



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CLORURO DE CALCIO SOBRE EL ÍNDICE DE CBR EN EL SUELO ARCILLOSO DE LA CARRETERA AL CENTRO POBLADO DE SALAMANCA, DISTRITO DE MAGDALENA DE CAO, PROVINCIA DE ASCOPE - 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Luis Fernando Villacorta Padilla

Julio Moreno Domínguez

Asesor:

Ms. Ing. Gonzalo Díaz García

Trujillo - Perú

2019

DEDICATORIA

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Mi tesis se la dedico con todo mi amor a mis amados padres quienes con esfuerzo y dedicación me apoyaron hasta obtener una carrera para mi futuro.

A mi esposa por su apoyo incondicional y por creer en mi capacidad; por estar allí para ayudarme a levantarme cada vez que lo necesitaba; por su amor y cariño que me brindó en todo momento y por sus palabras de aliento las cuales me ayudaron a cumplir mis ideales.

A mí amado hijo Christopher por ser mi fuente de motivación e inspiración para seguir adelante ante cualquier obstáculo; por ser la persona quien día a día me inspira a superarme más y así poder luchar para darle un futuro mejor en el transcurso de la vida.

- Julio Moreno Domínguez -

A Margarita y Nicolás, el tiempo que les negué, está aquí.

- Luis Villacorta Padilla -

AGRADECIMIENTO

Primero doy gracias a Dios por permitirme tener una buena experiencia en la universidad, gracias a la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE por la oportunidad de poder alcanzar un sueño; a los docentes y en especial a nuestro asesor por su paciencia e instrucción en lograr el objetivo.

- Julio Moreno Domínguez -

A mi familia, a su incansable apoyo y preocupación.

- Luis Villacorta Padilla -

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad Problemática	11
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
1.4. Formulación de hipótesis.....	22
1.4.1. Hipótesis general	22
1.4.1.1. Hipótesis específica	22
1.4.2. Identificación de Variables	23
1.4.2.1. Variable Dependiente.....	23
1.4.2.2. Variable Independiente	23
1.4.3. Cuadro de Operación de Variables	23
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	24
2.1. Tipo de Investigación.....	24
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	24
2.2.1. Población.....	24
2.2.1.1. Ubicación de centro de Investigación	24
2.2.1.2. Extracción de muestra	24
2.2.2. Materiales, equipos y programas de cómputo	26
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	28
2.3.1. Área de estudio.....	28
2.4. Procedimiento Técnico Descriptivo.....	30
2.4.1. Extracción de muestra	30
2.4.2. Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado.....	30
2.4.3. Análisis granulométrico en seco (MTC E 107)	31
2.4.4. Contenido de humedad (MTC E 107)	33
2.4.5. Límites de Atterberg	35
2.4.6. Materia orgánica (MTC E 118)	37
2.4.7. Gravedad específica (MTC E 113)	38
2.4.8. Método de incorporación de ClCa ₂ en el suelo	41
2.4.9. Proctor (MTC E 115)	42
2.4.10. California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132)	45
2.4.11. Análisis de resultados.....	46
CAPÍTULO III. RESULTADOS	49
3.1. Tabla de ubicación de calicatas	49

3.2.	Análisis Granulométrico.....	49
3.3.	Límites de Atterberg	54
3.4.	Clasificación ASSHTO	54
3.5.	Contenido de humedad.....	56
3.6.	Materia orgánica.....	57
3.7.	Gravedad específica	57
3.8.	Proctor.....	58
3.9.	Índice de CBR.....	59
3.10.	Tabla Estadística.....	61
3.11.	Análisis de Varianza ANOVA	62
3.12.	Resultados Finales	64
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		68
4.1.	Discusión.....	68
4.2.	Conclusiones.....	71
CAPÍTULO V. REFERENCIAS		73
ANEXOS.....		77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01. Operación de variables	23
Tabla N°02. Número de calicatas para exploración de suelos	25
Tabla N°03. Coordenadas de calicatas (fuente Google Earth – elaboración propia)	29
Tabla N°04. Tabla matriz para el análisis granulométrico por lavado	31
Tabla N°05. Tabla matriz para Análisis Granulométrico	32
Tabla N°06. Tabla matriz para la humedad de suelos (MTC E107)	34
Tabla N°07. Tabla matriz para la humedad de suelos (MTC E110)	36
Tabla N°08. Tabla matriz para la humedad de suelos (MTC E111)	37
Tabla N°09. Tabla matriz para proctor modificado	44
Tabla N°10. Ubicación de calicatas coordenadas UTM	49
Tabla N°11. Calicata 01: Resumen del análisis granulométrico	49
Tabla N°12. Clasificación AASHTO de Calicata 01	50
Tabla N°13. Calicata 02: Resumen del análisis granulométrico	50
Tabla N°14. Clasificación AASHTO de Calicata 02	51
Tabla N°15. Calicata 03: Resumen del análisis granulométrico	51
Tabla N°16. Clasificación AASHTO de Calicata 03	52
Tabla N°17. Calicata 04: Resumen del análisis granulométrico	52
Tabla N°18. Clasificación AASHTO de Calicata 04	52
Tabla N°19. Calicata 05: Resumen del análisis granulométrico	53
Tabla N°20. Clasificación AASHTO de Calicata 05	53
Tabla N°21. Resumen de los límites de Atterberg	54
Tabla N°22. Resumen de los promedios o aproximaciones de los límites de Atterberg	55
Tabla N°23. Clasificación de suelos según índice de plasticidad	56
Tabla N°24. Resumen de los contenidos de humedad (por profundidad)	56
Tabla N°25. Resumen de los contenidos de materia orgánica (por profundidad)	57
Tabla N°26. Resumen de las gravedades específicas	58
Tabla N°27. Clasificación de suelo según gravedad específica	58

Tabla N°28. Resumen de proctor para las 5 calicatas	58
Tabla N°29. Resumen del índice de CBR para las 5 calicatas	60
Tabla N°30. Categorización de Sub rasante por CBR	60
Tabla N°31. Consolidado de todos los datos, análisis realizados a las muestras con cada clasificación	61
Tabla N°32. Resultados ANOVA	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Ubicación satelital del centro poblado de Salamanca (fuente Google Earth)	28
Figura N°02: Curva granulométrica, para agregado grueso	33
Figura N° 03: Resumen ensayo Proctor Estándar y Proctor Modificado	42
Figura N° 04: Densidad vs humedad, para Proctor	44
Figura N° 05: Estructura de tabla ANOVA	48
Figura N° 06: Curvas granulométricas de las 5 calicatas	54
Figura N° 07. Carta de plasticidad ASSHTO	55
Figura N° 08. Resultados promedios de los Índice de CBR con diferentes porcentajes de cloruro de calcio.	64
Figura N° 09. Curvas de proctor modificado de suelo con diferentes cantidades de cloruro de calcio.	65
Figura N° 10. Resultados de las humedades optimas de suelos con diferentes cantidades de cloruro de calcio.	66
Figura N° 11. Resultados de las densidades de máxima compactación de suelos con diferentes cantidades de cloruro de calcio.	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 01. Porcentaje de finos para análisis granulométrico	30
Ecuación N° 02. Porcentaje de contenido de humedad	34
Ecuación N° 03. Porcentaje de contenido de humedad (copa de Casagrande)	35
Ecuación N° 04. Porcentaje de contenido de humedad (límite plástico)	36
Ecuación N° 05. Cantidad de materia orgánica	37
Ecuación N° 06. Volumen de calibrado de picnómetro	39
Ecuación N° 07. Masa del picnómetro y agua a temperatura de ensayo	40
Ecuación N° 08. Temperatura de ensayo	41
Ecuación N° 09. Gravedad específica a 20°C	41
Ecuación N° 10. Cálculo de volumen de un cilindro	43
Ecuación N° 11. Desviación estándar	46
Ecuación N° 12. Varianza	46

RESUMEN

La presente investigación tiene como punto de partida la problemática de los suelos en las carreteras de la sierra, específicamente por la inestabilidad que presentan las carreteras no pavimentadas del centro poblado de Salamanca.

