D6913	DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS
LÍMITES DE PLASTICIDAD	NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS	MTC E 113 / ASTM C127 / NTP 339.131	ABSORCIÓN DE GRAVAS
COMPATACIÓN PROCTOR MODIFICADO	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	DENSIDAD Y HUMEDAD
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429	COMPACTACIÓN DEL SUELO

Nota. Se muestra la normativa y finalidad de cada ensayo realizado para el análisis de datos.

Revisar anexos. Elaboración propia.

La investigación muestra de varias etapas, se inició con la excavación de 3 calicatas cada 200 m en la zona de la trocha carrozable de Cerrillo – Otuzco, posteriormente se extraerán muestras de suelo y se colocarán en sacos emplastados para no alterar la composición físico química de las muestras. Se transportó las muestras a la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca para realizar los ensayos pertinentes, en el estado natural, es decir sin adicionar la cal y ensayos con la adición de la cal viva y cal apagada.

Las muestras de cal viva y apagada para la realización de nuestro trabajo fueron obtenidas de la calera Phuyu yuraq ubicado en Puylucana, Baños del Inca – Cajamarca, con las coordenadas 7°08'47" S 78°27'14" W 2.776 m. Ver la figura 10.

Así mismo, para poder realizar los ensayos con la cal viva y apagada se tuvo en cuenta el análisis químicos y fichas técnicas de dicho material que fueron otorgados por la calera Phuyu yuraq. Ver anexos.

Figura 6

Calicata N° 1



Notas. Extracción de muestras de la calicata 1 en la zona de Cerrillo Otuzco – Cajamarca.

Fuente: Propia (2023).

Figura 7

Calicata N° 2



Notas. Extracción de muestras de la calicata 2 en la zona de Cerrillo Otuzco – Cajamarca.

Fuente: Propia (2023).

Figura 8

Calicata N° 3

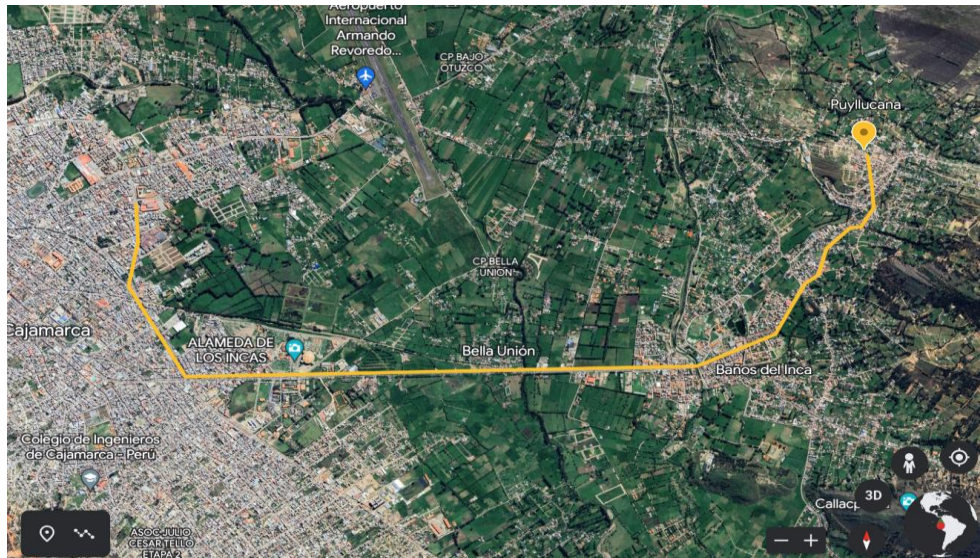


Notas. Extracción de muestras de la calicata 3 en la zona de Cerrillo Otuzco – Cajamarca.

Fuente: Propia (2023).

Figura 9

Calera Phuyu yuraq



Notas. Se identifica la ruta para llegar a la calera Phuyu yuraq desde la UPN. Fuente: Google Earth (2023).

Contenido de humedad MTC E 108 /ASTM D 2216 / NTP 339.127

Procedimiento del ensayo: Para iniciar este ensayo se recolectaron muestras de las calicatas las cuáles fueron empaquetadas en bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad de la muestra natural. Seguidamente, en el laboratorio se procedió a realizar el peso de las muestras húmedas en taras para luego ser llevadas al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

Finalmente, pasada las 24 horas se procedió a retirar las taras del horno para luego pesarlas y determinar el contenido de agua de dichas muestras. (Ver figura 2, Anexos).

Equipos y Aparatos a utilizar:

- Horno $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanzas: Una balanza clase GP1 de lecturas hasta 0.01g se requiere para muestras que tengan un peso hasta 200g excluyendo el peso de la tara y una balanza clase GP2 de lecturas de 0.1g, se requiere para muestras de un peso mayor a 200g.
- Taras.

Ecuación 1

Porcentaje de humedad (W%)

$$(W\%) = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} * 100$$

Dónde:

W_{mh} = Peso de material húmedo

W_s = Peso del material seco

Análisis granulométrico de suelos por tamizado ASTM D421/ASTM D 6913

Procedimiento del ensayo: Para este ensayo se consideraron dos tipos de granulometría, granulometría por lavada de finos y granulometría de gruesos.

Para la granulometría por lavado se inició con el peso de agregado fino (500 gr), seguidamente se realizó el lavado por la malla N° 200 para eliminar todo tipo de material sucio que contiene la muestra, una vez obtenido el material limpio fue llevado al horno por 24 horas. Finalmente se tamizo la muestra seca desde la malla N° 4 hasta la N° 200.

Para la granulometría de gruesos se inició con el peso del material indicado por el técnico del laboratorio (10 Kg.), seguidamente se tamizo la muestra desde la malla de 2” hasta la malla N° 4.

Finalmente se pesaron las muestras retenidas en cada malla mencionada. (Ver figura 3, Anexos).

Equipos y Aparatos a utilizar:

- Conjunto de tamices estándar: para finos se consideró desde la malla N° 4 hasta la malla N° 200, para gruesos se consideró desde la malla de 2” hasta la malla N° 4.
- Tamiz de lavado, n.º 200 (75 µm): un tamiz No. 200 (75µm) con una altura mínima por encima de la pantalla de 50mm o 2 pulg.
- Horno secador.
- Balanzas.
- Taras.
- Artículos diversos: cucharón y cepillo de limpieza.

Ecuación 2

Porcentaje retenido

$$(\%RP) = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

Ecuación 3

Porcentaje retenido acumulado

$$\%RA1 = \%PR1$$

$$\%RA2 = \%RA1 + \%PR2$$

$$\%RA3 = \%RA2 + \%PR3$$

$$\%RA4 = \%RA3 + \%PR4$$

...etc.

Dónde:

$\%RA$ = Porcentaje de retenido acumulado

$\%PR$ = Porcentaje retenido

Ecuación 4

Porcentaje que pasa

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \%RA$$

Límites de Atterberg (Límite líquido, Límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos) NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318

Procedimiento del ensayo: Se inicia tamizando el material por la malla N° 40, seguidamente se realizó el proceso de saturado que consiste en reservar una muestra representativa para posteriormente realizar el límite líquido y plástico.

Para iniciar el límite líquido se retiró la muestra saturada en un mortero de porcelana al cual se le añadió agua de manera progresiva, seguidamente la muestra se lleva a la copa de casa grande para poder realizar el ensayo respectivo realizando golpes de 16, 25 y 35 hasta evidenciar que en cada uno de ellos haya cerrado. Finalmente se retira una cierta cantidad de muestra de la copa de casa grande para ser llevada al horno por 24 horas y obtener su contenido de humedad.

Para iniciar el límite plástico se retiró la muestra saturada en un mortero de porcelana al cual se le añadió agua de manera progresiva, seguidamente se hizo uso del vidrio esmerilado dónde se realizaron cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro para luego ser llevado al horno y poder obtener su contenido de humedad.

El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Equipos y Aparatos a utilizar:

- Copa de casa grande.
- Herramienta de ranurado plano.
- Probeta de agua.
- Balanza.

- Horno secador.
- Placa de vidrio esmerilado.

Ecuación 5

Cálculo del límite plástico

Expresado como porcentaje de humedad:

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

Ecuación 6

Cálculo del índice de plasticidad

Se define como la diferencia entre su límite líquido y límite plástico:

$$I.P = L.L - L.P$$

Dónde:

L.L = Límite líquido

L.P = Límite Plástico

Peso específico de agregado grueso ASTM C127

Procedimiento del ensayo: Se inicia con el secado de la muestra a una temperatura de 110±5°C. Luego de retirar la muestra del horno se enfriará en un periodo de 1 a 3 horas, seguidamente el material es sumergido en agua a temperatura ambiente hasta cubrirlo completamente, este proceso será en un lapso de 24 ± 4 hrs. Una vez pasada las 24 horas se realiza el secado superficialmente seco de las partículas anteriormente sumergidas,

finalmente llevaremos las partículas a la canastilla para determinar su peso sumergido en agua.

Equipos y Aparatos a utilizar:

- Horno 110±5°C.
- Balanza.
- Canastilla de suspensión.
- Tanque de agua 23°C.
- Franela.
- Recipiente.

Ecuación 7

Peso específico

$$\gamma_s = \frac{\text{Peso en el aire}}{(\text{Peso en el aire} - \text{Peso sumergido})}$$

Proctor modificado MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141

Procedimiento del ensayo: Para este ensayo se utilizaron los métodos A, B y C.

Utilizamos el método A para la calicata C3 E2, iniciamos usando material pasante de la malla N° 4, se utilizó 3 kg por cada punto a realizar, seguidamente se mezcló en una bandeja con un porcentaje de agua, luego se procede a vaciar el material humectado al molde de 4” dónde se realizaron 5 capas cada una de ellas fue compactada con un apisonador de 10.00-lbf (25 golpes por capa), a continuación se enrasó y pesó el material compactado, finalmente se retiró material de la parte superior e inferior para llevarlas al horno y obtener su contenido óptimo de humedad.

Se utilizó el método B para las calicatas C1 y C3 E1, iniciamos usando material retenido en la malla N° 4, se utilizó 3 kg por cada punto a realizar, seguidamente se mezcló en una bandeja con un porcentaje de agua, luego se procede a vaciar el material humectado al molde de 4” dónde se realizaron 5 capas cada una de ellas fue compactada con un apisonador de 10.00-lbf (25 golpes por capa), a continuación se enrasó y pesó el material compactado, finalmente se retiró material de la parte superior e inferior para llevarlas al horno y obtener su contenido óptimo de humedad.

Se utilizó el método C para la calicata C2, iniciamos usando material pasante de la malla ¾” hasta el retenido en la malla N° 4, se utilizó 6 kg por cada punto a realizar, seguidamente se mezcló en una bandeja con un porcentaje de agua, luego se procede a vaciar el material humectado al molde de 6” dónde se realizaron 5 capas cada una de ellas fue compactada con un apisonador de 10.00-lbf (56 golpes por capa), a continuación se enrasó y pesó el material compactado, finalmente se retiró material de la parte superior e inferior para llevarlas al horno y obtener su contenido óptimo de humedad.

Equipos y Aparatos a utilizar:

- Molde, 4 pulgadas.
- Molde, 6 pulgadas.
- Apisonador (10.00-lbf).
- Balanza.
- Horno.
- Taras.
- Probeta de agua.

- Enrasador.
- Artículos diversos: cucharón, franelas y brocha.

Ecuación 8

Densidad húmeda

$$Dh = \frac{\text{Peso de muestra húmeda (gr)}}{\text{Volumen de muestra húmeda (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 9

Densidad seca máxima

$$Ds = \frac{Dh * 100}{PCh + 100}$$

Dónde:

Dh = Densidad húmeda

PCh = Promedio contenido de húmeda óptimo

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429

Resumen de ensayo: Se inició separando material pasante de la malla N° 4, luego se separó 6 kg por cada punto, en seguida se colocó el material en bandejas y se le adicionó el % de agua de acuerdo a la humedad óptima del Proctor en este caso de la calicata 3 estrato 2, luego realizamos el mezclado de material y cuando estuvo homogenizado se procedió a vaciar al molde de 6” una cantidad suficiente para la primera capa, y se empezó a compactar el primer molde con 13 golpes, y así sucesivamente hasta llegar a la quinta capa, al segundo molde se lo compactó con 27 golpes por capa y finalmente al tercer molde con 55 golpes. Al finalizar

este proceso se enrazó y se pesó quitándole el separador o pesa, posteriormente se lleva los moldes a una tina donde podamos sumergirlos por completo para que el dial puede hacer lecturas de hinchamiento, estas tomas de datos son cada 24 horas y tiene un periodo establecido de 4 días donde nos mostrará lecturas de cada molde.

Finalmente, al quitar los moldes de las tinas se prosiguió a llevarlos a la máquina de penetración con la ayuda y supervisión del técnico de laboratorio, donde pudimos obtener los datos de esfuerzo y penetración.

Equipos y Aparatos a utilizar:

- Máquina de carga para penetración.
- Molde 6”.
- Disco de Espaciador.
- Apisonador (10.00-lbf).
- Aparato para Medir la Expansión: Un vástago ajustable de metal y perforado a una placa de metal.
- Pesas.
- Dispositivo de medida de hinchazón: dial mecánico capaces de leer a 0.001 pulg. (0.025 mm) con un rango de 0.200 pulg. (5-mm) mínimo.
- Papel de Filtro.
- Horno 110+/-5°C.
- Tamices.
- Balanza.
- Enrasador.

- Artículos diversos: cucharón, franelas y brocha.

Ecuación 10

California Bearing Ratio (Densidad húmeda)

$$Dh = \frac{\text{Peso de muestra húmeda (gr)}}{\text{Volumen de muestra húmeda (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 11

California Bearing Ratio (Densidad seca máxima)

$$Ds = \frac{Dh * 100}{PCh + 100}$$

Dónde:

Dh = Densidad húmeda

PCh = Promedio contenido de húmeda óptimo

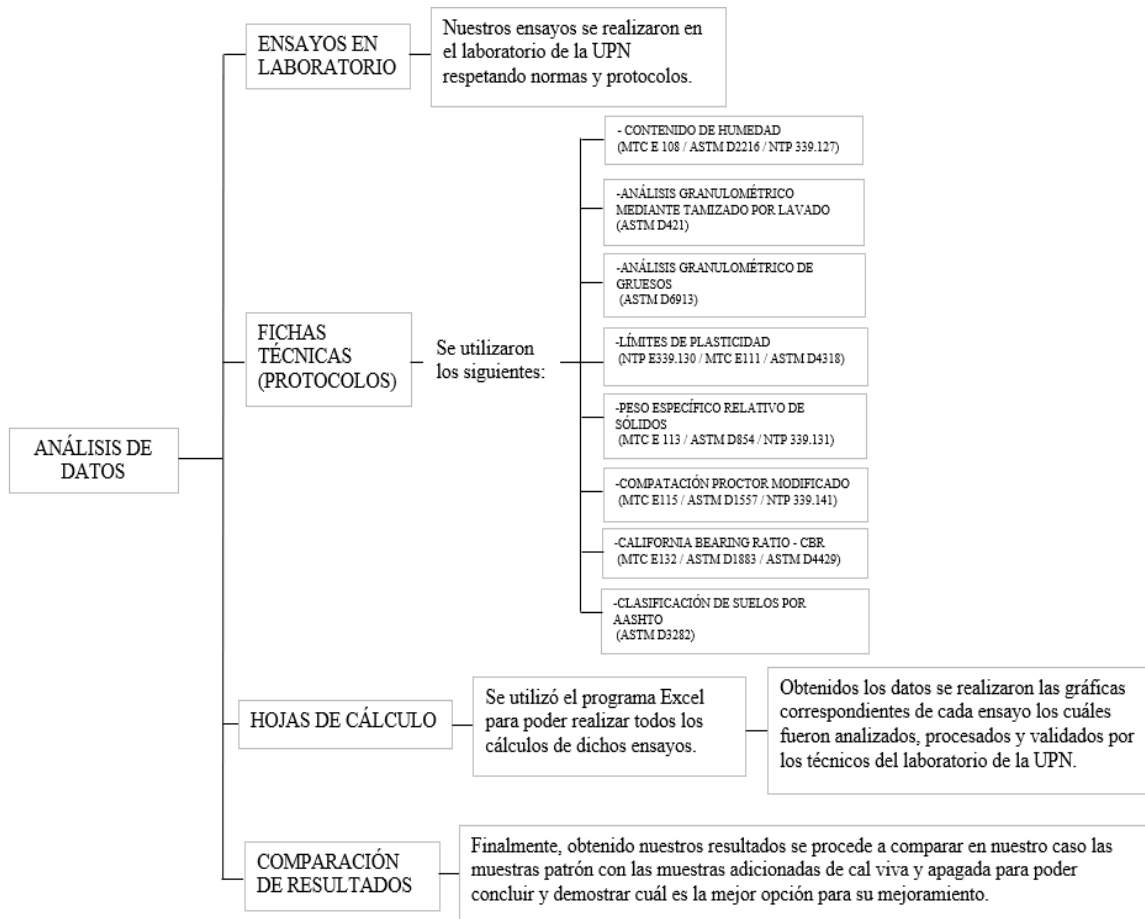
En el presente ensayo se tomó en cuenta hacer la C3-E2, para esta calicata se realizó el Proctor modificado método A, según el ensayo realizado la humedad y la densidad seca de dicha calicata muestran valores bajos a comparación de la C1, C2 y C3-E1. Por lo que se consideró realizar el ensayo CBR a dicha calicata para así poder mejorar sus características y propiedades que nos permitan una buena estabilización a la trocha carrozable. Cabe recalcar que la resistencia a la compactación de esta calicata es menor a diferencia de las otras, por lo cual para realizar una buena estabilización o un mejoramiento se tiene que mejorar desde la muestra más crítica para evitar problemas a futuro.

Para este ensayo se tuvo en consideración la adición del 4% de cal viva y apagada a la muestra natural, ya que en el ensayo del Proctor modificado se obtuvieron densidades secas máxima menores a comparación de las otras calicatas.

Finalmente se procede a realizar el cálculo de los resultados con los datos obtenidos de cada ensayo realizado en laboratorio haciendo uso de los protocolos brindados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte Cajamarca. Detallado en anexos.

Figura 10

Procedimiento de análisis de datos



Nota. Se detalla el procedimiento que se realizó para nuestro análisis de datos.

Elaboración: Propia.

Para la elaboración de la presente investigación se ha respetado los derechos de los autores de los cuales se ha recopilado información pertinente, esto haciendo referencia a cada uno de sus estudios mediante el formato de las normas APA, mediante esto se demuestra la ética, moral y transparencia profesional de los autores, lo cual debe prevalecer en nuestro futuro profesional.

La toma y análisis de datos se realizó de una manera transparente sin alterar los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio o de gabinete respetando todas las normas y fuentes de las que fueron consultadas, generando así resultados reales que pueden ser de gran ayuda para los estudios o investigaciones que se realicen a futuro.

Para la realización de este estudio se ha tenido cómo punto principal el cuidado del medio ambiente sin alterar ni contaminar nada de ello, así mismo, se ha tenido el respeto por los pobladores cercanos a la zona de trabajo para evitar cualquier conflicto y que no les genere ningún daño o pérdida.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Para el objetivo “Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de atterberg, peso específico, proctor modificado y CBR” se obtuvieron los siguientes datos.

3.1 Contenido de humedad

Tabla 3

Calicata 1 W%

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
W%	Porcentaje de humedad	%	23.2	23.3	23.2
	Promedio Contenido de Humedad	%		23.2	

Nota. En la tabla N° 3 se observan los resultados del contenido de humedad de la calicata 1.
Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 4

Calicata 2 W%

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
W%	Porcentaje de humedad	%	11.9	11.8	11.8
	Promedio Contenido de Humedad	%		11.8	

Nota. En la tabla N° 4 se observan los resultados del contenido de humedad de la calicata 2.
Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 5

Calicata 3 E1 W%

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
W%	Porcentaje de humedad	%	12.2	12.1	12.3
	Promedio Contenido de Humedad	%		12.2	

Nota. En la tabla N° 5 se observan los resultados del contenido de humedad de la calicata 3 E1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 6

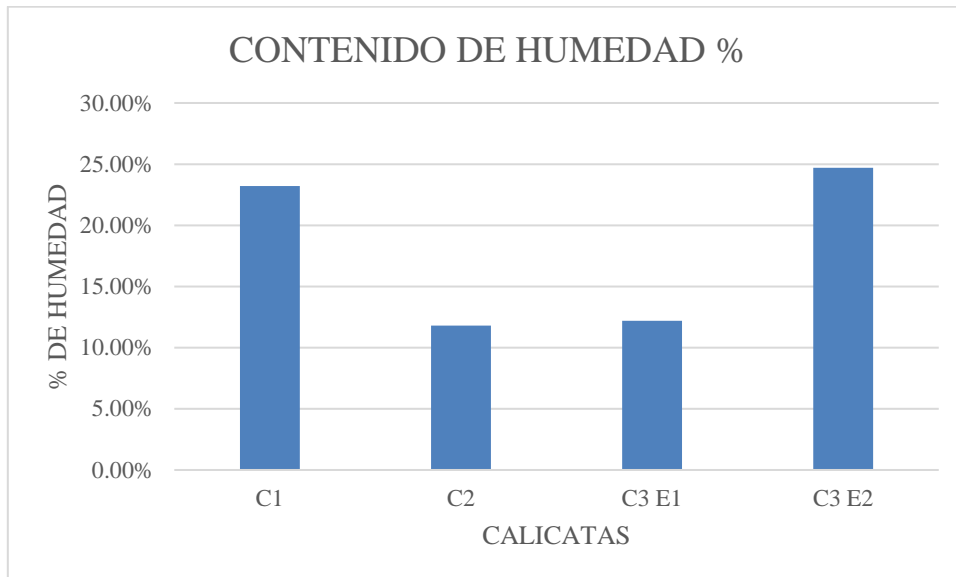
Calicata 3 E2 W%

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
W%	Porcentaje de humedad	%	24.6	24.9	24.7
	Promedio Contenido de Humedad	%		24.7	

Nota. En la tabla N° 6 se observan los resultados del contenido de humedad de la calicata 3 E2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 11

Promedio de contenido de humedad %



Nota. Se evidencia la variedad de los porcentajes de humedad que existen entre las 3 calicatas, en la C1 obtuvimos un 23.2% de humedad, para la C2 se obtuvo un promedio de 11.8% de humedad, en el caso de la C3 E1 se obtuvo 12.2% de húmedas, y finalmente para la C3 E2 se obtuvo un 24.7% de humedad. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.2 Análisis granulométrico de finos y gruesos

3.2.1 Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado

Tabla 7

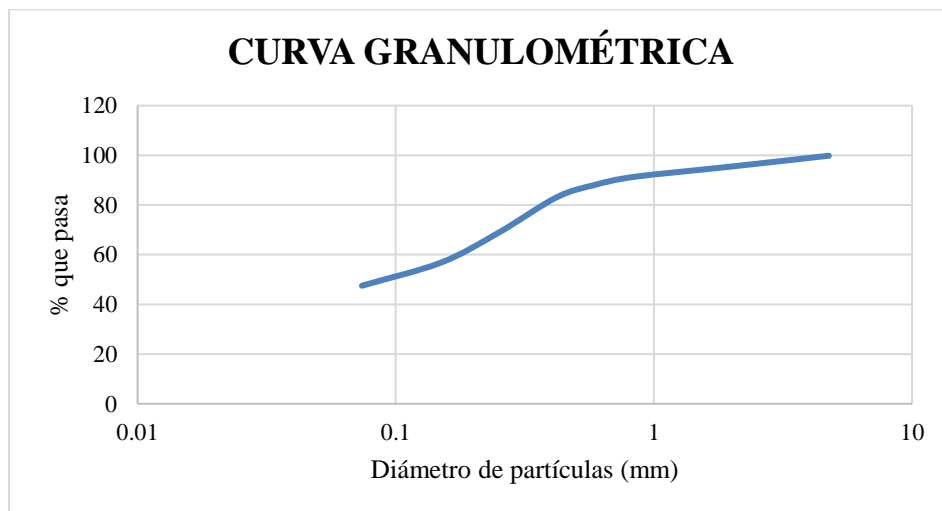
Granulometría de la calicata 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO		
Tamiz	Abertura	% que pasa
N° 4	4,76	99.83
N°10	2	95.48
N°20	0,84	91.33
N°30	0,59	88.08
N°40	0,42	83.10
N°60	0,25	68.84
N°100	0,15	56.85
N°200	0,074	47.51

Nota. En la tabla N° 7, se observan los % pasantes en la granulometría de finos de la calicata 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 12

Curva granulométrica de la calicata 1



Nota. En la figura 12, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C1 se encuentra en la malla N° 60 con un valor de 27.17% (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 8

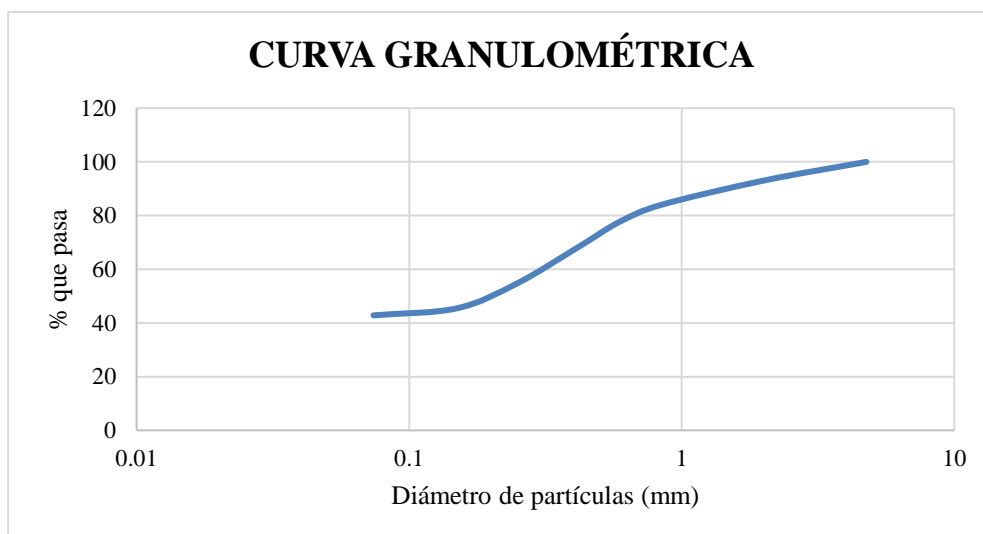
Granulometría de la calicata 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO		
Tamiz	Abertura	% que pasa
N° 4	4,76	100.00
N°10	2	93.04
N°20	0,84	83.98
N°30	0,59	77.60
N°40	0,42	68.43
N°60	0,25	54.83
N°100	0,15	45.48
N°200	0,074	42.84

Nota. En la tabla N° 8, se observan los % pasantes en la granulometría de finos de la calicata 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 13

Curva granulométrica de la calicata 2



Nota. En la figura 13, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C2 se encuentra en la malla N° 60 con un valor de 23.60% (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 9

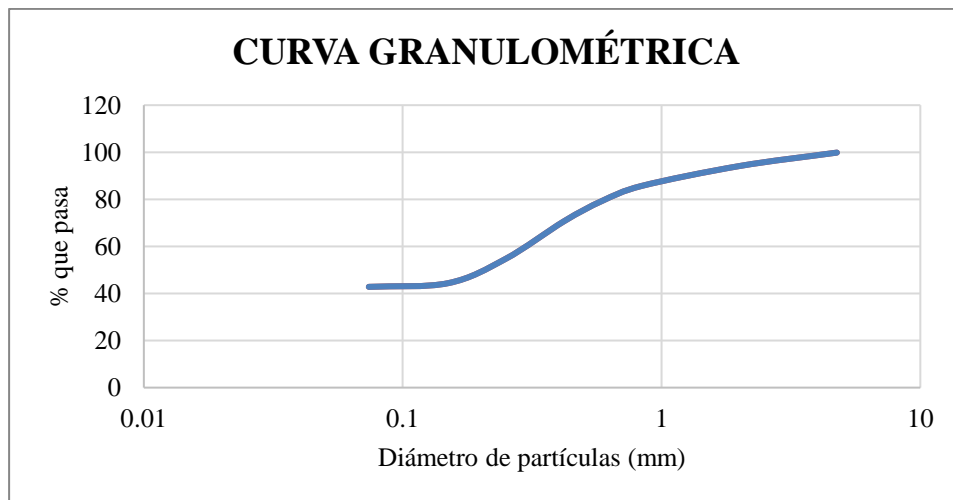
Granulometría de la calicata 3 estrato 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO		
Tamiz	Abertura	% que pasa
N° 4	4,76	99.85
N°10	2	94.14
N°20	0,84	85.72
N°30	0,59	79.34
N°40	0,42	70.67
N°60	0,25	54.71
N°100	0,15	44.39
N°200	0,074	42.81

Nota. En la tabla N° 9, se observan los % pasantes en la granulometría de finos de la calicata 3 estrato 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 14

Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 1



Nota. En la figura 14, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C3 E1 se encuentra en la malla N° 60 con un valor de 27.92% (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 10

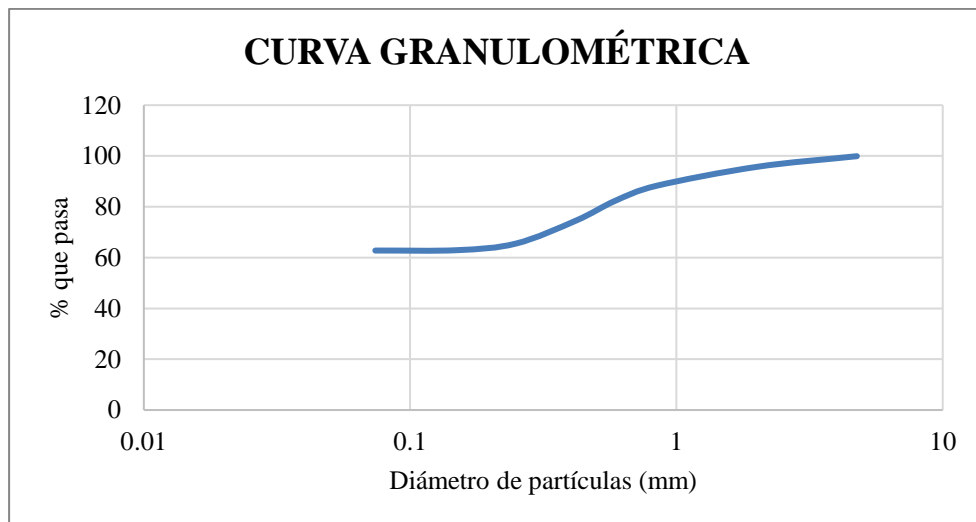
Granulometría de la calicata 3 estrato 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO		
Tamiz	Abertura	% que pasa
N° 4	4,76	99.92
N°10	2	95.71
N°20	0,84	88.24
N°30	0,59	82.39
N°40	0,42	74.58
N°60	0,25	65.54
N°100	0,15	62.93
N°200	0,074	62.78

Nota. En la tabla N° 10, se observan los % pasantes en la granulometría de finos de la calicata 3 estrato 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 15

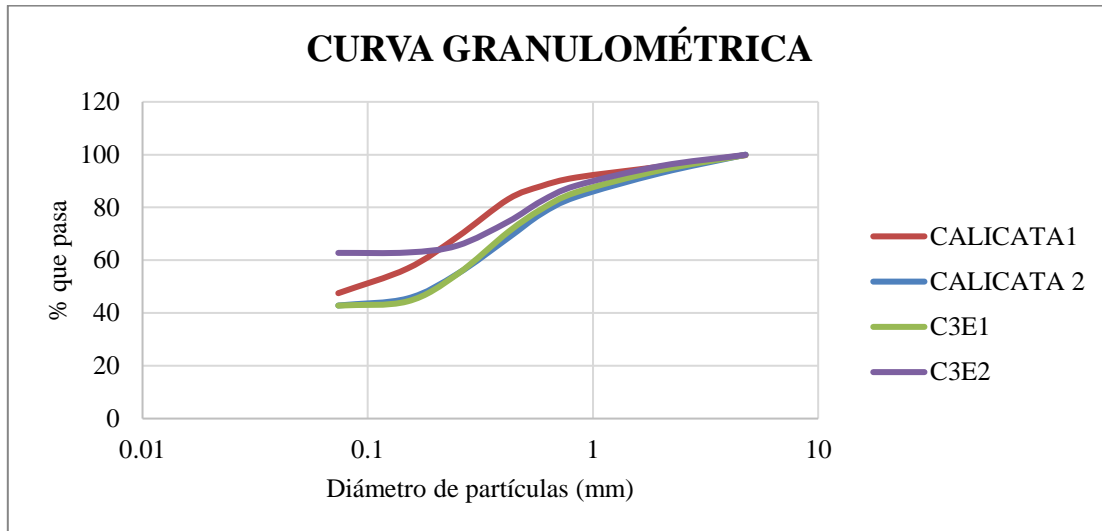
Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 2



Nota. En la figura 15, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C3 E2 se encuentra en la malla N° 60 con un valor de 24.30% (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 16

Resumen de gráficas de la granulometría de finos



Nota. En la figura 16, se observa en la gráfica resumen de la granulometría que la calicata 2 tiene el mayor % que pasa, por otro lado, la calicata 1 tiene el % con menor cantidad que pasa con menos del 100 % respecto a las demás calicatas.

Fuente: Elaboración propia (2023).

3.2.2 Análisis granulométrico de gruesos

Tabla 11

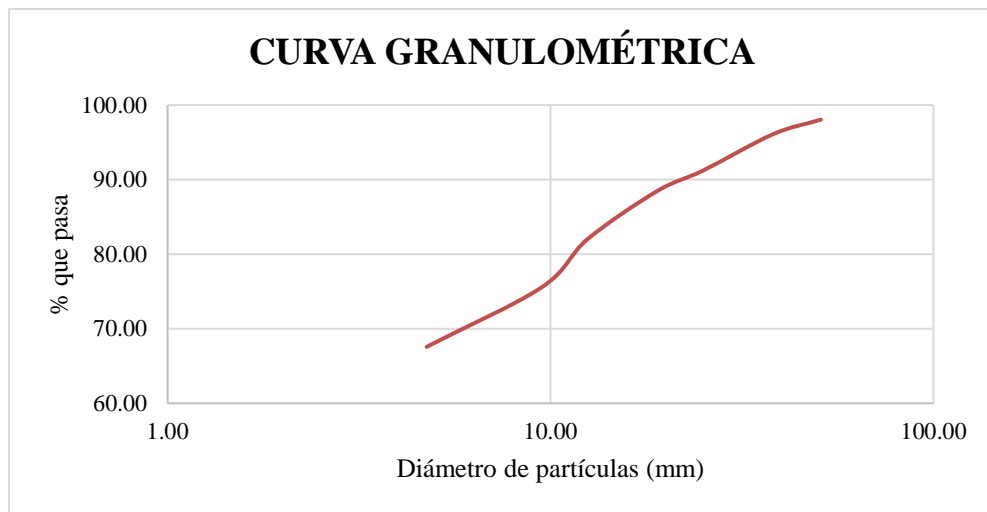
Granulometría de la calicata 1

<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS</i>		
Tamiz		% Pasante (%)
(pulg)	(mm)	
2"	50.80	98.05
1 ½"	38.10	96.09
1"	25.00	91.21
¾"	19.00	88.48
½"	12.50	82.03
⅜"	9.50	75.59
N° 4	4.75	67.58

Nota. En la tabla N° 11, se observan los % pasantes en la granulometría de gruesos de la calicata 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 17

Curva granulométrica de la calicata 1



Nota. En la figura 17, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C1 se encuentra en la malla ⅜" con un valor de 24.41% y un % pasante de 75.59% en la misma malla (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 18

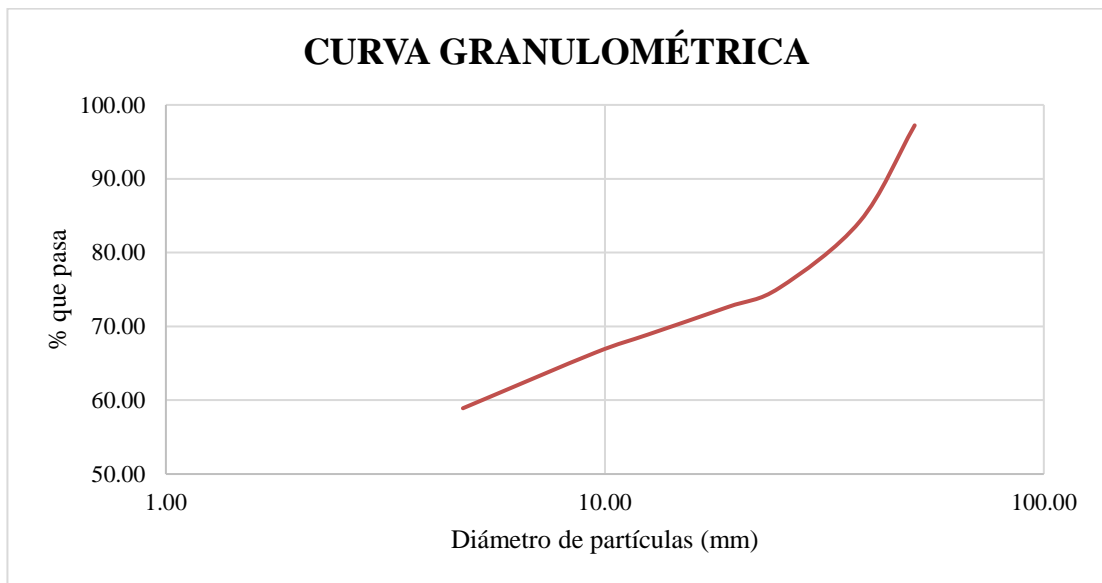
Granulometría de la calicata 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS		
Tamiz		% Pasante (%)
(pulg)	(mm)	
2"	50.80	97.23
1 ½"	38.10	84.22
1"	25.00	75.24
¾"	19.00	72.59
½"	12.50	68.87
⅜"	9.50	66.43
N° 4	4.75	58.91

Nota. En la tabla N° 18, se observan los % pasantes en la granulometría de gruesos de la calicata 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 18

Curva granulométrica de la calicata 2



Nota. En la figura 18, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C2 se encuentra en la malla N° 4 con un valor de 41.09% y un % pasante de 58.91% en la misma malla (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 13

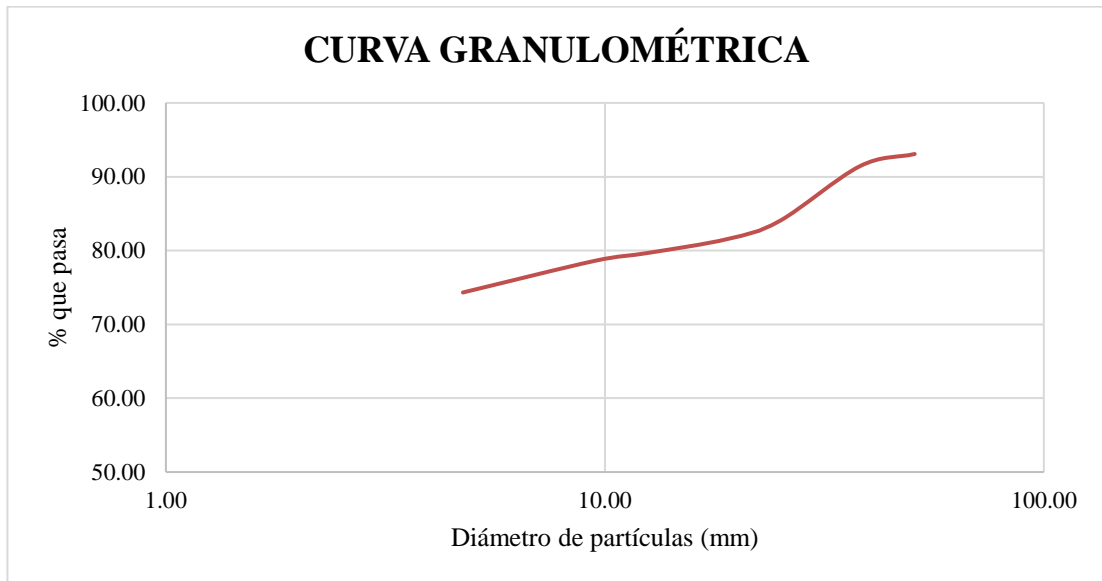
Granulometría de la calicata 3 estrato 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS		
Tamiz		% Pasante (%)
(pulg)	(mm)	
2"	50.80	93.078
1 ½"	38.10	91.430
1"	25.00	83.998
¾"	19.00	81.557
½"	12.50	79.669
⅜"	9.50	78.616
N° 4	4.75	74.324

Nota. En la tabla N° 13, se observan los % pasantes en la granulometría de gruesos de la calicata 3 estrato 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 19

Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 1



Nota. En la figura 19, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C3 E1 se encuentra en la malla N° 4 con un valor de 25.68% y un % pasante de 74.32% en la misma malla (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 14

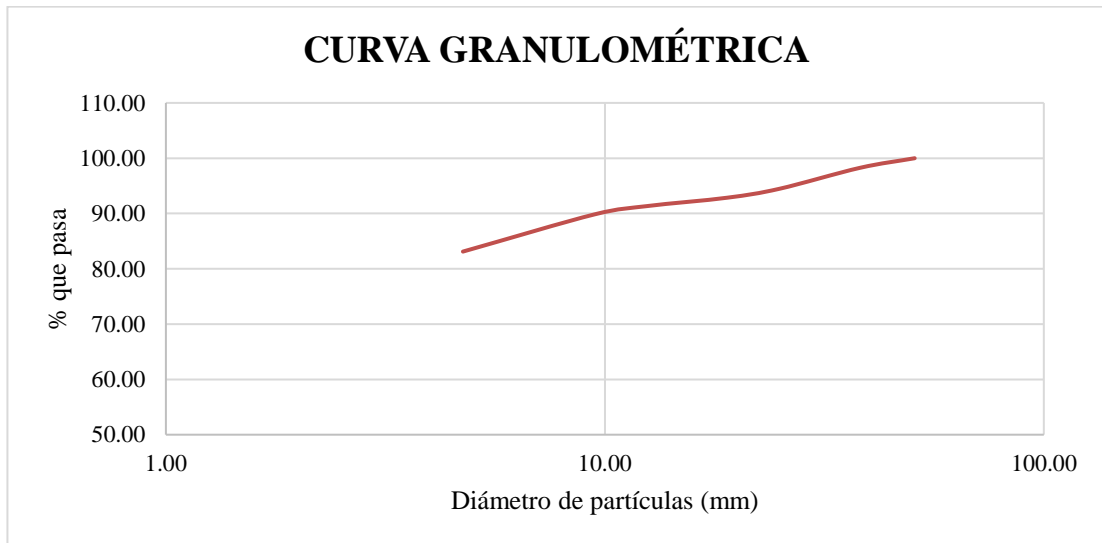
Granulometría de la calicata 3 estrato 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS		
Tamiz		% Pasante (%)
(pulg)	(mm)	
2"	50.80	100.000
1 ½"	38.10	98.258
1"	25.00	94.476
¾"	19.00	92.859
½"	12.50	91.352
⅜"	9.50	89.867
N° 4	4.75	83.115

Nota. En la tabla N° 14, se observan los % pasantes en la granulometría de gruesos de la calicata 3 estrato 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 20

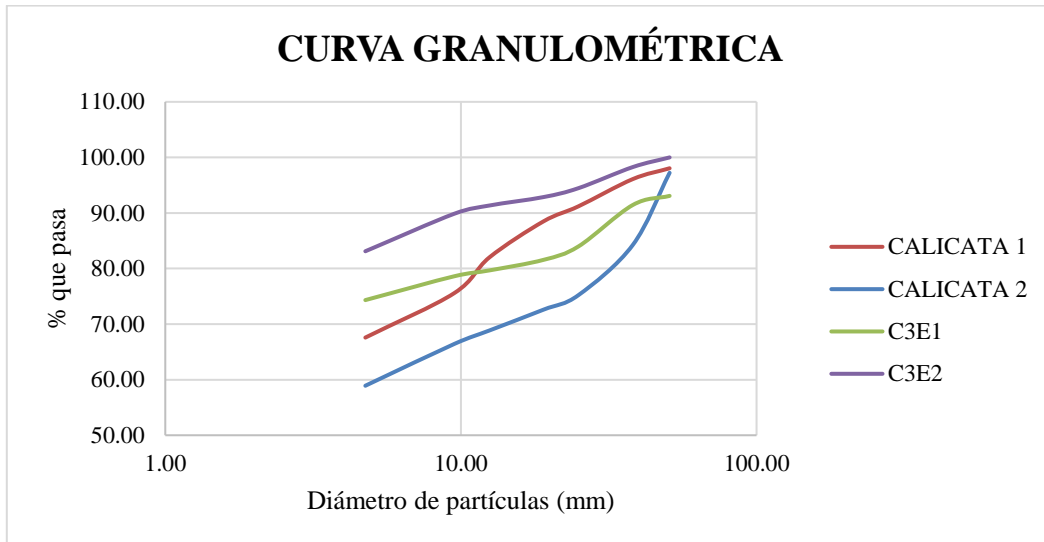
Curva granulométrica de la calicata 3 estrato 2



Nota. En la figura 20, se observa que el % retenido parcial con mayor valor en la C3 E2 se encuentra en la malla N° 4 con un valor de 16.89% y un % pasante de 83.12% en la misma malla (ver Anexos 1). Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 21

Resumen de gráficas de la granulometría de gruesos



Nota. En la figura 21, se observa en la gráfica resumen de la granulometría que la calicata 3 estrato 2 tiene el mayor % que pasa, por otro lado, de la misma calicata el estrato 1 tiene el % con menor cantidad que pasa con menos del 95 % respecto a las demás calicatas.