En el año 2016, se determinó que en el Perú existen gran cantidad de centros poblados, en la Libertad se cuenta con 96 de estos, en donde Salamanca cuenta con 449 familias, y tiene una altitud de 65 m.s.n.m. (INEI, 2016).

En la investigación se evaluó la capacidad de soporte del suelo de la carretera a Salamanca en un tramo de 5 km, se determinó la resistencia al esfuerzo cortante del suelo (ensayo CBR), se le aplicó el ensayo de Proctor para determinar la densidad y humedad máxima, también se determinó la granulometría, humedad y límites de Atterberg para obtener su clasificación para finalmente determinar la influencia del cloruro de calcio sobre el índice de CBR en los suelos de Salamanca.

Obteniendo los mejores resultados favorables con la adición de 4% de CaCl_2 , llegando a obtener 13% de humedad máxima y 1.75 de densidad máxima, además con los resultados de índice de CBR a 0.1” y 0.2” llegando a sus valores máximos de 29% y 31% de CBR para 0.1” y 0.2” para suelos con 4% de estabilizante.

Palabras claves: Cloruro de Calcio, CBR, Estabilización de suelo Arcilloso, Carreteras

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Desde tiempos inmemorables el transportarse de un lugar a otro en un mínimo de tiempo ha sido de vital importancia, en el transcurrir de los años se ha usado diversos componentes para estabilizar suelos, tales como la cal, aglomerantes puzolánicos, entre otros, pero en tiempos antiguos en donde existían las civilizaciones incas y la azteca los caminos estabilizados fueron un factor clave para el desarrollo de diversas actividades, de transporte de comida, trueques entre otras. (Nuñez, 2011, pag. 8).

La presencia de suelos arcillosos tiende a presentar diversas dificultades en obras de infraestructura y proyectos de urbanización en distintos lugares del mundo, siendo en la mayoría de casos la culpabilidad del desconocimiento del tipo de suelo en donde se ejecutará la obra, debido a esto en Estados Unidos, en el año 2003 se determinó que las pérdidas por otros desastres naturales eran menores que las pérdidas económicas producidas por mantenimiento de vías, calculándose gastos de 6000 a 11000 millones de dólares, mientras que en Rusia no sobrepasaban los 5000 millones de dólares. (Musso, Rostan y Behack, 2003).

En nuestro país existen diversos tipos de arcillas expansivas, que generan drásticos cambios de volumen, provocando distintos problemas en las estructuras, siendo en la serranía peruana, específicamente en el norte en donde existen zonas con características geológicas y climáticas que generan y hacen posible la existencia de variados tipos de suelos en su gran mayoría suelos expansivos. (Rojas Foinquinos & Alva Hurtado, 2005).

Se debe considerar que, en el Perú, el uso de aditivos químicos estabilizantes de suelo para mejorar las propiedades físico – mecánicas en áreas urbanas es limitado frente a los tratamientos tradicionales como son el compactado mecánico o la sustitución del

material de baja calidad por un material que proporcione mayor CBR y mejores características físicas.

El crecimiento de centros poblados en diversos lugares ha generado que se centre en la importancia de mejorar e intervenir en las vías de comunicación de nuestro país; la inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas; y para cambiar esta realidad se usan distintas técnicas de estabilización de suelos; y una de estas formas es aquella que utiliza productos químicos que brindan a estos suelos un mejor comportamiento en su vida útil. En el centro poblado de Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope, departamento La Libertad, se han identificado distintos tipos de suelos, en gran medida suelos para cultivos, aptos para la producción de caña de azúcar, esparrago, maíz y ciruela, pero por otra parte su suelo está compuesto principalmente por arcillas expansivas, con un clima de una alta humedad relativa, debido al alto nivel de la capa freática, haciendo necesario el buscar diversas y distintas alternativas en el uso de estabilizantes para suelos, ya sean naturales o artificiales, los cuales mejoran sus propiedades físicas y mecánicas.

A la fecha no se cuenta con un estudio o clasificación del suelo de Ascope propiamente documentado y que tenga los fundamentos para ser consultado como antecedente en el presente trabajo, por tal se tomó como referencia un estudio de INDECI, (INDECI, 2009) en el cual se realizaron 09 calicatas las cuales se extrajo muestra para ser analizadas y así poder dar una clasificación a los suelos de la zona.

Se encontró que según la clasificación SUCS que en general se puede clasificar al suelo como un tipo CL, es decir presenta material arena, limo arcilloso, pobremente gradadas, de compacidad baja y poca presencia de humedad.

Si bien es cierto el presente trabajo toma a la clasificación AASHTO por ser un sistema de clasificación espacial para diseño de pavimentos, en (MEF, 2015) plantea una correlación de los sistemas AASHTO y SUCS, para efectos de practicidad podemos relacionar la clasificación SUCS con AASHTO obteniendo que el suelo en estudio es de tipo A-6. En la página 66 del estudio en mención consigna una tabla de correlación de tipos de suelos AASHTO – SUCS vinculando el tipo de suelo A-6 (AASHTO) con los tipos de suelo CL y CH (SUCS).

Cabe resaltar que el uso de aditivos al momento de estabilizar un suelo es limitado, pero es uno de los principales aspectos relacionados con el crecimiento de un lugar, teniendo como consecuencia las ventajas comparativas que se pueden adquirir frente a otra localidad, además, es un parámetro importante al relacionarlo con la calidad de vida de los pobladores.

El tipo de suelo, la mala compactación y la mala gradación granulométrica de un suelo que conforma una carretera no pavimentada, causa diferentes fallas en la superficie de rodadura, motivo por el cual esta investigación plantea estabilizar el suelo con ayuda del aditivo químico Cloruro de Calcio ($ClCa_2$), para así dar una solución rápida, técnica y sobretodo económica, mejorando la transitabilidad, brindando un aumento en el desarrollo social, minimizando gastos en mantenimientos de la carretera, ampliando su vida útil y mejorando la calidad de vida en general.

Dada esta realidad lo que se busca con este estudio es mejorar las propiedades físicas de la carretera al centro poblado de Salamanca aplicando un aditivo químico, para ello debemos clasificar el suelo para encontrar que aditivo es el apto, luego debemos calcular el porcentaje, según (MTC, 2014) en la página 106, en las sección “estabilización con cloruro de calcio” recomienda una dosificación del entre 1% y 2%,

en este estudio se amplía el rango de aplicación de 2%, 4% y 6%, buscando encontrar nuevo conocimiento y, porqué no, mejora para esta norma.

Es así que se espera mejorar las características físicas del suelo en mención convirtiendo las condiciones de calzada a las mejores posibles y en un futuro una subrasante de buena calidad para un proyecto de asfaltado.

Podemos encontrar diferente tipo de bibliografía con respecto a la aplicación de aditivos a los sustratos para su mejoramiento, de los más importantes, tenemos los siguientes.

Bonifacio y Sánchez (2015), en su investigación “Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región Lambayeque”. concluyo que el agregado proveniente de las canteras cero Escute y Cachinche son materiales GP, con índice de plasticidad elevados y por ende es factible la estabilización. Se recomienda hacer ensayos con otras sales o agentes químicos que puedan producirse en el Perú y que puedan conformar nuevas alternativas para la estabilización de carreteras no pavimentadas. La incorporación de cloruro de calcio y cloruro de magnesio en porcentajes de 1%, 2% y 3% en peso al agregado pétreo provenientes de las canteras CACHINCHE y 1%, 4% y 6% CERRO ESCUTE dieron resultados no favorables en el CBR respectivamente, brindando un incremento mínimo sin alcanzar lo requerido por la norma; 40% CBR. Dentro de los datos globales, se obtuvieron los mejores resultados de CBR con porcentajes de 2% para las estabilizaciones con cloruro de calcio y 4% para el cloruro de magnesio.

Gutiérrez, (2010), en su investigación “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita)

frente al cloruro de calcio". Se comprobó el aumento de la máxima densidad seca conforme se le iba aumentando el porcentaje de aditivo (3%, 4% y 5%). No se pudo comprobar el aumento del C.B.R. en el ensayo de Laboratorio puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al Cloruro de Magnesio. El cloruro de Magnesio necesita un estricto control de calidad (1.25 gr/ml) para tener una salmuera en óptimas condiciones; lo que sucede por el contrario con el cloruro de calcio que sale de fábrica con un control de calidad ya establecido (1.38 gr/ml - 1.42gr/ml). Las observaciones realizadas en campo muestran que en este caso en particular la bischofita o cloruro de magnesio alcanza una vida útil máximo de 2 años sin necesidad de mantenimiento. Los tramos estudiados presentaron una buena terminación de la superficie de rodadura con la particularidad de presentarse siempre húmeda como recién regada, ya que capta la humedad ambiente. Menciona que no se puede comprobar el aumento significativo del CBR en el ensayo de laboratorio puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al Cloruro de Magnesio. Para carreteras de bajo volumen de tránsito es conveniente privilegiar la creación de carreteras mas económicas que sería con cloruro de calcio, el cual presenta mejores aspectos técnicos, económicos y ambientales. Se concluye que técnica, económica y ambientalmente que el cloruro de magnesio tiene grandes desventajas frente al cloruro de calcio.

Miranda y Negrete (2011), en su investigación "Estabilización de suelos cohesivos con el uso de cloruro de calcio". Determinó que la densidad seca máxima para suelos finos (limos y arcillosas) varía entre 1.401 g/cm³ y 1.553 g/cm³, el CBR 0.1" entre 1.0 y 4.0 y el CBR 0.2" entre 1.0 y 5.0. Para los suelos arenosos se obtuvo valores alrededor de 1.576 g/cm³ de densidad seca máxima y valores de 15 para CBR 0.1" y 16.00 para CBR 0.2". Con los porcentajes utilizados de Cloruro de Calcio que son de 0.5% a 2%,

la absorción de agua en el suelo en el ensayo de CBR, no se ve afectada con el aumento de Cloruro de Calcio, es decir, se mantiene la misma permeabilidad del suelo. Se comparan los valores de CBR en suelo natural junto a los valores de CBR con Cloruro de Calcio a distintas dosificaciones, se puede concluir que el uso de este aditivo no mejora considerablemente la resistencia a esfuerzos cortantes llegando incluso a ser perjudicial para el suelo o de nulo el efecto. Los porcentajes de CBR con el estabilizante Cloruro de Calcio varían de 2 a 6 en suelos finos y de 14 a 16 en arenas arcillosas. El uso de Cloruro de Calcio no es aplicable en suelos finos incluyendo arenas con alta plasticidad ya que puede variar los resultados drásticamente debido a la composición química del suelo, la forma y posición de las partículas finas del suelo.

Palomino (2016), en su investigación “Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice california bearing ratio (CBR) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016”. Se comprobó la hipótesis planteada puesto que la adición del cloruro de sodio en porcentajes de 4%, 8% y 12% incrementa el valor del CBR hasta en un 10% en comparación a la muestra patrón. Puesto que el índice CBR para 0.1” varía un 9.48% de la muestra patrón, mientras que para 0.2” el índice CBR varía 9.69 % de la muestra patrón. Se logró evaluar la influencia de la adición de cloruro de sodio en 4%, 8% y 12 % en el índice California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso obteniendo los siguientes resultados para un CBR al 0.1””: con la muestra patrón un CBR de 4.43%, adicionando 4% de cloruro de sodio un CBR de 4.50%, adicionando 8% de cloruro de sodio un CBR de 4.70%, adicionando 12% de cloruro de sodio un CBR de 4.85%; para un CBR al 0.2””, con la muestra patrón un CBR de 4.85%, adicionando 4% de cloruro de sodio un CBR de 5.01%, adicionando 8% de cloruro de sodio un CBR de 5.21%, adicionando 12% de cloruro de sodio un CBR de 4.32%. Se determinó la

variación de índice de plasticidad el cual fue disminuyendo al incorporar mayor porcentaje de cloruro de sodio. Teniendo así un índice de plasticidad para la muestra de suelos patrón de 11.00 % sin incorporar cloruro de sodio, 9.00% incorporando 4% de cloruro de sodio, 8.00% incorporando 8% de cloruro de sodio y 6.22% incorporando 12% de cloruro de sodio. Se determinaron los parámetros de compactación de suelo los cuales fueron la densidad seca y el óptimo contenido de humedad, para la primera; está presenta un incremento desde 1.900 gr/cm³ hasta 2.055 gr/cm³ para un 12% de cloruro de sodio, por otro lado el comportamiento del óptimo contenido de humedad es lo opuesto puesto que para la muestra patrón se obtuvo un 10.23%, en la dosificación de 4% de cloruro de sodio esta aumentó hasta un 10.39% para luego reducir tanto en la dosificación de 8% y 12% de cloruro de sodio hasta 10.30% y 10.15% respectivamente.

Ponce (2018), en su investigación “Uso del cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Coripaccha - Puyhuan Grande – Huancavelica”. Concluye que el uso del cloruro de calcio no influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos por el bajo nivel de incremento de CBR obtenido en los ensayos de laboratorio. Mediante esta investigación, se determinó que el uso del 5% de cloruro de calcio en peso del suelo, logró conseguir el mejor incremento en capacidad de soporte CBR en suelos arcillosos de 11.80% a 16.50%. obteniendo una mejoría de 4.7%, con el uso del CaCl₂. En suelos granulares, se observa que el uso del cloruro de calcio influye significativamente en la estabilización de suelos, siendo que incremento el CBR de 22.89% a 43.01%. Por lo que el Cloruro de calcio muestra un mejor comportamiento en suelos granulares consiguiendo una mejoría de 20.12%. En suelos orgánicos, se verifica que el uso del cloruro de calcio

no influye significativamente en la estabilización de suelos, ya que no hay una variación significativa de los CBR, pasando de 6.12% a 6.11%, se observa que el CBR redujo su capacidad en 0.01%. Mediante los ensayos realizados, se determinó en subrasante del Suelo arcilloso, presenta un CBR de 11.80% la cual está clasificada como un S3 - subrasante buena, según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Sin embargo, por ser un suelo del tipo arcillosos y ser susceptible a expansión y contracción ante la presencia de agua, no es recomendable utilizarlo. Después del uso del cloruro de calcio en este tipo de suelo arcilloso y conseguir mejorar sus propiedades de CBR = 16.50% y su estabilidad ante la presencia del agua. Esta subrasante quedaría lista para emplearla, ante un futuro proyecto de mejoramiento de vía.

Quinche, Caraguay, Cartuche y Zúñiga (2011), en su artículo científico “Estabilización de suelos para uso en vías terrestres” desarrollado en la ciudad de Loja después de evaluar el comportamiento de un suelo arcillo mediante la adición de cloruro de sodio y cal concluye que las características de compactación para cada uno de los suelos es similar, debido a que existe un incremento en la densidad seca máxima y una variación en la disminución del contenido óptimo de humedad, en lo referente al ensayo CBR, en porcentajes de 2% y 5 % de cloruro de sodio existe variación de la capacidad portante y en los porcentajes de 10% y 20% de cloruro de sodio la capacidad portante aumenta de 2.1 del suelo natural a 3.0 y 3.7 de la capacidad portante.