Fuente: Elaboración propia (2023).

3.3 Límites de Atterberg

Para el objetivo “Clasificar el tipo de suelo por método SUCS de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco” se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 15

Límite líquido de la calicata 1

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Número de Golpes	N	17	26	35
B	Contenido de Humedad	%	22.24	20.26	18.29

Nota. En la tabla 15, se muestran los resultados obtenidos del límite líquido de la calicata 1.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 16

Límite plástico de la calicata 1

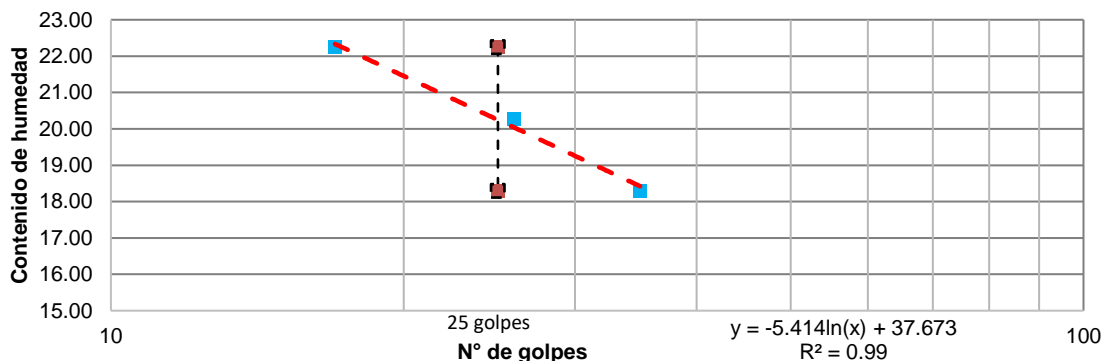
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Contenido de Humedad	%	13.38	13.03	13.20
B	Promedio Límite Plástico		13.20		

Nota. En la tabla 16, se muestran los resultados obtenidos del límite plástico de la calicata 1.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 22

Gráfica del límite líquido de la calicata 1



Nota. se determina el límite líquido de la calicata 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la figura 22, se evidencia el contenido de humedad y la cantidad de golpes realizado en cada punto, cómo se detalla en la tabla 7, así mismo, se obtuvieron los siguientes datos:

- Límite líquido (LL): 20.25%
- Límite plástico (LP): 13.20%
- Índice de plasticidad (IP): 7.05%

Tabla 17

Límite líquido de la calicata 2

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Número de Golpes	N	16	25	34
B	Contenido de Humedad	%	22.23	20.26	18.64

Nota. En la tabla 17, se muestran los resultados obtenidos del límite líquido de la calicata 2.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 18

Límite plástico de la calicata 2

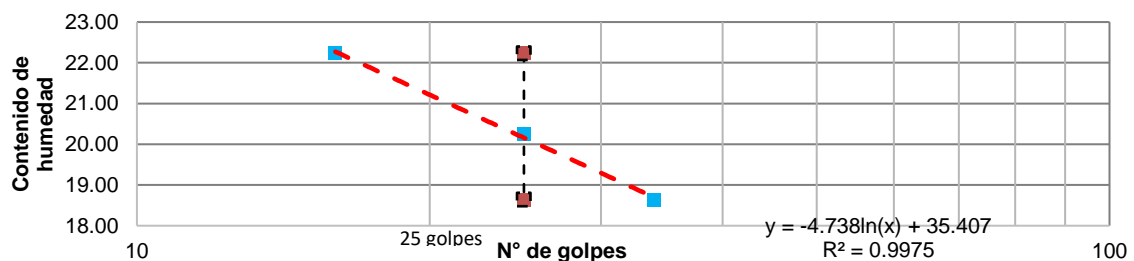
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Contenido de Humedad	%	13.18	13.38	13.27
B	Promedio Límite Plástico		13.28		

Nota. En la tabla 18, se muestran los resultados obtenidos del límite plástico de la calicata 2.

Fuente: Elaboración propia. (2023)

Figura 23

Gráfica del límite líquido de la calicata 2



Nota. Se determina el límite líquido de la calicata 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la figura 23, se muestra el contenido de humedad y la cantidad de golpes realizado en cada punto, cómo se detalla en la tabla 9, así mismo, se obtuvieron los siguientes datos:

- Límite líquido (LL): 20.16%
- Límite plástico (LP): 13.28%
- Índice de plasticidad (IP): 6.88%

Tabla 19

Límite líquido de la calicata 3 estrato 1

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Número de Golpes	N	16	25	35
B	Contenido de Humedad	%	24.10	22.30	20.57

Nota. En la tabla 19, se muestran los resultados obtenidos del límite líquido de la calicata 3 estrato 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 20

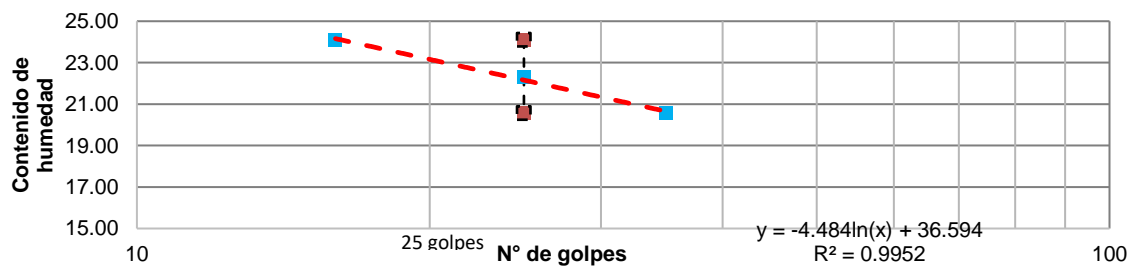
Límite plástico de la calicata 3 estrato 1

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Contenido de Humedad	%	13.92	13.73	13.85
B	Promedio Límite Plástico		13.83		

Nota. En la tabla 20, se muestran los resultados obtenidos del límite plástico de la calicata 3 estrato 1. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 24

Gráfica del límite líquido de la calicata 3 estrato 1



Nota. Se determina el límite líquido de la C3 E1. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la figura 24, se grafica el contenido de humedad y la cantidad de golpes realizado en cada punto, cómo se detalla en la tabla 11, así mismo, se obtuvieron los siguientes datos:

- Límite líquido (LL): 22.16%
- Límite plástico (LP): 13.83%
- Índice de plasticidad (IP): 8.33%

Tabla 21

Límite líquido de la calicata 3 estrato 2

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Número de Golpes	N	17	26	35
B	Contenido de Humedad	%	38.76	36.81	34.94

Nota. En la tabla 21, se muestran los resultados obtenidos del límite líquido de la calicata 3 estrato 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 22

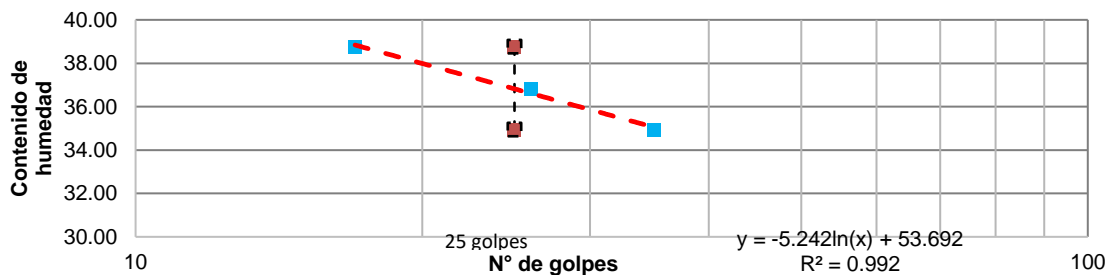
Límite plástico de la calicata 3 estrato 2

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Contenido de Humedad	%	19.88	19.84	18.95
B	Promedio Límite Plástico		19.56		

Nota. En la tabla 22, se muestran los resultados obtenidos del límite plástico de la calicata 3 estrato 2. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 25

Gráfica del límite líquido de la calicata 3 estrato 2



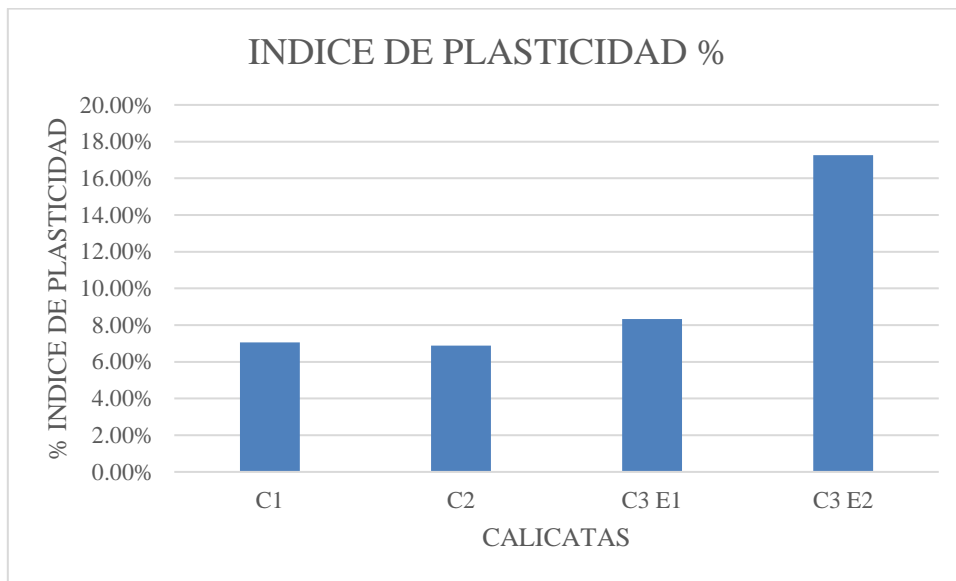
Nota. Se determina el límite líquido de la C3 E2. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la figura 25, se muestra el contenido de humedad y la cantidad de golpes realizado en cada punto, cómo se detalla en la tabla 13, así mismo, se obtuvieron los siguientes datos:

- Límite líquido (LL): 36.82%
- Límite plástico (LP): 19.56%
- Índice de plasticidad (IP): 17.26%

Figura 26

Índice de plasticidad %



Nota. En la figura 26, se evidencian los índices de plasticidad de las calicatas, para la C1 se obtuvo un IP de 7.05%, para la C2 se obtuvo un IP de 6.88%, así mismo, para la C3 E1 se obtuvo un IP de 8.33%, y finalmente para la C3 E2 se obtuvo un IP de 17.26%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.4 Peso específico de agregado grueso

Tabla 23

Peso específico de la calicata 1 piedra

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Peso Específico	gr/cm ³	2.57	2.59
	Promedio del Peso Específico "Ys"	gr/cm ³	2.58	

Nota. En la tabla 23, se determina el promedio del peso específico de la calicata 1 (piedra).

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 24

Peso específico de la calicata 2 piedra

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Peso Específico	gr/cm ³	2.24	2.26
	Promedio del Peso Específico "Ys"	gr/cm ³	2.25	

Nota. En la tabla 24, se determina el promedio del peso específico de la calicata 2 (piedra).

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 25

Peso específico de la calicata 3 estrato 1 piedra

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Peso Específico	gr/cm ³	2.53	2.56
	Promedio del Peso Específico "Ys"	gr/cm ³	2.55	

Nota. En la tabla 25, se determina el promedio del peso específico de la calicata 3 estrato 1

(piedra). Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 26

Peso específico de la calicata 3 estrato 2 piedra

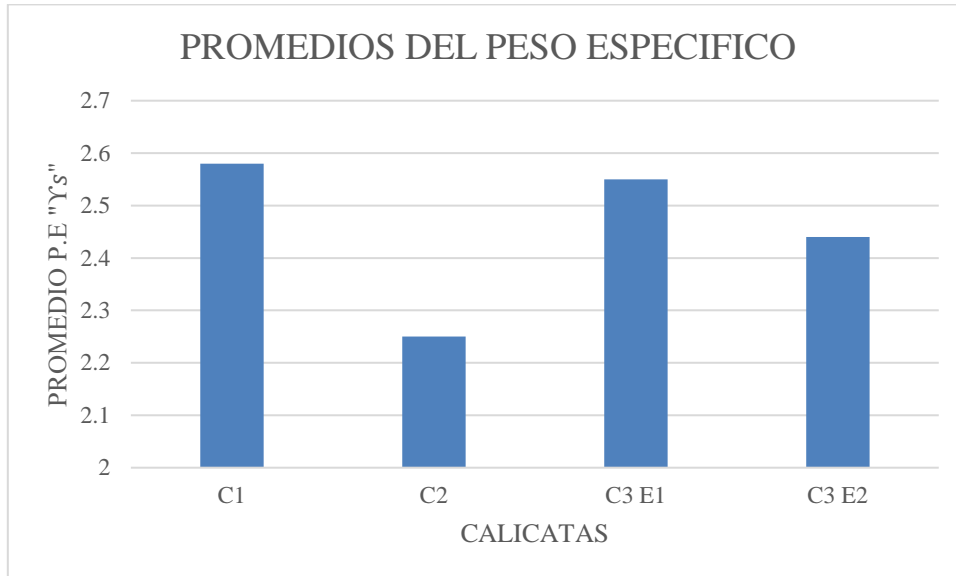
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Peso Específico	gr/cm ³	2.44	2.44
	Promedio del Peso Específico "Ys"	gr/cm ³	2.44	

Nota. En la tabla 26, se determina el promedio del peso específico de la calicata 3 estrato 2

(piedra). Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 27

Promedio del peso específico "Ys"



Nota. En la figura 27, se determinaron los promedios de los pesos específicos (piedra) de las calicatas de acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio, para la calicata 1 se obtuvo un promedio de su peso específico de 2.58 gr/cm³, en la calicata 2 se obtuvo un promedio de 2.25 gr/cm³, para la calicata 3 estrato 1 se obtuvo un promedio de 2.55 gr/cm³, y finalmente para la calicata 3 estrato 2 se obtuvo un promedio de 2.44 gr/cm³.

3.5 Proctor modificado

Para el objetivo “Determinar la variación de la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad del suelo en estudio cuando se le adiciona cal viva y apagada.” se obtuvieron los siguientes datos.

3.5.1 Calicata 1

Tabla 27

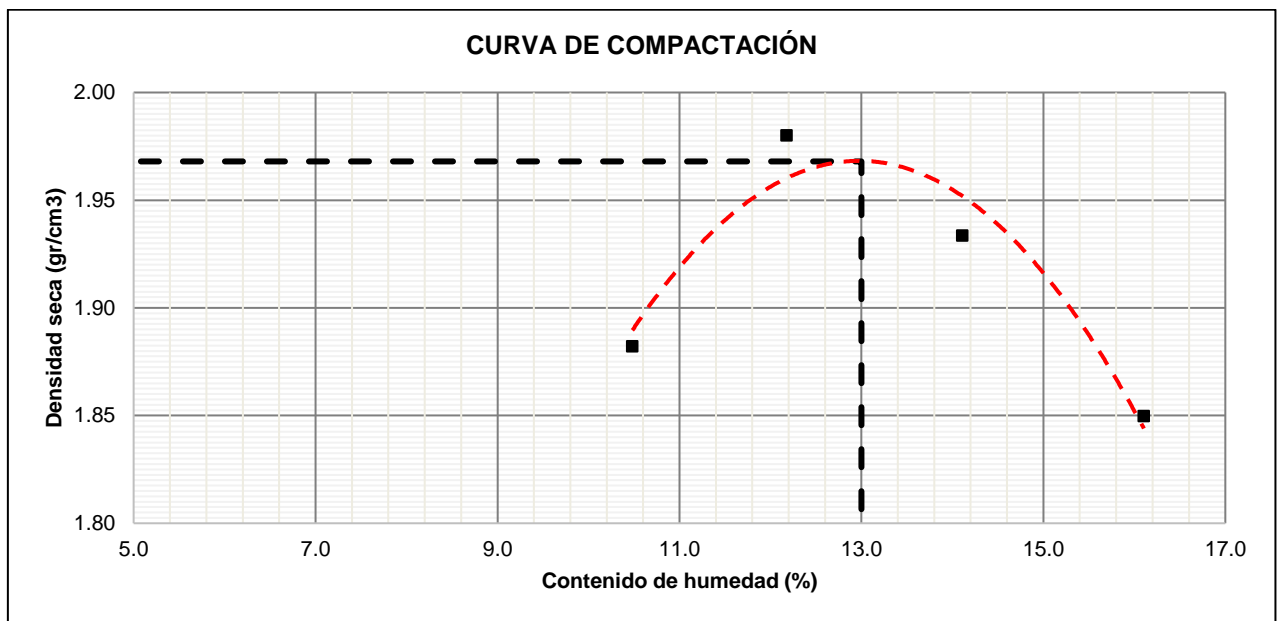
Proctor modificado calicata 1 (muestra patrón)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.5	12.2	14.1	16.1
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.8

Nota. En la tabla 27, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 28

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 (muestra patrón)



Nota. En la figura 28, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca en el punto más alto de la calicata 1 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.1.1 Calicata 1 + Cal apagada

Tabla 28

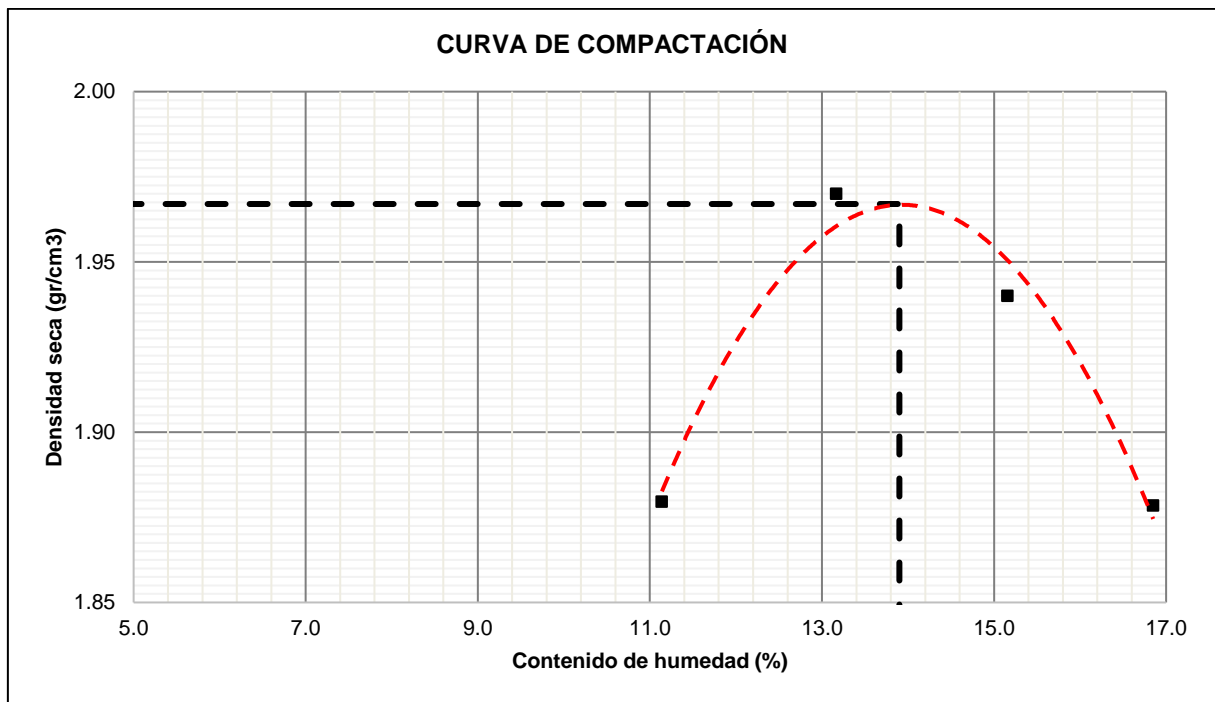
Proctor modificado calicata 1 (+4% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	11.1	13.2	15.2	16.8
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 28, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (cal apagada al 4%). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 29

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 + 4% cal apagada



Nota. En la figura 29, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + 4% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 29

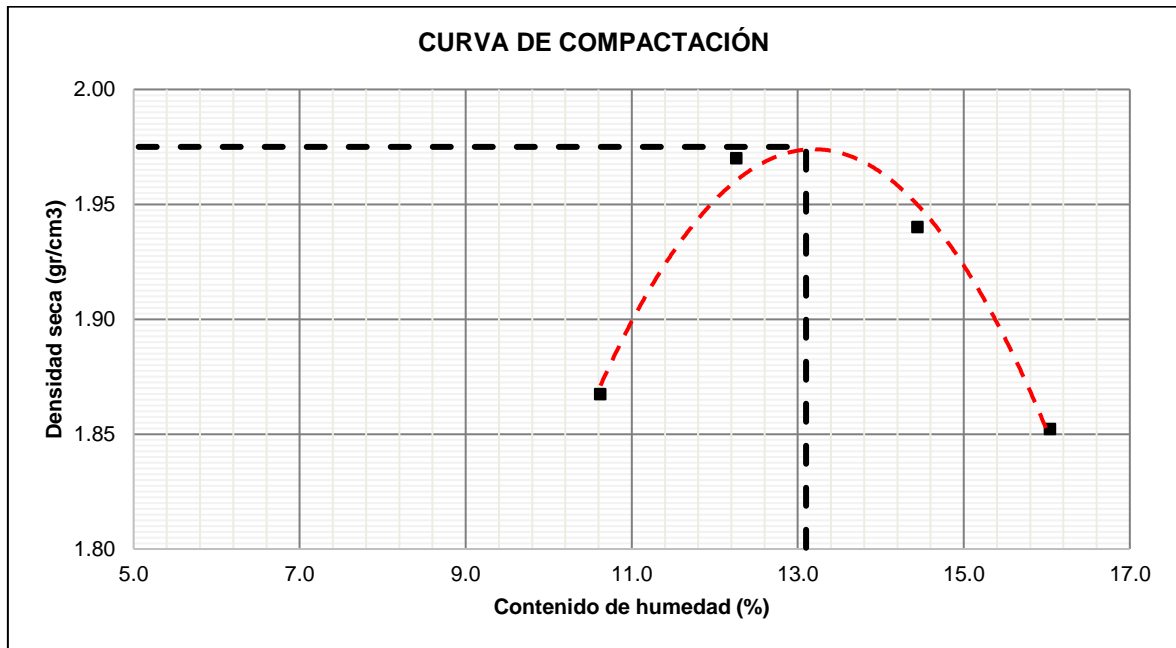
Proctor modificado calicata 1 (+6% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.6	12.3	14.4	16.0
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 29, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (cal apagada al 6%). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 30

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 + 6% cal apagada



Nota. En la figura 30, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + 6% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 30

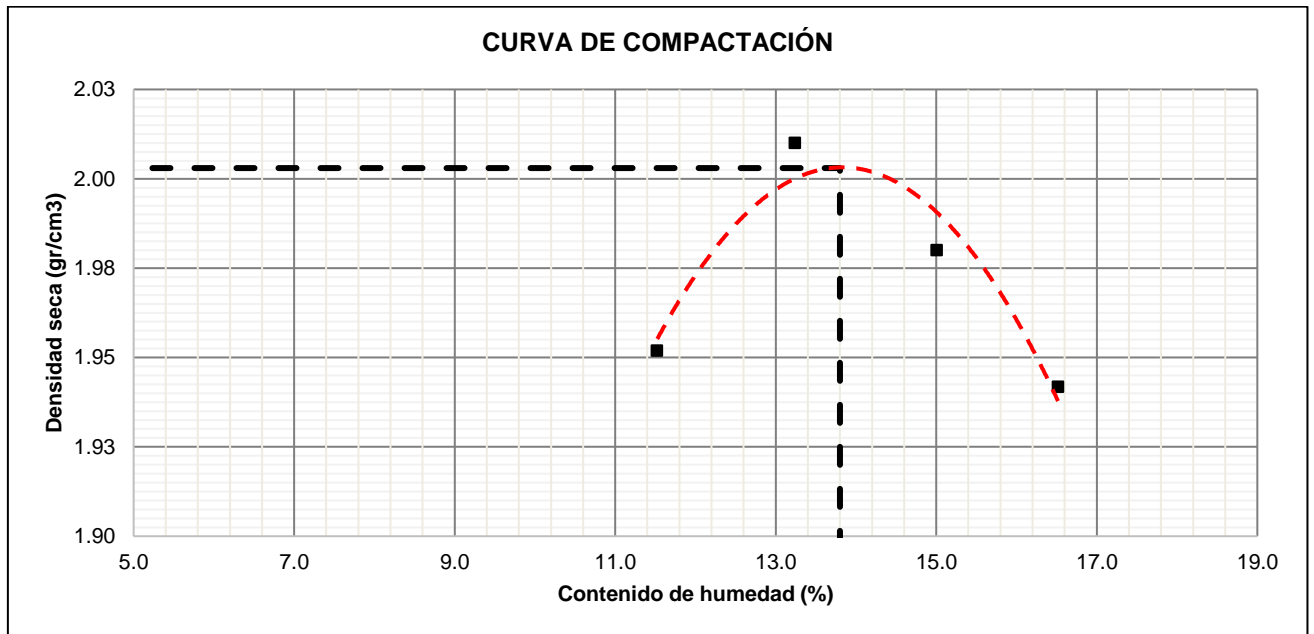
Proctor modificado calicata 1 (+8% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.2	2.3	2.2	2.3
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	11.5	13.2	15.0	16.5
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 30, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (cal apagada al 8%). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 31

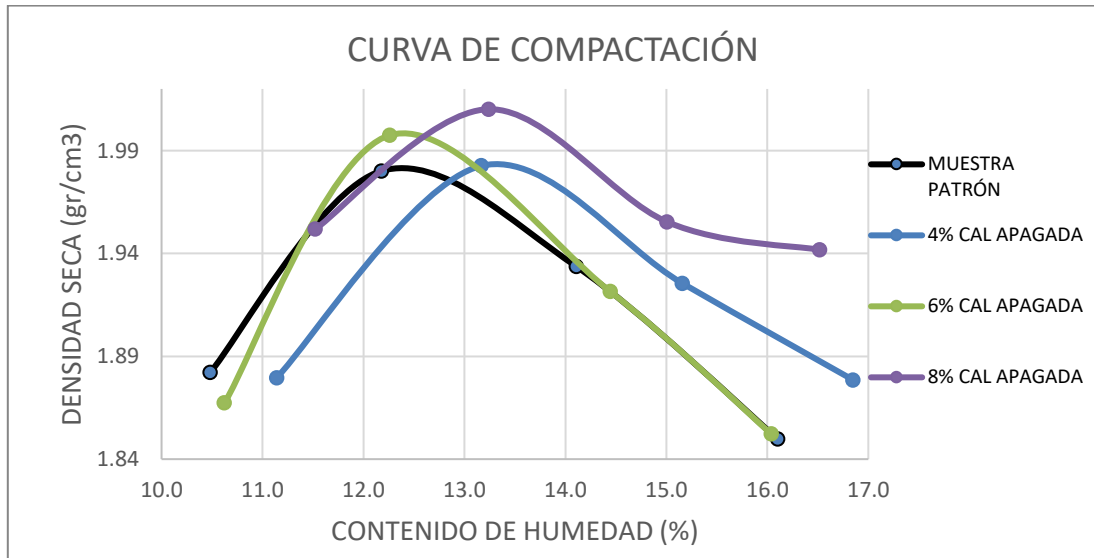
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 + 8% cal apagada



Nota. En la figura 31, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + 8% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 32

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 1 + cal apagada



Nota. En la figura 32, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + cal apagada al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.1.2 Calicata 1 + Cal viva

Tabla 31

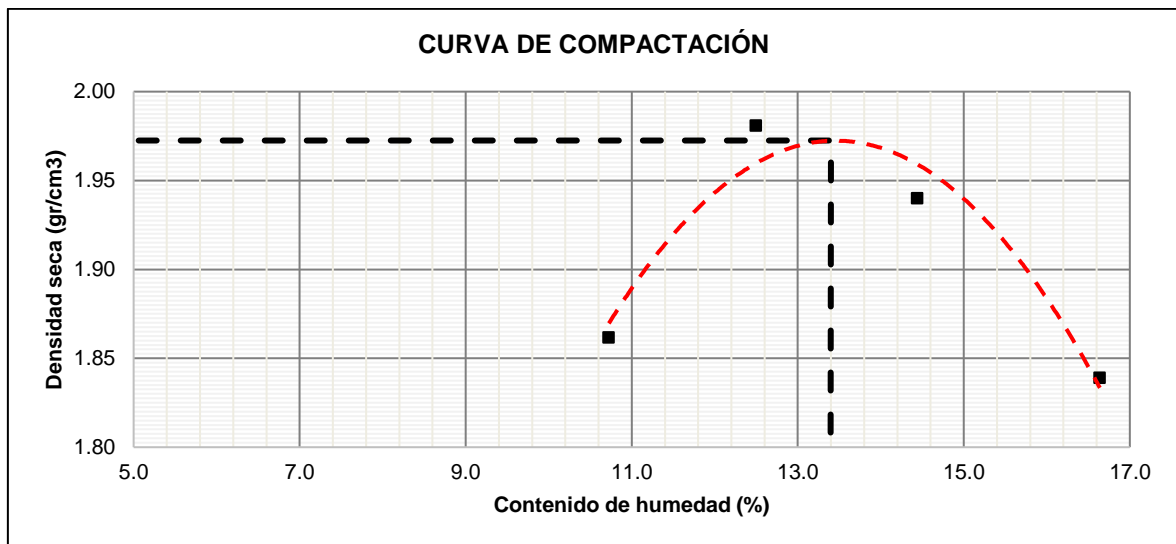
Proctor modificado calicata 1 (+4% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.7	12.5	14.4	16.6
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.8

Nota. En la tabla 31, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (cal viva al 4%). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 33

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 + 4% cal viva



Nota. En la figura 33, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + 4% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 32

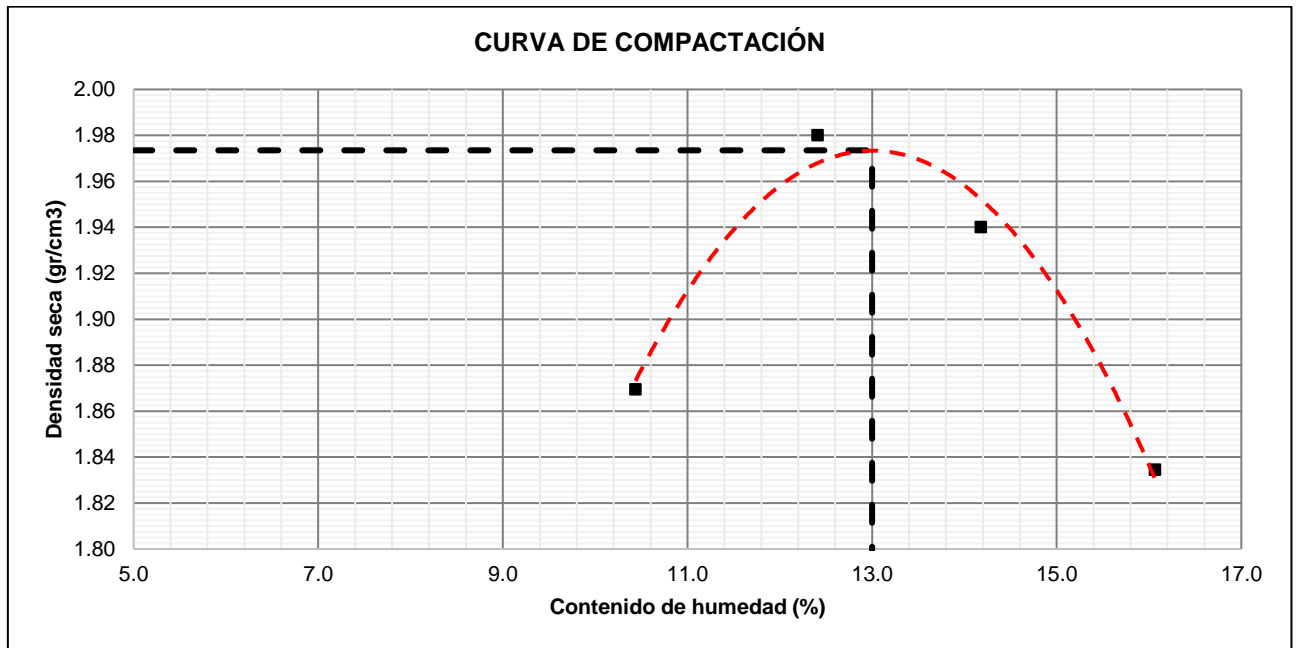
Proctor modificado calicata 1 (+6% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.4	12.4	14.2	16.1
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.8

Nota. En la tabla 32, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (cal viva al 6%). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 34

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 + 6% cal viva



Nota. En la figura 34, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + 6% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 33

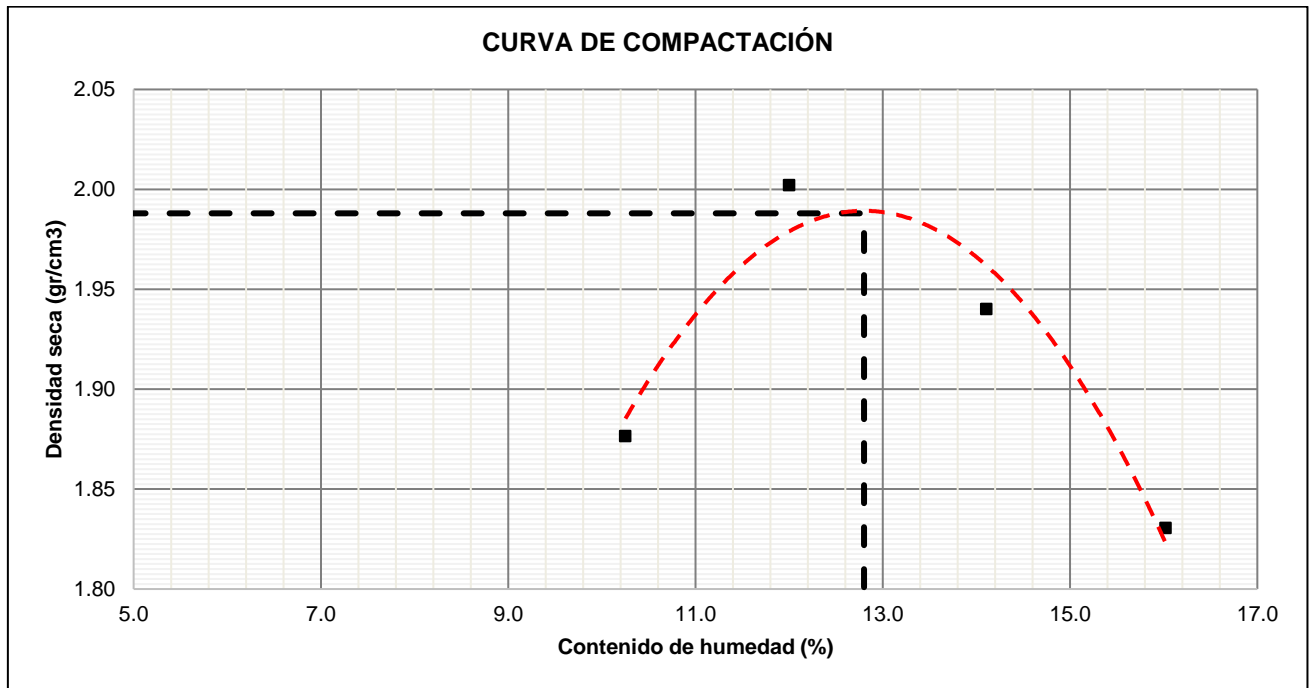
Proctor modificado calicata 1 (+8% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.3	12.0	14.1	16.0
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.8

Nota. En la tabla 33, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 1 (cal viva al 8%). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 35

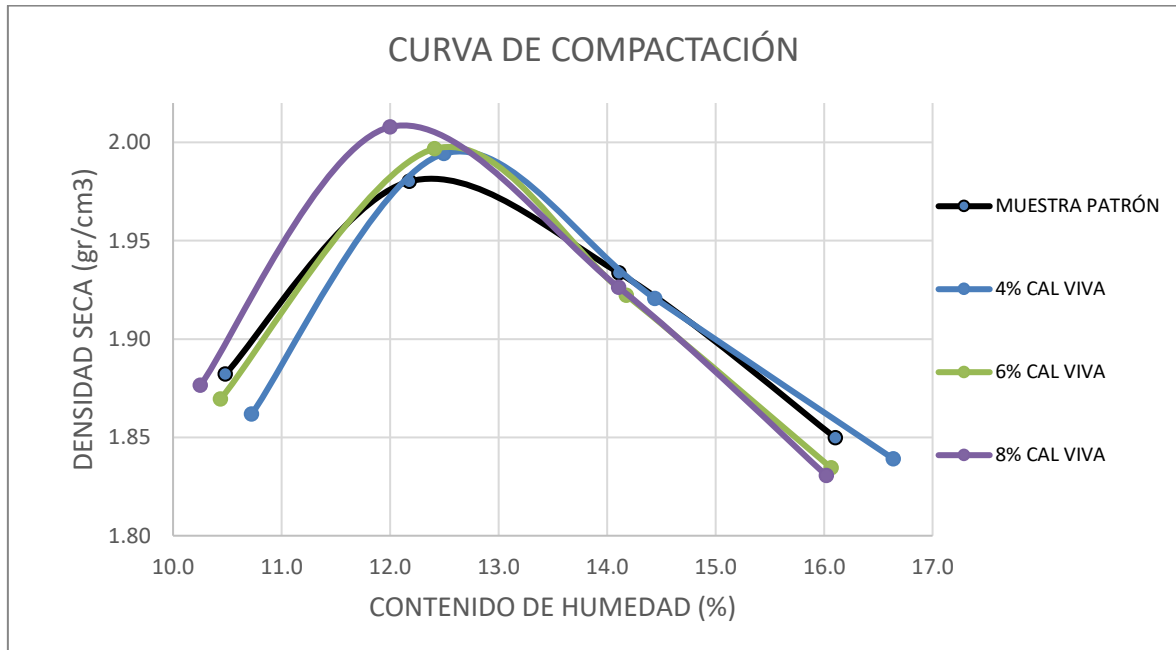
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 1 + 8% cal viva