(Montes C. A., 2010) Indica en su investigación “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio” La capacidad del suelo estabilizado de soportar variaciones importantes en una o más de sus propiedades de desempeño, a

consecuencia de fenómenos naturales (cambios 119 estacionales) o artificiales (anegamientos, drenaje u otros); en promedio la humedad necesaria para evitar la resequead de la carpeta producto de la humedad natural de la zona es de 32% para la Bischofita y 42% para el cloruro de calcio; en ese aspecto se debe tener en cuenta la humedad relativa de cada uno de los departamentos costeros del Perú y comprobar la factibilidad de aplicar uno u otro producto.

Roldan (2010), en su investigación “El tratamiento adecuado de suelos para intensificar sus propiedades física y mecánicas es de suma importancia “Al agregar cloruro de sodio al suelo, se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtienen resultados favorables para los porcentajes de CBR, los cuales aumentan con porcentajes de NaCl no mayores al 2% en condiciones críticas. Sin embargo, los mejores resultados se observan cuando se pierde la humedad y se incrementa el contenido de sal en el suelo, ya que se obtiene una cimentación firme con la mezcla suelos-cloruro de sodio, los materiales analizados fueron arena limoso color beige (selecto) y arena caliza, en ambos materiales se obtuvieron resultados positivos, sin embargo, el selecto reaccionó mejor con el estabilizante y la mezcla de suelo-cloruro de sodio empleada para realizar ensayos de triaxial mostró un aumento en la cohesión y una leve disminución en el ángulo de fricción interna en ambos materiales. Además, concluye que el porcentaje de compactación para los materiales arena limosa y arena caliza tienen un aumento con la adición de NaCl en porcentajes no mayores al 2%, sin embargo, el porcentaje de CBR no se comporta de la misma manera. Para el material arena limosa el porcentaje de CBR disminuye, mientras que para el material arena caliza el porcentaje de CBR aumenta para la probeta compactada a 65 golpes.

Solano y Niño (2010), en su investigación “Evaluación de la estabilización de arcillas expansivas en laboratorio implementando pilotines con cal y sal” desarrollada en la ciudad de Santander concluyó que entre los aditivos utilizados cal y sal, se encontró resultados más óptimos con la cal, obteniéndose una disminución significativa en los límites de Atterberg y en su potencial de expansión; con la sal también se pudo conseguir disminución, pero menos considerable.

Yucra y Camala (2017), en su investigación “Análisis del uso de aditivos permazyme y cloruro cálcico en la estabilización de la base de la carretera no pavimentada (desvío huancané – chupa)-Puno”. Con el uso del aditivo Perma Zyme, se obtuvo la mejora en su propiedad física (reducción del Índice de Plasticidad), en 2.69%, 2.85%, 3.83% y 8.13%, 8.99%, 11.14% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las dosificaciones dadas para este aditivo. Con la aplicación del Cloruro de Calcio el índice de plasticidad se redujo en 1.75%, 5.70%, 7.00% y 5.37%, 6.03%, 34.60% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las proporciones dadas para este agente estabilizador, la reducción se calculó respecto al índice de plasticidad inicial patrón. Con el uso del aditivo Perma Zyme, se obtuvo la mejora en su propiedad física (reducción en el porcentaje de expansión), en 2.05%, 31.31%, 36.33% y 22.83%, 23.56%, 23.89% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las dosificaciones dadas para este aditivo. Con la aplicación del Cloruro de Calcio el porcentaje de expansión se redujo en 7.20%, 12.02%, 13.50% y 1.80%, 3.20%, 3.87% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las proporciones dadas para este agente estabilizador, la reducción se calculó respecto al porcentaje de expansión inicial patrón. Con el uso del aditivo Perma Zyme, se obtuvo la mejora en su propiedad mecánica (aumento de su densidad seca máxima), en 0.22%, 0.31%, 0.36% y 0.05%, 0.09%, 0.89% en el material de cantera Punta y

Yanahoco respectivamente con las dosificaciones dadas para este aditivo. Con la aplicación del Cloruro de Calcio la densidad seca máxima aumenta en 1.57%, 3.18%, 3.09% y 1.64%, 2.25%, 2.95% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las proporciones dadas para este agente estabilizador, el incremento se calculó respecto a la densidad seca máxima inicial patrón. Con el uso del aditivo Perma Zyme, se obtuvo la mejora en su propiedad mecánica (aumento del valor de soporte relativo CBR), en 21.74%, 23.72%, 24.51% y 13.65%, 14.07%, 14.71% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las dosificaciones dadas para este aditivo. Con la aplicación del Cloruro de Calcio el CBR aumenta en 12.85%, 22.73%, 26.68% y 6.40%, 14.93%, 17.06% en el material de cantera Punta y Yanahoco respectivamente con las proporciones dadas para este agente estabilizador, el incremento se calculó respecto al valor del soporte relativo (CBR) inicial patrón.

Tomando en cuenta los antecedentes mostrados líneas arriba, la finalidad de esta investigación es probar de manera práctica que podemos aplicar Cloruro de Calcio a los suelos arcillosos y mejorar sus propiedades físicas tal que se solucione la problemática del transporte en la zona de acceso a Salamanca y que para futuro las carreteras o suelos que presenten esas condiciones puedan ser mejorados y servir como una buena sub rasante para un futuro proyecto de asfaltado en la zona de La Libertad.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la adición de cloruro de calcio sobre el índice de CBR en el suelo arcilloso de la carretera al centro poblado de Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la adición de cloruro de calcio sobre el índice de CBR en el suelo arcilloso de la carretera al centro poblado Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el tipo de suelo mediante la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. (AASHTO).
- Determinar los límites de Atterberg, propiedades físicas y mecánicas del suelo para una muestra patrón y las muestras con dosificaciones de cloruro de calcio.
- Determinar el comportamiento de CBR de una muestra patrón con respecto al CBR de las muestras con adición de cloruro de calcio de un suelo arcilloso.

1.4. Formulación de hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

A medida que aumenta la adición de cloruro de calcio, aumenta el índice de CBR en el suelo arcilloso de la carretera al centro poblado Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope.

1.4.1.1. Hipótesis específica

- A medida que se aumenta la concentración de cloruro de calcio, mejoran las propiedades físicas del suelo arcilloso de la carretera al centro poblado Salamanca, Distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope.

- La adición de cloruro de calcio modificará la caracterización del tipo de suelo mediante la Asociación Americana Oficial de Carreteras y Transporte del Estado (AASHTO) del suelo arcilloso de la carretera al centro poblado Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope.

1.4.2. Identificación de Variables

1.4.2.1. Variable Dependiente

- Índice de CBR

1.4.2.2. Variable Independiente

- Adición de Cloruro de Calcio

1.4.3. Cuadro de Operación de Variables

Tabla N° 01:

Cuadro de operación de variables

Tipo	Variables	Concepto	Indicadores	Valor Final	Tipo de Variable
Independiente	Adición de cloruro de Calcio	El cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentajes de 2%, 4% y 6% de Cloruro de Calcio en un suelo arcilloso. 	Número	Numérica Continua
Dependiente	Índice California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso	La finalidad de este ensayo es determinar el índice California Bearing Ratio (CBR,) de suelos compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados del Índice California Bearing Ratio 	Número	Numérica Continua

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

Investigación es pre experimental, ya que en este diseño se aplica un pretest (muestra patrón) a un grupo de sujetos, después el tratamiento ("X" o cloruro de calcio) y finalmente el posttest ("O" o los cambios que "X" haga en muestra patrón). El resultado es la valoración del cambio ocurrido desde el pretest (muestra patrón) hasta el posttest (muestras con las diferentes dosificaciones de cloruro de calcio).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

2.2.1.1. Ubicación de centro de Investigación

Para realizar los ensayos y la aplicación de nuestro estudio, se buscaron zonas que presenten problemas de polvo y de circulación, el lugar no solo debería cumplir con este requisito, también debería afectar a la población y su carretera debería significar el eje de desarrollo de dicha comunidad o centro poblado, por cumplir con todos estos requisitos y por encontrarse en una zona cercana a la ciudad de Trujillo tomamos como lugar de estudio y aplicación de nuestro trabajo de investigación el centro poblado de Salamanca. Podemos observar con mayor detalle la ubicación en el mapa de ubicación Anexo 7 - Planos.

La población de la investigación está constituida por los 5 kilómetros de carretera que existen al centro poblado de Salamanca, iniciando en $7^{\circ}49'6,90''$ S $79^{\circ}14'34,67''$ O hasta $7^{\circ}49'25,05''$ S $79^{\circ}16'34,27''$ O.

2.2.1.2. Extracción de muestra

De acuerdo a (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014) para una caracterización de subrasante en la página 26, el manual del MTC da indicaciones

para el manejo de muestras, pero aún más importante indica la cantidad de calicatas que se deben hacer dependiendo el tipo de carretera.

Las calicatas deberán tener 1.5 m de profundidad mínima; el número de calicatas por kilómetros, estará de acuerdo a la tabla N° 02:

Tabla N° 02

Número de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicata	Observación
Autopista	1.5 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	Calzada 2 carriles: 4 calicatas x km x sentido.	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
		Calzada 3 carriles: 4 calicatas x km x sentido.	
		Calzada 4 carriles: 6 calicatas x km x sentido.	
Carreteras duales o multicarril	1.5 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	Calzada 2 carriles: 4 calicatas x km x sentido.	
		Calzada 3 carriles: 4 calicatas x km x sentido.	
		Calzada 4 carriles: 6 calicatas x km x sentido.	
Carreteras de Primera Clase	1.5 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase	1.5 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	3 calicatas x km	
Carretera de Tercera Clase	1.5 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	2 calicatas x km	

Carreteras de Bajo volumen de tránsito 1.5 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto 1 calicata x km

Fuente: (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014)

La carretera en estudio es la carretera a Salamanca con 5 km de longitud, esta carretera está tipificada como una Carretera de bajo volumen de tránsito como se indica en el Clasificador de rutas presente en el Decreto Supremo N° 011-2016-MTC en la LI – 102. La LI – 102 es una ruta que pertenece a la red vial departamental, de ella, se desprenden ramales que representan la red vial vecinal, el detalle se adjunta en el anexo 7 – Planos.

Según el (Ministerios de Transportes y Comunicaciones, 2018) en las páginas 12 y 13 indica la definición de las carreteras de tercera clase y las trochas carrozables, a la fecha de la investigación ese tramo es considerados como trocha carrozable, lo que se busca es mejorar la carretera para hacerla clasificar como de tercera clase ya que en el manual indica que estas carreteras pueden funcionar como soluciones básicas en la aplicación de estabilizadores de suelos, actualmente se puede clasificar a la carretera como Trocha carrozable.

Tomando en cuenta esta clasificación (trocha carrozable – carretera de bajo volumen de tránsito) en la tabla N° 02 indica cuántas calicatas se deben realizar dependiendo de la clasificación del tramo, por tal el equipo de tesis realizamos 1 calicata por cada kilómetro de carretera, al ser 5 kilómetros, realizamos 5 calicatas con una profundidad de 1.5 m cada una, según indica la tabla en mención.

2.2.2. Materiales, equipos y programas de cómputo

Se tomó como referencia la norma NTP 339.175 que menciona que se debe utilizar tres especímenes de suelo arcilloso sin adición de cloruro de calcio para índice de CBR de la muestra patrón y tres especímenes para cada adición de 2%, 4% y 6% de cloruro de calcio para índice de CBR.

Para la extracción de muestra se realizaron calicatas de 1x1x1.5 según tabla N° 02 de ellas se tomaron 20 kilogramos para realizar los ensayos de análisis granulométrico, contenido de humedad, límites de atterberg y peso específico; para los ensayos de CBR se tomaron otros 25 kilogramos más por calicata.

Con la ayuda de *software (hoja de cálculo Excel)* se procesó la información obtenida en laboratorio para los diferentes análisis para la clasificación y con las diferentes adiciones de Cloruro de calcio para verificar la hipótesis la cual desea mejorar las propiedades físicas del suelo.

Para tal efecto se utilizaron los siguientes materiales:

- **Recursos Humanos**

- 02 tesisistas
- 02 ayudantes de la zona (trabajos de excavación y transporte de material extraído de calicatas)
- 01 conductor de camioneta

- **Recursos Materiales**

- 03 palas
- 02 picos
- 01 barreta
- 01 wincha
- Ciento de bolsas plásticas
- 01 cámara fotográfica

- 02 chalecos
- 02 cascos
- 01 laptop personal lenovo i3
- Plumones, cinta maskin
- Sacos

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Área de estudio

El centro poblado de Salamanca se ubica en el departamento La Libertad, provincia de Ascope distrito de Magdalena de Cao a 65 msnm con las coordenadas (7°49'14.31'' S – 79°16'28.97'' O).

Figura N°01.

Ubicación satelital del centro poblado de Salamanca



Fuente: Google Earth

Salamanca cuenta con un suelo de tipo limo arcilloso pobremente gradado, de bajo índice de compactación y poca resistencia a la humedad (INDECI, 2009) de una

clasificación regular a mala, su tipo varía entre tierras aptas para la producción de cultivos en limpio y cultivos permanentes.

Clase I (cultivos en limpio), consta de suelos de textura media, profundos, libres de sales, de buena retentividad y moderado grado de infiltración. Topografía plana o ligeramente ondulada con pendientes muy suaves y libres de piedras.

La segunda, comprende suelos de moderada aptitud para el riego cuya capacidad productiva es menor que las tierras de la Clase I. Suelos de textura arenosa, retentividad regular a baja y grado de infiltración moderadamente lento o moderadamente rápido. Topografía ligeramente inclinada a moderadamente inclinada, micro – relieve ondulado, presentando limitaciones leves cuya corrección determinará costos no demasiado significativos. De acuerdo a las condiciones de suelo y topografía, no presentarán problemas particulares de drenaje. Son suelos aptos para cualquier tipo de cultivos en la zona de estudio. (Ascope, 2011 - 2021).

Por las características anteriormente expuestas se escoge esta zona, representa un eje importante de desarrollo, y la implementación de sus vías de acceso es muy importante tomando en cuenta los planes de desarrollo de la región La Libertad.

El tramo escogido para el estudio y aplicación de nuestro trabajo comprende 5 km de la misma manera tenemos la ubicación de las calicatas las cuales se realizaron en las ubicaciones siguientes:

Tabla N° 03

Coordenadas de calicatas

CALICATA	Latitud	Longitud	Coordenadas UTM
I	7°49'1.97"S	79°14'50.02"O	17S 693268.4 9135507.2
II	7°49'5.36"S	79°15'19.63"O	17S 692360.7 9135406.8

III	7°49'9.82"S	79°15'50.61"O	17S 691411 9135273.7
IV	7°49'6.17"S	79°16'23.66"O	17S 690398.9 9135390
V	7°49'26.49"S	79°16'34.78"O	17S 690055.6 9134767.1

Fuente: Google Earth – elaboración propia

2.4. Procedimiento Técnico Descriptivo

2.4.1. Extracción de muestra

Para la extracción de las muestras, se tomó 5 kilómetros de la carretera que lleva a Salamanca (desvío de la pista a Magdalena de Cao), en donde en cada kilómetro se hizo una calicata de 1x1x1.5 m., con ayuda de barretas, picos y palanas se cavó hasta obtener las medidas antes mencionadas, observándose el perfil estratigráfico de cada calicata, tomando una muestra representativa de 20 kilos por calicata, para los ensayos de análisis granulométrico, contenido de humedad, límites de Atterberg y peso específico.

Y para los ensayos de proctor e índice de CBR, se necesitó muestras de 25 kilogramos por calicata.

2.4.2. Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado

Para este ensayo se tomó una muestra representativa de 5 kilogramos, porque al ser lavado su peso disminuiría en gran medida ya que es un suelo arcilloso.