Nota. En la figura 35, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + 8% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 36

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 1 + cal viva



Nota. En la figura 36, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 1 + cal viva al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.2 Calicata 2

Tabla 34

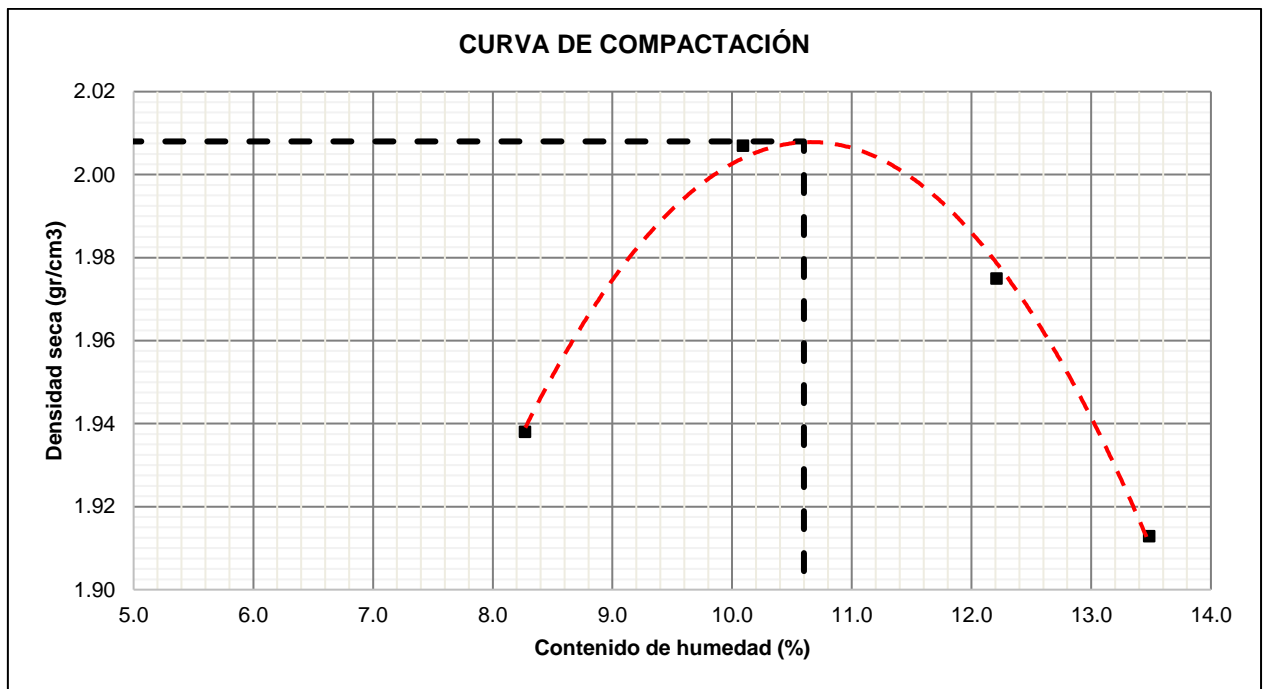
Proctor modificado calicata 2 (muestra patrón)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.3	10.1	12.2	13.5
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 26, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 37

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 (muestra patrón)



Nota. En la figura 37, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.2.1 Calicata 2 + Cal apagada

Tabla 35

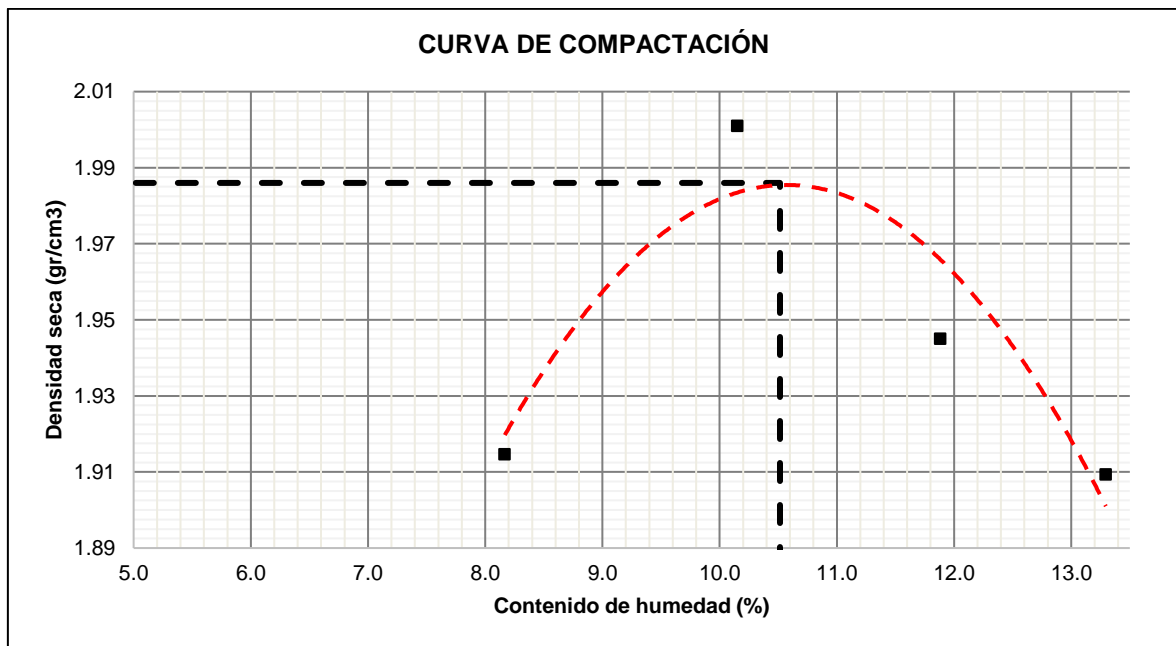
Proctor modificado calicata 2 (+4% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.2	10.2	11.9	13.3
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 35, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (+4% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 38

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 + 4% cal apagada



Nota. En la figura 38, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + 4% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 36

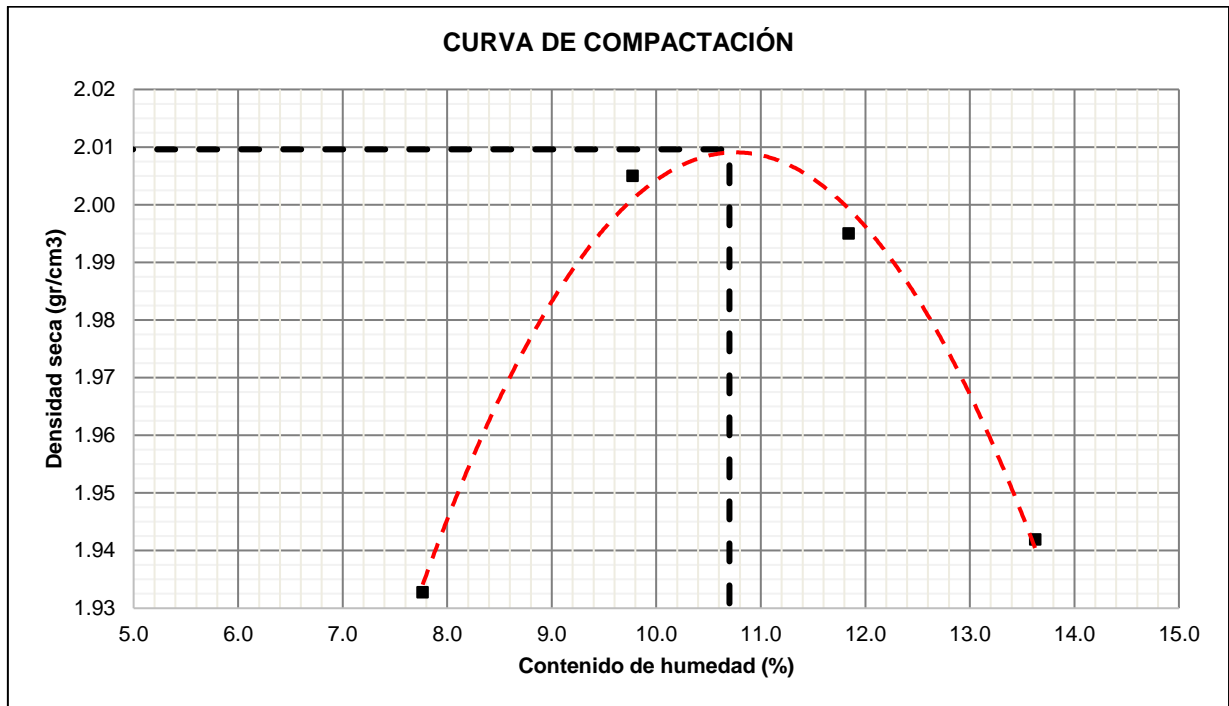
Proctor modificado calicata 2 (+6% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	7.8	9.8	11.8	13.6
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 36, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (+6% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 39

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 + 6% cal apagada



Nota. En la figura 39, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + 6% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 37

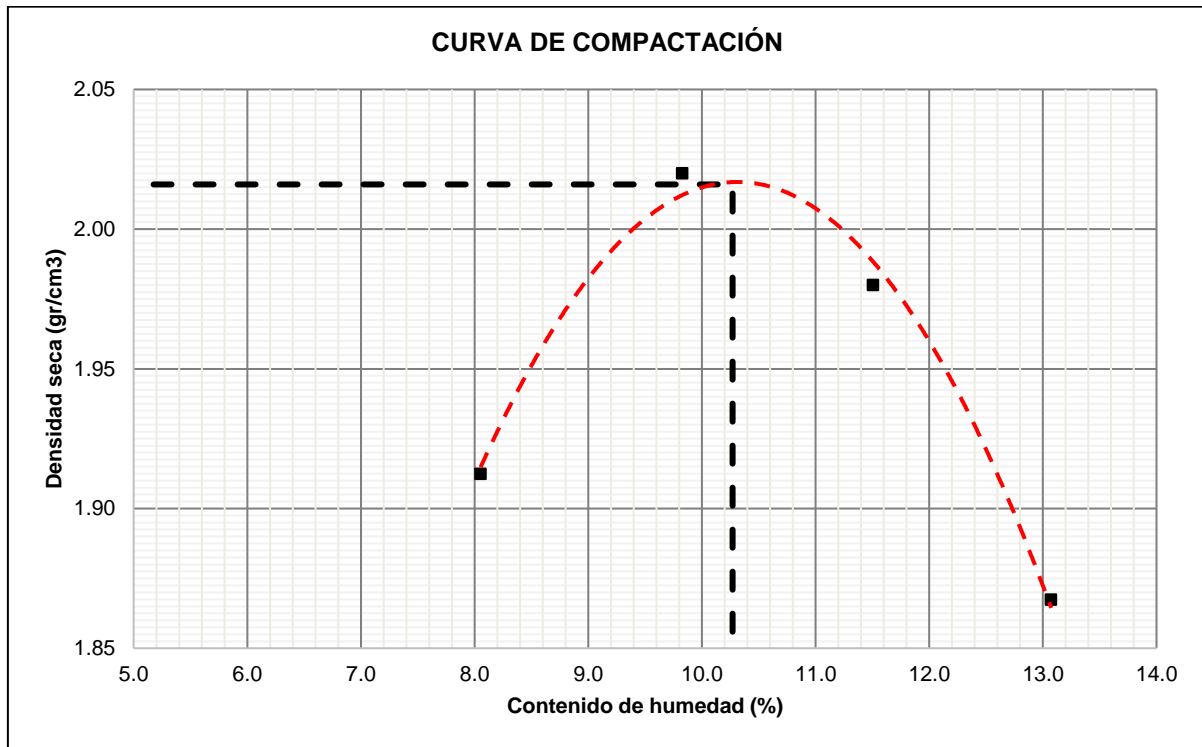
Proctor modificado calicata 2 (+8% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.1	9.8	11.5	13.1
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 37, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (+8% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 40

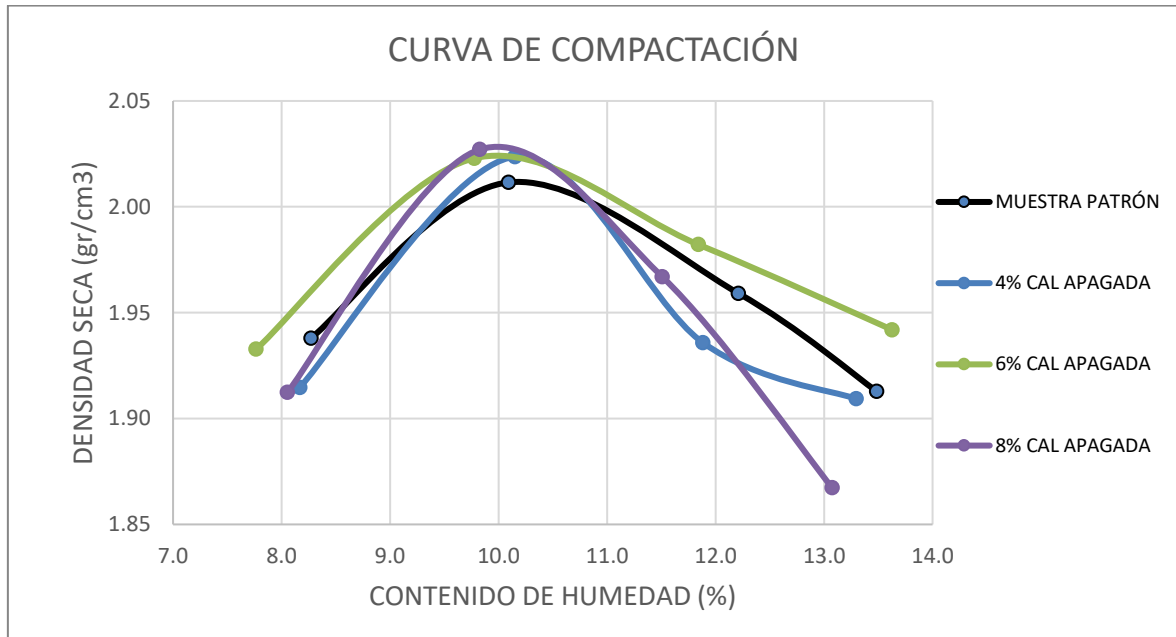
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 + 8% cal apagada



Nota. En la figura 40, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + 8% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 41

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 2 + cal apagada



Nota. En la figura 41, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + cal apagada al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.2.2 Calicata 2 + Cal viva

Tabla 38

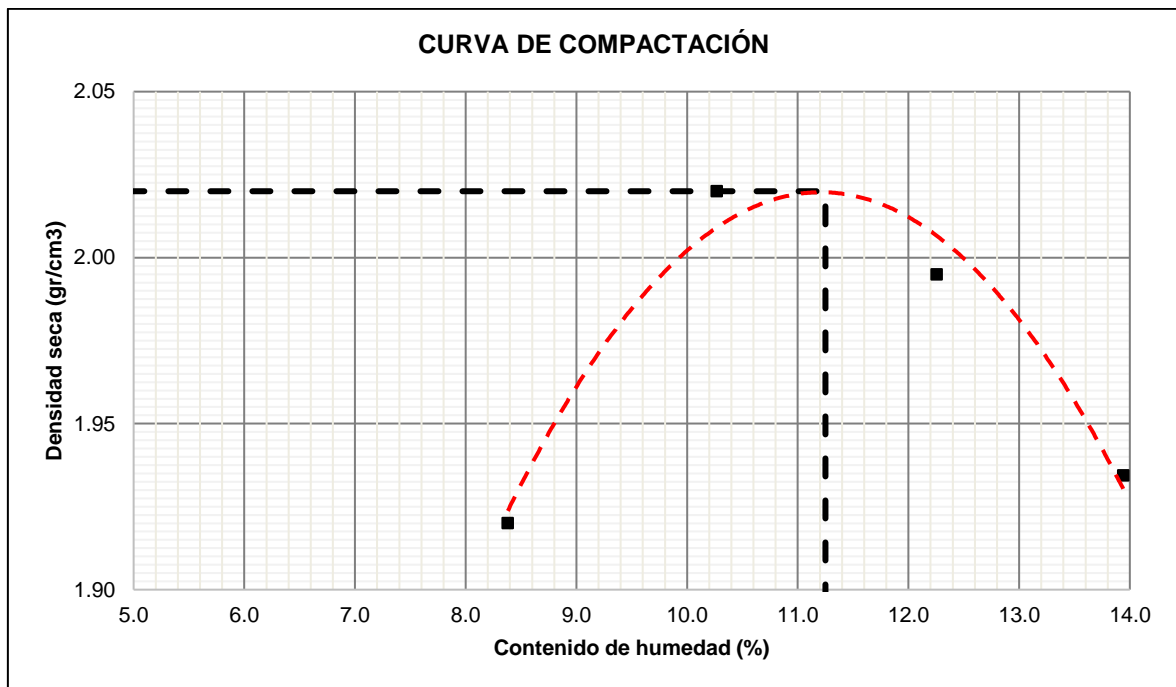
Proctor modificado calicata 2 (+4% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.4	10.3	12.3	13.9
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 38, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (+4% cal viva).

Figura 42

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 + 4% cal viva



Nota. En la figura 42, se gráfica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + 4% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 39

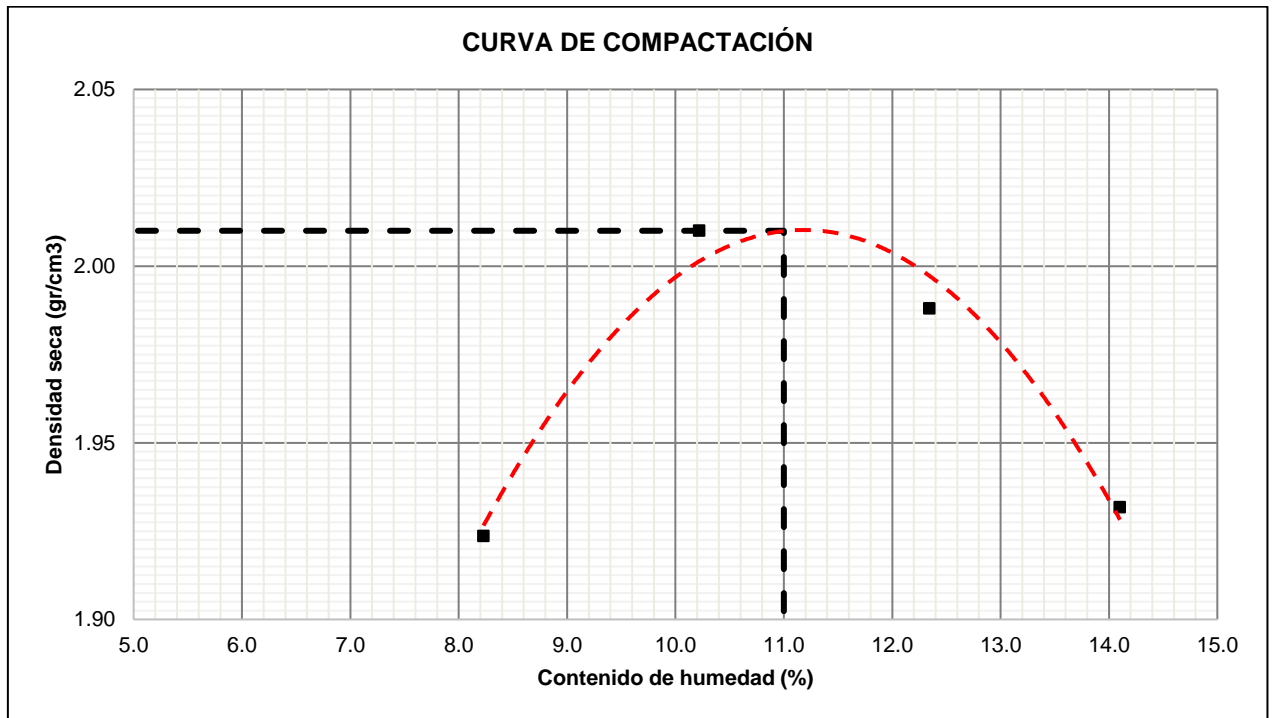
Proctor modificado calicata 2 (+6% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.2	10.2	12.3	14.1
C	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 39, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (+6% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 43

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 + 6% cal viva



Nota. En la figura 43, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + 6% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 40

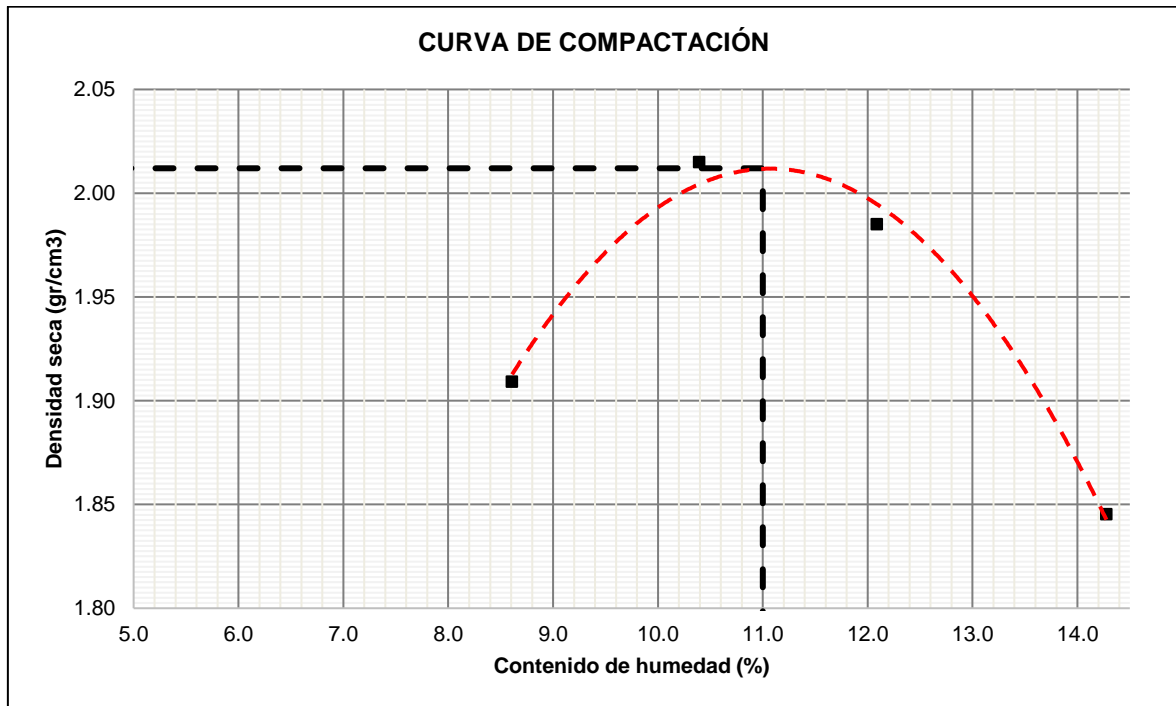
Proctor modificado calicata 2 (+8% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.6	10.4	12.1	14.3
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	2.0	1.8

Nota. En la tabla 40, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 2 (+6% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 44

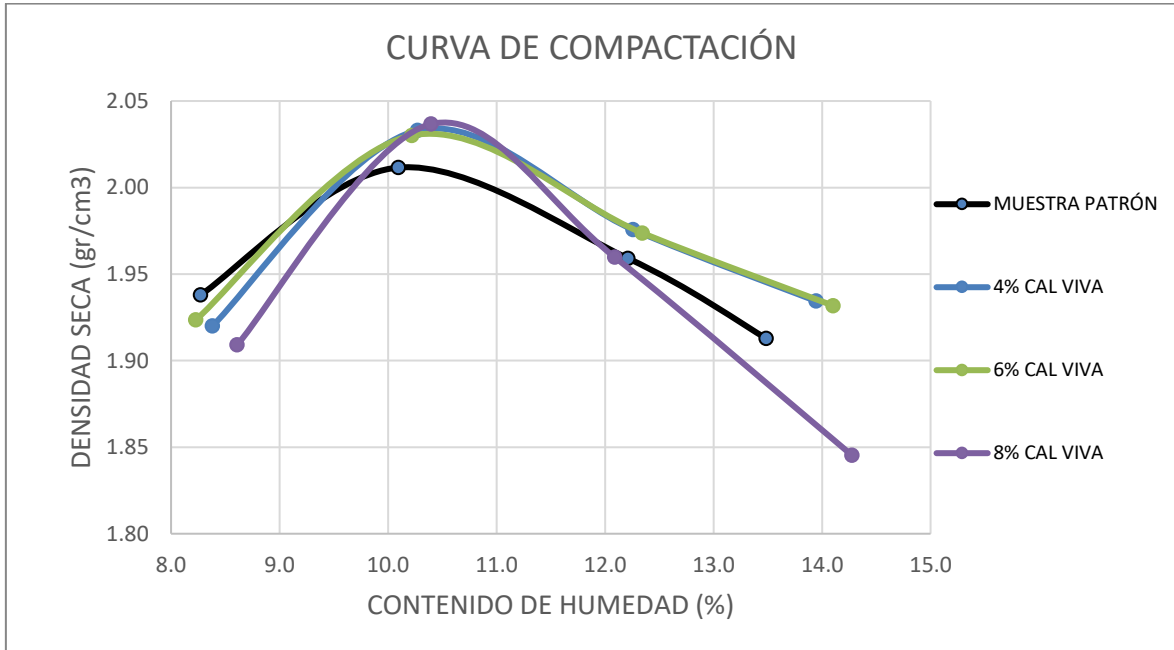
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 2 + 8% cal viva



Nota. En la figura 44, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + 8% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 45

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 2 + cal viva



Nota. En la figura 45, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 2 + cal viva al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.3 Calicata 3 Estrato 1

Tabla 41

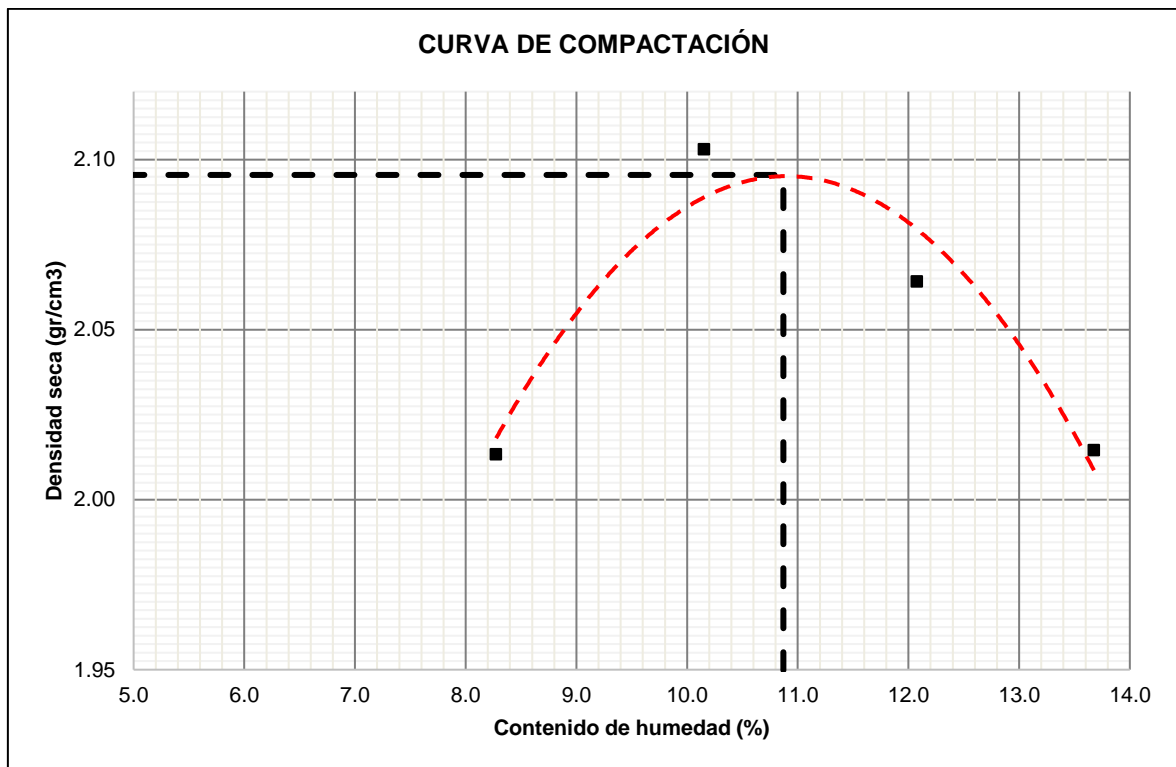
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (muestra patrón)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.2	2.3	2.3	2.3
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.3	10.2	12.1	13.7
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.1	2.1	2.0

Nota. En la tabla 41, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 46

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (muestra patrón)



Nota. En la figura 46, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.3.1 Calicata 3 Estrato 1 + Cal apagada

Tabla 42

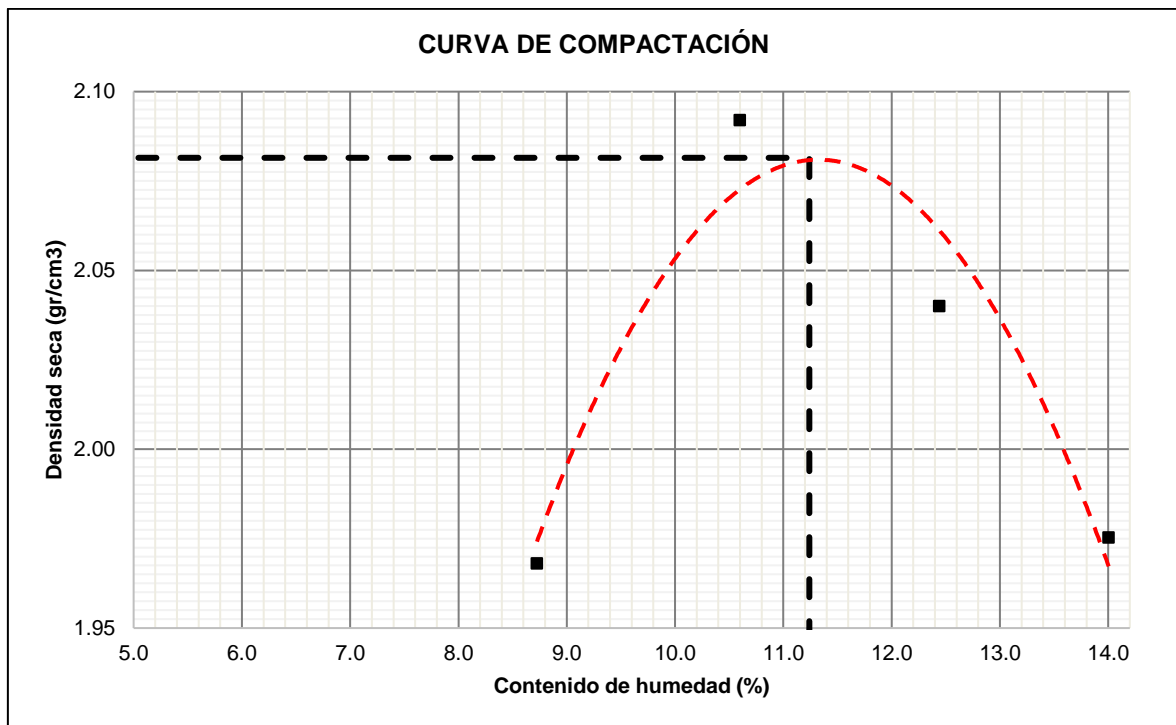
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+4% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.3	2.3	2.3
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.7	10.6	12.4	14.0
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.1	2.0	2.0

Nota. En la tabla 42, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (+4% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 47

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 4% cal apagada



Nota. En la figura 47, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + 4% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 43

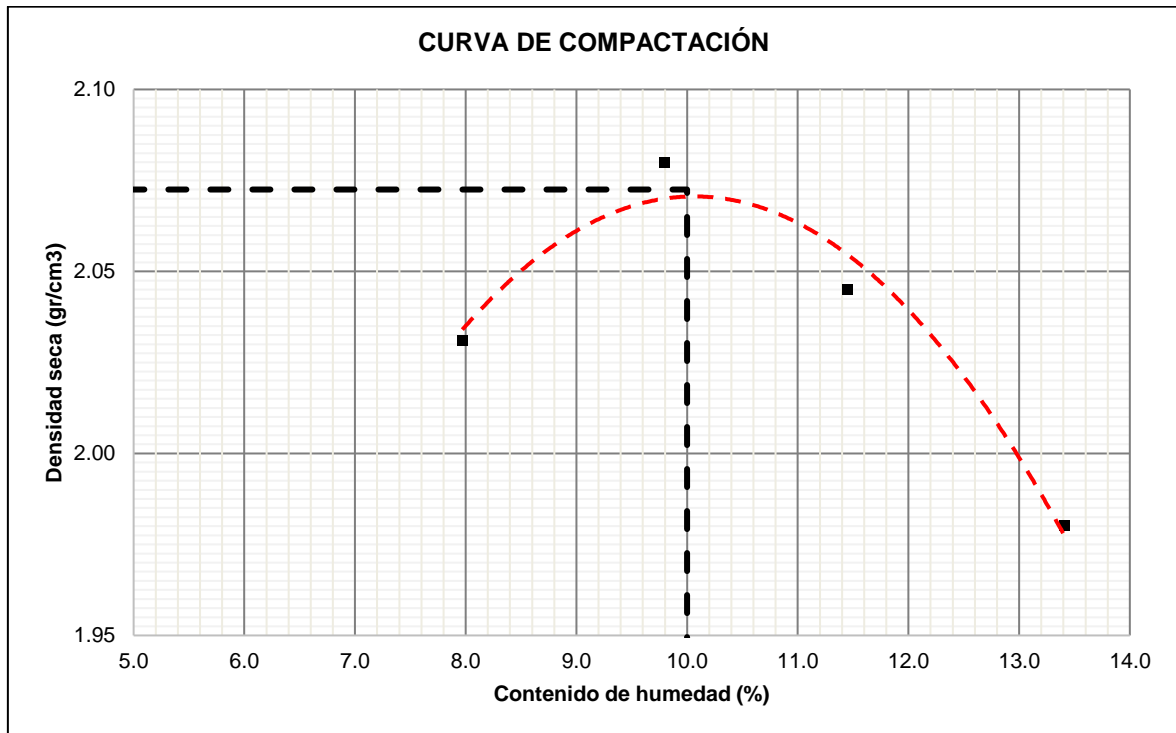
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+6% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.2	2.3	2.3	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.0	9.8	11.4	13.4
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.1	2.0	2.0

Nota. En la tabla 43, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (+6% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 48

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 6% cal apagada



Nota. En la figura 48, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + 6% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 44

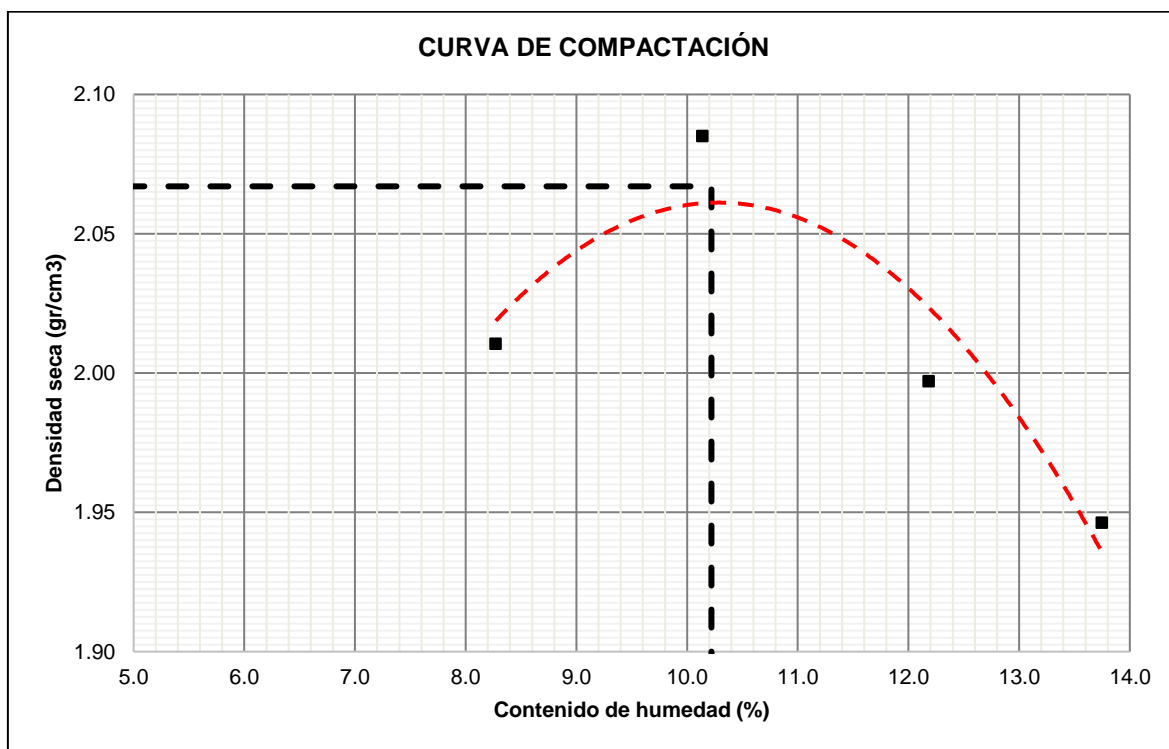
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+8% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.2	2.3	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.3	10.1	12.2	13.8
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.1	2.0	1.9

Nota. En la tabla 44, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (+8% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 49

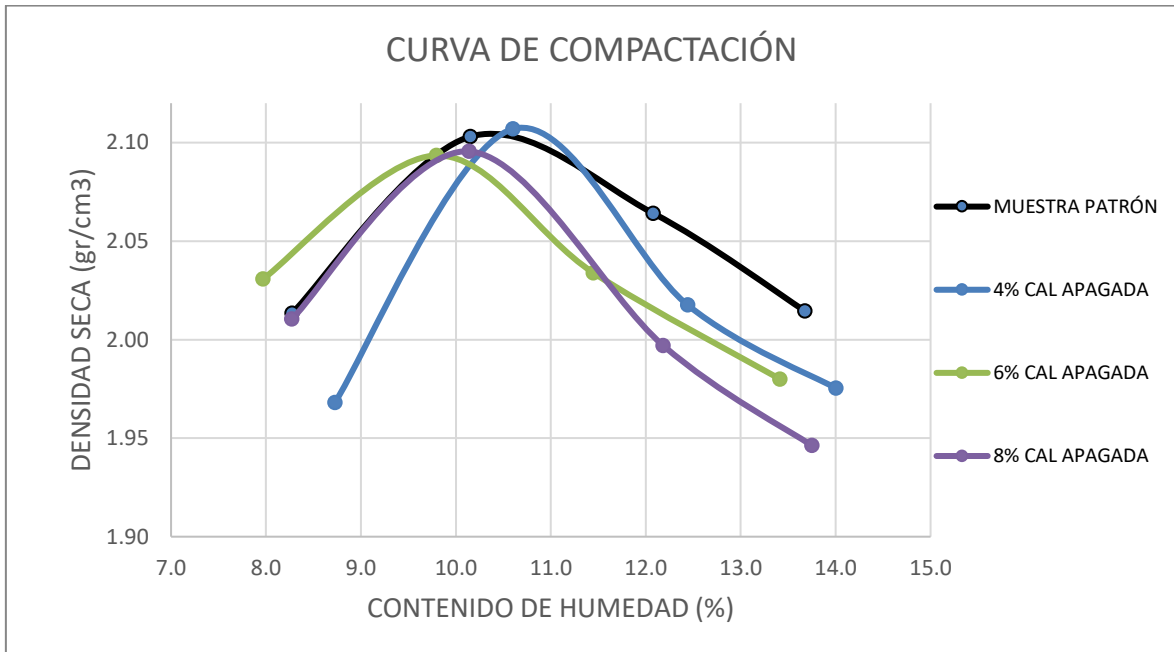
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 8% cal apagada



Nota. En la figura 49, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + 8% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

figura 50

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 3 estrato 1 + cal apagada



Nota. En la figura 50, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + cal apagada al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.3.2 Calicata 3 Estrato 1 + Cal viva

Tabla 45

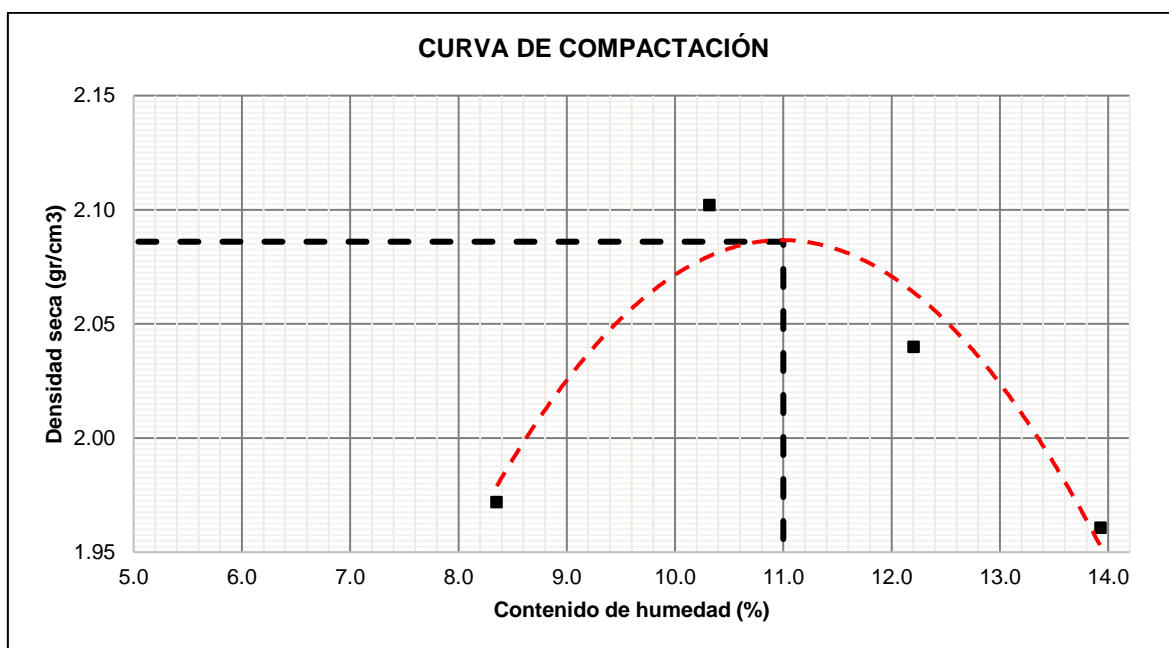
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+4% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.3	2.3	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.4	10.3	12.2	13.9
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.1	2.0	1.9

Nota. En la tabla 45, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (+4% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 51

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 4% cal viva



Nota. En la figura 51, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + 4% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 46

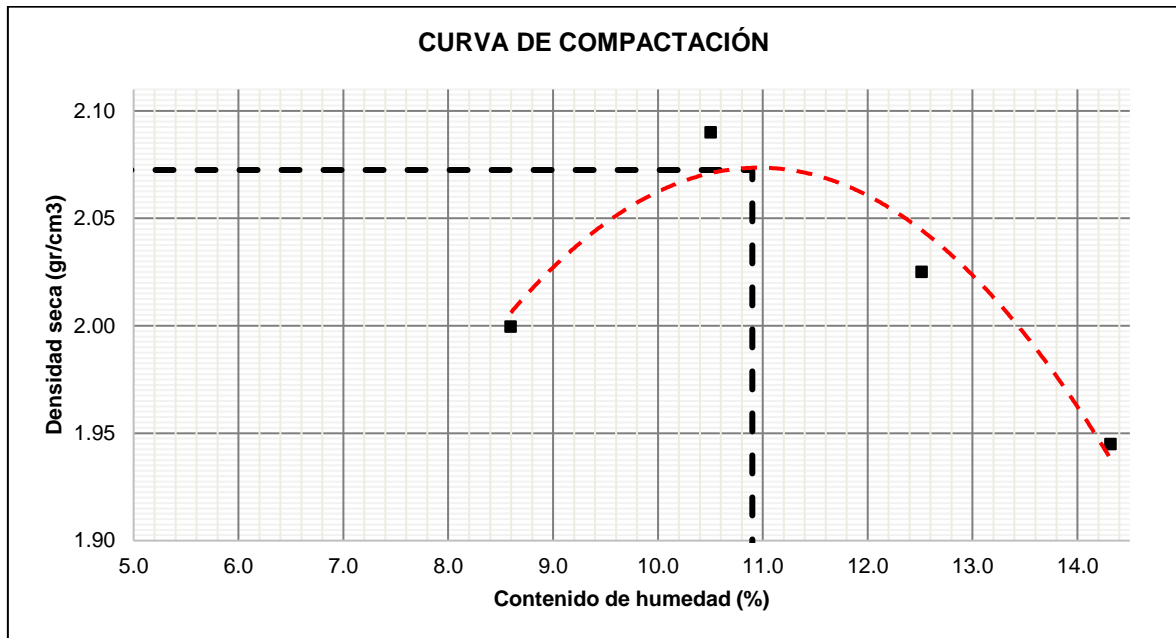
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+6% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2	2.3	2.3	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.6	10.5	12.5	14.3
C	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.0	2.1	2.0	1.9

Nota. En la tabla 46, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (+6% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 52

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 6% cal viva



Nota. En la figura 52, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + 6% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 47

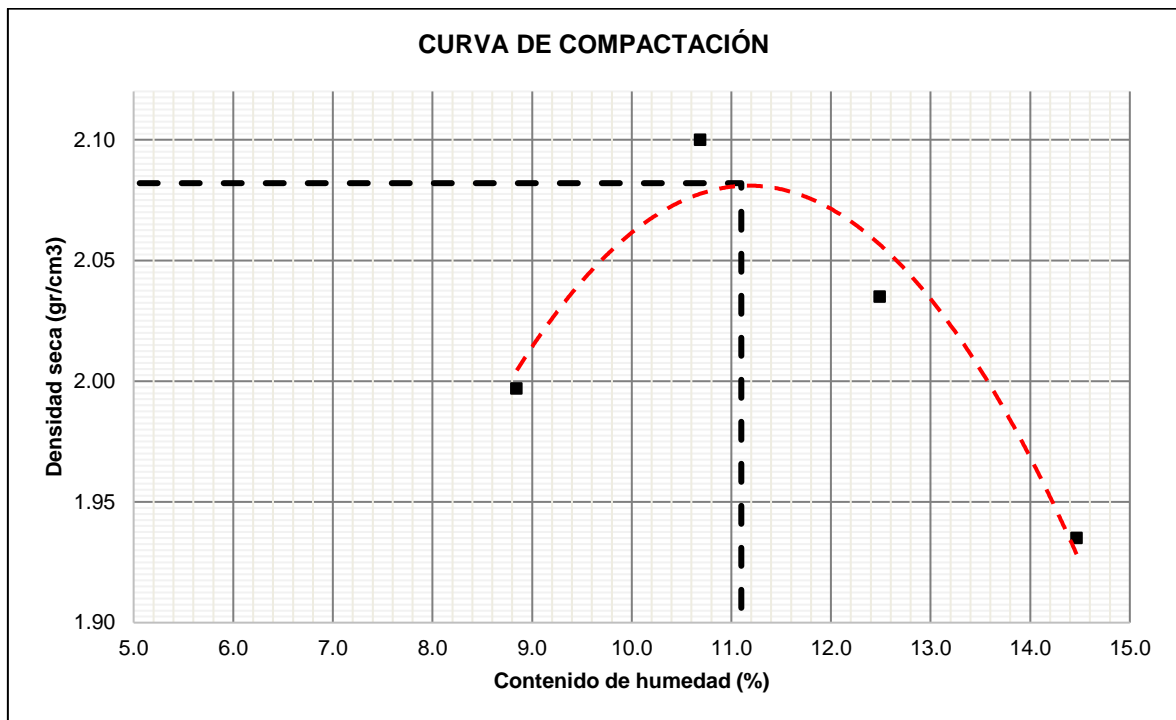
Proctor modificado calicata 3 estrato 1 (+8% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.2	2.3	2.3	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.8	10.7	12.5	14.5
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0	2.1	2.0	1.9

Nota. En la tabla 47, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 (+8% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 53

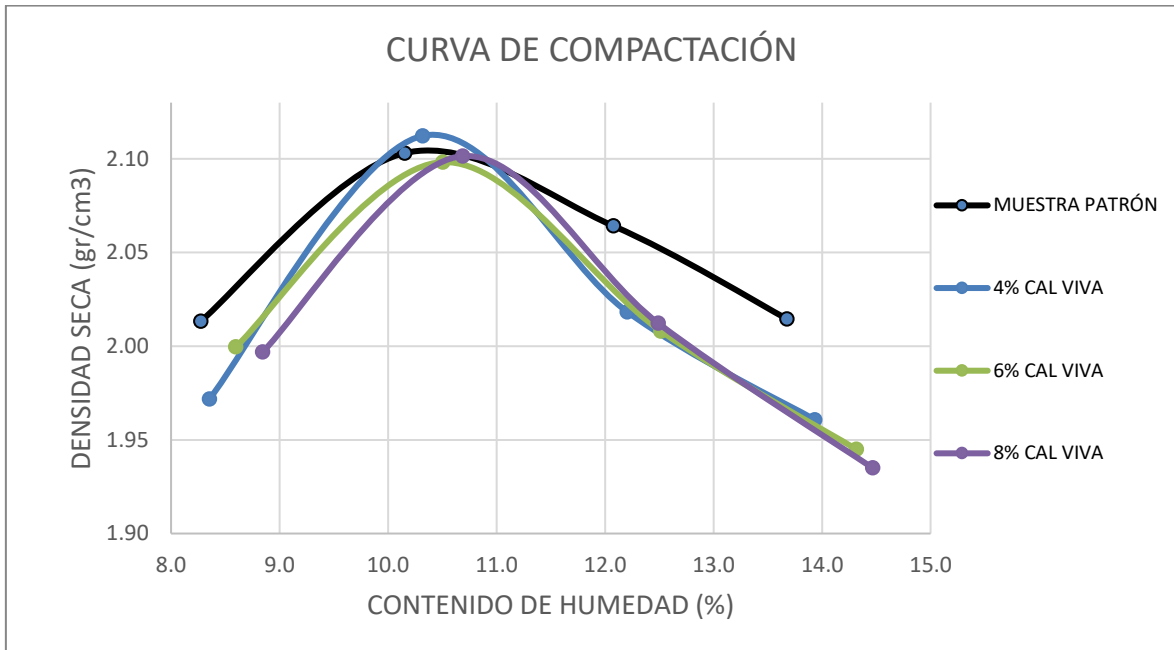
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 1 + 8% cal viva



Nota. En la figura 53, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + 8% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 54

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 3 estrato 1 + cal viva



Nota. En la figura 54, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 1 + cal viva al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.4 Calicata 3 Estrato 2

Tabla 48

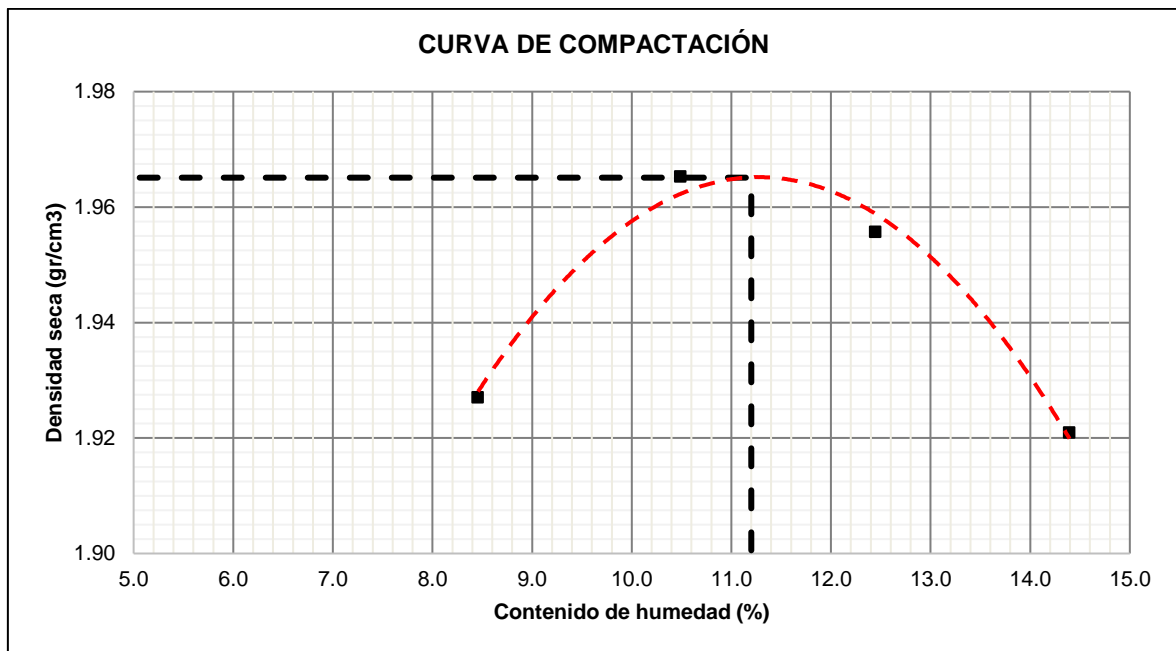
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda; ($D_h=C/D$)	gr/cm^3	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.5	10.5	12.4	14.4
C	Densidad Seca Máxima; D_s	gr/cm^3	1.9	2.0	2.0	1.9

Nota. En la tabla 48, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 55

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)



Nota. En la figura 55, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.4.1 Calicata 3 Estrato 2 + Cal apagada

Tabla 49

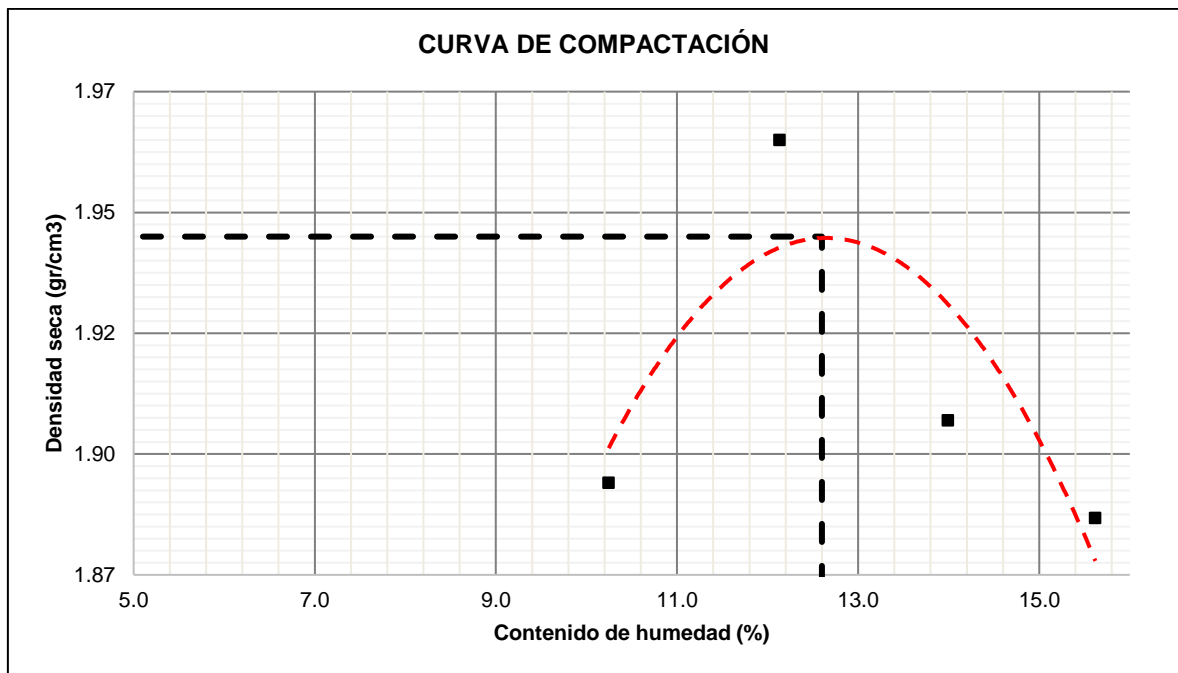
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+4% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.2	12.1	14.0	15.6
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 49, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (+4% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 56

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 4% cal apagada



Nota. En la figura 56, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + 4% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 50

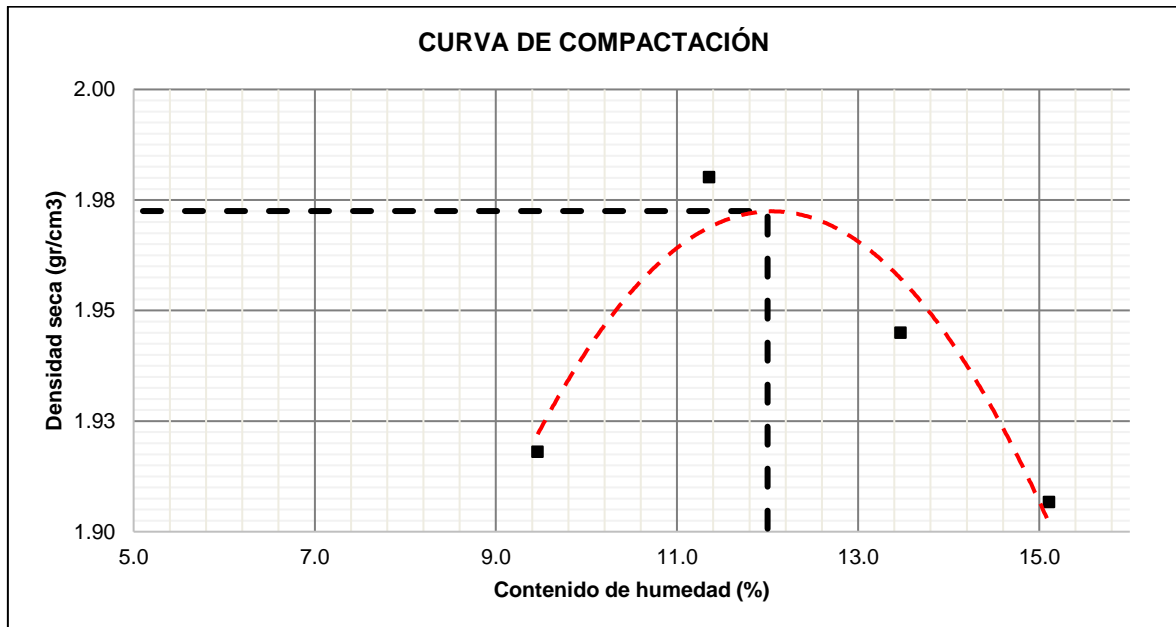
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+6% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.5	11.4	13.5	15.1
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 50, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (+6% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 57

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 6% cal apagada



Nota. En la figura 57, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + 6% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 51

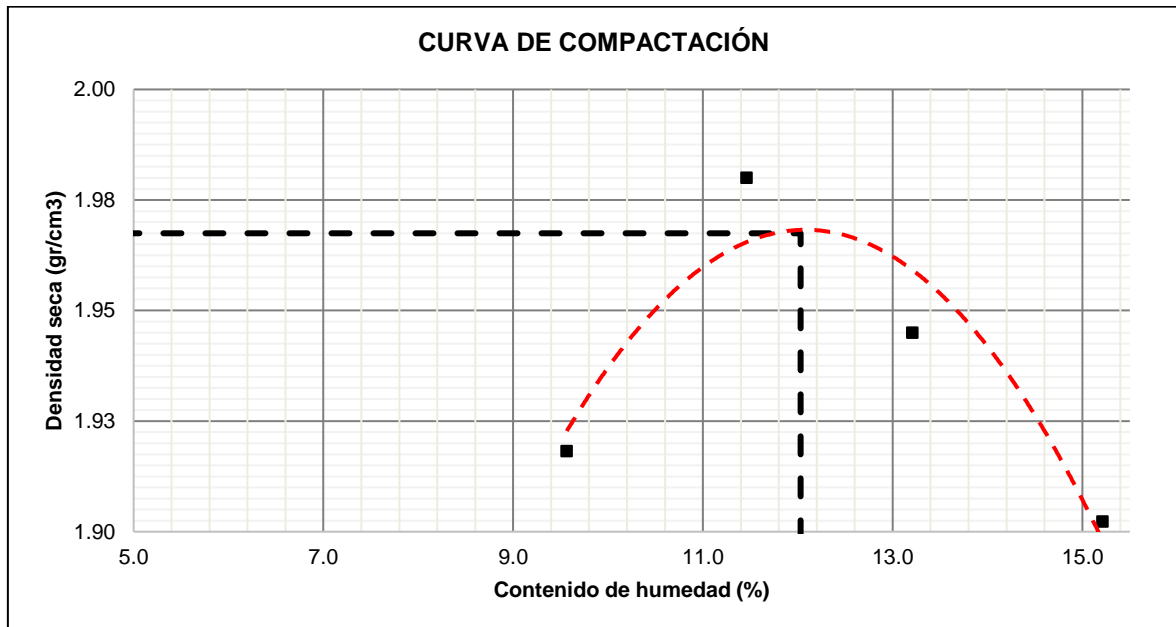
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+8% cal apagada)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.6	11.5	13.2	15.2
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 51, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (+8% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 58

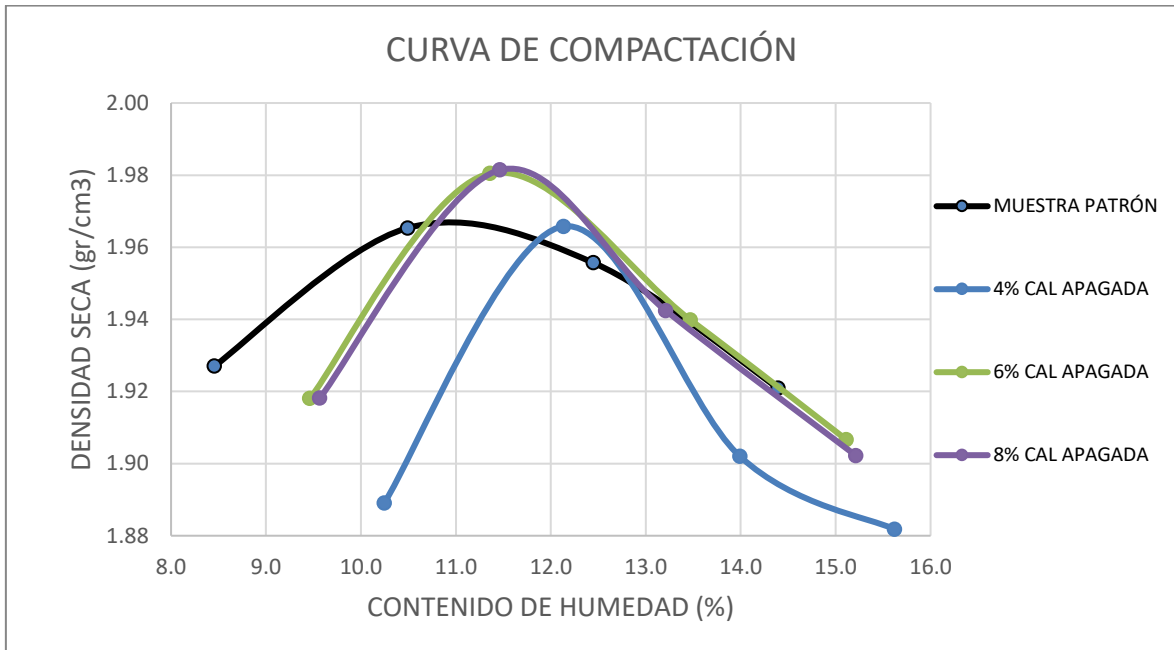
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 8% cal apagada



Nota. En la figura 58, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + 8% de cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 59

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 3 estrato 2 + cal apagada



Nota. En la figura 59, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + cal apagada al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.5.4.2 Calicata 3 Estrato 2 + Cal viva

Tabla 52

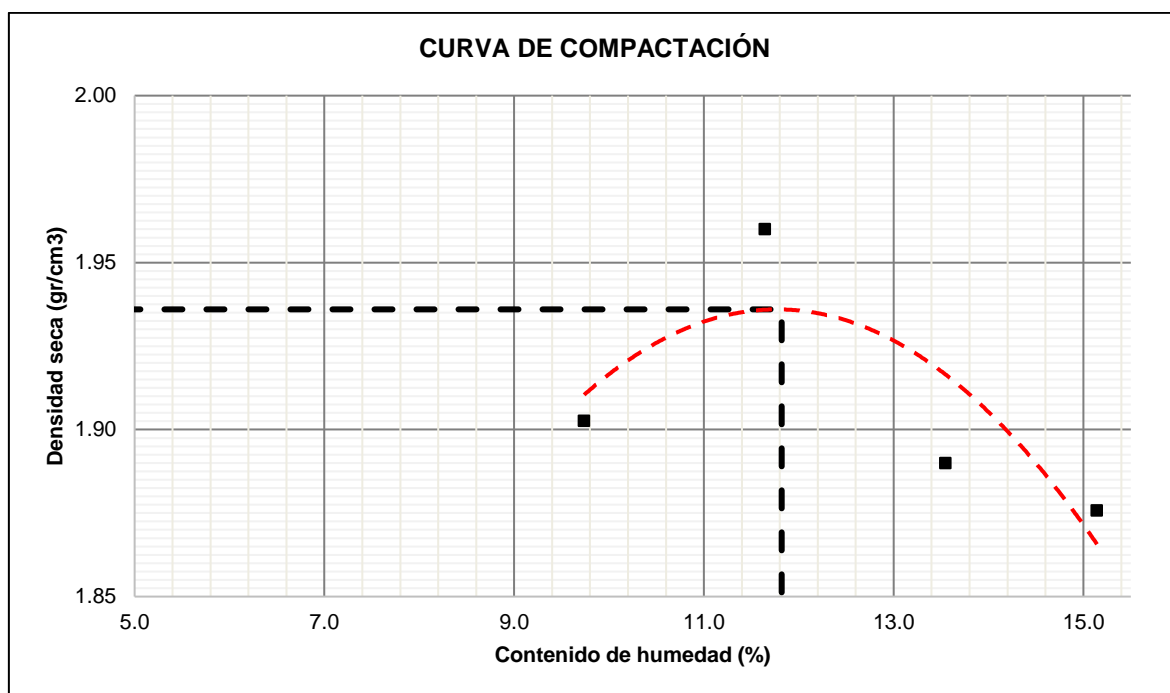
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+4% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda	gr/cm ³	2.1	2.2	2.1	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.7	11.6	13.5	15.1
C	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 52, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (+4% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 60

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 4% cal viva



Nota. En la figura 60, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + 4% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 53

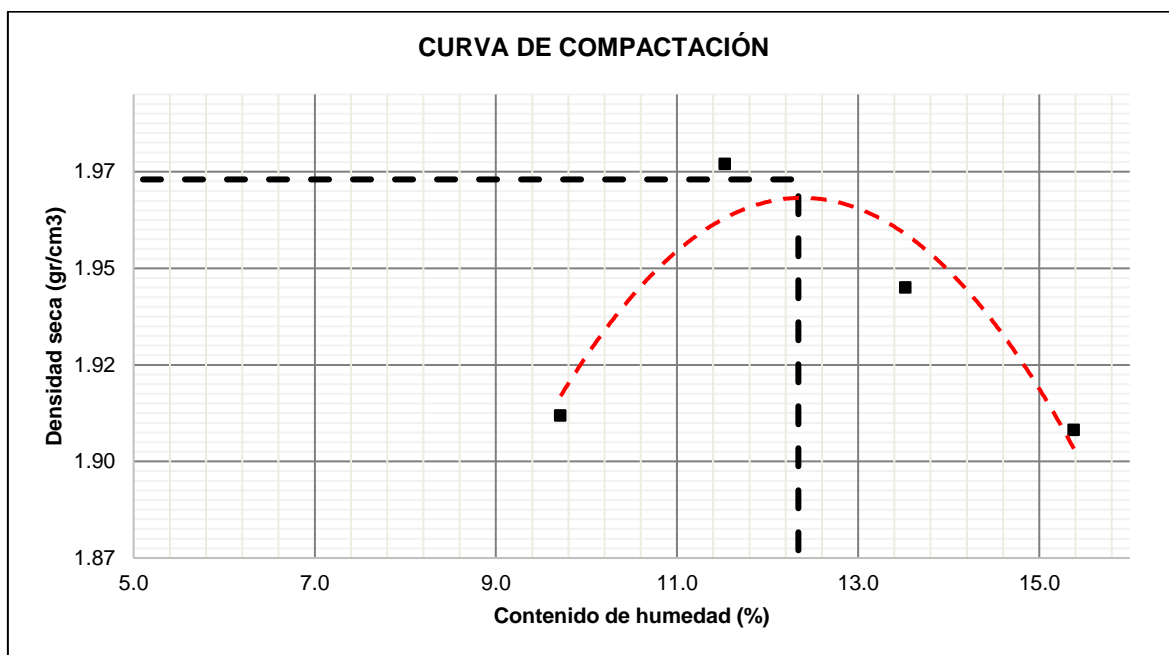
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+6% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.7	11.5	13.5	15.4
C	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 53, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (+6% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 61

Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 6% cal viva



Nota. En la figura 61, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + 6% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 54

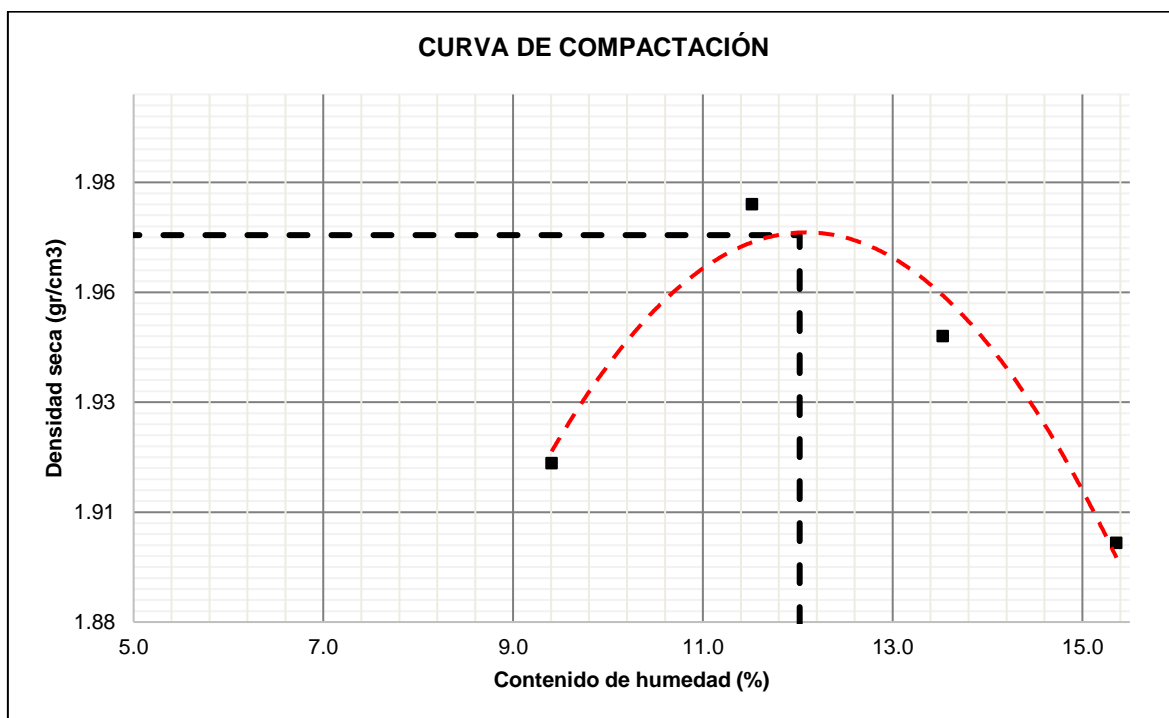
Proctor modificado calicata 3 estrato 2 (+8% cal viva)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2
B	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.4	11.5	13.5	15.4
C	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9	2.0	1.9	1.9

Nota. En la tabla 54, se muestran los datos obtenidos del ensayo del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 (+8% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 62

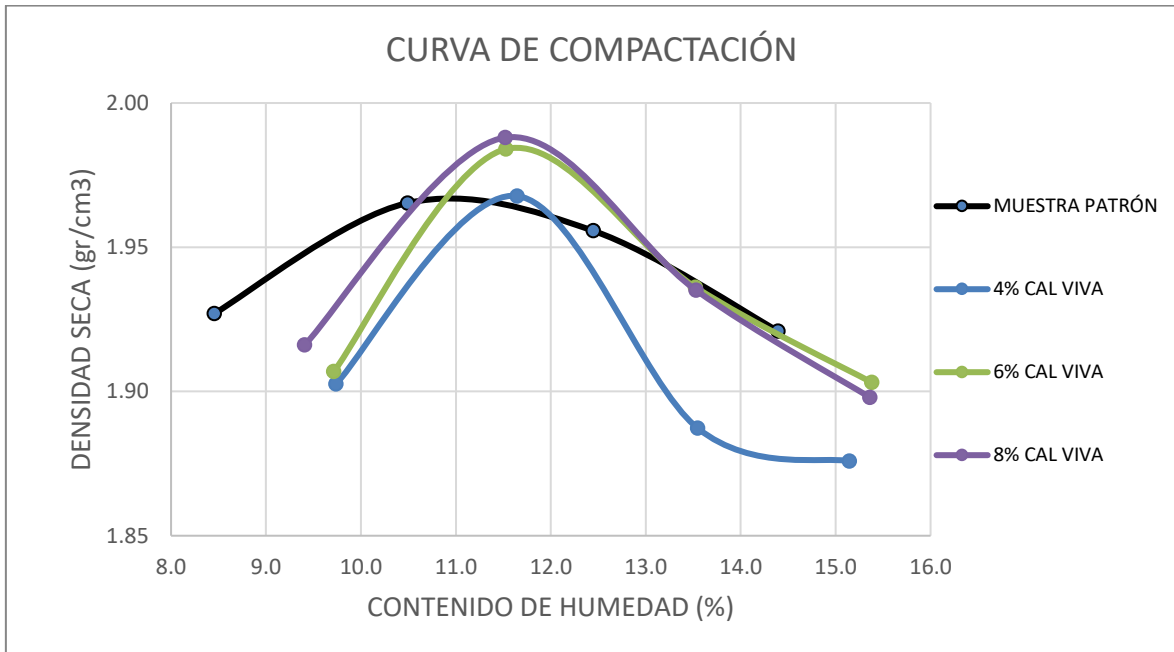
Gráfica del Proctor modificado de la calicata 3 estrato 2 + 8% cal viva



Nota. En la figura 62, se grafica el óptimo contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + 8% de cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 63

Resumen de las gráficas del Proctor de la calicata 3 estrato 2 + cal viva



Nota. En la figura 63, se grafica de manera resumida el contenido de humedad y densidad seca de la calicata 3 estrato 2 + cal viva al 4%, 6% y 8%. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.6 Método de ensayo CBR

Para el objetivo “Determinar el porcentaje de CBR agregando cal viva y apagada a la calicata más crítica según los resultados obtenidos en el Proctor” se obtuvieron los siguientes datos.

3.6.1 Ensayo CBR a Calicata 3 Estrato 2

Tabla 55

CBR de la calicata 3 Estrato 2 (muestra patrón)

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Capas		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.11	2.14	2.16	2.17	2.25	2.28
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Promedio Contenido de Humedad	%	11.11	13.55	11.49	13.77	11.52	13.03
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.80	1.89	1.94	1.91	2.01	2.02

Nota. En la tabla 55, se muestran los datos obtenidos del ensayo CBR de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Tabla 56

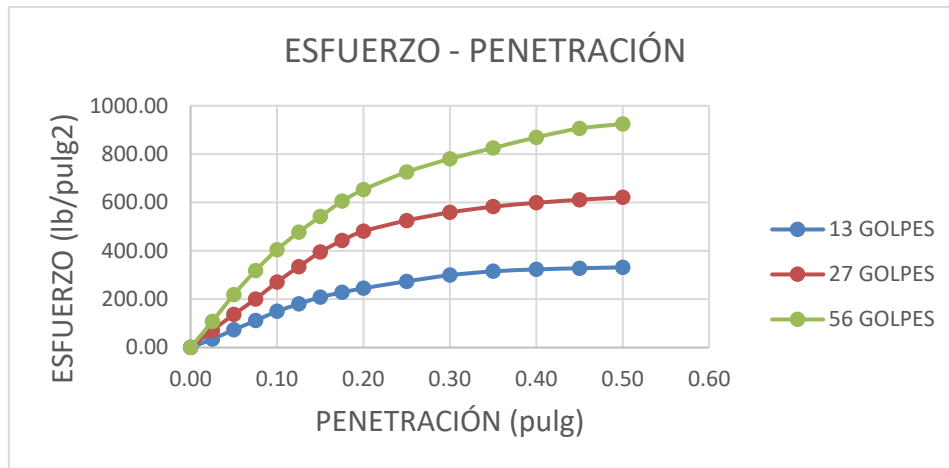
Ensayo carga-penetración de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón)

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
mm	Pulg	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo
		kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	49.90	2.46	35.01	100.70	10.95	70.66	154.22	16.77	108.23
1.27	0.05	104.78	5.17	73.53	195.04	21.22	136.87	312.07	33.94	219.00
1.91	0.08	158.76	7.83	111.41	285.76	31.08	200.54	453.59	49.34	318.31
2.54	0.10	213.19	10.52	149.61	385.55	41.94	270.56	576.06	62.66	404.25
3.18	0.13	256.28	12.64	179.85	476.27	51.81	334.23	680.39	74.01	477.46
3.81	0.15	296.65	14.64	208.17	562.45	61.18	394.70	771.11	83.87	541.13
4.45	0.18	324.32	16.00	227.59	630.49	68.58	442.45	861.83	93.74	604.79
5.08	0.20	349.27	17.23	245.10	684.92	74.50	480.65	929.86	101.14	652.54
6.35	0.25	390.09	19.25	273.75	748.43	81.41	525.21	1034.19	112.49	725.75
7.62	0.30	426.38	21.04	299.21	796.05	86.59	558.63	1111.75	120.93	780.18
8.89	0.35	449.06	22.16	315.13	830.07	90.29	582.51	1175.26	127.84	824.74
10.16	0.40	460.40	22.72	323.08	852.75	92.76	598.42	1238.76	134.74	869.30
11.43	0.45	467.20	23.05	327.86	870.90	94.73	611.15	1290.92	140.42	905.91
12.70	0.50	472.64	23.32	331.68	884.51	96.21	620.70	1317.69	143.33	924.69

Nota. En la tabla 64, se muestran los datos obtenidos del ensayo carga- penetración al CBR de la calicata 3 estrato 2 (muestra patrón). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 64

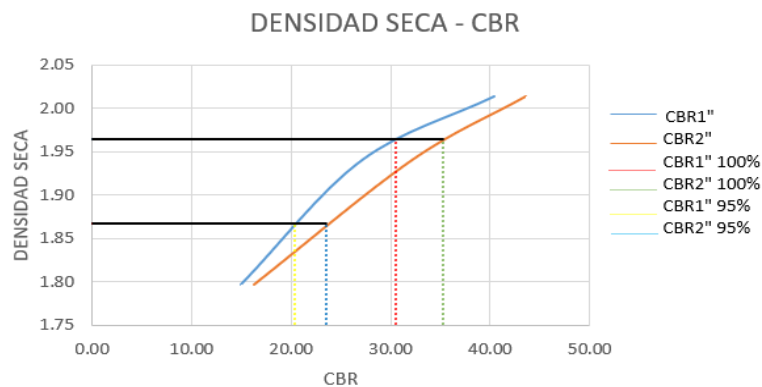
Gráfica de la curva del esfuerzo-penetración de la calicata 3 estrato 2



Nota. En la figura 64, se presenta la relación esfuerzo-penetración del material natural. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 65

Gráfica de la curva de la Densidad seca – CBR de la calicata 3 estrato 2



Nota. En la figura 65, se presenta la relación Densidad seca - CBR del material natural, donde se observa que el % del CBR nos da un 20.2% al 95% de MDS y 30.5% al 100% de MDS. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.6.2 Ensayo CBR a Calicata 3 Estrato 2 + 4% de cal apagada

Tabla 57

CBR de la calicata 3 Estrato 2 (+4% cal apagada)

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Capas		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.08	2.11	2.10	2.17	2.25	2.22
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Promedio Contenido de Humedad	%	12.20	13.63	11.82	12.05	11.96	14.18
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.85	1.86	1.88	1.94	2.01	1.95

Nota. En la tabla 57, se muestran los datos obtenidos del ensayo CBR de la calicata 3 estrato 2 (+4% de cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Tabla 58

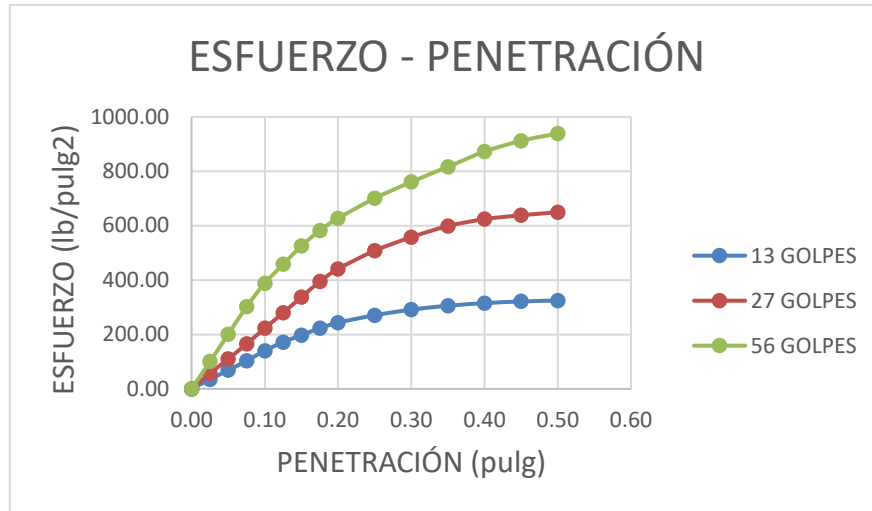
Ensayo carga-penetración de la calicata 3 estrato 2 (+4% de cal apagada)