Con la muestra representativa previamente secada (W_i), se la colocó dentro de la malla #200, y con ayuda de agua se fue lavando el suelo, haciendo una ligera presión de los dedos con el fondo de la malla, se necesitó un caño para tener agua constante y se lavó tanto tiempo hasta que el agua pasante y sobrenadante tena un color cristalino, asegurándose de esta manera que no hay presencias de

materiales finos, posteriormente todo el material que ha quedado se colocó en una estufa (wf), para su secado y poder ser usado en el análisis granulométrico en seco. Con este ensayo se puede determinar el porcentaje de finos que presenta el suelo, con ayuda de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Finos} = \frac{W_i}{W_f} \times 100$$

Donde

W_i : Masa inicial antes del lavado

W_f : Masa después del secado

Tabla N° 04:

Tabla matriz para el análisis granulométrico por lavado

	Masa inicial	Masa final	Cantidad de finos
Muestra	W_i	W_f	% Finos
suelo I	A	B	(A/B) *100
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Análisis granulométrico en seco (MTC E 107)

De las muestras recolectadas de las 5 calicatas ubicadas en cada kilómetro de los 5 kilómetros tomados de carretera a Salamanca, se seleccionó muestras aproximadas de 2000 gr., las cuales deben estar lo más homogéneas posibles, para ello, se cuarteó todo el material adquirido, de cada calicata por separado. Después, Se pesó la muestra que será usada y se hizo pasar por una serie de tamices o mallas, en este caso (2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", #4, #10, #16, #30,

#40, #50, #100, #200 y Fondo), estas mallas deben ser pesadas previamente, para obtener la masa inicial de estas.

Luego se colocó las mallas en el orden respectivo, y se colocó la muestra dentro de estas, para poder colocarlo, al equipo tamizador o maquina vibratoria, por un tiempo de entre 3 a 5 minutos, para que las partículas de la muestra se retengan en cada malla según su diámetro. Finalmente se pesó cada malla con el material retenido en estas. Y se determinó el tamaño máximo nominal. Para determinar el tamaño máximo nominal se necesitó del peso retenido en cada malla, y se visualizó en la Tabla N° 05.

Tabla N°05:

Tabla matriz para Análisis Granulométrico

Malla			Muestra 1			
N° de Malla	W_M	W_{M+M}	W_R (gr)	% W_R	% W_{RA}	% QP
1 ½"	A	D	D-A=G	G8Po=J	J	100-J
1"	B	E	E-B=H	H/Po=K	J+K=M	100-M
¾"	C	F	F-C=I	I/Po=L	J+K+L=N	100-N
½"	...	...	...	...	...	...
3/8"	...	...	...	...	...	...
#4	...	...	...	...	...	...
#10	...	...	...	...	...	...
#16	...	...	...	...	...	...
#30	...	...	...	...	...	...
#40	...	...	...	...	...	...
#50	...	...	...	...	...	...
#100	...	...	...	...	...	...
#200	...	...	...	...	...	...
BC	...	...	...	...	...	...

Fuente: Elaboración propia

Donde:

W_M : Masa de la malla

W_{M+M} : Masa de la malla más la muestra

W_R : Masa retenida en la malla

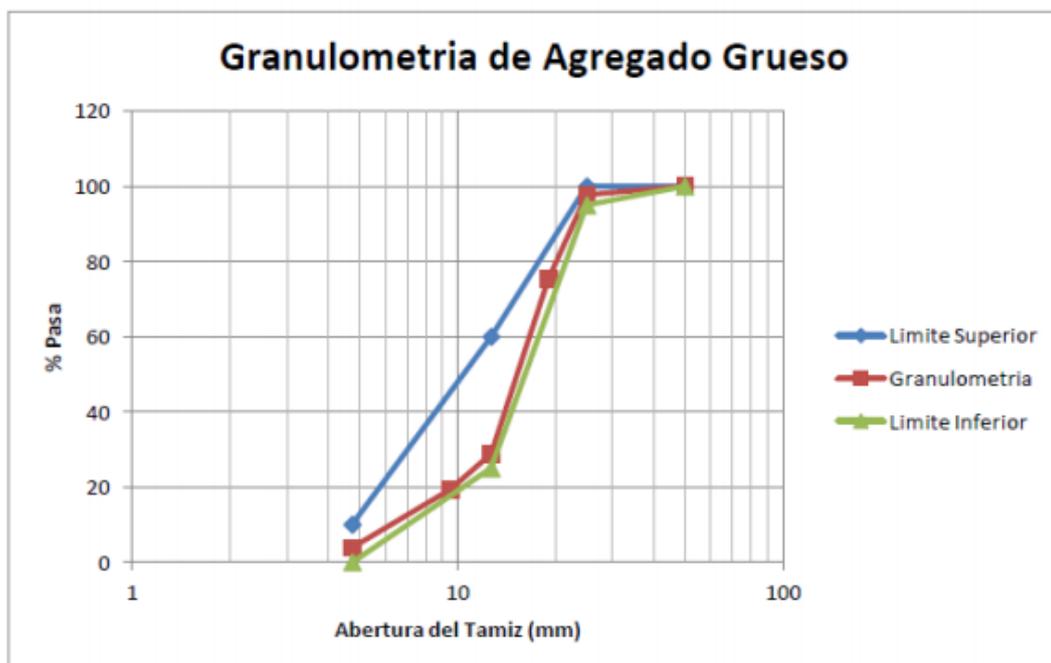
$\%W_R$: Porcentaje de la masa retenida en la malla

$\%W_{RA}$: Porcentaje de la masa retenida acumulado en la malla

$\%QP$: Porcentaje que pasa

Figura N°02:

Curva granulométrica, para agregado grueso



Fuente: (Quevedo Haro, 2013)

2.4.4. Contenido de humedad (MTC E 107)

Para determinar la humedad de cada agregado se determinó y registro la masa de un contenedor limpio y seco (M_C). Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, previamente cada contenedor fue codificado.

Luego se colocó una porción de agregado fino, dentro del contenedor y se registró la masa del contenedor más la porción del agregado fino (M_{Cws}), mediante el uso de una balanza de acuerdo al peso del espécimen.

Posteriormente, se colocará el recipiente y el agregado fino contenido, en una estufa por 24 ± 4 horas, a una temperatura de 110 ± 5 °C. Finalmente se tomó un último peso (M_{CS}) del recipiente más el material contenido, y se calculará el contenido de humedad (W).

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua (M_W) existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas (M_S), ósea:

$$W(\%) = \frac{M_W}{M_S} \times 100 = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

W : Es el contenido de humedad, (%)

M_{CWS} : Es la masa del contenedor más el suelo húmedo. (gr.)

M_{CS} : Es la masa del contenedor más el suelo secado en horno. (gr.)

M_C : Es la masa del contenedor. (gr.)

M_W : Es la masa del agua. (gr.)

M_S : Es la masa de las partículas sólidas. (gr.)

Para determinar el contenido de humedad de los agregados puede hacerse uso de la siguiente tabla:

Tabla N°06:

Tabla matriz para la humedad de suelos (MTC E107)

	Masa del contenedor	Es la masa del contenedor más el suelo húmedo	Masa del suelo húmedo	Masa del contenedor más el suelo secado	Contenido de humedad
Muestra	M_C	M_{CWS}		M_{CS}	W

suelo I	A	B	B-A	C	D
.
.
.