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
mm	Pulg	Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
		kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	49.90	2.46	35.01	81.65	8.88	57.30	142.88	15.54	100.27
1.27	0.05	97.52	4.81	68.44	156.49	17.02	109.82	285.76	31.08	200.54
1.91	0.08	147.42	7.27	103.45	235.87	25.66	165.52	430.91	46.87	302.39
2.54	0.10	199.58	9.85	140.06	317.51	34.54	222.82	553.38	60.19	388.34
3.18	0.13	244.94	12.08	171.89	399.16	43.42	280.11	653.17	71.05	458.37
3.81	0.15	281.23	13.88	197.35	480.81	52.30	337.41	748.43	81.41	525.21
4.45	0.18	317.51	15.67	222.82	562.45	61.18	394.70	830.07	90.29	582.51
5.08	0.20	347.00	17.12	243.51	628.23	68.33	440.86	893.58	97.20	627.07
6.35	0.25	385.55	19.02	270.56	723.48	78.69	507.70	997.90	108.54	700.28
7.62	0.30	415.04	20.48	291.25	794.69	86.44	557.68	1084.09	117.92	760.76
8.89	0.35	435.45	21.48	305.58	852.75	92.76	598.42	1163.46	126.55	816.46
10.16	0.40	449.06	22.16	315.13	889.04	96.70	623.89	1242.84	135.19	872.17
11.43	0.45	458.13	22.60	321.49	909.45	98.92	638.21	1299.54	141.35	911.96
12.70	0.50	462.66	22.83	324.68	925.33	100.65	649.35	1338.10	145.55	939.01

Nota. En la tabla 58, se muestran los datos obtenidos del ensayo carga- penetración al CBR de la calicata 3 estrato 2 (+4% cal apagada). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 66

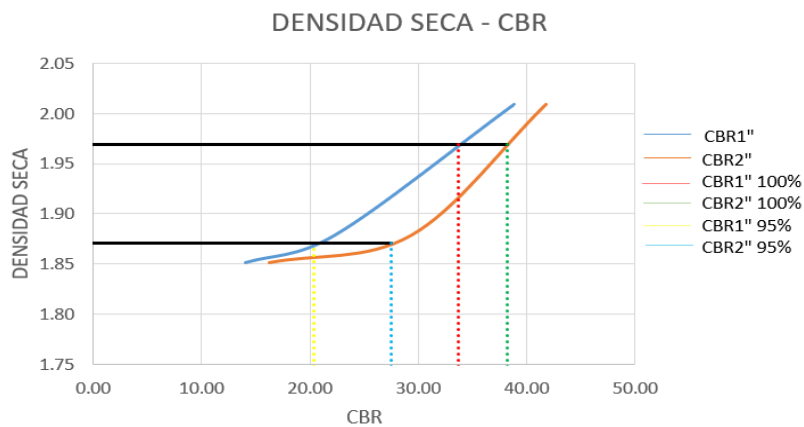
Gráfica de la curva del esfuerzo-penetración de la calicata 3 estrato 2 +4% de cal apagada



Nota. En la figura 66, se presenta la relación esfuerzo-penetración del material + cal apagada. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 67

Gráfica de la curva de la Densidad seca – CBR de la calicata 3 estrato 2 +4% de cal apagada



Nota. En la figura 67, se presenta la relación Densidad seca - CBR del material natural, donde se observa que el % del CBR nos da un 20.4% al 95% de MDS y 34.0% al 100% de MDS. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.6.3 Ensayo CBR a Calicata 3 Estrato 2 + 4% de cal viva

Tabla 59

CBR de la calicata 3 Estrato 2 (+4% cal viva)

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Capas		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	2.07	2.15	2.11	2.09	2.22	2.22
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Promedio Contenido de Humedad	%	11.26	12.92	11.81	14.04	11.85	13.75
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.86	1.91	1.89	1.84	1.99	1.95

Nota. En la tabla 59, se muestran los datos obtenidos del ensayo CBR de la calicata 3 estrato 2 (+4% de cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Tabla 60

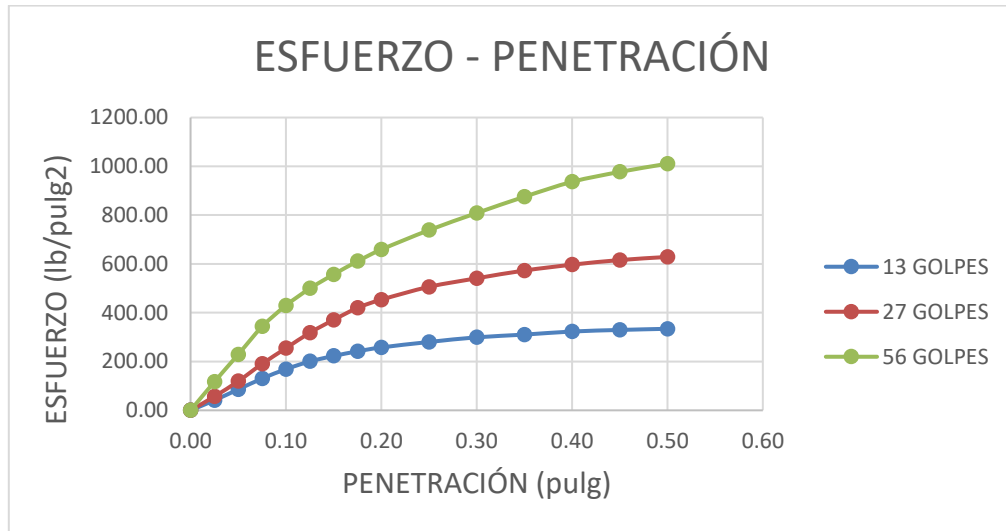
Ensayo carga-penetración de la calicata 3 estrato 2 (+4% de cal viva)

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
mm	Pulg	Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
		kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	58.97	2.91	41.38	81.65	8.88	57.30	167.83	18.26	117.77
1.27	0.05	122.47	6.04	85.94	170.10	18.50	119.37	326.59	35.52	229.18
1.91	0.08	185.97	9.18	130.51	272.16	29.60	190.99	489.88	53.29	343.77
2.54	0.10	240.40	11.86	168.70	362.87	39.47	254.65	612.35	66.61	429.72
3.18	0.13	285.76	14.10	200.54	453.59	49.34	318.31	712.14	77.46	499.75
3.81	0.15	317.51	15.67	222.82	528.44	57.48	370.83	793.79	86.34	557.04
4.45	0.18	344.73	17.01	241.92	598.74	65.13	420.17	870.90	94.73	611.15
5.08	0.20	367.41	18.13	257.83	646.37	70.31	453.59	938.94	102.13	658.90
6.35	0.25	399.16	19.69	280.11	721.21	78.45	506.11	1052.33	114.46	738.48
7.62	0.30	426.38	21.04	299.21	771.11	83.87	541.13	1152.12	125.32	808.51
8.89	0.35	442.25	21.82	310.35	816.47	88.81	572.96	1247.38	135.68	875.35
10.16	0.40	460.40	22.72	323.08	850.49	92.51	596.83	1334.47	145.15	936.47
11.43	0.45	469.47	23.16	329.45	877.70	95.47	615.93	1392.53	151.47	977.21
12.70	0.50	476.27	23.50	334.23	895.84	97.44	628.66	1440.16	156.65	1010.63

Nota. En la tabla 60, se muestran los datos obtenidos del ensayo carga- penetración al CBR de la calicata 3 estrato 2 (+4% cal viva). Fuente: Elaboración propia. (2023).

Figura 68

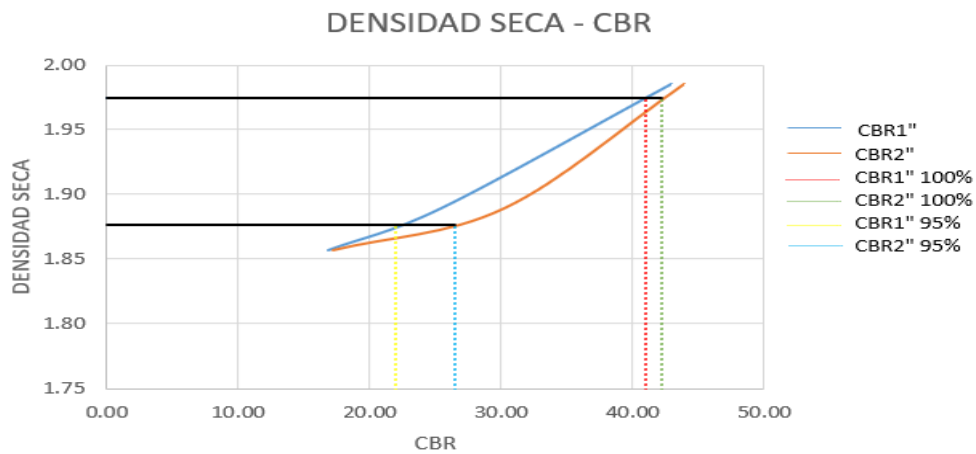
Gráfica de la curva del esfuerzo-penetración de la calicata 3 estrato 2 +4% de cal viva



Nota. En la figura 68, se presenta la relación esfuerzo-penetración del material natural + cal viva. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 69

Gráfica de la curva de la Densidad seca - CBR de la calicata 3 estrato 2 +4% de cal viva



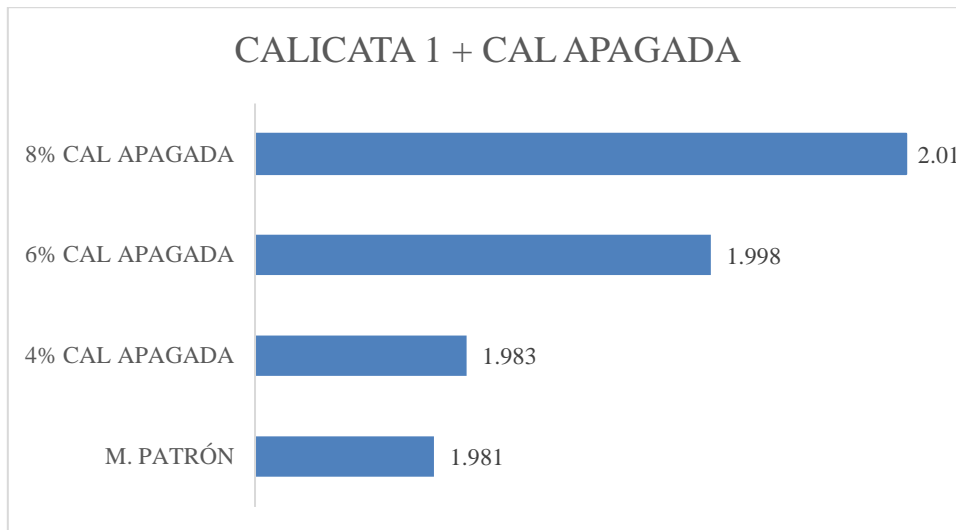
Nota. En la figura 69, se presenta la relación Densidad seca - CBR del material natural, donde se observa que el % del CBR nos da un 22.0% al 95% de MDS y 41.0% al 100% de MDS. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.7 Determinar la cantidad óptima y variación de resistencia

Para el objetivo “**Determinar la mejor opción a utilizar entre la cal viva y la cal apagada comparando los resultados más óptimos.**” se obtuvieron los siguientes datos.

Figura 70

Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 1

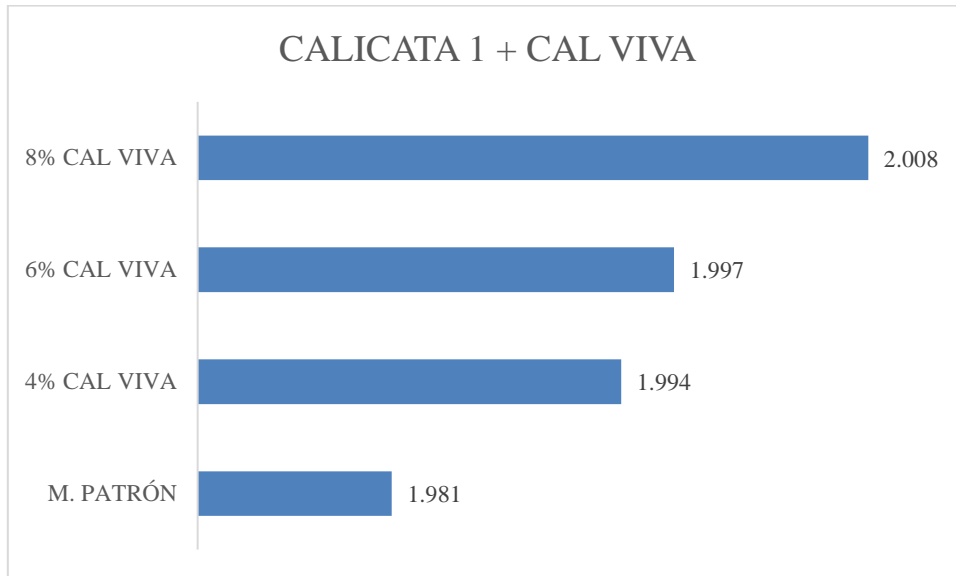


Nota. En la figura 70, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 1 más los porcentajes de cal apagada (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 58, al añadir 8% de cal apagada a la calicata 1 obtenemos una densidad seca máxima de 2.01 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 71

Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 1

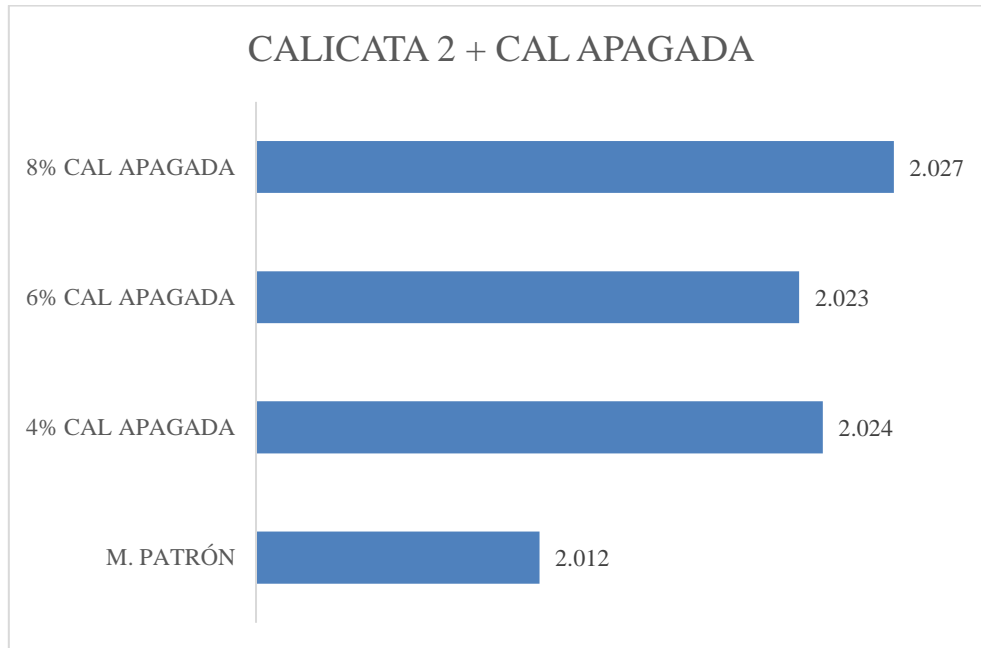


Nota. En la figura 71, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 1 más los porcentajes de cal viva (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 59, al añadir 8% de cal viva a la calicata 1 obtenemos una densidad seca máxima de 2.008 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 72

Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 2

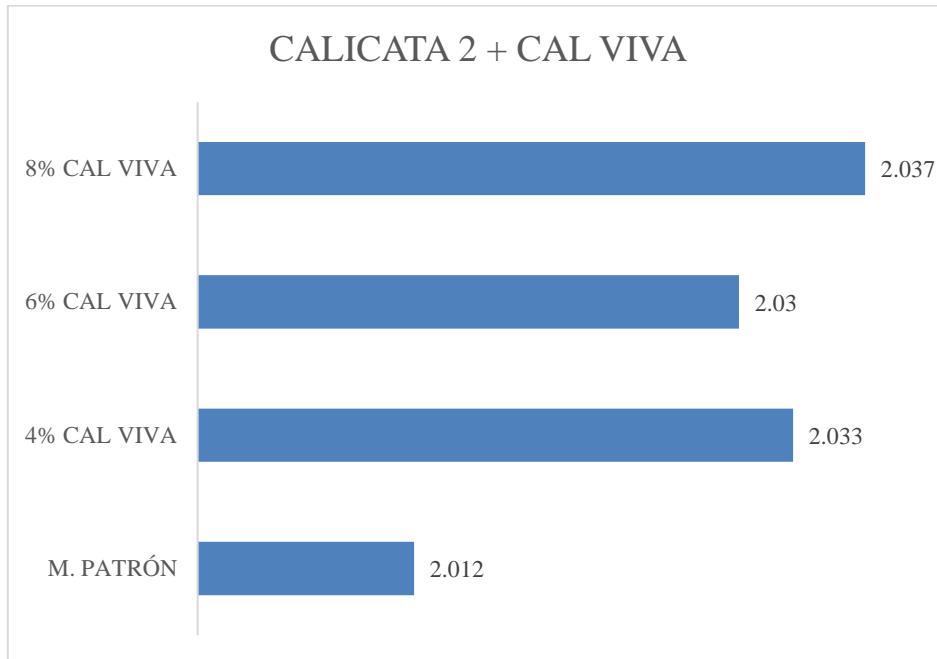


Nota. En la figura 72, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 2 más los porcentajes de cal apagada (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 60, al añadir 8% de cal apagada a la calicata 2 obtenemos una densidad seca máxima de 2.027 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 73

Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 2

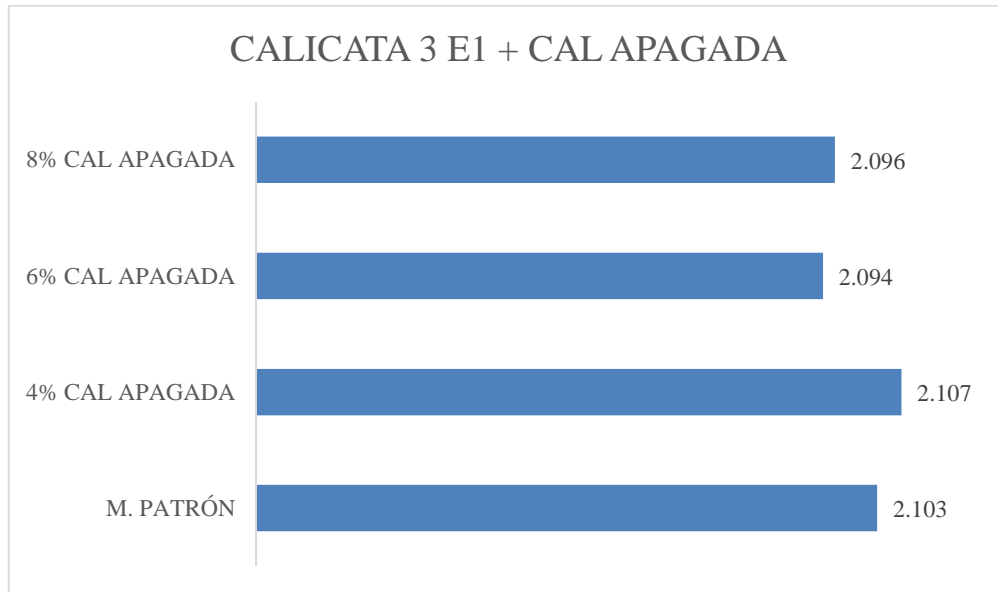


Nota. En la figura 73, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 2 más los porcentajes de cal viva (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 61, al añadir 8% de cal viva a la calicata 2 obtenemos una densidad seca máxima de 2.037 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 74

Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 3 estrato 1



Nota. En la figura 74, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 3 estrato 1 más los porcentajes de cal apagada (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 62, al añadir 4% de cal viva a la calicata 3 estrato 1 obtenemos una densidad seca máxima de 2.107 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 75

Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 3 estrato 1

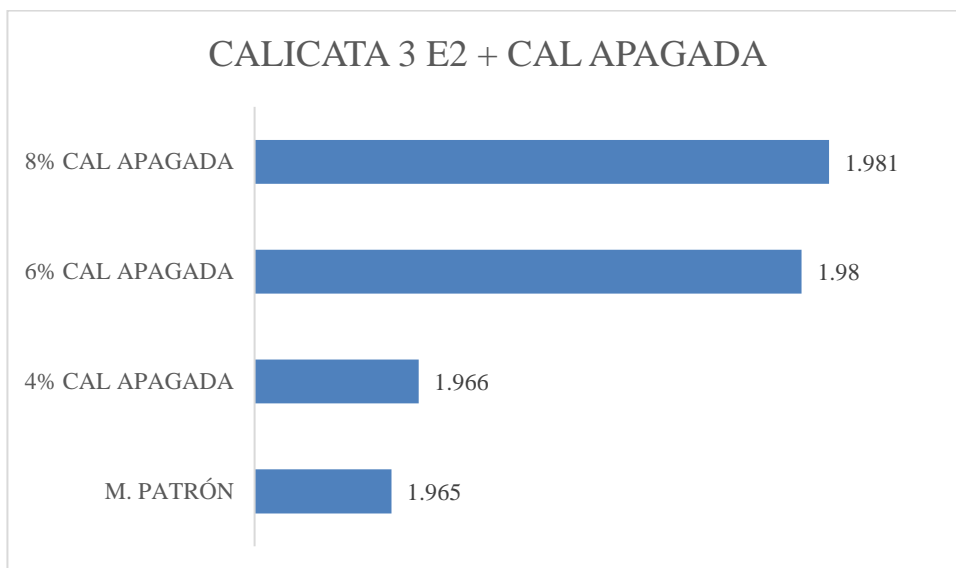


Nota. En la figura 75, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 3 estrato 1 más los porcentajes de cal viva (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 63, al añadir 4% de cal viva a la calicata 3 estrato 1 obtenemos una densidad seca máxima de 2.112 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 76

Densidad seca y óptimo contenido de cal apagada en la calicata 3 estrato 2

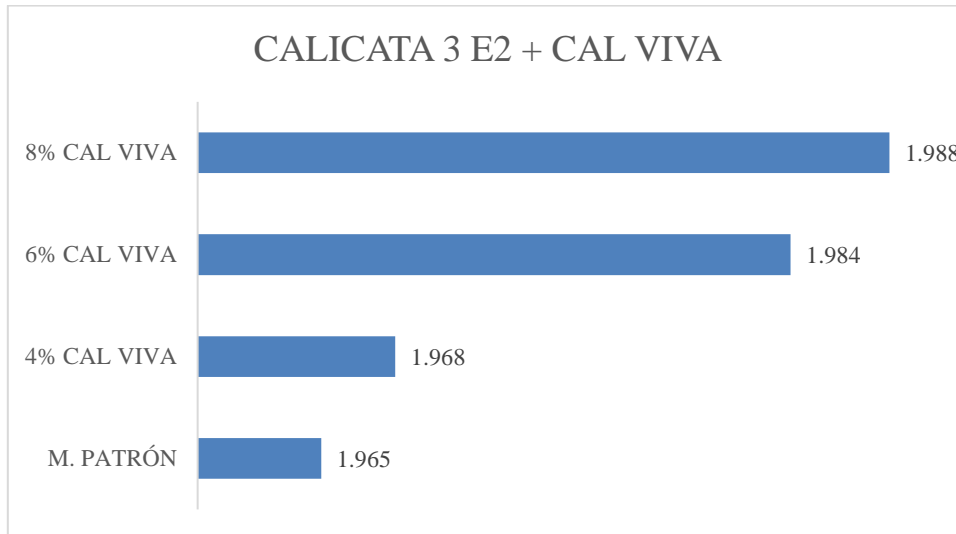


Nota. En la figura 76, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 3 estrato 2 más los porcentajes de cal apagada (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 64, al añadir 8% de cal viva a la calicata 3 estrato 2 obtenemos una densidad seca máxima de 1.981 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 77

Densidad seca y óptimo contenido de cal viva en la calicata 3 estrato 2

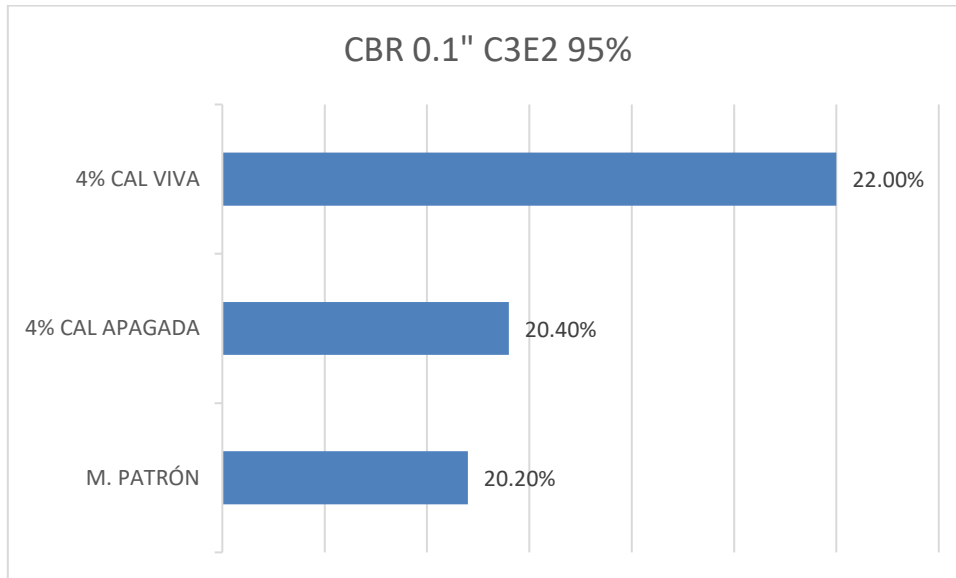


Nota. En la figura 77, se observa la densidad seca máxima obtenida de la calicata 3 estrato 2 más los porcentajes de cal viva (4, 6 y 8%). Fuente: Elaboración propia (2023).

Cómo se puede evidenciar en la figura 65, al añadir 8% de cal viva a la calicata 3 estrato 2 obtenemos una densidad seca máxima de 1.988 gr/cm³ siendo este porcentaje el más óptimo y el que nos permite mejorar la estabilización.

Figura 78

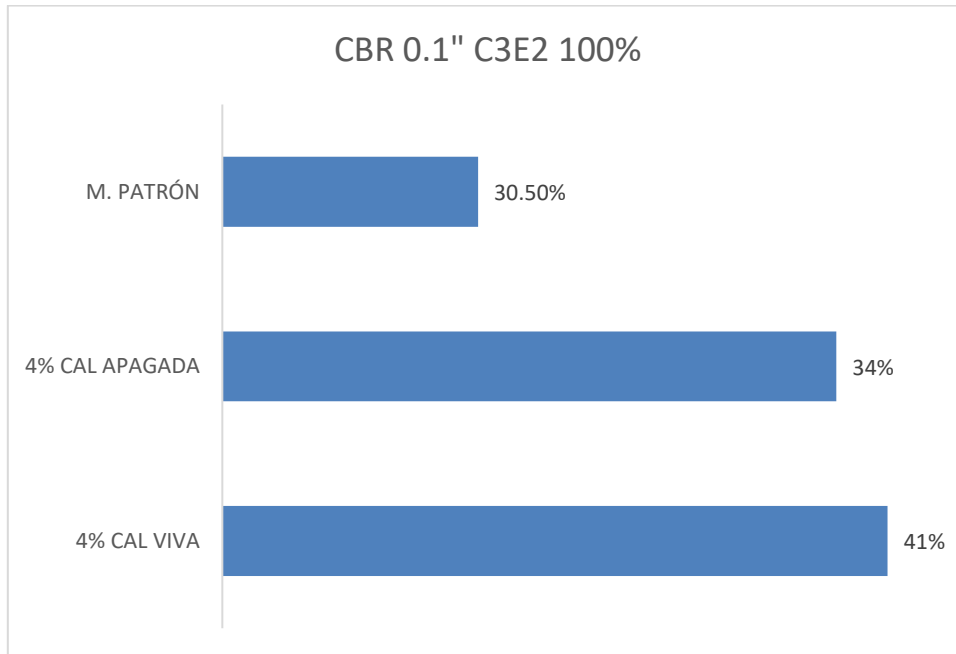
Densidad máxima seca obtenida en el CBR de la C3 E2 (95%)



Nota. En la figura 78, se observa la densidad seca máxima al 95% obtenida de la calicata 3 estrato 2 más los porcentajes de cal viva y apagada al 4% en el ensayo de CBR. Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 79

Densidad máxima seca obtenida en el CBR de la C3 E2 (100%)



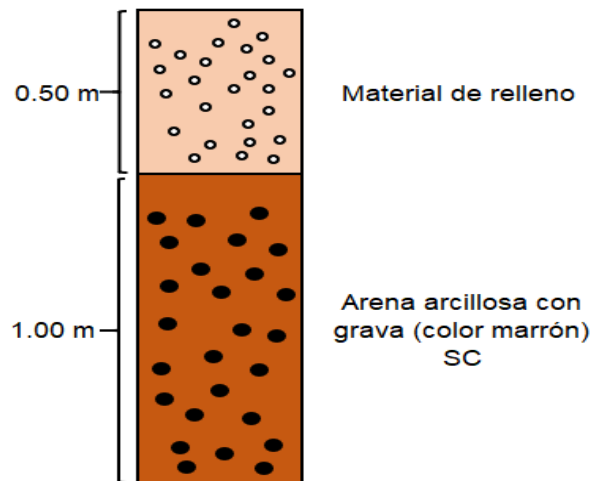
Nota. En la figura 79, se observa la densidad seca máxima al 100% obtenida de la calicata 3 estrato 2 más los porcentajes de cal viva y apagada al 4% en el ensayo de CBR. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.8 Clasificación del suelo por AASHTO

Para el objetivo “Clasificar el tipo de suelo por método AASHTO de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo – Otuzco” se obtuvieron los siguientes datos.

Figura 80

Perfil estratigráfico de la calicata 1



Notas. Se evidencia los perfiles estratigráficos encontrados en la calicata 1, la parte inicial considerada relleno (material no considerado para los ensayos) tiene una longitud de 0.50 m de profundidad, después de pasar el relleno se obtuvo el primer estrato con una profundidad de 1.00 m. Una vez extraído el material se realizaron los ensayos respectivos y se obtuvo que la calicata 1 es un suelo de arena arcillosa con grava (SC). Fuente: Propia (2023).

Figura 81

Clasificación por AASHTO a la calicata 1 según la norma ASTM D3282

Tabla 1.2 Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Material granular (35% o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 min 10 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 36 min	- 36 min	- 36 min	
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.	- NP	- 40 máx. 10 máx.	41 min 10 máx.	40 máx 11 min	41 min 11 min	40 máx. 10 máx.	41 min 10 máx.	40 máx. 11 min	41 min 11 min*	
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

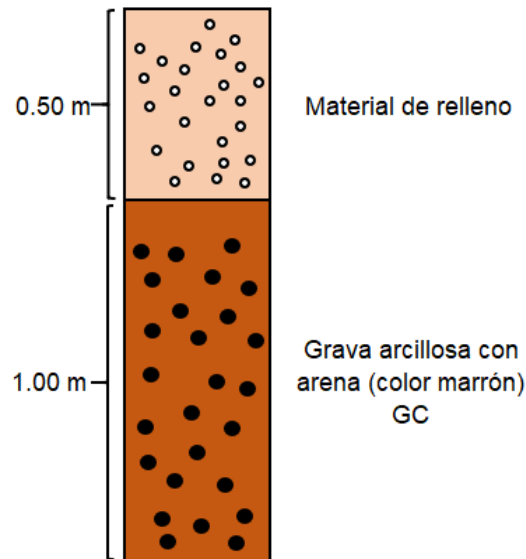
* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

Nota. En la figura 81, se observa la clasificación por AASHTO de la calicata 1, dónde el límite líquido tiene un valor de 20.25 y el índice de plasticidad tiene un valor de 7.05, lo cual, para su clasificación obtenemos que el suelo pertenece al grupo A-2, siendo un terreno excelente a bueno según la clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 82

Perfil estratigráfico de la calicata 2



Notas. Se evidencia los perfiles estratigráficos encontrados en la calicata 2, la parte inicial considerada relleno (material no considerado para los ensayos) tiene una longitud de 0.50 m de profundidad, después de pasar el relleno se obtuvo el primer estrato con una profundidad de 1.00 m. Una vez extraído el material se realizaron los ensayos respectivos y se obtuvo que la calicata 2 es un suelo de grava arcillosa con arena (GC). Fuente: Propia.

Figura 83

Clasificación por AASHTO a la calicata 2 según la norma ASTM D3282

Tabla 1.2 Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Material granular (35%, o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 mín. 10 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 36 mín.	- 36 mín.	- 36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Limite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.	- NP	- 40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín*	
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

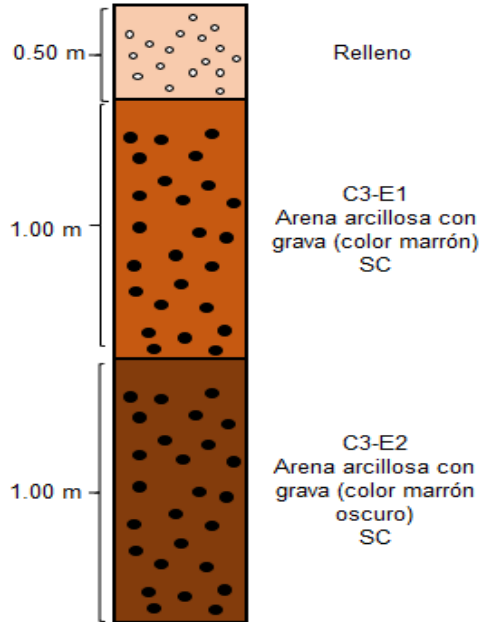
* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

Nota. En la figura 83, se observa la clasificación por AASHTO de la calicata 2, dónde el límite líquido tiene un valor de 20.16 y el índice de plasticidad tiene un valor de 6.88, lo cual, para su clasificación obtenemos que el suelo pertenece al grupo A-2, siendo un terreno excelente a bueno según la clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 84

Perfil estratigráfico de la calicata 3



Notas. Se evidencia los perfiles estratigráficos encontrados en la calicata 3, en esta oportunidad se obtuvieron diferentes estratos, la parte inicial considerada relleno (material no considerado para los ensayos) tiene una longitud de 0.50 m de profundidad, después de pasar el relleno se obtuvo el primer estrato con una profundidad de 0.70 m y finalmente se pudo observar que se cuenta con un estrato más de 0.50 m de profundidad. Una vez extraído el material de los diferentes estratos se realizaron los ensayos respectivos y se obtuvo que la calicata 2 estrato 1 es un suelo de arena arcillosa con grava (SC) y el estrato 2 es un suelo de arena arcillosa con grava (SC). Fuente: Propia (2023).

Figura 85

Clasificación por AASHTO a la calicata 3 estrato 1 según la norma ASTM D3282

Tabla 1.2 Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Material granular (35%, o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo- arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 mín. 10 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 36 mín.	- 36 mín.	- 36 mín.	-
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Limite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.	-	- NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín*
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

Nota. En la figura 85, se observa la clasificación por AASHTO de la calicata 3 estrato 1, dónde el límite líquido tiene un valor de 22.16 y el índice de plasticidad tiene un valor de 8.33, lo cual, para su clasificación obtenemos que el suelo pertenece al grupo A-2, siendo un terreno excelente a bueno según la clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 86

Clasificación por AASHTO a la calicata 3 estrato 2 según la norma ASTM D3282

Tabla 1.2 Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Material granular (35%, o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo- arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 mín. 10 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 35 máx.	- 36 mín.	- 36 mín.	- 36 mín.	-
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Limite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.	-	- NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín*
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

Nota. En la figura 86, se observa la clasificación por AASHTO de la calicata 3 estrato 2, dónde el límite líquido tiene un valor de 36.82 y el índice de plasticidad tiene un valor de 17.26, lo cual, para su clasificación obtenemos que el suelo pertenece al grupo A-2, siendo un terreno excelente a bueno según la clasificación AASHTO. Cabe recalcar que este estrato es el que tiene el mayor índice de plasticidad respecto a los demás.

Fuente: Elaboración propia (2023).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Limitaciones

Para el desarrollo de esta investigación se nos presentaron las siguientes limitaciones:

- Una de las primeras limitaciones fueron las lluvias que estuvieron presentes en dos oportunidades al inicio de la selección del área dónde se iban a realizar las calicatas, se realizó una espera de 4 días para poder realizar la excavación y lograr el muestreo de las calicatas.
- Así mismo, una segunda limitación fue la recolección de antecedentes relacionados al tema, debido a la poca existencia de estudios relacionados con la estabilización de suelos con cal viva y apagada se tuvo en consideración contar con algunos estudios que se asemejen al tema de interés y que nos proporcionen información para poder lograr nuestros resultados.
- Finalmente, otra de las limitaciones fue la poca cantidad de equipos que se encuentran en el laboratorio de la UPN para poder realizar los ensayos de Proctor y CBR, ya que tuvimos que alquilar moldes de laboratorios externos para poder realizar dichos ensayos.

Como implicancia del estudio se determinó que el uso de cal viva y cal apagada genera un mejoramiento a las propiedades físicas de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo, Otuzco – Cajamarca, se pudo concluir que el porcentaje óptimo para la estabilización de esta trocha es del 8% de cal viva y cal apagada generando una mayor resistencia y proporcionando una buena estabilidad de terreno. Esto nos lleva a contribuir una opción de mejora para las autoridades de la zona con lo cual pueden llevar a cabo un

proyecto de mejoramiento vial y lograr un impacto ambiental positivo que beneficiara para una mejor calidad de vida de los pobladores. Así mismo, con esta investigación aportaremos de manera positiva para los estudios que se lleven a cabo sobre esta trocha ya que actualmente se encuentran muy escasos y sería de mucha ayuda poder generar un mejoramiento para este lugar.

Discusiones

Para nuestros ensayos se consideraron la adición de cal viva y apagada en un 4%, 6% y 8% en las 3 calicatas realizadas en la trocha carrozable de Cerrillo – Otuzco, obteniendo como porcentaje óptimo el 8% de cal viva y cal apagada para la C1, C2 Y C3 E2, para la C3 E1 se obtuvo el 4% como porcentaje óptimo. Comparando con los estudios considerados para esta investigación se tiene que Altamiran & Diaz (2015) en su estudio “Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas”, obtuvo como porcentaje óptimo de adición de cal un 9%, el cual le brinda al suelo mejores condiciones y cumple con sus propiedades propuestas. Para Parra (2018) en su estudio “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante”, llegó a concluir que el 8% de cal viva mostró un buen comportamiento mecánico y pudo concluir que mejoro su comportamiento de su muestra. Así mismo, Tique A. (2020) en su estudio “Estabilización de suelos incorporando cal y aceites reciclados de vehículos motorizados en el tramo Collacachi–Inchupalla, Puno 2022”, determino que al adicionar cal al 6% logaron aumentar las condiciones del suelo y mejorar su densidad seca máxima. Finalmente, Abanto y Salinas (2021), en su estudio “Análisis de la estabilización de subrasantes con uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal en el Perú”, concluyo que al adicionar cal al 4% y 6% logaron mejoras en la subrasante del suelo estudiado.

Al realizar nuestro ensayo de CBR en la C3 E2 con adición de cal viva y cal apagada al 4% se obtuvieron los siguientes datos, del material compactado alcanzando el 95% de su densidad máxima determinada mediante ensayo de Proctor, al 0.1” de penetración de la calicata 3 estrato 2 alcanza un 20.2%, al añadir 4% de cal apagada alcanza un 20.4% y finalmente añadiendo 4% de cal viva alcanza un 22%. De acuerdo a los estudios considerados para esta investigación, Huapaya y Villacaqui (2021) en su estudio “Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Desechos De Policloruro De Vinilo Y Cal En El Sector Vial De Huanchac – Ancash 2021”, obtuvo que con la adición del 4% de cal al suelo arcillo, logró un soporte al 95% de 18.63%. Para Tique A. (2020) en su estudio “Estabilización de suelos incorporando cal y aceites reciclados de vehículos motorizados en el tramo Collacachi–Inchupalla, Puno 2022”, al añadir un 6% de cal logro aumentar la capacidad de soporte CBR para 95% de densidad máxima seca a un 12%. Finalmente, Tantaquilla y Valdivia (2019) en su estudio “Comparación entre las influencias de cal hidratada y aditivo Quim kd-40 para estabilización de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco-Cajabamba 2019”, al añadir 2% y 4% de cal mejora las propiedades físicas del suelo, con un CBR de 16.91% y 31.11% respectivamente.

Conclusiones

- En los resultados obtenidos, se determinó que el comportamiento de la cal viva y apagada al 4%, 6% y 8% generan un mejoramiento positivo para la estabilización de la trocha carrozable de Cerrillo – Otuzco, Cajamarca, se observó que el porcentaje más óptimo para la estabilización con cal viva y apagada es el 8%.

- De los resultados obtenidos se determinó que en el ensayo de contenido de humedad de la calicata 1 se encontró valores de contenido de agua de un 23.2%, en la calicata 2 un valor de 11.8%, la calicata 3 estrato 1 según los ensayos tuvo un contenido de 12.2%, pero hay un aumento significativo para la calicata 3 estrato 2 con un aumento de 12.5%. Además, al realizar los ensayos de granulometría se identificó que predominan arenas arcillosas con grava a diferencia de la calicata 2 quien predomina un suelo de grava arcillosa con arena. Así mismo, los índices de plasticidad obtenidos en la calicata 1, calicata 2 y calicata 3 estrato 1, muestran valores entre 6.88 % al 8.33% de plasticidad, a diferencia de la calicata 3 estrato 2 que muestran un IP de 17.26% siendo el estrato más plástico de todos.

- Tras el análisis de la clasificación del suelo por AASHTO, podemos deducir que la calicata 1, 2 y 3 estrato 1 pertenecen al grupo A-2 del subgrupo A-2-6 (Materiales granular) siendo un terreno excelente a bueno, por otro lado, la calicata 3 estrato 2 pertenece al grupo A-2 del subgrupo A-2-7 (Materiales granular) siendo un terreno excelente a bueno.

- Al realizar el ensayo de Proctor modificado con la adición de cal viva y apagada al 4%, 6% y 8% se observa que en comparación del suelo natural con la cal apagada existe pequeñas diferencias de valores que indican que la humedad y la densidad seca tienen un ligero incremento, lo que demuestra que mejora la estabilización del suelo. Así mismo, la comparación de la cal apagada con la cal viva tiene un ligero aumento de valores en la densidad seca y humedad.

- Tal y como hemos podido comprobar mediante los ensayos de laboratorio la calicata 1 adicionando 8% de cal viva tiene una densidad seca máxima de 2.0 % y un contenido de humedad óptimo del 12 %, por otro lado, adicionando la cal apagada en un 8% muestra una densidad seca máxima igual a la de la cal viva, pero con un cambio ligero en el contenido de

humedad óptimo con un 13.2%, lo que indica que con la cal apagada el contenido de humedad óptimo aumenta.

- Tras el análisis de la calicata 2, añadiendo el 8% de cal viva se obtiene una densidad seca máxima de 2.0 % y un contenido de humedad óptimo de 10.4%, a comparación de la cal apagada al 8% donde se obtuvo una humedad óptima de 9.8% y una densidad seca del 2.0%, se concluye que hay una variación del 0.6 % de humedad óptima.

- En la calicata 3 estrato 1, se verifica según los datos obtenidos adicionando el 8 % tanto con cal apagada y viva que se encuentra una similitud en la densidad seca máxima dando como resultados en ambos un 2.0 %. Por otra parte, se encuentra una ligera diferencia entre las humedades óptimas, dando así al 8 % de cal apagada un 10.1 % y en la cal viva al 8 % un 10.7 %, dando una variación del 0.6 % de humedad óptima en el Proctor modificado.

- Según los datos obtenidos para la calicata 3 estrato 2, se halló una igualdad en ambos tanto para la densidad seca máxima con un valor de 2.0 % y un 11.5 % en el contenido de humedad óptimo, esto según la adición de cal viva y apagada a un 8 %.

- El CBR del material compactado alcanzando el 100% de su densidad máxima determinada mediante ensayo de Proctor, al 0.1” de penetración de la calicata 3 estrato 2 alcanza un 30.5%, al añadir 4% de cal apagada alcanza un 34% y finalmente añadiendo 4% de cal viva alcanza un 41.0%, así mismo, al 95% de su densidad máxima al 0.1” de penetración de la calicata 3 estrato 2 alcanza un 20.2%, al añadir 4% de cal apagada alcanza 20.4% y 4% de cal viva alcanza un 22%.

- A partir de la evidencia recolectada, se determinó que la mejor opción a utilizar en la calicata 1 es adicionarle cal viva al 8 % porque nos da un valor de 2.01 % de densidad seca máxima, por otro lado, para la calicata 2 la mejor opción es añadirle 8 % de cal viva, ya que

nos da un valor en la densidad seca máxima del 2.037 %, en el caso de la calicata 3 estrato 1 la mejor opción es añadirle el 4 % de cal viva porque según los resultados nos da el valor de 2.112 % de densidad seca máxima, finalmente para la calicata 3 estrato 2 se concluye que la mejor opción para estabilizar el suelo es añadirle 8% de cal viva porque se obtiene un valor de 1.988%, estos datos se han tomado de los resultados más favorables de cada ensayo de Proctor modificado.

Referencias

- Abanto, L., & Salinas, E. (2021). Análisis de la estabilización de subrasantes con uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal en el Perú. *UPN*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29043/Abanto%20Espinoza%20Luis%20Carlos%20-%20Salinas%20Sanchez%20Eloy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Altamiran, G., & Díaz, A. (2015). Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas. *Repositorio Unan*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/6456/>
- Amaya, M., Botero, E., & Efrain, O. (2018). *Óxido de calcio en la estabilización de suelos arcillosos*. Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Mario-Amaya-5/publication/335193052_Oxido_de_calcio_en_la_estabilizacion_de_suelos_arcillosos/links/5d55d90e299bf151bad6e611/Oxido-de-calcio-en-la-estabilizacion-de-suelos-arcillosos.pdf
- Chocontá, A. (2020). Estabilización de un suelo arcilloso de la zona occidental sabana de Bogotá con adición de cal hidratada comparando métodos de elementos finitos y semiempírico. *EBSCO*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26612/1/TG-%20Andres%20choconta.pdf>
- Fontalvo, O., Medrano, B., & Nadad, F. (2006). Estabilización con cal del suelo de la ciudad de Cartagena para ser utilizado como base. *Reposittorio UTB*. Obtenido de <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/3544>
- Frankie. (2013). *Estudios Geotécnicos*. Obtenido de <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/>
- Huapaya, A., & Villacaqui, J. (2021). Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Desechos De Policloruro De Vinilo Y Cal En El Sector Vial De Huanchac – Ancash

2021. *EBSCO*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65038>
- Linares, C. J. (2019). Propuesta de estabilización química de la red vial. *EBSCO*, <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32012>.
- Makusa, G. P. (2013). Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review. *Diva*. Obtenido de <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A997144&dswid=8515>
- Manual de carreteras: diseño geométrico DG - 2018. (2018). *Ministerio de transportes y comunicaciones*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Martin, R., & Morales, T. (2019). Análisis comparativo entre los aditivos oxido de calcio y cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de suelos arcillosos – Huánuco 2019. *EBSCO*. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/5819/TIC00208M26.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf
- Moncaleano, C. (2021). Melhoramento de um solo granular por ativação alcalina de. *EBSCO*. Obtenido de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/229465/001129770.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MTC. (2017). *Manual de Ensayo de Materiales RD N° 18 – 2016 – MTC/14*. LIMA: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_5%20%20EM-2016.pdf

- Oblitas, J. (2018). *GUÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA 2018*. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/metodos/guia-ingenieria-upn-2018/13023098>
- Parra. (2018). Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. *EBSCO*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22856>
- Parra, M. (2018). Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. *EBSCO*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22856>
- Rivera, J., Aguirre, A., Mejía, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *EBSCO*. Obtenido de <https://edss.bibliotecaupn.elogim.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=f006d5dd-d063-40b0-b2dc-3073186813a9%40redis&bdata=JkF1dGhUeXB1PWlwLHVpZCZsYW5nPWVzJnNpdGU9ZWRzLWxpdmU%3d#AN=144607357&db=edb>
- Romásn, W., & Saldaña, A. (2018). *PROPUESTA DE PARÁMETROS DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA TROCHAS CARROZABLES EN LA NORMA DG – 2018 A FIN DE OPTIMIZAR COSTOS*. LIMA: UNIVERSIDAD RICARDO PALMA. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2298/CIV_T030_72640311_T%20%20%20ROM%C3%81N%20HUACHO%20WILDE%20RENZO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Obtenido de <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- Tantaquilla, E., & Valdivia, F. (2019). Comparación entre las influencias de cal hidratada y aditivo quim kd-40 para estabilizacion de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco-cajabamba 2019. *EBSCO*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23685>

- Tique, A. (2020). Estabilización de suelos incorporando cal y aceites reciclados de vehículos motorizados en el tramo Collacachi–Inchupalla, Puno 2022. *EBSCO*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97907>
- Tique, J., Mora , R., Díaz, S., & Magaña , F. (2019). Comparación del rendimiento de dos agentes químicos en la estabilización de un suelo arcilloso. *EBSCO*. Obtenido de <https://www.espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/183/597>
- Urdanivia Roque, H. (2019). *Relación entre el tipo de suelo (SUCS y AASHTO) y el asentamiento de suelos para determinar asentamientos diferenciales en cimientos de concreto armado*. Cerro de Pasco: UNDAC. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2072/1/T026_44658836_T.pdf
- Vilca, J., & Calli, R. (2017). *EVALUACIÓN DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS EN LA VÍA TROCHA CARROZABLE AYAPATA - CAMATANI*. JULIACA: UANCV. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/T036-47233718-46215238.pdf

Anexos

Tabla 61

Matriz de consistencia

Título	Situación Problemática	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES e indicadores	Metodología
“Análisis del comportamiento de la cal viva y apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo - Otuzco, Cajamarca 2023”	¿Cuál es el comportamiento de la cal viva y apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo - Otuzco, Cajamarca 2023?	<p>General</p> <p>- Analizar el comportamiento de la cal viva y apagada para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo - Otuzco.</p> <p>Específicos</p> <p>Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de atterberg, peso específico, proctor modificado y CBR.</p> <p>Clasificar el tipo de suelo por método AASHTO de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo - Otuzco</p> <p>Determinar la variación de la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad del suelo en estudio cuando se le adiciona cal viva y apagada al 4%, 6% y 8%.</p> <p>Determinar el porcentaje de CBR agregando cal viva y apagada a la calicata más crítica según los resultados obtenidos en el Proctor.</p> <p>Determinar la mejor opción a utilizar entre la cal viva y la cal apagada comparando los resultados más óptimos.</p>	<p>- El comportamiento de la cal viva mejora la estabilización en un 3% de la trocha carrozable de la de Cerrillo - Otuzco, Cajamarca 2023.</p> <p>- El comportamiento de la cal viva mejora la estabilización en un 3% de la trocha carrozable de la de Cerrillo - Otuzco, Cajamarca 2023.</p>	<p>Variable 1: Análisis de la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo - Otuzco.</p> <p>Variable 2: Comportamiento de la cal viva y apagada en un 4%, 6% y 8% para la estabilización de la trocha carrozable en la zona de Cerrillo - Otuzco.</p>	<p>Tipo: Experimental</p> <p>Población La población de estudio está conformada por el suelo de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo - Otuzco ubicada en el distrito de Cajamarca</p> <p>Muestra La muestra del estudio está conformado por 400 m de la trocha carrozable de la zona de Cerrillo - Otuzco, esta zona es la más afectada y en la que se encuentra la situación o punto más crítico de deterioro a evaluar.</p> <p>Instrumentos Equipos y herramientas de laboratorio para realizar ensayos, manuales y normas de ensayos, equipo fotográficos y protocolos de ensayos</p> <p>Análisis de datos: Estadística descriptiva, puesto que se recopilarán los datos obtenidos en laboratorio para posteriormente desarrollar y realizar los cálculos respectivos de cada uno de los resultados de los ensayos.</p>

Nota. En la tabla 61, se muestra la matriz de consistencia. Fuente: Elaboración propia (2023).

Protocolos de ensayos

Contenido de humedad

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		CONTENIDO DE HUMEDAD			
NORMA:		MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:	1	MUESTRA:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	31/03/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Temperatura de Secado

110 °C




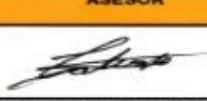
Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-	G-08	G-02	G-06
B	Peso del Recipiente	gr	114.7	133.9	133.1
C	Recipiente + Material Natural	gr	3028.4	2953.3	3319.5
D	Recipiente + Material Seco	gr	2480.1	2420.8	2720.4
E	Peso del material húmedo (W_{mh}) = C - B	gr	2913.7	2819.4	3186.4
F	Peso del material Seco (W_s) = D - B	gr	2365.4	2286.9	2587.3
W%	Porcentaje de humedad (E - F / F) * 100	%	23.2	23.3	23.2
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	23.2		

$$(W\%) = \frac{W_{mh} - W}{W_s} + 100$$

Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 05/03/2023	FECHA: 05/03/2023	FECHA: 05/03/2023	FECHA: 05/03/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		CONTENIDO DE HUMEDAD			
NORMA:		MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:	2	MUESTRA:	1	TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	31/03/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Temperatura de Secado

110 °C

Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-	G-02	G-03	H-4
B	Peso del Recipiente	gr	133.9	134.5	131.4
C	Recipiente + Material Natural	gr	2902.1	2981.5	3277.9
D	Recipiente + Material Seco	gr	2607.1	2681.3	2946.8
E	Peso del material húmedo (W_{mh}) = C - B	gr	2768.2	2847	3146.5
F	Peso del material Seco (W_s) = D - B	gr	2473.2	2546.8	2815.4
W%	Porcentaje de humedad (E - F / F) * 100	%	11.9	11.8	11.8
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	11.8		

$$(W\%) = \frac{W_{mh} - W}{W_s} * 100$$

Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 05/04/2023		FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/07/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD			
	NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CANTERA:	3	MUESTRA:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/ DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	31/03/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Temperatura de Secado

110 °C

Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-	G-04	G-05	G-06
B	Peso del Recipiente	gr	134.4	134.0	133.3
C	Recipiente + Material Natural	gr	2500.6	2755.3	3021.8
D	Recipiente + Material Seco	gr	2243.9	2473.4	2705.1
E	Peso del material húmedo (Wmh) = C - B	gr	2366.2	2621.3	2888.5
F	Peso del material Seco (Ws) = D - B	gr	2109.5	2339.4	2571.8
W%	Porcentaje de humedad (E - F / F) * 100	%	12.2	12.1	12.3
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	12.2		

$$(W\%) = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} \cdot 100$$

Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 05/07/2023		FECHA: 05/07/2023	FECHA: 05/07/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		CONTENIDO DE HUMEDAD			
NORMA:		MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:	3	MUESTRA:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	31/03/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Temperatura de Secado

110 °C




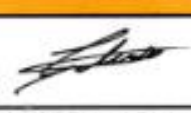
Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-	G-06	G-02	G-05
B	Peso del Recipiente	gr	133.1	133.9	134.0
C	Recipiente + Material Natural	gr	2376.4	2587.6	2696.1
D	Recipiente + Material Seco	gr	1932.8	2100.0	2188.1
E	Peso del material húmedo (W _{mh}) = C - B	gr	2243.3	2453.7	2562.1
F	Peso del material Seco (W _s) = D - B	gr	1799.7	1966.1	2054.1
W%	Porcentaje de humedad (E - F / F) * 100	%	24.6	24.8	24.7
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	24.7		

$$(W\%) = \frac{W_{mh} - W}{W_s} * 100$$

Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco

Análisis Granulométrico


Tamizado por lavado de finos





LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMETRÍA MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO			
NORMA:		ASTM D421			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	02/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Peso de muestra seca; Ws	298.7	gr
--------------------------	-------	----

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO					
Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4,76	0.50	0.17	0.17	99.83
Nº10	2	13.00	4.35	4.52	95.48
Nº20	0,84	12.40	4.15	8.67	91.33
Nº30	0,59	9.70	3.25	11.92	88.08
Nº40	0,42	14.90	4.98	16.90	83.10
Nº60	0,25	42.60	14.26	31.16	68.84
Nº100	0,15	35.80	11.99	43.15	56.85
Nº200	0,074	27.90	9.34	52.49	47.51
Perdida	Lavado	141.90	47.51	100.00	0.00
Total		298.70			

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMETRÍA MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO			
NORMA:		ASTM D421			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	2	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	02/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Peso de muestra seca; W_s 488.8 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO					
Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
N° 4	4,75	0.00	0.00	0.00	100.00
N°10	2	34.00	6.96	6.96	93.04
N°20	0,84	44.30	9.06	16.02	83.98
N°30	0,59	31.20	6.38	22.40	77.60
N°40	0,42	44.80	9.17	31.57	68.43
N°60	0,25	66.50	13.60	45.17	54.83
N°100	0,15	45.70	9.35	54.52	45.48
N°200	0,074	12.90	2.64	57.16	42.84
Perdida	Lavado	209.40	42.84	100.00	0.00
Total		488.8			



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 16/10/23		FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMETRÍA MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO			
	NORMA:	ASTM D421			
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	3	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACION:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	20/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Peso de muestra seca; W_s 479.8 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO					
Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4.76	0.70	0.15	0.15	99.85
Nº10	2	27.40	5.71	5.86	94.14
Nº20	0.84	40.40	8.42	14.28	85.72
Nº30	0.59	30.60	6.38	20.66	79.34
Nº40	0.42	41.60	8.67	29.33	70.67
Nº60	0.25	76.60	15.96	45.29	54.71
Nº100	0.15	49.50	10.32	55.61	44.39
Nº200	0.074	7.60	1.58	57.19	42.81
Perdida	Lavado	205.40	42.81	100.00	0.00
Total		479.80			



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Celua Carrasco
FECHA: 14/10/23		FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
	PROTOCOLO			
	ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMETRIA MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO			
	NORMA: ASTM D421			
TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL: ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	20/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

Peso de muestra seca; Ws 475.3 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO					
Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
N° 4	4,76	0.40	0.08	0.08	99.92
N°10	2	20.00	4.21	4.29	95.71
N°20	0,84	35.50	7.47	11.76	88.24
N°30	0,59	27.80	5.85	17.61	82.39
N°40	0,42	37.10	7.81	25.42	74.58
N°60	0,25	43.00	9.04	34.46	65.54
N°100	0,15	12.40	2.61	37.07	62.93
N°200	0,074	0.70	0.15	37.22	62.78
Perdida	Lavado	298.40	62.78	100.00	0.00
Total		475.3			




OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Camasco
FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

Granulometría de gruesos


	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS			
	NORMA:	ASTM D6913			
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	02/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Peso de muestra inicial; W_s 10240.00 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Pasante (%)
(pulg)	(mm)				
2"	50.80	200.00	1.95	1.95	98.05
1 1/2"	38.10	200.00	1.95	3.91	96.09
1"	25.00	500.00	4.88	8.79	91.21
3/4"	19.00	280.00	2.73	11.52	88.48
1/2"	12.50	660.00	6.45	17.97	82.03
3/8"	9.50	660.00	6.45	24.41	75.59
N° 4	4.75	820.00	8.01	32.42	67.58
Cazoleta		6920.00	67.58	100.00	0.00
Total		10240.00	100.00		



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 16/10/23		FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS		
	NORMA:		ASTM D6913		
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	2	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	02/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Peso de muestra inicial; Ws 10253.06 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Pasante (%)
(pulg)	(mm)				
2"	50.80	284.00	2.770	2.770	97.230
1 1/2"	38.10	1334.02	13.011	15.781	84.219
1"	25.00	921.07	8.983	24.764	75.236
3/4"	19.00	271.01	2.643	27.407	72.593
1/2"	12.50	381.92	3.725	31.132	68.868
3/8"	9.50	249.45	2.433	33.565	66.435
N° 4	4.75	771.59	7.525	41.091	58.909
Cazoleta		6040.00	58.909	100.000	0.000
Total		10253.06	100.000		



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calus Carrasco
FECHA: 16/10/23		FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

Calazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS			
NORMA:		ASTM D6913			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	3	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	02/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

Peso de muestra inicial; Ws 10413.80 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Pasante (%)
(pulg)	(mm)				
2"	50.80	720.80	6.922	6.922	93.078
1 1/2"	38.10	171.70	1.649	8.570	91.430
1"	25.00	773.90	7.431	16.002	83.998
3/4"	19.00	254.20	2.441	18.443	81.557
1/2"	12.50	196.60	1.888	20.331	79.669
3/8"	9.50	109.70	1.053	21.384	78.616
N° 4	4.75	446.90	4.291	25.676	74.324
Cazoleta		7740.00	74.324	100.000	0.000
Total		10413.80	100.000		



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: Jose Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martinez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 16/10/23		FECHA: 16/10/23	FECHA: 16/10/23

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS	
NORMA:		ASTM D6913	
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023	
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
TIPO DE MATERIAL:		ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	02/04/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

Peso de muestra inicial; Ws 10250.83 gr

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRUESOS					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Pasante (%)
(pulg)	(mm)				
2"	50.80	0.00	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	178.52	1.742	1.742	98.258
1"	25.00	387.70	3.782	5.524	94.476
3/4"	19.00	165.83	1.618	7.141	92.859
1/2"	12.50	154.46	1.507	8.648	91.352
3/8"	9.50	152.25	1.485	10.133	89.867
N° 4	4.75	692.07	6.751	16.885	83.115
Cazoleta		8520.00	83.115	100.000	0.000
Total		10250.83	100.000		



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 16/10/23		FECHA: 16/10/23	FECHA: 14/10/23

Peso específico de sólidos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
PROTOCOLO				
ENSAYO:		PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS		
NORMA:		MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131		
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	13/04/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	





PESO ESPECÍFICO DE PIEDRA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	J-08	W-07
B	Peso en el Aire	gr	4182.0	4318.0
C	Peso Sumergido	gr	2551.7	2652.6
D	Peso Especifico $Y_s = (B)/(B-C)$	gr/cm ³	2.57	2.59
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³	2.58	

PESO ESPECÍFICO DE ARENA GRUESA Y GRAVA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Volumen de Agua + Muestra seca	cm ³		
D	Peso Especifico $(Y_s = B / (C - V_s))$	gr/cm ³		
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

NORMA: MTC E 113 – 1999, ASTM D854, NTP 339 – 131

PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL FINO				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Peso de Fiola + Agua (500ml)	cm ³		
D	Peso de Fiola + Agua (500 ml) - Aire	cm ³		
E	Peso Especifico $(Y_s = ((B)/(B + C - D)))$	gr/cm ³		
F	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calas Carrasco
FECHA: 05/04/2023		FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SÓLIDOS			
	NORMA:	MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131			
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	2	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	20/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

PESO ESPECÍFICO DE PIEDRA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra		A-10	I-01
B	Peso en el Aire	gr	5273.3	5550.1
C	Peso Sumergido	gr	2918.8	3100.6
D	Peso Especifico $Y_s = (B/(B-C))$	gr/cm ³	2.24	2.26
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³	2.25	

PESO ESPECÍFICO DE ARENA GRUESA Y GRAVA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Volumen de Agua + Muestra seca	cm ³		
D	Peso Especifico $(Y_s = B / (C - V))$	gr/cm ³		
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

NORMA: MTC E 113 – 1999, ASTM D854, NTP 339 – 131

PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL FINO				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Peso de Fiolas + Agua (500ml)	cm ³		
D	Peso de Fiolas + Agua (500 ml) - Aire	cm ³		
E	Peso Especifico $(Y_s = ((B / (B + C - D)))$	gr/cm ³		
F	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: Jose Vargas Salazar	Diago Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martinez	NOMBRE: Ing. Carlos Calvo Carrasco
FECHA: 20/04/2023		FECHA: 25/04/2023	FECHA: 20/04/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS		
NORMA:	MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE ENSAYO:	20/04/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

PESO ESPECÍFICO DE PIEDRA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	A-10	W-03
B	Peso en el Aire	gr	4449.5	5010.8
C	Peso Sumergido	gr	2689.9	3050.2
D	Peso Especifico $Y_s = (B/(B-C))$	gr/cm ³	2.53	2.56
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³	2.55	

PESO ESPECÍFICO DE ARENA GRUESA Y GRAVA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Volumen de Agua + Muestra seca	cm ³		
D	Peso Especifico $(Y_s = B / (C - V))$	gr/cm ³		
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

NORMA: MTC E 113 – 1999, ASTM D854, NTP 339 – 131

PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL FINO				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Peso de Fiola + Agua (500ml)	cm ³		
D	Peso de Fiola + Agua (500 ml) - Aire	cm ³		
E	Peso Especifico $(Y_s = ((B / (B + C - D)))$	gr/cm ³		
F	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 05/04/2023		FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
PROTOCOLO				
	ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS		
	NORMA:	MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131		
	TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	20/04/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

PESO ESPECÍFICO DE PIEDRA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	G-20	G-08
B	Peso en el Aire	gr	3063.0	3916.0
C	Peso Sumergido	gr	1808.8	2314.2
D	Peso Especifico $Y_s = (B/(B-C))$	gr/cm ³	2.44	2.44
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³	2.44	

PESO ESPECÍFICO DE ARENA GRUESA Y GRAVA				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Volumen de Agua + Muestra seca	cm ³		
D	Peso Especifico $(Y_s = B / (C - V))$	gr/cm ³		
E	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

NORMA: MTC E 113 – 1999, ASTM D854, NTP 339 – 131

PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL FINO				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra			
B	Peso de la Muestra Seca	gr		
C	Peso de Fiola + Agua (500ml)	cm ³		
D	Peso de Fiola + Agua (500 ml) - Aire	cm ³		
E	Peso Especifico $(Y_s = ((B / (B + C - D)))$	gr/cm ³		
F	Promedio del Peso Especifico "Ys"	gr/cm ³		

OBSERVACIONES:

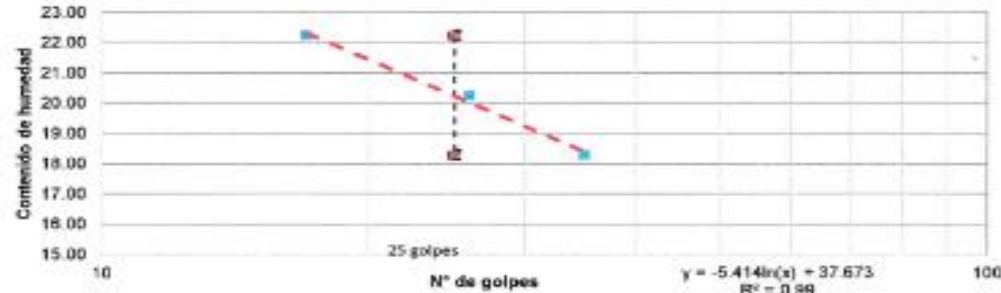
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calus Carrasco
FECHA: 05/07/2023	FECHA: 05/07/2023	FECHA: 05/07/2023	FECHA: 05/07/2023

Límites de plasticidad

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		LÍMITES DE PLASTICIDAD			
NORMA:		NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	12/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	B-09	C-18	D-02
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	43.81	61.65	27.94
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	40.23	58.20	24.74
D	Peso de Recipiente	gr	23.88	41.17	7.24
E	Peso del Agua (B - C)	gr	3.68	3.45	3.20
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	16.55	17.03	17.50
G	Número de Golpes	N	17	26	35
H	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	22.24	20.26	18.29

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	A-15	B-02	D-04
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	13.33	22.42	17.45
C	Suelo Seco + Tara	gr	12.99	21.68	16.70
D	Peso de Tara	gr	7.08	16.00	11.02
E	Peso del Agua (B - C)	gr	0.74	0.74	0.75
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	5.53	5.68	5.68
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	13.38	13.03	13.20
H	Promedio Límite Plástico			13.20	



Contenido de humedad

N° de golpes

$y = -5.414 \ln(x) + 37.673$
 $R^2 = 0.99$

Límite Líquido LL (%): 20.25 Límite Plástico LP (%): 13.20 Índice de Plasticidad IP (%): 7.05

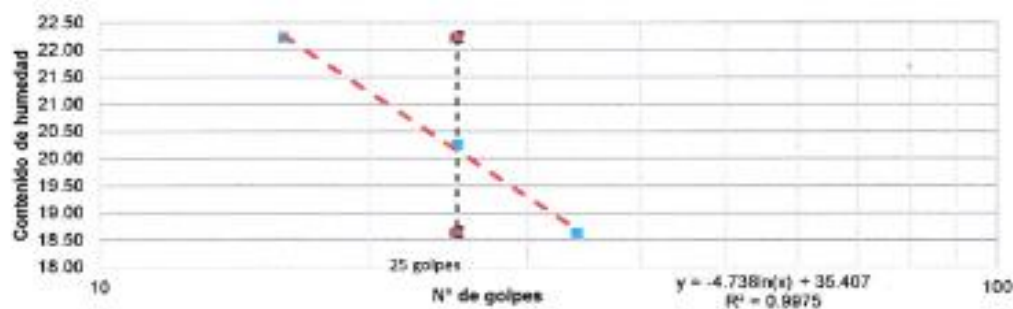
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA	03/11/2023	FECHA: 03/11/2023	FECHA 03/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		LÍMITES DE PLASTICIDAD			
NORMA:		NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	2	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	12/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	C-04	B-01	A-10
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	62.12	50.23	27.50
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	58.45	46.71	24.32
D	Peso de Recipiente	gr	41.94	29.34	7.26
E	Peso del Agua (B - C)	gr	3.67	3.52	3.18
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	16.51	17.37	17.06
G	Número de Golpes	N	15	25	34
H	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	22.23	20.26	18.64

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	B-03	A-09	C-04
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	36.94	14.04	25.45
C	Suelo Seco + Tara	gr	36.21	13.30	24.70
D	Peso de Tara	gr	30.67	7.77	19.05
E	Peso del Agua (B - C)	gr	0.73	0.74	0.75
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	5.54	5.53	5.65
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	13.18	13.38	13.27
H	Promedio Limite Plástico		13.28		



Limite Líquido LL (%): 20.16 Limite Plástico LP (%): 13.28 Índice de Plasticidad IP (%): 6.88

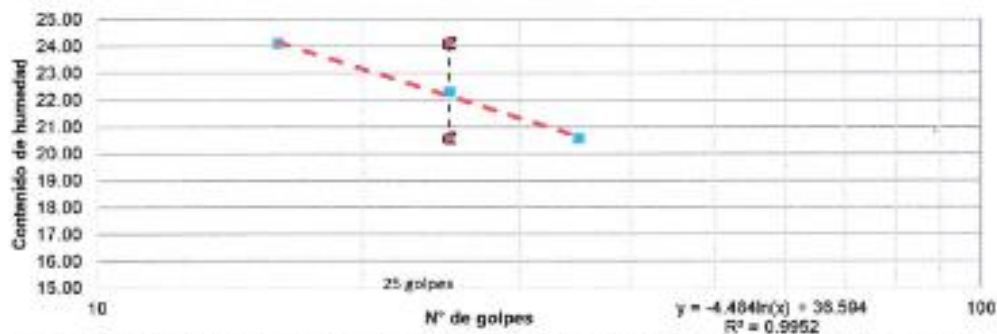
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA:	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		LÍMITES DE PLASTICIDAD			
NORMA:		NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	3	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	21/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	C-02	B-03	D-02
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	62.75	51.84	27.81
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	58.80	47.98	24.30
D	Peso de Recipiente	gr	42.41	30.67	7.24
E	Peso del Agua (B - C)	gr	3.95	3.88	3.51
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	16.39	17.31	17.06
G	Número de Golpes	N	16	25	35
H	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	24.10	22.30	20.57

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	A-10	B-01	C-03
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	13.56	36.63	13.48
C	Suelo Seco + Tara	gr	12.79	35.75	12.71
D	Peso de Tara	gr	7.26	29.34	7.15
E	Peso del Agua (B - C)	gr	0.77	0.88	0.77
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	5.53	6.41	5.56
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	13.92	13.73	13.85
H	Promedio Límite Plástico		13.83		



Límite Líquido LL (%): 22.16 Límite Plástico LP (%): 13.83 Índice de Plasticidad IP (%): 8.33

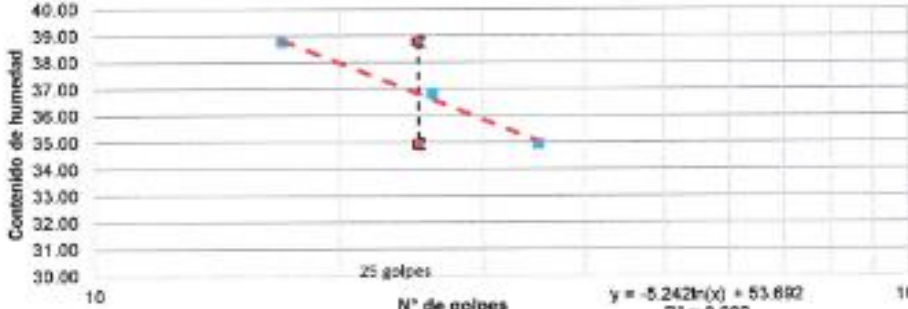
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/11/2023	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD				
NORMA:	NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318				
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR	
FECHA DE ENSAYO:	21/04/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	A-02	B-13	C-02
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	27.84	43.72	63.08
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	21.87	38.29	57.73
D	Peso de Recipiente	gr	7.34	23.54	42.42
E	Peso del Agua (B - C)	gr	5.87	5.43	5.36
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	14.63	14.75	15.31
G	Número de Golpes	N	17	26	35
H	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	38.76	36.81	34.94

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	A-13	B-07	D-06
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	13.18	21.78	17.75
C	Suelo Seco + Tara	gr	12.17	20.78	16.74
D	Peso de Tara	gr	7.09	15.74	11.41
E	Peso del Agua (B - C)	gr	1.01	1.00	1.01
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	5.08	5.04	5.33
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	19.88	19.84	18.95
H	Promedio Límite Plástico			19.56	







Contenido de humedad (%) vs. N° de golpes

25 golpes

$y = -5.242h(x) + 53.892$
 $R^2 = 0.992$

Límite Líquido LL (%): 36.82 Límite Plástico LP (%): 19.56 Índice de Plasticidad IP (%): 17.26

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA:	08/11/2023	FECHA:	08/11/2023

Proctor modificado

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	10/05/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6003.0	6137.0	6123.0	6123.0	6123.0	6123.0	6067.5	6067.5
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1964.6	2098.6	2085.6	2085.6	2085.6	2085.6	2029.1	2029.1
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	28.6	50.5	48.2	50.8	33.3	33.4	36.1	28.5
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	172.6	195.3	215.9	239.2	185.3	217.2	213.6	194.9
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	159.0	181.5	197.5	216.7	166.4	194.6	180.0	171.8
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	13.6	13.8	18.4	20.5	18.9	22.6	24.6	23.1
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	130.4	131.0	151.3	168.1	133.1	161.2	152.9	143.3
M	Contenido de Humedad (W%)= (K/L) * 100	%	10.4	10.5	12.2	12.2	14.2	14.0	16.1	16.1
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.5		12.2		14.1		16.1	
O	Densidad Seca Máxima, D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.8	

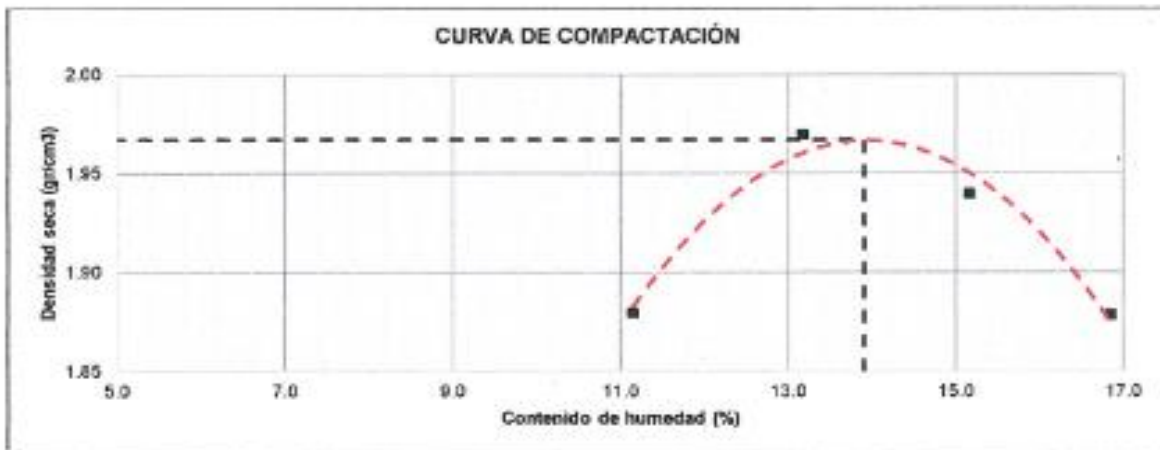


OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	1	ESTRATO:	1
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6012.0	6158.2	6158.2	6133.3	6133.3	6112.2	6112.2	6112.2
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1973.6	2119.8	2119.8	2094.9	2094.9	2073.8	2073.8	2073.8
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	28.8	78.4	50.5	28.6	33.5	27.8	37.8	26.4
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	180.2	220.1	265.5	327.4	291.8	267.4	261.7	226.9
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	165.0	205.7	267.1	292.5	257.8	253.2	229.4	196.0
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	15.2	14.4	28.4	34.9	34.0	34.2	32.3	28.9
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	138.4	129.3	216.6	263.9	224.3	225.6	191.6	171.6
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	11.1	11.1	13.1	13.2	15.2	15.2	16.8	16.8
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	11.1		13.2		15.2		16.8	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	



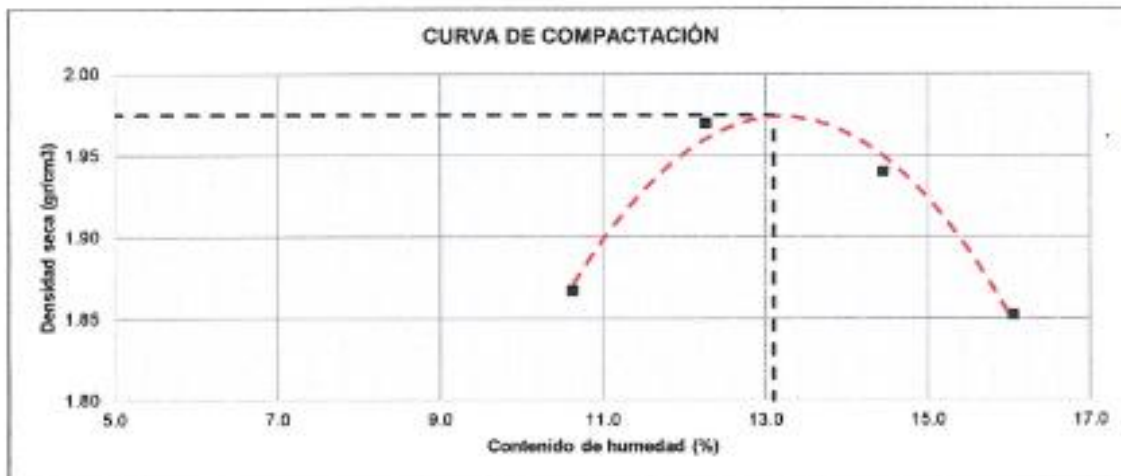
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 02/10/2023	FECHA: 02/10/2023	FECHA: 02/10/2023	FECHA: 02/10/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023”		
CALICATA:	1	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	06/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5990.0		6157.0		6118.0		6069.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1951.6		2118.6		2077.6		2030.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda: (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.1	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	86.3	33.3	26.4	31.9	46.3	46.3	17.3	89.0
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	288.0	295.1	261.4	310.6	321.0	290.3	330.6	341.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	268.6	270.0	235.7	280.2	286.9	259.0	287.5	308.0
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	19.4	25.1	25.7	30.4	34.1	31.3	43.1	35.0
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	182.3	236.7	208.3	248.3	240.6	212.7	270.2	217.0
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	10.6	10.6	12.3	12.2	14.2	14.7	16.0	16.1
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.6		12.3		14.4		16.0	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	



OBSERVACIONES:

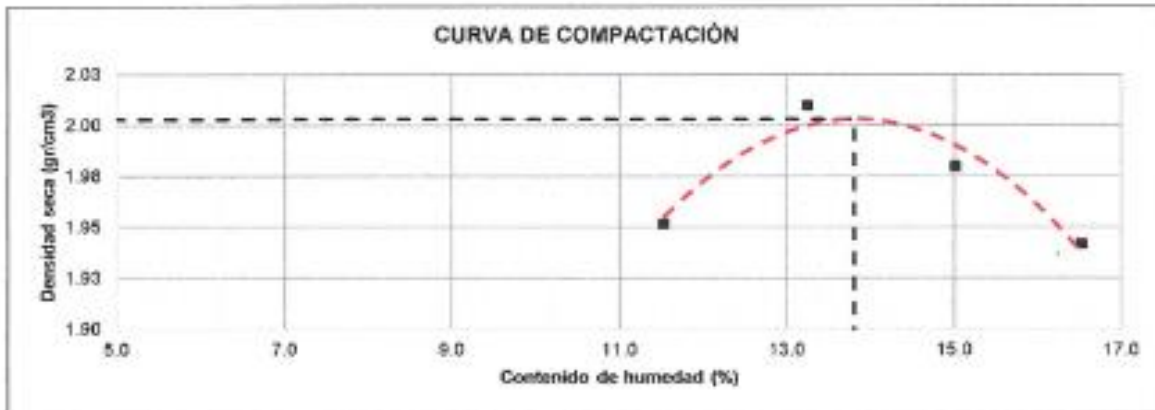
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 02/11/2023	FECHA: 02/11/2023	FECHA: 02/11/2023	FECHA: 02/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PRÓTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	1	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6095.0		6189.0		6163.0		6176.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2056.6		2150.6		2124.6		2137.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2		2.3		2.2		2.3	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	86.3	50.5	46.1	46.3	32.0	87.3	124.3	80.2
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	289.0	301.1	350.1	336.8	286.2	373.4	329.4	306.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	267.9	275.4	314.8	302.6	253.0	336.1	300.5	273.8
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	21.1	25.7	35.3	34.2	33.2	37.3	28.9	32.2
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	181.6	224.9	268.7	256.3	221.0	248.8	176.2	193.6
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	11.6	11.4	13.1	13.3	15.0	15.0	16.4	16.6
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	11.5		13.2		15.0		16.5	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0		2.0		2.0		1.9	



OBSERVACIONES:

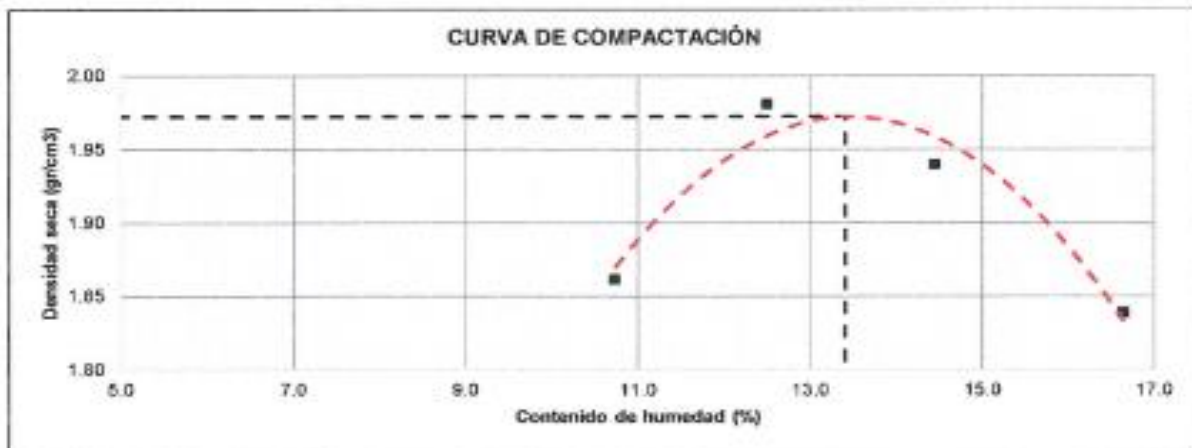
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ABESOR
			
NOMBRE: Jose Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martinez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA:	03/11/2023	FECHA: 03/11/2023	FECHA: 03/11/2023

Salazar Torres, D; vargas Salazar, J.

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
	PROTOCOLO					
	ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
	NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON		
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES		
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ		

CAL VIVA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5986.0		6158.0		6115.0		6065.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1947.6		2119.6		2076.6		2026.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.1	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	50.5	75.2	31.9	37.6	26.5	33.4	33.2	36.0
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	258.1	270.3	241.6	271.8	271.9	325.0	263.0	245.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	238.0	251.4	218.2	245.9	240.6	288.6	230.2	215.2
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	20.1	18.9	23.4	25.9	31.3	36.4	32.8	29.8
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	167.5	176.2	166.3	206.3	214.1	255.2	197.0	179.2
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	10.7	10.7	12.6	12.4	14.6	14.3	16.6	16.6
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.7		12.5		14.4		16.6	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.8	

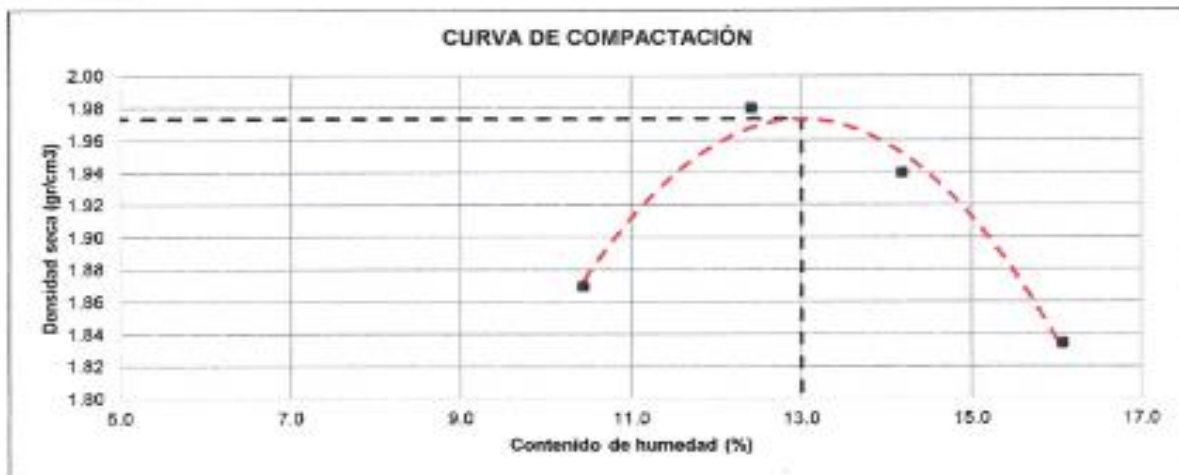


OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Celva Carrasco
FECHA:	08/11/2023	FECHA:	08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	1	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	08/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5889.0	6159.0	6112.0	6050.0	6112.0	6050.0	6112.0	6050.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1850.6	2120.6	2073.6	2011.6	2073.6	2011.6	2073.6	2011.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1
G	Recipiente	Nº	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	37.8	103.0	46.5	33.4	27.5	36.1	26.4	42.9
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	262.3	298.6	296.5	372.5	326.2	314.9	266.0	299.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	241.1	260.1	268.6	335.2	289.3	280.1	234.7	263.4
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	21.2	18.5	27.7	37.3	36.9	34.8	33.3	35.6
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	203.3	177.1	222.3	301.8	261.8	244.0	206.3	220.5
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	10.4	10.4	12.5	12.4	14.1	14.3	16.0	16.1
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.4		12.4		14.2		16.1	
O	Densidad Seca Máxima, Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.8	

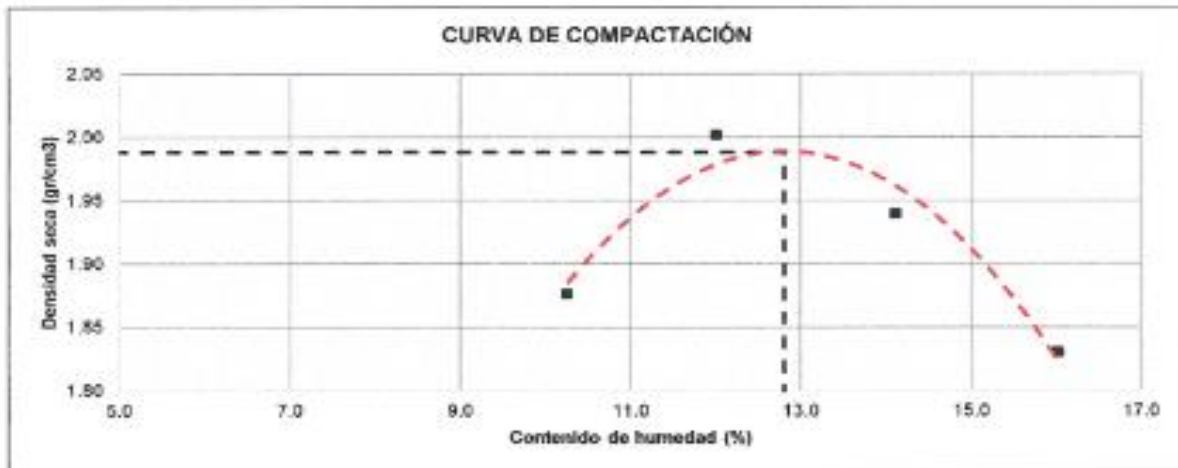


OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/06/2023	08/06/2023	FECHA: 08/06/2023	FECHA: 08/06/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	1	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

CAL VIVA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5993.0		6183.0		6115.0		6045.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1954.6		2124.6		2076.6		2005.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.1	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	103.0	27.0	42.7	50.5	32.4	76.2	77.6	75.4
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	282.3	307.1	314.8	360.7	271.0	296.8	272.0	260.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	274.6	281.2	285.7	327.4	241.1	269.9	245.3	234.8
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	17.7	25.9	29.1	33.3	29.9	26.8	26.7	25.7
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	171.6	254.2	243.0	276.9	208.7	193.7	167.7	159.4
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	10.3	10.2	12.0	12.0	14.3	13.9	15.9	16.1
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.3		12.0		14.1		16.0	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.8	



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	2	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	10/05/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6476.9		6476.9		6476.9		6476.9	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10937.9		11185.1		11150.6		11092.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4461.0		4708.2		4673.7		4615.1	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0		2126.0		2126.0		2126.0	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.2	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	75.2	73.3	26.5	36.1	99.1	103.0	104.0	77.8
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	392.5	392.1	278.4	314.4	418.0	406.9	390.2	380.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	368.4	367.6	256.2	288.9	383.0	375.9	355.9	344.4
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	24.1	24.5	23.2	25.5	35.0	33.0	34.3	35.6
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	293.2	294.3	228.7	252.8	283.8	272.9	251.9	266.6
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	8.2	8.3	10.1	10.1	12.3	12.1	13.6	13.4
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.3		10.1		12.2		13.5	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.9	



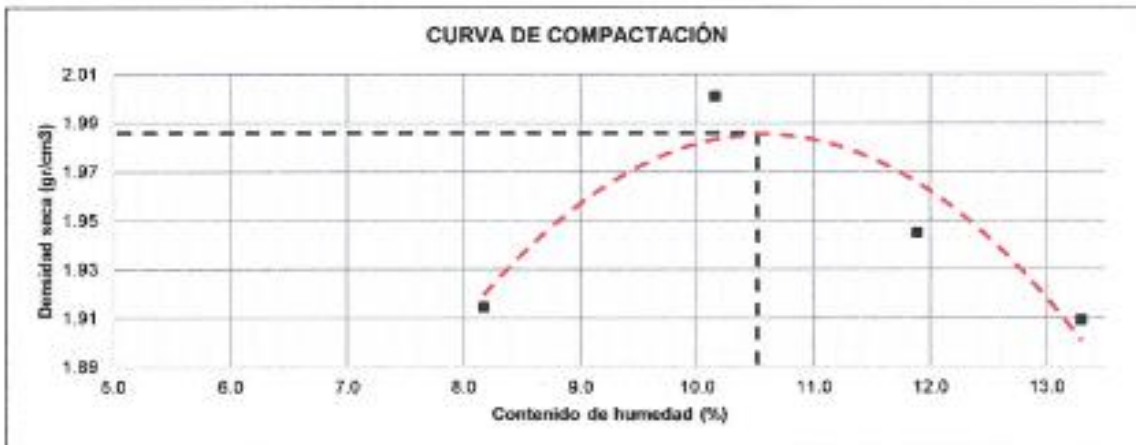
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA: 08/11/2023	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023	
CALICATA:	2	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA		
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL: MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE: JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023		REVISADO POR: JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6476.9		6476.9		6476.9		6476.9	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10880.0		11216.0		11081.5		11075.8	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4403.1		4739.1		4604.6		4598.9	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0		2126.0		2126.0		2126.0	
F	Densidad húmeda: (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.2	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	26.9	50.6	33.5	36.1	26.4	28.6	27.0	37.7
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	392.5	350.1	301.1	294.7	258.3	296.6	273.0	289.4
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	365.0	327.4	278.4	270.9	233.6	270.0	243.9	260.1
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	27.5	22.7	24.7	23.8	24.7	28.6	29.1	29.3
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	338.1	276.8	242.9	234.8	207.2	241.4	216.9	222.4
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	8.1	8.2	10.2	10.1	11.9	11.8	13.4	13.2
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.2		10.2		11.9		13.3	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	



OBSERVACIONES:

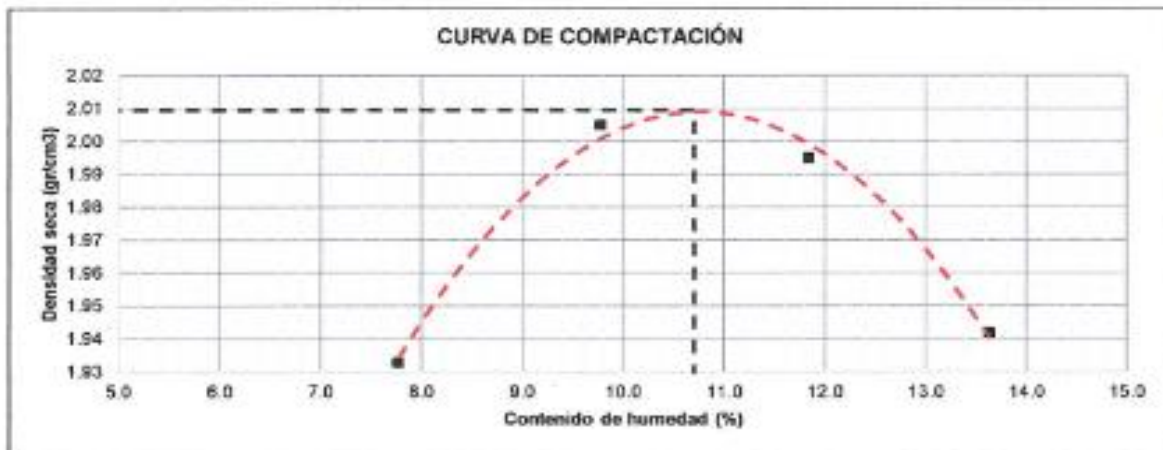
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calus Carrasco
FECHA	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D; vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	2	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	05/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10905.0	11198.0	11198.0	11198.0	11198.0	11198.0	11198.0	11198.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4428.1	4721.1	4721.1	4721.1	4721.1	4721.1	4721.1	4721.1
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	36.1	46.1	37.6	33.3	33.4	36.0	26.9	28.7
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	291.4	305.7	320.4	310.9	312.1	313.8	266.1	235.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	272.9	287.1	295.3	285.1	282.6	284.2	237.3	210.8
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	18.5	18.6	25.1	24.8	29.5	29.4	28.8	24.7
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	236.8	241.0	257.7	252.8	249.2	248.2	210.4	182.1
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	7.8	7.7	9.7	9.8	11.8	11.8	13.7	13.6
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	7.8		9.8		11.8		13.6	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.9	



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 03/11/2023	03/11/2023	FECHA: 03/11/2023	FECHA: 03/11/2023



Calaza Torres, D., Vargas Calaza, V.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	2	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:		GRAVA ARCILLOSA CON ARENA	
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	8476.9	8476.9	8476.9	8476.9	8476.9	8476.9	8476.9	8476.9
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10870.0	11210.0	11210.0	11140.0	11140.0	10998.0	10998.0	10998.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4393.1	4733.1	4733.1	4663.1	4663.1	4489.1	4489.1	4489.1
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0
F	Densidad húmeda, (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1
G	Recipiente	N*	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	124.3	46.3	37.6	27.5	36.2	42.6	26.9	76.2
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	273.2	281.7	294.3	314.6	335.4	368.6	395.1	340.6
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	262.2	264.0	271.5	288.9	304.3	335.2	352.4	310.3
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	11.0	17.7	22.8	25.9	31.1	33.4	42.7	30.5
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	137.9	217.7	233.9	261.4	266.1	292.6	325.5	234.1
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	8.0	8.1	9.7	9.9	11.6	11.4	13.1	13.0
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.1		9.8		11.5		13.1	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.9	



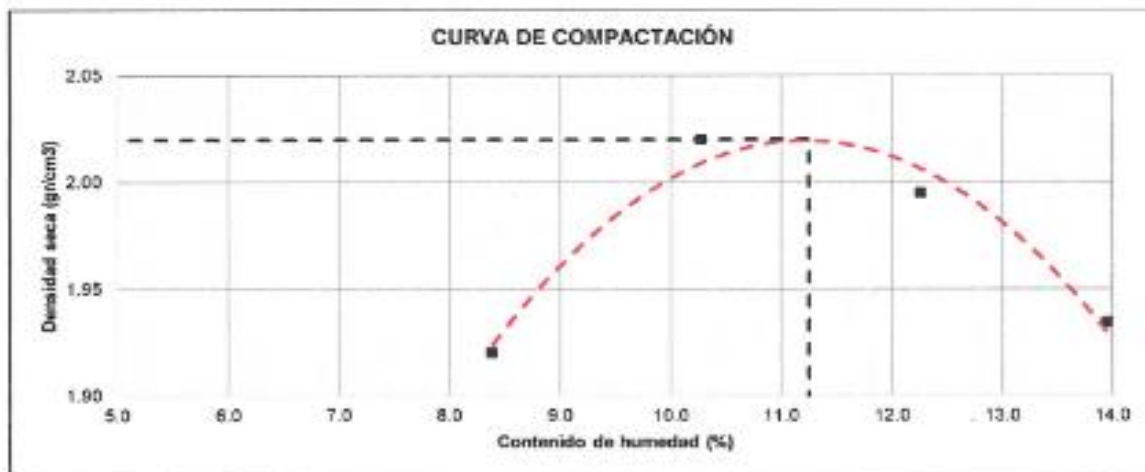
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA:	08/06/2023	FECHA: 08/06/2023	FECHA: 08/06/2023




Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO				
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	2	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	GRÁVA ARCILLOSA CON ARENA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS BALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

CAL VIVA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9	6476.9
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10901.0	11243.0	11243.0	11192.0	11192.0	11192.0	11192.0	11192.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4424.1	4766.1	4766.1	4715.1	4715.1	4715.1	4715.1	4715.1
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0	2126.0
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	37.6	75.5	26.9	28.7	46.1	32.5	27.4	46.2
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	293.5	303.7	281.0	298.7	322.2	316.9	327.4	366.6
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	273.9	285.9	257.1	273.8	292.0	285.9	290.7	326.5
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	19.6	17.8	23.9	24.9	30.2	31.0	36.7	39.1
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	236.1	210.4	230.2	245.1	245.9	253.4	283.3	280.3
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	8.3	8.5	10.4	10.2	12.3	12.2	13.9	13.9
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.4		10.3		12.3		13.9	
O	Densidad Seca Máxima, Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.9	



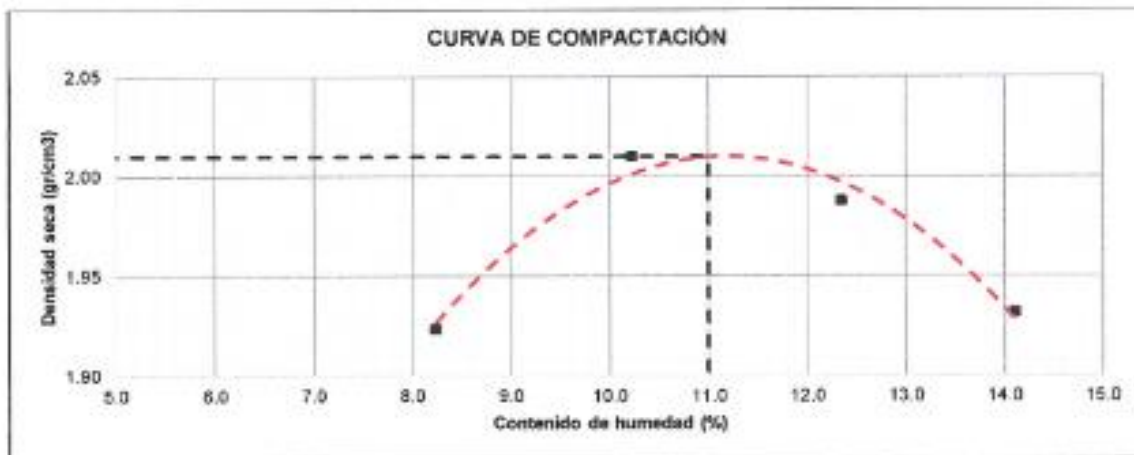
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	
	NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	
	TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023	
CALICATA:	2	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA		
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL: MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE: JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	08/06/2023		REVISADO POR: JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6476.9		6476.9		6476.9		6476.9	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10903.0		11234.0		11181.0		11163.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4426.1		4757.1		4714.1		4686.1	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0		2126.0		2126.0		2126.0	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.2	
G	Recipiente	N*	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	124.3	86.3	33.3	27.0	33.5	29.0	31.9	26.4
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	303.3	278.5	300.5	310.0	314.4	316.0	308.5	308.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	289.7	264.8	275.5	284.0	283.5	284.5	274.2	272.0
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	13.8	14.7	25.0	26.0	30.9	31.5	34.3	34.5
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	165.4	178.5	242.2	257.0	250.0	255.5	242.3	245.6
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.2	8.2	10.3	10.1	12.4	12.3	14.2	14.0
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.2		10.2		12.3		14.1	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.9	



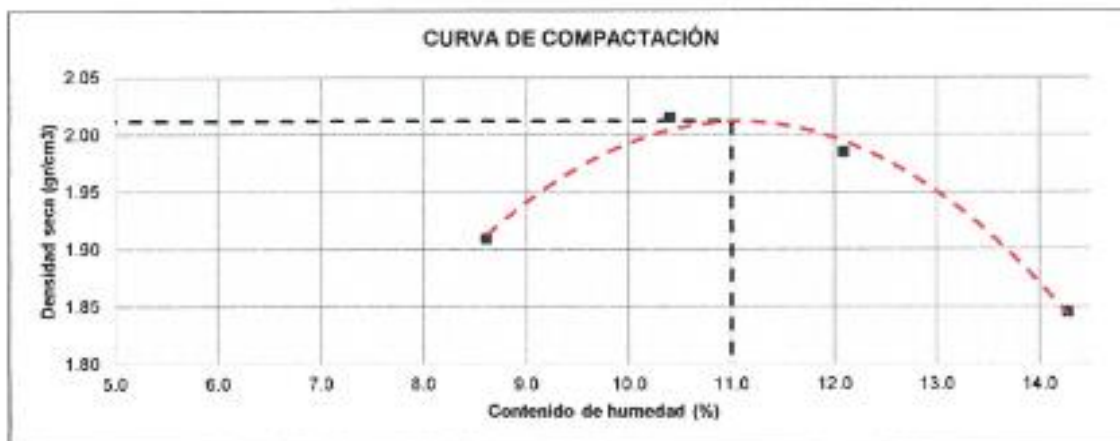
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: Jose Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martinez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA	08/06/2023	FECHA: 08/06/2023	FECHA: 08/06/2023

Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	2	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6476.9		6476.9		6476.9		6476.9	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10885.0		11257.0		11147.0		10960.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	4408.1		4780.1		4670.1		4483.1	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	2126.0		2126.0		2126.0		2126.0	
F	Densidad húmeda, (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.1	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	86.3	103.0	33.5	26.9	27.3	25.3	36.1	46.3
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	293.6	309.5	296.2	302.6	305.5	312.8	327.2	315.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	277.2	293.1	271.2	277.1	275.3	282.1	290.8	281.5
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	16.4	16.4	25.0	25.5	30.2	30.7	36.4	33.6
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	190.8	190.1	237.7	248.2	248.0	255.8	254.7	235.6
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.6	8.6	10.5	10.3	12.2	12.0	14.3	14.3
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.6		10.4		12.1		14.3	
O	Densidad Seca Máxima, D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.8	



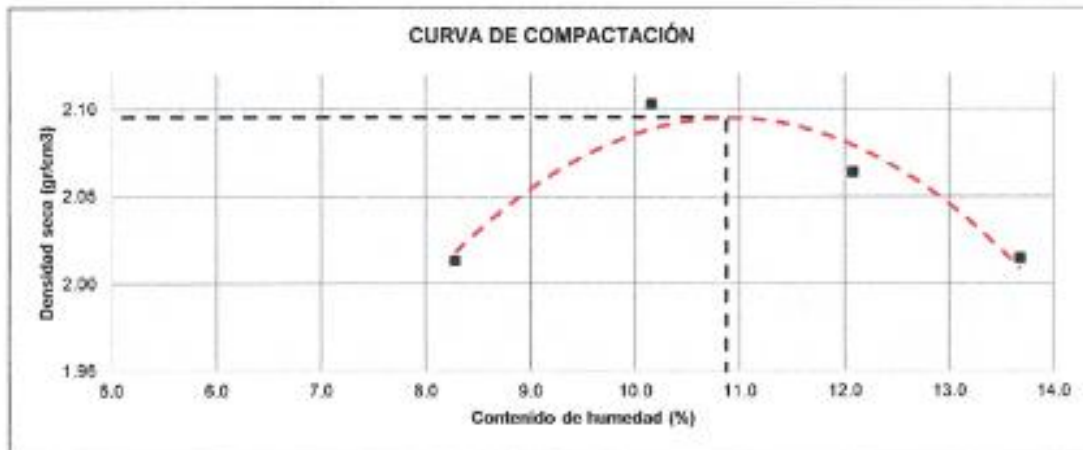
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/11/2023	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN
FECHA DE ENSAYO:	10/05/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6098.0		6227.1		6224.1		6202.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2059.6		2189.7		2185.7		2163.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2		2.3		2.3		2.3	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	77.8	124.5	125.2	76.4	75.5	74.0	76.5	28.6
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	360.2	341.5	356.6	310.4	302.3	331.7	289.5	310.1
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	338.9	324.7	335.2	288.9	277.8	304.0	283.9	278.2
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	21.3	16.8	21.4	21.5	24.5	27.7	25.6	33.9
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	251.1	200.2	210.0	212.5	202.3	230.0	187.4	247.6
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.2	8.4	10.2	10.1	12.1	12.0	13.7	13.7
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.3		10.2		12.1		13.7	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0		2.1		2.1		2.0	



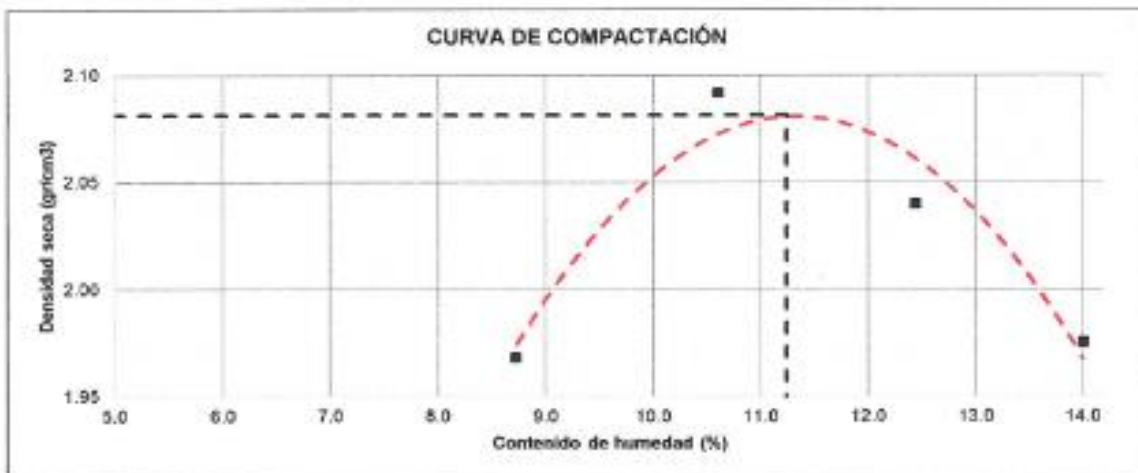
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 03/11/2023	03/11/2023	FECHA: 03/11/2023	FECHA: 03/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4				
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6080.0	6240.0	6181.7	6188.0				
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2021.6	2201.6	2143.3	2127.6				
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8				
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.3	2.3	2.3				
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	75.2	50.5	26.8	33.4	37.7	46.2	40.3	33.4
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	321.5	288.9	278.0	340.9	331.6	303.5	284.6	250.2
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	301.8	278.9	253.7	311.7	299.0	275.1	255.4	223.5
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	19.7	20.0	24.3	28.2	32.6	28.4	28.2	26.7
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	226.6	228.4	226.9	278.3	261.3	228.9	209.1	190.1
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	8.7	8.8	10.7	10.5	12.5	12.4	14.0	14.0
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.7		10.6		12.4		14.0	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0		2.1		2.0		2.0	



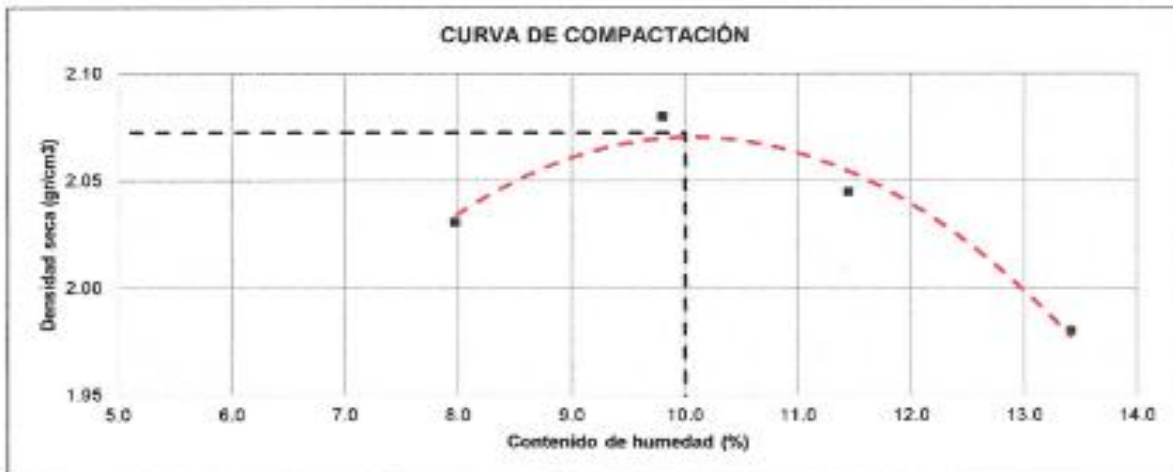
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/23

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6110.0		6210.0		6180.0		6180.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2071.6		2171.6		2141.6		2121.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda: (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2		2.3		2.3		2.2	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	124.3	28.6	27.6	50.5	32.5	42.6	75.5	77.7
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	263.1	252.5	239.3	263.6	330.8	319.6	342.5	274.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	252.9	235.9	220.4	244.6	300.1	291.2	310.9	250.8
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	10.2	16.6	18.9	19.0	30.7	28.4	31.6	23.2
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	128.6	207.3	192.8	194.1	267.6	248.6	235.4	173.1
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	7.9	8.0	9.8	9.8	11.5	11.4	13.4	13.4
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.0		9.8		11.4		13.4	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	2.0		2.1		2.0		2.0	

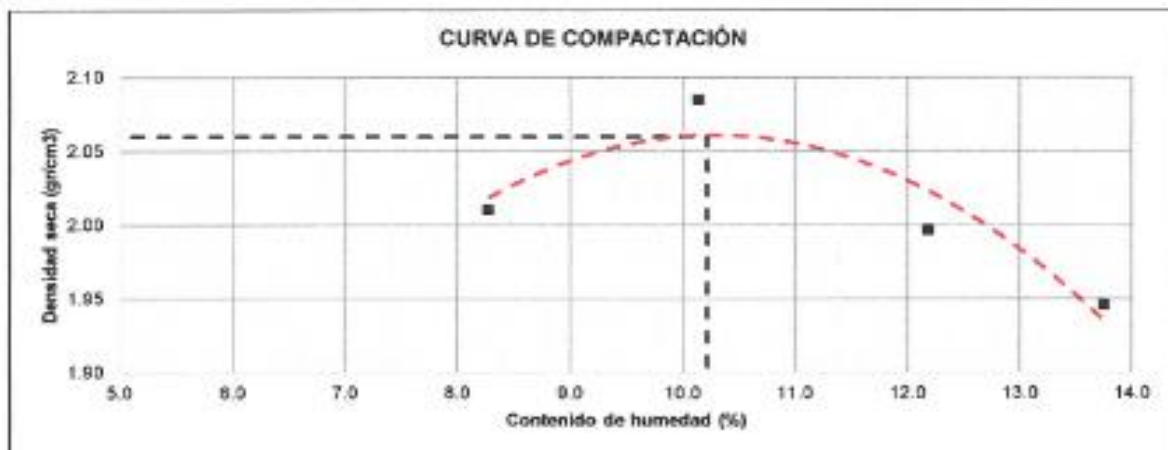



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	14/08/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	8095.0	8219.0	8155.0	8130.0	8155.0	8130.0	8155.0	8130.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2056.6	2180.6	2116.6	2091.6	2116.6	2091.6	2116.6	2091.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda: (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	77.8	28.8	26.4	46.2	31.9	46.3	87.2	123.9
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	262.1	304.5	289.4	305.6	308.3	290.3	298.8	290.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	248.1	283.3	265.0	281.9	279.4	263.6	273.3	270.3
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	14.0	21.2	24.4	23.7	28.9	26.7	25.5	20.2
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	170.3	254.7	238.6	235.7	247.5	217.3	186.1	146.4
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.2	8.3	10.2	10.1	12.1	12.3	13.7	13.8
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.3		10.1		12.2		13.8	
O	Densidad Seca Máxima, D _s	gr/cm ³	2.0		2.1		2.0		1.9	



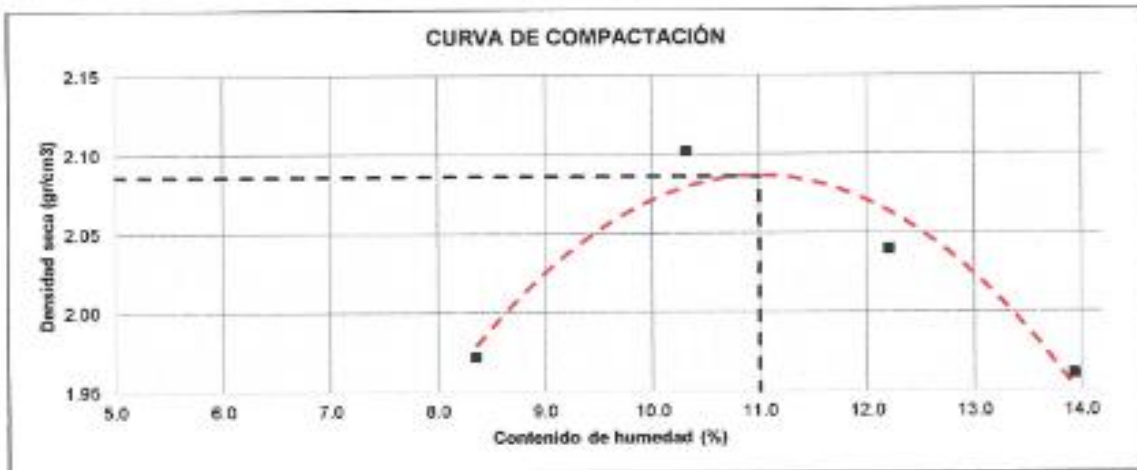
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/11/2023		FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023





Calua Carrasco, C., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6057.0	6240.0	6178.0	6149.0	6178.0	6149.0	6178.0	6149.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2018.6	2201.6	2139.6	2110.6	2139.6	2110.6	2139.6	2110.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda, (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	76.4	36.0	42.7	28.3	50.5	75.5	77.7	73.3
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	280.5	261.2	340.1	291.1	353.3	376.7	295.8	309.0
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	264.8	243.8	312.2	266.4	320.5	343.8	289.2	280.1
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	15.7	17.4	27.9	24.7	32.8	32.9	26.6	28.9
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	188.4	207.8	289.5	240.1	270.0	268.3	191.5	206.8
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.3	8.4	10.4	10.3	12.1	12.3	13.9	14.0
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.4		10.3		12.2		13.9	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.0		2.1		2.0		2.0	



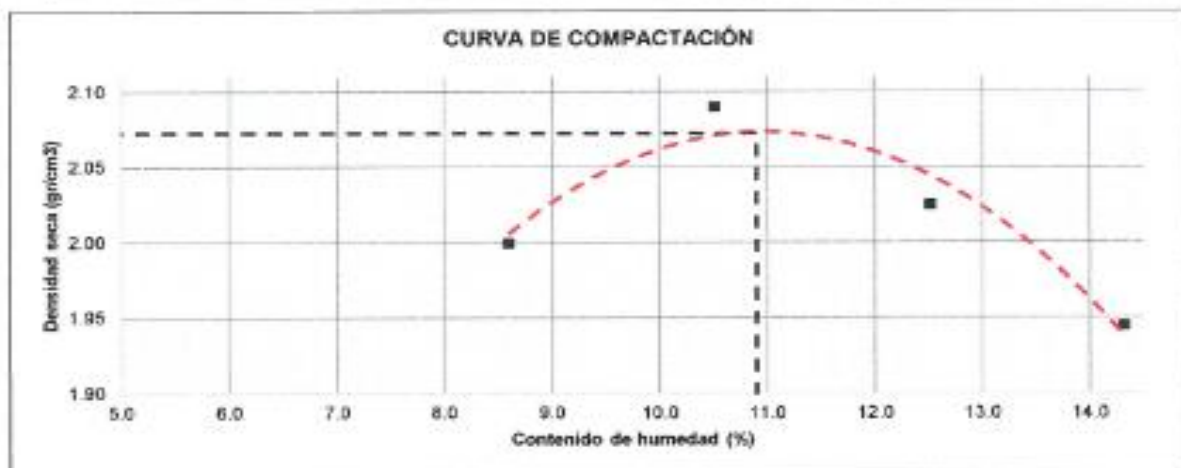
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Celva Carrasco
FECHA: 03/11/2023		FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
	NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023				
CALICATA:	3	ESTRATO:	1	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

CAL VIVA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6090.0	6229.0	6229.0	6173.0	6173.0	6139.0	6139.0	6139.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2051.6	2190.6	2190.6	2134.6	2134.6	2100.6	2100.6	2100.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	27.6	124.3	50.7	48.2	123.5	76.2	77.7	75.5
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	259.1	298.4	307.4	379.7	363.4	359.0	291.4	294.1
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	240.8	284.6	283.0	348.0	336.5	327.6	258.0	266.6
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	18.3	13.8	24.4	31.7	26.9	31.2	25.4	27.5
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	213.2	160.3	232.3	301.6	213.0	251.6	178.3	191.1
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.6	8.6	10.5	10.5	12.6	12.4	14.2	14.4
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.6		10.5		12.5		14.3	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.0		2.1		2.0		1.9	



OBSERVACIONES:

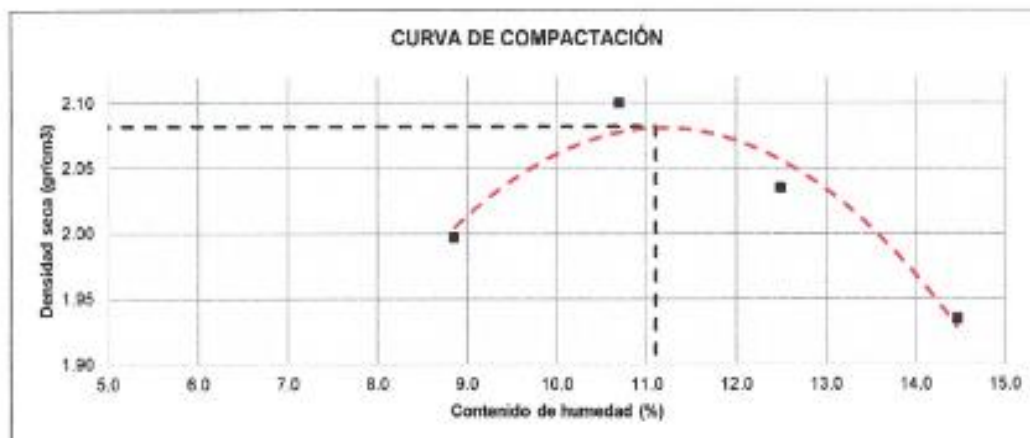
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA:	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	
	NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	
	TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023	
CALICATA:	3	ESTRATO:	1
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6092.0	6236.0	6177.0	6177.0	6177.0	6177.0	6131.0	6131.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	2053.6	2197.6	2138.6	2138.6	2138.6	2138.6	2092.6	2092.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	104.0	124.3	126.2	80.2	101.5	101.0	73.8	76.1
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	245.6	260.6	364.3	302.0	252.0	296.0	320.5	292.2
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	234.1	249.7	341.7	280.4	270.8	274.4	289.4	258.1
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	11.5	11.1	22.6	21.6	21.2	21.6	31.1	26.1
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	130.1	125.4	213.5	200.2	169.3	173.4	215.5	180.0
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	8.8	8.9	10.6	10.8	12.5	12.5	14.4	14.5
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.8		10.7		12.5		14.5	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	2.0		2.1		2.0		1.9	



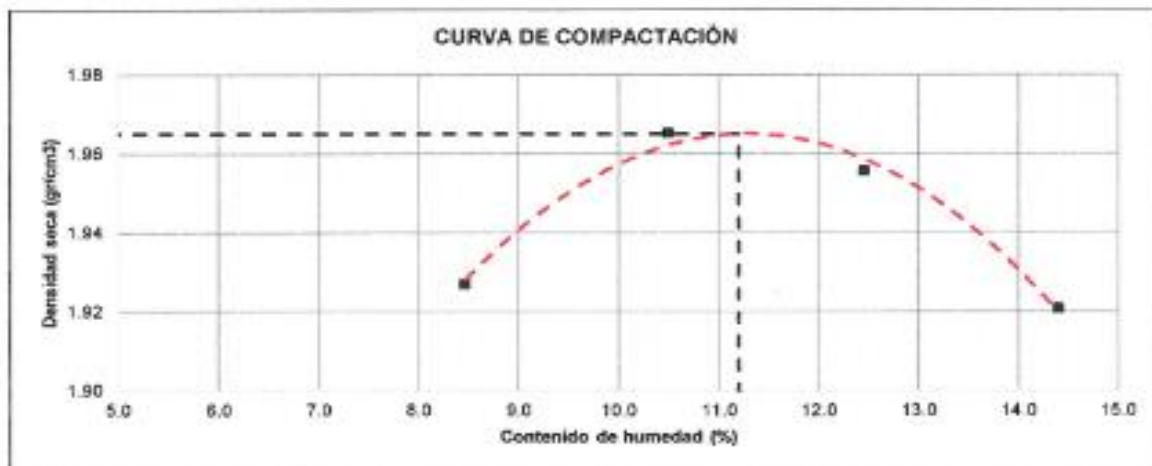
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 03/11/2023	03/11/2023	FECHA: 03/11/2023	FECHA: 03/11/2023

Salazar Torres, D; Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
NORMA:			
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	10/05/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6013.0	6090.0	6118.1	6114.5	6118.1	6114.5	6118.1	6114.5
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1974.6	2051.6	2077.7	2076.1	2077.7	2076.1	2077.7	2076.1
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda: (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	25.9	76.5	26.9	26.4	124.5	124.0	28.6	50.6
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	337.2	359.1	218.4	241.6	365.3	316.6	252.5	276.5
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	313.0	337.0	200.1	221.3	338.5	295.4	224.4	248.0
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	24.2	22.1	18.3	20.3	26.8	21.2	28.1	28.5
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	287.1	260.5	173.2	194.9	214.0	171.4	195.8	197.4
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	8.4	8.5	10.6	10.4	12.5	12.4	14.4	14.4
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	8.5		10.5		12.4		14.4	
O	Densidad Seca Máxima: D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		2.0		1.9	

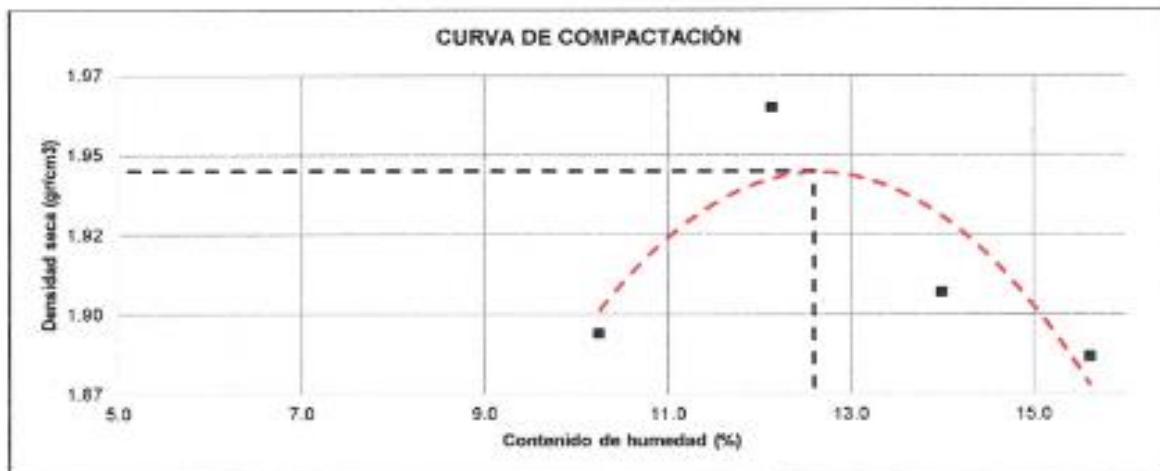


OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DEL LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
TIPO DE MATERIAL:		ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
UBICACIÓN:		CERRILLO	
FECHA DE MUESTREO:		17/03/2023	
FECHA DE ENSAYO:		30/05/2023	
RESPONSABLE:		JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
REVISADO POR:		JORGE HOYOS MARTINEZ	

CAL APAGADA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6006.0	6121.0	6086.8	6094.0	6086.8	6094.0	6086.8	6094.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1967.6	2082.6	2048.4	2055.6	2048.4	2055.6	2048.4	2055.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	75.5	104.0	46.1	46.4	33.4	26.5	31.9	85.1
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	345.0	335.1	317.3	312.1	316.1	293.0	377.2	353.6
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	320.1	313.5	287.9	283.4	281.6	260.1	330.5	317.5
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	24.9	21.6	29.4	28.7	34.5	32.9	46.7	36.1
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	244.6	209.5	241.8	237.0	248.2	233.6	298.6	231.4
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	10.2	10.3	12.2	12.1	13.9	14.1	15.6	15.6
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	10.2		12.1		14.0		15.6	
O	Densidad Seca Máxima: Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	



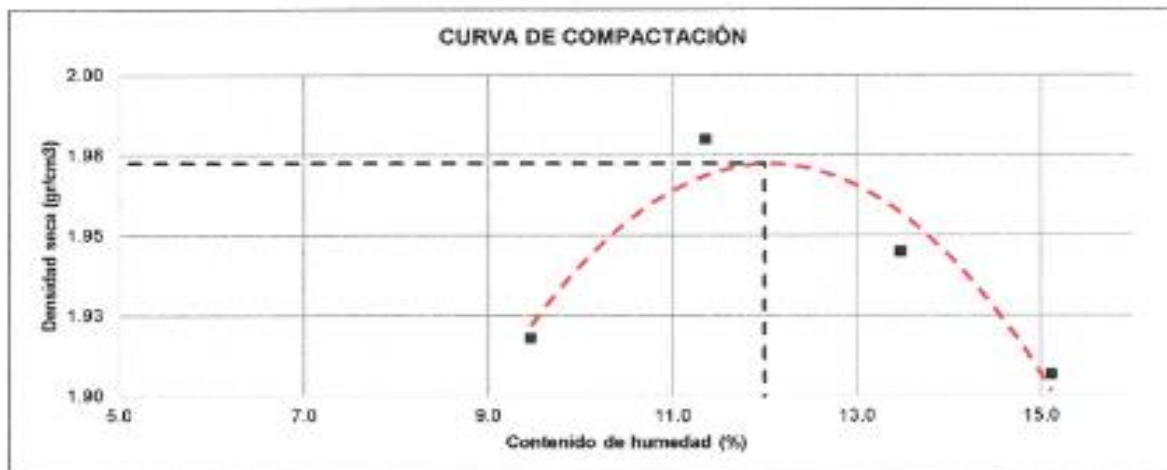
OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023*		
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6022.0	6122.0	6122.0	6118.0	6118.0	6112.0	6112.0	6112.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1983.6	2083.6	2083.6	2079.6	2079.6	2073.6	2073.6	2073.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	27.6	31.9	37.6	33.4	26.2	28.6	36.0	26.9
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	267.7	308.6	296.8	291.9	265.2	281.6	286.2	276.7
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	265.2	284.7	270.4	265.5	254.5	251.7	256.1	243.9
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	22.5	23.9	26.4	26.4	30.7	30.1	33.1	32.8
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	237.6	252.8	232.8	232.1	228.3	223.1	219.1	217.0
M	Contenido de Humedad (W% = (K/L) * 100)	%	9.5	9.5	11.3	11.4	13.4	13.5	15.1	15.1
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.5		11.4		13.5		15.1	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ABESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	NOMBRE: Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023





Salazar Torres, D., Vargas Salazar, J.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
PROTOCOLO				
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL: ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6024.0		6125.0		6116.0		6109.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1985.6		2086.6		2077.6		2070.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.2	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	104.0	103.0	124.5	125.2	124.0	124.4	73.4	119.8
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	283.4	311.0	322.7	327.6	323.5	325.1	307.0	313.4
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	276.9	292.8	302.4	306.7	300.2	301.7	276.2	287.8
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	16.5	18.2	20.3	20.9	23.3	23.4	30.8	25.6
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	172.9	189.8	177.9	181.5	176.2	177.3	202.8	168.0
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	9.5	9.6	11.4	11.5	13.2	13.2	15.2	15.2
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.6		11.5		13.2		15.2	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	

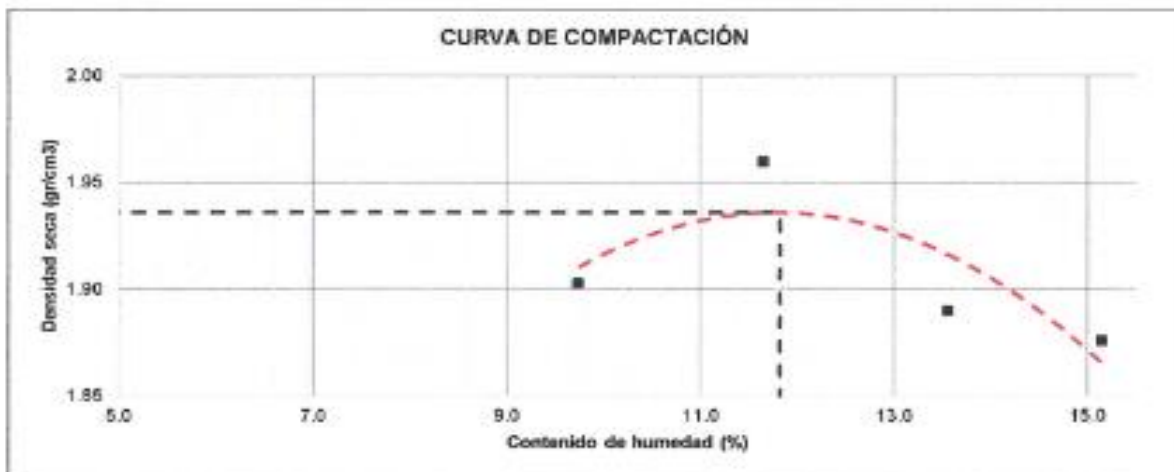


OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/11/2023	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023		
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
TIPO DE MATERIAL:		ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
UBICACIÓN:	CERRILLO	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2023	REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA AL 4%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4	4038.4
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6011.0	6114.0	6114.0	6063.0	6079.0	6079.0	6079.0	6079.0
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1972.6	2075.6	2075.6	2024.6	2040.6	2040.6	2040.6	2040.6
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8	944.8
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	124.3	75.2	31.9	26.3	33.4	37.6	28.6	26.8
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	273.2	289.1	283.6	318.1	327.3	337.9	328.0	289.1
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	260.0	270.1	267.4	287.6	292.3	302.0	288.5	283.4
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	13.2	19.0	26.2	30.5	35.0	35.9	39.5	35.7
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	135.7	194.9	225.5	261.3	258.9	264.4	259.9	236.6
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	9.7	9.7	11.6	11.7	13.5	13.6	15.2	15.1
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.7		11.6		13.5		15.1	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	

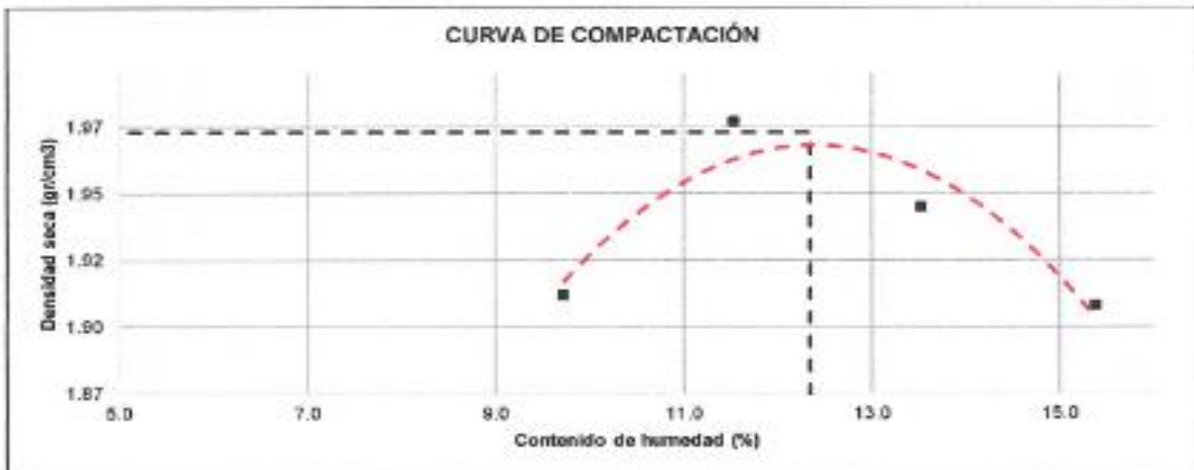


OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Garrasco
FECHA: 08/11/2023	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141			
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023			
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
UBICACIÓN:	CERRILLO		COLOR DE MATERIAL:	MARRON	
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2023		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ	

CAL VIVA AL 6%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6015.0		6129.0		6115.0		6113.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1976.6		2090.6		2076.6		2074.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.8		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.2	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	86.3	77.6	31.9	33.4	37.6	26.8	46.5	28.6
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	276.1	302.3	250.4	248.3	289.5	258.3	279.7	288.8
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	255.4	282.3	227.8	228.1	259.3	230.9	248.6	251.9
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	16.7	20.0	22.6	22.2	30.2	27.4	30.9	34.9
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	173.1	204.5	195.9	192.7	221.7	204.1	202.3	225.3
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	9.6	9.8	11.5	11.5	13.6	13.4	15.3	15.5
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.7		11.5		13.5		15.4	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	

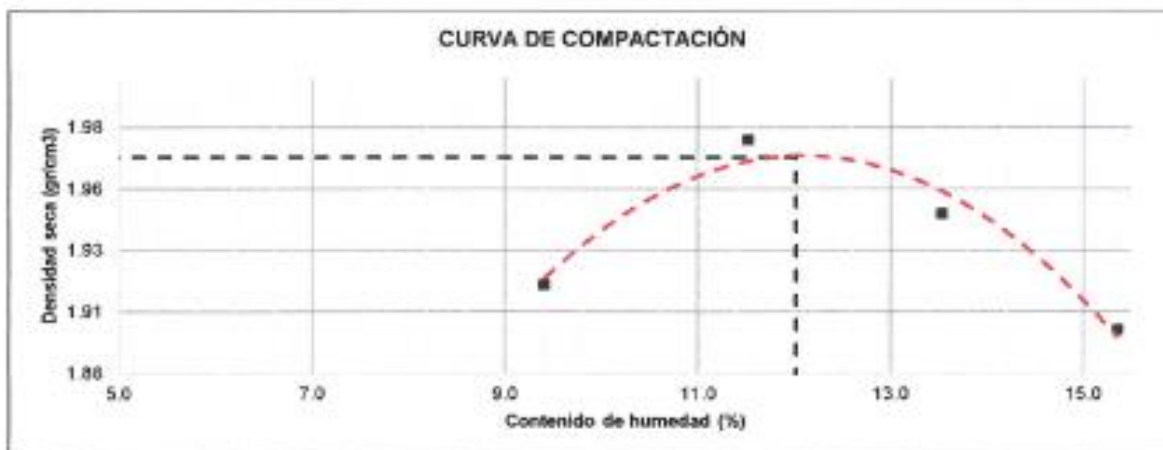




OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 08/11/2023	08/11/2023	FECHA: 08/11/2023	FECHA: 08/11/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141	
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023	
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
TIPO DE MATERIAL:		ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
UBICACIÓN:		CERRILLO	
COLOR DE MATERIAL:		MARRON	
FECHA DE MUESTREO:		17/03/2023	
RESPONSABLE:		JOSE VARGAS SALAZAR / DIEGO SALAZAR TORRES	
FECHA DE ENSAYO:		14/06/2023	
REVISADO POR:		JORGE HOYOS MARTINEZ	

CAL VIVA AL 8%

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	4038.4		4038.4		4038.4		4038.4	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	6019.0		6133.0		6114.0		6107.0	
C	Peso Muestra Húmeda (A-B)	gr	1980.6		2094.6		2075.6		2060.6	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	944.6		944.8		944.8		944.8	
F	Densidad húmeda; (Dh=C/D)	gr/cm ³	2.1		2.2		2.2		2.2	
G	Recipiente	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	103.0	27.0	122.1	75.2	119.8	125.1	124.4	103.4
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	305.5	291.4	311.1	293.9	313.4	315.0	321.4	319.4
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	288.9	288.8	291.5	271.4	290.4	292.3	295.3	290.6
K	Peso del Agua (I-H-L)	gr	17.6	22.6	19.6	22.5	23.0	22.7	26.1	28.9
L	Peso Muestra seca (J-H)	gr	185.9	241.8	169.4	196.2	170.6	167.2	170.9	187.1
M	Contenido de Humedad (W%=(K/L) * 100)	%	9.5	9.3	11.6	11.5	13.5	13.6	15.3	15.4
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	9.4		11.5		13.5		15.4	
O	Densidad Seca Máxima; D _s	gr/cm ³	1.9		2.0		1.9		1.9	



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Jorge Hoyos Martínez	NOMBRE: Ing. Carlos Calva Carrasco
FECHA	03/11/2023	FECHA: 03/11/2023	FECHA: 03/11/2023

Calva Carrasco, C. / Vargas Salazar, J.





CBR

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR								
NORMA:		MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429								
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023								
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA					
UBICACIÓN:	CERRILLO			COLOR DE MATERIAL:	MARRON					
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023			RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES					
FECHA DE ENSAYO:	19/07/2023			REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ					

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR							
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Capas		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	7265.00	7265.00	7215.00	7215.00	7250.00	7250.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	10752.00	11006.00	10982.00	11002.00	11139.00	11203.00
Peso Muestra húmeda	gr	3487.00	3741.00	3767.00	3787.00	3889.00	3953.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	1747.14	1747.14	1741.86	1741.86	1731.34	1731.34
Densidad húmeda ; Dh	gt/cm ³	2.00	2.14	2.16	2.17	2.25	2.28

CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	26.00	27.20	28.30	27.6	28.90	28.60	27.90	28.10	27.80
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	65.12	70.20	70.20	95.20	90.30	92.20	87.50	90.20	95.62
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	61.21	65.90	65.20	88.20	84.00	84.50	81.50	83.62	87.80
Peso del Agua	gr	3.91	4.30	5.00	7.00	6.30	7.70	6.00	55.52	7.82
Peso Muestra Seca	gr	35.21	38.70	38.90	60.60	55.10	55.90	53.60	6.58	60.00
Contenido de Humedad ; W%	%	11.10	11.11	13.55	11.55	11.43	13.77	11.19	11.85	13.03
Promedio Contenido de Humedad	%	11.11	13.55	11.49	13.77	11.52	13.03			
Densidad Máxima Seca; Ds	gt/cm ³	1.80	1.89	1.94	1.91	2.01	2.02			

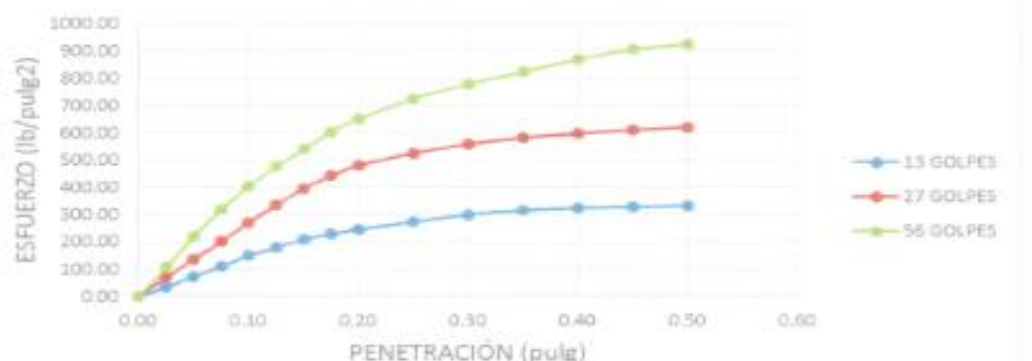
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Lectura Deforma.	Hinchamiento mm	%	Lectura Deforma.	Hinchamiento mm	%	Lectura Deforma.	Hinchamiento mm	%
Horas	Dias									
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.00	1	0.65	0.65	0.52	0.35	0.35	0.28	0.30	0.30	0.24
48.00	2	0.70	0.70	0.56	0.65	0.65	0.52	0.65	0.65	0.52
72.00	3	0.85	0.85	0.68	0.75	0.75	0.60	0.70	0.70	0.56
96.00	4									



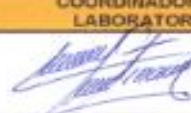

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Luis Herrera Teran	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 27/12/2023		FECHA: 27/12/2023	FECHA: 27/12/2023





LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR								
NORMA:		MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429								
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023								
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA					
UBICACIÓN:	CERRILLO			COLOR DE MATERIAL:	MARRON					
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023			RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES					
FECHA DE ENSAYO:	23/06/2023			REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ					

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	49.90	2.46	35.01	100.70	10.95	70.66	154.22	16.77	108.23
1.27	0.05	104.78	5.17	73.53	195.04	21.22	136.87	312.07	33.94	219.00
1.91	0.08	158.76	7.83	111.41	285.76	31.08	200.54	453.59	49.34	318.31
2.54	0.10	213.19	10.52	149.61	385.55	41.94	270.56	576.06	62.66	404.25
3.18	0.13	256.28	12.64	179.85	476.27	51.81	334.23	680.39	74.01	477.46
3.81	0.15	296.65	14.64	208.17	562.45	61.18	394.70	771.11	83.87	541.13
4.45	0.18	324.32	16.00	227.59	630.49	68.58	442.45	861.83	93.74	604.79
5.08	0.20	349.27	17.23	245.10	684.92	74.50	480.65	929.86	101.14	652.54
6.35	0.25	390.09	19.25	273.75	748.43	81.41	525.21	1034.19	112.49	725.75
7.62	0.30	426.38	21.04	299.21	796.05	86.59	558.63	1111.75	120.93	780.18
8.89	0.35	449.06	22.16	315.13	830.07	90.29	582.51	1175.26	127.84	824.74
10.16	0.40	460.40	22.72	323.08	852.75	92.76	598.42	1238.76	134.74	869.30
11.43	0.45	467.20	23.05	327.86	870.90	94.73	611.15	1290.92	140.42	905.91
12.70	0.50	472.64	23.32	331.68	884.51	96.21	620.70	1317.69	143.33	924.69

ESFUERZO - PENETRACIÓN



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Luis Herrera Teran	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 27/11/2023		FECHA: 27/11/2023	FECHA: 27/11/2023

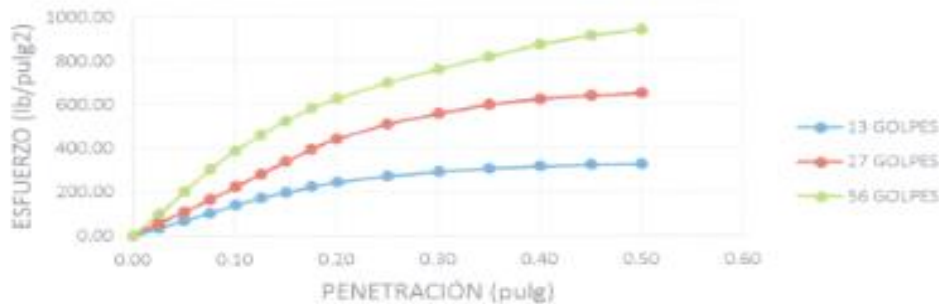
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR								
NORMA:		MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429								
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023								
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA					
UBICACIÓN:	CERRILLO			COLOR DE MATERIAL:	MARRON					
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023			RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES					
FECHA DE ENSAYO:	19/07/2023			REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ					
CAL APAGADA 4%										
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3				
N° Capas		5		5		5				
N° Golpes por Capa		13		27		55				
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.			
Peso Molde	gr	7265.00	7265.00	7215.00	7215.00	7250.00	7250.00			
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	10895.00	10955.00	10875.00	10992.00	11145.00	11100.00			
Peso Muestra húmeda	gr	3630.00	3690.00	3660.00	3777.00	3895.00	3850.00			
Volumen Muestra húmeda	cm ³	1747.14	1747.14	1741.86	1741.86	1731.34	1731.34			
Densidad húmeda ; Dh	gr/cm ³	2.08	2.11	2.10	2.17	2.25	2.22			
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	75.50	46.10	33.40	124.50	124.00	73.40	31.90	37.60	46.50
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	345.00	317.30	316.10	273.20	260.00	262.20	377.00	165.20	200.30
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	315.00	288.50	282.20	257.50	263.50	241.90	340.30	151.50	181.20
Peso del Agua	gr	30.00	28.80	33.90	15.70	16.50	20.30	36.70	13.70	19.10
Peso Muestra Seca	gr	239.50	242.40	248.80	133.00	139.50	168.50	308.40	113.90	134.70
Contenido de Humedad ; W%	%	12.53	11.88	13.63	11.80	11.83	12.05	11.90	12.03	14.18
Promedio Contenido de Humedad	%	12.20		13.63	11.82		12.05	11.96		14.18
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.85	1.86		1.88		1.94	2.01		1.95
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.00	1	0.40	0.40	0.32	0.35	0.35	0.28	0.25	0.25	0.20
48.00	2	0.60	0.60	0.48	0.50	0.50	0.40	0.45	0.45	0.36
72.00	3	0.80	0.80	0.64	0.70	0.70	0.56	0.65	0.65	0.52
96.00	4									
OBSERVACIONES:										
RESPONSABLE DEL ENSAYO		RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO			ASESOR		
										
NOMBRE: José Vargas Salazar		Diego Salazar Torres			NOMBRE: Luis Herrera Teran			NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco		
FECHA: 27/12/2023					FECHA: 27/12/2023			FECHA: 27/12/2023		

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	
NORMA:		MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429	
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023	
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
UBICACIÓN:		TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:		COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN
FECHA DE ENSAYO:		RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL APAGADA 4%

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm²	Lb/pl²	kg	kg/cm²	Lb/pl²	kg	kg/cm²	Lb/pl²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	49.90	2.46	35.01	81.65	8.88	57.30	142.88	15.54	100.27
1.27	0.05	97.52	4.81	68.44	156.49	17.02	109.82	285.76	31.08	200.54
1.91	0.08	147.42	7.27	103.45	235.87	25.66	165.52	430.91	46.87	302.39
2.54	0.10	199.58	9.85	140.06	317.51	34.54	222.82	553.38	60.19	388.34
3.18	0.13	244.94	12.08	171.89	399.16	43.42	280.11	653.17	71.05	458.37
3.81	0.15	281.23	13.88	197.35	480.81	52.30	337.41	748.43	81.41	525.21
4.45	0.18	317.51	15.67	222.82	562.45	61.18	394.70	830.07	90.29	582.51
5.08	0.20	347.00	17.12	243.51	628.23	68.33	440.86	893.58	97.20	627.07
6.35	0.25	385.55	19.02	270.56	723.48	78.69	507.70	997.90	108.54	700.28
7.62	0.30	415.04	20.48	291.25	794.69	86.44	557.68	1084.09	117.92	760.76
8.89	0.35	435.45	21.48	305.58	852.75	92.76	598.42	1163.46	126.55	816.46
10.16	0.40	449.06	22.16	315.13	889.04	96.70	623.89	1242.84	135.19	872.17
11.43	0.45	458.13	22.60	321.49	909.45	98.92	638.21	1299.54	141.35	911.96
12.70	0.50	462.66	22.83	324.68	925.33	100.65	649.35	1338.10	145.55	939.01

ESFUERZO - PENETRACIÓN 4% CAL APAGADA



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Luis Herrera Teran	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 27/12/2023		FECHA: 27/12/2023	FECHA: 27/12/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR								
NORMA:		MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429								
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023								
CALICATA:	3	ESTRATO:	2	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA					
UBICACIÓN:	CERRILLO			COLOR DE MATERIAL:	MARRÓN					
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023			RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES					
FECHA DE ENSAYO:	19/07/2023			REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ					
CAL VIVA 4%										
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3				
N° Golpes		6		6		5		5		
N° Golpes por Capa		13		27		55				
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.	
Peso Molde	gr	7285.00	7285.00	7215.00	7215.00	7250.00	7250.00	7250.00	7250.00	
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	10875.00	11025.00	10895.00	10862.00	11095.00	11093.00	11093.00	11093.00	
Peso Muestra húmeda	gr	3610.00	3760.00	3680.00	3647.00	3845.00	3843.00	3843.00	3843.00	
Volumen Muestra húmeda	cm ³	1747.14	1747.14	1741.86	1741.86	1731.34	1731.34	1731.34	1731.34	
Densidad húmeda ; Dh	gr/cm ³	2.07	2.15	2.11	2.09	2.22	2.22	2.22	2.22	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	35.20	45.20	45.20	70.20	70.80	71.00	82.20	85.60	87.50
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	250.20	275.00	142.20	195.20	201.20	243.20	217.40	236.40	242.20
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	228.00	252.20	131.10	182.50	186.90	222.00	203.00	220.50	223.50
Peso del Agua	gr	22.20	22.80	11.10	12.70	14.30	21.20	14.40	15.90	18.70
Peso Muestra Seca	gr	192.80	207.00	85.90	112.30	116.10	151.00	120.80	134.90	136.00
Contenido de Humedad ; W%	%	11.51	11.01	12.92	11.31	12.32	14.04	11.92	11.79	13.75
Promedio Contenido de Humedad	%	11.26		12.92	11.81		14.04	11.85		13.75
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.86		1.91	1.89		1.84	1.99		1.95
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.00	1	0.50	0.50	0.40	0.30	0.30	0.24	0.30	0.30	0.24
48.00	2	0.65	0.65	0.52	0.50	0.50	0.40	0.45	0.45	0.36
72.00	3	0.70	0.70	0.56	0.60	0.60	0.48	0.55	0.55	0.44
96.00	4									
OBSERVACIONES:										
RESPONSABLE DEL ENSAYO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO			ASESOR			
NOMBRE: José Vargas Salazar		Diego Salazar Torres		NOMBRE: Luis Herrera Teran			NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 29/12/2023				FECHA: 29/12/2023			FECHA: 29/12/2023			

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	
NORMA:		MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429	
TESIS:		ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023*	
CALICATA:	3	ESTRATO:	2
UBICACIÓN:	CERRILLO	TIPO DE MATERIAL:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
FECHA DE MUESTREO:	17/03/2023	COLOR DE MATERIAL:	MARRON
FECHA DE ENSAYO:	23/06/2023	RESPONSABLE:	JOSE VARGAS SALAZAR/DIEGO SALAZAR TORRES
		REVISADO POR:	JORGE HOYOS MARTINEZ

CAL VIVA 4%

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm²	Lb/pl²	kg	kg/cm²	Lb/pl²	kg	kg/cm²	Lb/pl²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	58.97	2.91	41.38	81.65	8.88	57.30	167.83	18.26	117.77
1.27	0.05	122.47	6.04	85.94	170.10	18.50	119.37	326.59	35.52	229.18
1.91	0.08	185.97	9.18	130.51	272.16	29.60	190.99	489.88	53.29	343.77
2.54	0.10	240.40	11.86	168.70	362.87	39.47	254.65	612.35	66.61	429.72
3.18	0.13	285.76	14.10	200.54	453.59	49.34	318.31	712.14	77.46	499.75
3.81	0.15	317.51	15.67	222.82	528.44	57.48	370.83	793.79	86.34	557.04
4.45	0.18	344.73	17.01	241.92	598.74	65.13	420.17	870.90	94.73	611.15
5.08	0.20	367.41	18.13	257.83	646.37	70.31	453.59	938.94	102.13	658.90
6.35	0.25	399.16	19.69	280.11	721.21	78.45	506.11	1052.33	114.46	738.48
7.62	0.30	426.38	21.04	299.21	771.11	83.87	541.13	1152.12	125.32	808.51
8.89	0.35	442.25	21.82	310.35	816.47	88.81	572.96	1247.38	135.68	875.35
10.16	0.40	460.40	22.72	323.08	850.49	92.51	596.83	1334.47	145.15	936.47
11.43	0.45	469.47	23.16	329.45	877.70	95.47	615.93	1392.53	151.47	977.21
12.70	0.50	478.27	23.50	334.23	895.84	97.44	628.66	1440.16	156.65	1010.63



OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
NOMBRE: José Vargas Salazar	Diego Salazar Torres	NOMBRE: Luis Herrera Teran	NOMBRE: Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 23/12/2023		FECHA: 23/12/2023	FECHA: 23/12/2023

ANÁLISIS QUÍMICO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CAL VIVA Y APAGADA



ENSAYOS TECNICOS LABMIN S.R.L.

Mz C12 Lt 10 Parque Industrial La Esperanza

Trujillo – Perú Teléf. 044 211150

Informe de Ensayo N° 896G

Cliente : MINERA P'HUYU YURQA II EIRL.

Fecha de emisión: 11 de Setiembre 2021

ANALISIS cal Gruesa

ANALISIS QUIMICO:

Cal Granulada Cal MPY-03-2021

ITEM	UNIDADES	RESULTADOS
CaO útil (ASTM C25)	%	79.74
Perdida/Calcinación (LOI) a 1000°C	%	3.10
Reactividad (ASTM C110)	°C/min	40.0/1.50(Alta)
Residuo de Cal viva	%	0.75

ANALISIS GRANULOMÉTRICO:

MALLAS	UNIDADES	RESULTADOS
-4" a +1"	%	81.42
-1"	%	18.85



Cristian Minchola Rojas

Ing. Químico

CIP64564



LAB. ES.W.
SAN ANDRÉS STA ETAPA MZ. V-3 LOTE 5 - TRUJILLO

REPORTE DE ANÁLISIS

REPORTE N° 05-08-21-1

INTERESADO: MINERA P'HUYU YURAQ II EIRL.

DETALLE: Análisis de una muestra de HIDROXIDO DE CALCIO, identificada como

“ Ca(OH)₂ – CAL HIDRATADA”

RESULTADOS:

Son los siguientes:

CALCIO COMO OXIDO (CaO)	63.02 %
ò CALCIO COMO HIDROXIDO (Ca(OH) ₂): ..	82.76 %
SILICE (SiO ₂):	0.75 %
PLOMO (Pb):	< 0.002 %
ARSENICO (As):	< 0.002 %
COBRE (Cu):	< 0.01 %
FIERRO (Fe ₂ O ₃):	0.21 %
PASANTE POR MALLA 200:	> 80.00 %
GRANZA (retenido en la malla 100):	< 6.00 %

Trujillo, 05 de Agosto del 2021




Ing. Ernesto S. Wong López
CIP. 40771



MSDS- MATERIAL SAFETY DATA SHEET

MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

- Nombre : HIDRÓXIDO DE CALCIO
- Sinónimos : Cal Hidratada, Cal Agrícola
- Descripción : Calza Calcinada
- Fabricante : Minera Phuyu Yuraq II EIRL
- Dirección : Jr. Sor Manuela Gil K-2, Cajamarca
- Teléfonos de emergencia : 978-855340 RPM: *249505
- Celular RPC : 987874837

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS:

IRRITACIÓN SEVERA Y QUEMADURAS POR CAUSA DE CONTACTO EN LAS DIFERENTES ÁREAS DEL CUERPO, PELIGROSO SI ES INGERIDO O INHALA.

- Grado de la salud : 2-serio
- Grado de inflamabilidad : 0-mínimo
- Grado de la reactividad : 2- ligero
- Equipos de protección para la manipulación. : guantes, mascarilla, lentes protectores.

EFFECTOS POTENCIALES A LA SALUD

Inhalación

La inhalación del polvo es altamente irritante y dañina para las vías respiratorias. Al inhalarse produce tos, estornudos, Trabajar y exponerse sin implementos de seguridad produce la perforación del tabique nasal

Ingestión

Peligroso, ataca mayormente al esófago, produce dolor abdominal, náuseas, vómitos, quemaduras en la boca y garganta

Contacto con la piel

Irritante; puede causar daño severo.

Contacto visual

Irritación severa, puede dañar los tejidos finos del ojo, Causa enrojecimiento, no se debe frotar con las manos, visión nublada, dolor

Exposición crónica

La inhalación crónica del polvo puede causar inflamación de las vías respiratorias, úlceras en las membranas mucosas y posibles perforación del tabique nasal

Otros:

La inhalación con desórdenes en la piel, problemas preexistentes en los ojos y/o vías respiratorias, pueden ser susceptibles a los efectos de la sustancia.



3. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación

- Retirar al aire fresco, si no respira dele respiración artificial
- Si la respiración es deficiente proporcionele oxígeno
- Si el problema continua llame a un medico

Ingestión

- No induzca el vómito, dele las grandes cantidades de agua o de leche si hubiera
- Nunca administrarle alguna sustancias via oral a nunca persona inconsciente
- Consta la atención médica inmediata

Contacto con la piel

- La capa superior de la piel debe lavarse con abundante agua por lo menos 15 minutos
- Quitarse la ropa y zapatos contaminados
- Llame al médico, inmediatamente
- Lave la ropa antes de la reutilización

Contacto visual

- Lavar profundamente con agua
- Vaya a un médico si la irritación continua.

4. MEDIDA A TOMAR EN CASO DE FUEGO

No es considerado inflamable. La cal más agua pueden reaccionar exotérmicamente con suficiente calor para encender material combustible.

Explosión e inflamabilidad. No es explosivo ni inflamable. La combinación de cal y agua puede causar incendio al contacto con materiales inflamables.

Medios de extinción de fuego. Utilice cualquier medio conveniente para extinguir el fuego circundante

Información de fuego. Si se produjera fuego, use la ropa protectora además del aparato de respiración autónoma.

5. ALMACENAJE

- Mantener en un envase firmemente cerrado.
- Proteger contra daños físicos.
- Almacenar en un área lejos de fuentes de calor, humedad
- Este material es fuertemente alcalino se hinchara y generara calor cuando este húmedo, su envase podía estallar.
- Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos, puesto que conservan los residuos del producto (polvo, sólidos); observe todas las advertencias y precauciones enumeradas para el producto.



6. PROTECCIÓN PERSONAL ALA EXPLOTACIÓN DEL Ca(OH)_2

RESPIRADORES PERSONALES (NIOSH Aprobados)

Si en el ambiente de explotación se superan los límites máximos permisibles hasta por encima de 50 veces su valor, se usaran las mascarillas NIOSHNº100

PROTECCIÓN DE PIEL

Se usara ropa protectora, guantes, el delantal o las botas apropiadas para prevenir el contacto con la piel.

PROTECCIÓN DE OJO

Se utilizaran los anteojos de seguridad para productos químicos o el protector total de cara

7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspectos: Polvo blanco levemente amarillento.

Olor: Inodoro

Solubilidad: Levemente soluble en agua, formación del hidróxido de calcio

Gravedad específica: 3.37

PH : 12.5 solución saturada en agua

Punto de ebullición: 2850°C (5162°F)

Punto de fusión: 2572°C (4662°F)

Densidad del vapor (aire=1) 1.9

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DESCRIPCIÓN	VALOR %	PRUEBA
Granulometrías: ret.- en Mallas 200	80	
Molida (Nº 100)	95	
Densidad aparente	1.128 ton/m ³	



CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

DESCRIPCIÓN	VALOR %	PRUEBA
Oxido de calcio (CaO)	65	ASTM C25
Hidróxido de calcio Ca(OH) ₂	78	ASTM C25
SiO ₂	0.10	
Al ₂	0.31	
Fe ₂ O ₃	0.39	
S	0.001	

8. ESTABILIDAD Y REACTIVOS

Estabilidad

Establece en la temperatura ambiental, en envases sellados

Productos peligrosos en su descomposición

Ningún producto peligroso en su descomposición

Incompatibilidades

Agua, ácidos, aire húmedo, fluoruro del hidrógeno, pentóxido de fósforo, óxido bórico, vapor, sustancias orgánicas en abundancia.

Condiciones a evitar

Incompatible al aire y humedad.

9. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Nombre apropiado: Cal Hidratada.

Clase de peligro: 8

UN/NA: UN 1910

MEDIDA DE PREVENCIÓN E INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

Norma NFPA	SALUD=2	Fuego=0	Reactividad=2
------------	---------	---------	---------------



- Utilizar equipos de protección personal apropiada
- No fumar ni comer durante el manejo de este producto
- No usar lentes de contacto
- Tomar una ducha al término de la jornada usando jabón suave
- Contar con grifos de agua cerca al lugar donde se manipule la cal para posibles emergencias
- Cuando se mezcle con agua se debe dar ventilación para salida al vapor y disipar el calor

10. MÉTODO DEL EMBALAJE Y DISTRIBUCIÓN

- Sacos de Polipropileno de 40 Kg cocidos a máquina, hermetico y sellado.
- VIDA UTIL: 3 meses
- Almacenamiento en un lugar completamente cerrado para evitar la humedad, agua y exposición al ambiente, lo cual son incompatibles.

11. PREPARACIÓN Y/O TRATAMIENTO PREVIO A SU USO O PROCESAMIENTO.

El óxido de calcio a granel es transportado desde el almacén de cal a granel extraído de los hornos de calcinación de calizas en unidades autorizadas e inspeccionadas.

Las combinaciones probables calculadas, agua de hidratación H₂O en 22.28 %

El sistema de selección de calidad, la cal hidratada es transportado mediante un transportador helicoidal y zarandeado con malla 200, en todo el proceso se realiza con los altos índices de limpieza.

PANEL FOTOGRÁFICO

TESIS: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAL VIVA Y APAGADA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA TROCHA CARROZABLE EN LA ZONA DE CERRILLO - OTUZCO, CAJAMARCA 2023”



Figura 1: Calicatas.

Nota: Se evidencia la excavación de calicatas y el muestreo en sacos de polietileno.



Figura 2: Contenido de humedad.

Nota: Se evidencia en las fotografías el proceso que realizamos para el contenido de humedad, donde primeramente sacamos material de una bolsa especial la cual está diseñada para que no pierda humedad en el traslado del material hacia el laboratorio de la universidad, luego pesamos y metemos al horno. Finalmente pasadas unas horas retiramos el material completamente seco y volvemos a pesar, esto nos ayuda a obtener el contenido de agua del suelo.



Figura 3: Granulometría de finos por lavado.

Nota: En estas fotografías se evidencia el lavado del agregado fino por la malla N°200 para eliminar todo el material sucio, posteriormente se lleva al horno y finalmente una vez que se encuentre en un estado seco se tamiza por las mallas correspondientes de la granulometría de finos. Para la granulometría de gruesos se realizó el tamizado desde la malla N°2” hasta la N°4.



Figura 4: Límite líquido y plástico.

Nota: En estas fotografías, se puede observar la realización de los ensayos de límites para poder obtener posteriormente el índice de plasticidad que nos ayudará a determinar el tipo de suelo de la trocha carrozable Cerrillo – Otuzco, Cajamarca



Figura 5: Peso específico.

Nota: Se evidencia el secado superficialmente seco o denominado (SSS), para posteriormente poner el agregado en la canastilla con agua y obtener su peso sumergido.



Figura 6: Proctor modificado.

Nota: Se muestra en las fotografías el proceso para determinar la densidad seca y humedad óptima del Proctor natural, con cal viva y apagada. Primeramente, se realiza el mezclado de material a un % de agua, luego se lo coloca en el molde por capas, posteriormente se procede a golpear con el martillo de 10 LB, los golpes dependen al método que se determine, en nuestro caso se realizó método A, B Y C, enseguida se enraza y se pesa, finalmente se saca una cantidad para el contenido de humedad de cada molde.



Figura 7: CBR

Nota: Se evidencia en las fotografías el proceso del ensayo CBR de material natural, con cal viva y apagada. Para hallar el % de CBR primero se realizó el mezclado de material con un % de agua y se le adicionó cal al 4%, luego se empezó a vaciar el material al molde para empezar a compactar con el martillo de 10 LB, luego se enraza y se pesa. Posteriormente va a una tina con agua durante 4 días para poder determinar el hinchamiento de cada uno, finalmente con la ayuda del técnico de laboratorio realizamos el ensayo de penetración.



Figura 8: Conteo de vehículos

Nota: Se realizó el conteo de los vehículos en la trocha carrozable de Cerrillo Otuzco – Cajamarca, el horario del conteo fue de 7 am a 7 pm, cómo resultado se obtuvo 145 veh/día.