Fuente: Elaboración Propia

2.4.5. Límites de Atterberg

Límite Líquido (LL) (MTC E 110)

El material obtenido se secó a una temperatura de 60 °C o secado a temperatura ambiente, luego de estar seca se procedió a tamizar por la malla N° 40 y se obtuvo un mínimo de 200 gr para la realización del ensayo. En un recipiente de porcelana se colocó el material tamizado y se mezcló con agua potable hasta lograr una pasta homogénea, previamente a esto se calibró la cuchara Casagrande (altura de caída libre de la cazuela), que esté de acuerdo a norma (1cm). Terminado el mezclado de la pasta se procedió al ensayo del límite líquido, colocando la pasta en la cuchara Casagrande, se mezcló la muestra y se pulió utilizando la espátula, luego se pasó el ranurador dividiendo la pasta en dos mitades iguales y se dejó caer la cuchara desde una altura de 1 cm a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que se cerró en un punto. Este proceso se repitió para obtener los tres valores de interpolación en el gráfico contenido de humedad vs N° de golpes, se sacó una muestra representativa en el punto de unión (M_{CWS}) y se procedió a pesar la muestra húmeda ensayada. Finalmente se colocó la muestra a secar en el horno a una temperatura de 110 ° C ± 5 °C por un tiempo aproximado de 24 horas, posteriormente se retiró la muestra del horno y se pesó el contenido de cada recipiente (M_{CS}).

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

M_{CWS} : Es la masa del contenedor más el suelo húmedo. (gr.)

M_{CS} : Es la masa del contenedor más el suelo secado en horno. (gr.)

M_C : Es la masa del contenedor. (gr.)

W : Contenido de humedad (%)

Para determinar el contenido de humedad de los agregados puede hacerse uso de la siguiente tabla:

Tabla N°07:

Tabla matriz para la humedad de suelos (MTC E110)

	Masa del contenedor	Es la masa del contenedor más el suelo húmedo	Masa del contenedor más el agregado secado	Contenido de humedad
Muestra	M_C	M_{CWS}	M_{CS}	W
Suelo I	A	B	C	D
.
.
.

Fuente: Elaboración Propia

Limite Plástico (LP) (MTC E 111)

Se obtuvo una muestra para límite plástico de unos 20 g. aproximadamente y se colocó en un recipiente de porcelana, añadiéndole agua hasta obtener una muestra pastosa, y se hizo perder un poco de humedad con las manos si es que la muestra está muy saturada, luego cuando la muestra se notó aparentemente semiseca, se hizo bolitas de unos 2 gr cada una, luego se procedió al rolado con los dedos sobre una placa de vidrio haciendo hilos, este rolado se realizó hasta que el diámetro del suelo rolado tenga aproximadamente 3 mm de diámetro y 10 cm de largo, se hizo hasta que se rompa en pedazos en un tiempo no mayor a 2 minutos por cada bolita ensayada. Posteriormente se tomó los pedazos, se pesó y se colocó a secar en el

horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por el tiempo de 24 horas. Luego se retiró las muestras del horno y se dejó enfriar al ambiente y se las peso.

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

M_{CWS} : Es la masa del contenedor más el suelo húmedo. (gr.)

M_{CS} : Es la masa del contenedor más el suelo secado en horno. (gr.)

M_C : Es la masa del contenedor. (gr.)

W : Contenido de humedad (%)

Para determinar el contenido de humedad de los agregados puede hacerse uso de la siguiente tabla:

Tabla N°08:

Tabla matriz para la humedad de suelos (MTC E111)

	Masa del contenedor	Es la masa del contenedor más el suelo húmedo	Masa del contenedor más el agregado secado	Contenido de humedad
Muestra	M_C	M_{CWS}	M_{CS}	W
Suelo I	A	B	C	D
.
.
.

Fuente: Elaboración propia

2.4.6. Materia orgánica (MTC E 118)

Para realizar este ensayo primero debo eliminarse la humedad superficial en un horno a $110 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, para posteriormente colocar dentro de un recipiente de porcelana, pesado previamente (W_c) aproximadamente entre 10 a 40 g. del suelo seco y se pesó (W_{cm}), y se los colocó dentro de un horno a $445 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 6 horas y finalmente se tomó el ultimo peso (W_{cms}).

$$MO = \frac{M_{Cm} - M_{Cms}}{M_{cms} - M_C} \times 100$$

Donde:

MCms : Es la masa del contenedor más el suelo después de la ignición.

(gr.)

MCm : Es la masa del contenedor más el suelo secado en horno. (gr.)

MC : Es la masa del contenedor. (gr.)

MO : Materia orgánica (%)

2.4.7. Gravedad específica (MTC E 113)

Previo a este ensayo, se tuvo que calibrar la fiola y limpiar el picnómetro, para poder determinar la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0,01g (típicamente 5 dígitos significantes). Se llenó el picnómetro con agua desairada por debajo de la marca de calibración y se colocó dentro del contenedor aislado y cubierto junto con el termómetro, tapón, y agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta. Dejar el picnómetro llegar al equilibrio termal (por al menos 3 horas). La temperatura de equilibrio debería estar dentro de 4°C de la temperatura del cuarto y entre 15 y 30°C, luego se movió el contenedor aislado cerca de la balanza y se abrió el contenedor y removió el picnómetro. Solo la corona del picnómetro podrá ser tocada para prevenir el calentamiento por manipuleo cambiando el equilibrio termal para que se realice los ajustes en el nivel del agua para medir y registrar la masa del picnómetro y agua. Se midió y registro la temperatura del agua con una aproximación de 0,1°C usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado. Inserte el termómetro a una profundidad

de inmersión apropiada, se regresó el picnómetro al contenedor aislado y se reajusto el nivel de agua en cada picnómetro para preparar la siguiente calibración y dejar que los picnómetros se equilibren termalmente (por al menos 3 horas); se repitió el procedimiento para obtener cinco mediciones independientes en cada picnómetro y las temperaturas no necesitan ajustarse a ningún rango de temperatura en particular, usando cada uno de estos cinco puntos de dato, calcular el volumen calibrado de cada picnómetro, V_p , usando la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{(M_{pw,c} - M_p)}{\rho_{w,c}}$$

Donde:

$M_{pw,c}$: la masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración (g)

M_p : la masa promedio del picnómetro a la calibración (g)

$\rho_{w,c}$: la densidad de masa del agua a la temperatura de calibración g/MI.

El procedimiento de calibración tiene mucha variabilidad y no guiará a determinaciones de peso específico precisas. Para la masa del picnómetro se determinó usando la misma balanza usada para calibrar el picnómetro, verificar que la masa del picnómetro está entre 0,06 g de la masa promedio calibrada. Si no lo está, re calibrar la masa seca del picnómetro. Y se aplicó el método B, el cual consiste en secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndose a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, desmenuzando algunos terrones de suelo usando un mortero y mano; si el suelo no se dispersara fácilmente después del secado o ha cambiado su composición, use el método A.

Luego se vierte directamente los sólidos de suelo en el embudo, enjuagando cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del picnómetro usando un spray de lavado en una botella a presión. Para la preparación de la pasta aguada de suelo se añadió agua hasta que el nivel del agua esté entre y $\frac{1}{2}$ de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro, se agito el agua hasta que la pasta aguada se forme y se enjuago cualquier suelo adherido al picnómetro en la pasta un volumen mayor. Para desairar la plasta agua de suelo el aire entrampado en la pasta de aguada de suelo puede ser removido usando vacío, cuando el picnómetro debe ser continuamente agitado bajo un vacío de al menos 2 horas y si el tubo de llenado del picnómetro es usado, llene el tubo con agua, y cierre la válvula, coloque el tubo tal que los hoyos de drenaje estén justo en la superficie de la pasta aguada; se abrió la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya sobre la superficie de la pasta aguada, se añadió el agua remanente el siguiente día y se midió y registro la masa del picnómetro y se determinó la temperatura del picnómetro. Se midió y registro la temperatura de la mezcla pastosa aguada de suelo agua con una aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$ usando el termómetro y el método usado durante la calibración (Tt). Para determinar la masa de suelo seco, se determinó la masa de una tara o platillo con una aproximación de $0,01\text{g}$. Transfiera el suelo pastoso aguado a la tara o platillo., el agua puede ser añadida. Se secó el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y enfriarlo en un secador. Y se midió la masa seca de los sólidos de suelo con la tara con una aproximación de $0,01\text{g}$ usando la balanza designada, calcule y registre la masa de los sólidos de suelo secos. Para el cálculo de la gravedad especifica en necesario hacer 2 cálculos previos:

$$M_{pw, t} = M_p + (V_p \times P_w. t)$$

Donde:

$M_{pw,c}$: masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (T_t) (g)

M = masa promedio calibrada del picnómetro seco. (g)

V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro. (mL)

$P_w.t$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t) (g/mL)

$$G_t = \frac{P_s}{P_w, t} = \frac{M_s}{M_{pw, t}}$$

Donde:

P_s : La densidad de sólidos de suelo Mg/m³ o g/cm³

P_w,t : La densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), (g/mL o g/cm³)

M_s : La masa de los sólidos de suelo secadas al horno (g)

$M_{pws,t}$: La masa del picnómetro, agua, y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, (T) (g)

Y para determinar la gravedad específica a 20°C se determina:

$$G_{20^{\circ}c} = K \times G_t$$

Donde: K: Coeficiente de temperatura

2.4.8. Método de incorporación de ClCa₂ en el suelo

El método para la incorporación de ClCa₂ en el suelo que se utilizó fue en salmuera el cual consiste en mezclar con agua, en función del peso cierto porcentaje de ClCa₂ a la muestra para posteriormente desarrollar los ensayos previstos. Para realizar este método de incorporación se tomó en cuenta el peso del suelo en cada ensayo, así como el porcentaje de ClCa₂ que se incorporó.

Este porcentaje dependió del peso de la muestra del suelo utilizado en cada ensayo establecido. Siendo un método beneficioso porque llena los espacios entre las partículas de suelo y establece un método eficiente al mismo tiempo que se agrega la humedad óptima al suelo.

(MTC, 2014) Indica que la dosificación recomendada se encuentra en el rango de 1% a 2%, también indica que el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previniendo el desmoronamiento y es un paliativo de polvo.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

2.4.9. Proctor (MTC E 115)

Primero se verificó el análisis granulométrico para ver cuál de los métodos es aplicable según la tabla N° 08. De acuerdo al método A se procedió a tamizarse por la malla correspondiente hasta obtener un peso húmedo aproximado de 50 kg para el proctor Modificado.

Figura N° 03:

Resumen ensayo Proctor Estándar y Proctor Modificado

Tipo de ensayo	PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D698.91 (98)			PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557.91 (98)		
	A	B	C	A	B	C
Condiciones para la elección del método	% Ret.Acum.N° 4 ≤ 20%	% Ret.Acum.3/ 8" ≤ 20% % Ret.Acum.N° 4 > 20%	% Ret.Acum.3/ 4" ≤ 30% % Ret.Acum.3/ 8" > 20%	% Ret.Acum.N° 4 ≤ 20%	% Ret.Acum.3/ 8" ≤ 20% % Ret.Acum.N° 4 > 20%	% Ret.Acum.3/ 4" ≤ 30% % Ret.Acum.3/ 8" > 20%
Tipo de material utilizado	Pasante la malla N°4	Pasante la malla 3/8"	Pasante la malla 3/4"	Pasante la malla N°4	Pasante la malla 3/8"	Pasante la malla 3/4"
N° de capas (n)	3	3	3	5	5	5
N° de golpes (N)	25	25	56	25	25	56
Diámetro de molde (cm)	10.16 ± 0.04	10.16 ± 0.04	15.24 ± 0.07	10.16 ± 0.04	10.16 ± 0.04	15.24 ± 0.07
Altura del molde (cm)	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05
Volumen del molde V (cm ³)	944 ± 0.14	944 ± 0.14	2124 ± 0.25	944 ± 0.14	944 ± 0.14	2124 ± 0.25
Peso del martillo W (Kg)	2.5 ± 0.01	2.5 ± 0.01	2.5 ± 0.01	4.54 ± 0.01	4.54 ± 0.01	4.54 ± 0.01
Altura caída del martillo h (cm)	30.48 ± 0.13	30.48 ± 0.13	30.48 ± 0.13	45.72 ± 0.16	45.72 ± 0.16	45.72 ± 0.16
Diámetro del martillo (cm)	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025
Energía de compactación (Kg/cm ³)	6.054	6.054	6.027	27.485	27.485	27.363

Fuente: ASTM D1557.91

El material a ensayarse estaba por debajo del contenido óptimo de humedad, para lo cual se tomó como patrón (0%) y se fue incrementando la cantidad de agua al suelo cada punto de 2 en 2% hasta encontrar el contenido óptimo de humedad, luego se colocó el molde seleccionado sobre la base rígida horizontal nivelada. Se retiró el pisón del molde y se colocó una nueva capa, compacté de la misma manera como se indicó anteriormente, continuando de este modo hasta completar las cinco capas requeridas. Se retiró el collarín del molde los posibles vacíos que se formaron en la superficie de enrasamiento pueden se rellenó con material fino. Luego se retiró el material suelto de los bordes del molde y se pesó el espécimen con una precisión de 1 gr y se recurrió a un secado en horno, con lo cual se obtuvo la densidad húmeda con una precisión de 0.001 gr/cm³. Se removió, mezclo y homogenizo el material compactado que se encontró dentro del molde para obtener el contenido de humedad.

Seguidamente se pesó el material húmedo para determinar el contenido de humedad con una precisión de 0.1 gr. Se colocó el material a secar en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener un peso constante. Luego se retiró el material del horno y se dejó enfriar en el ambiente por el espacio de 25 minutos aproximadamente. Seguidamente se pesó la muestra seca con una precisión de 0.1 gr Se repitió los pasos para las muestras de las 5 calicatas. Se registró y procesó los datos.

Para los cálculos es necesario:

- Determinar el volumen del recipiente, para lo cual se midió su altura y su diámetro.

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H$$

Donde:

D: Diámetro

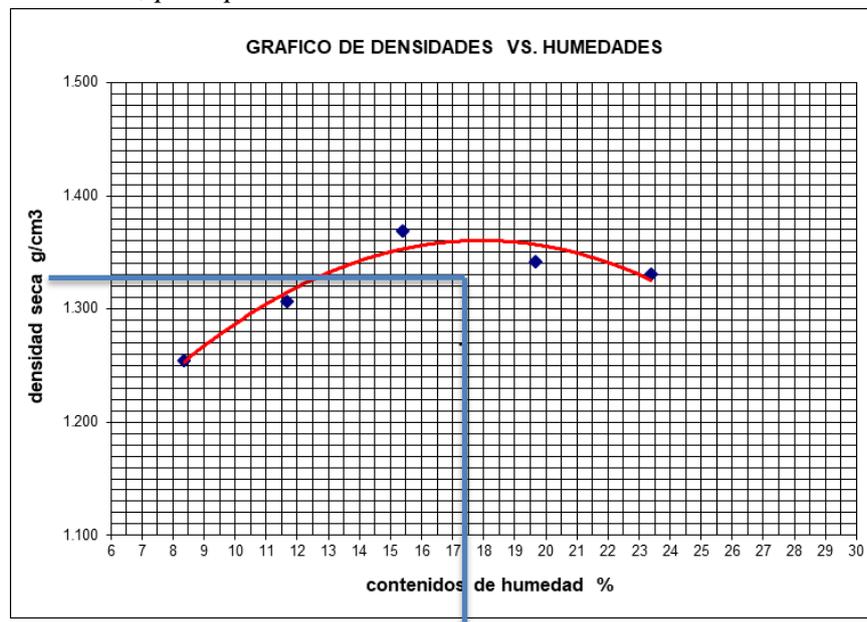
H: Altura

- Se determinó la masa del recipiente vacío
- Se determinó la masa del recipiente más el suelo compactado
- Y se determinó la humedad del núcleo de la masa compactada

Para determinar la densidad máxima y humedad máxima se proyecta el punto máximo de la gráfica y se toman los datos que conectan con los ejes X y Y.

Figura N° 04:

Densidad vs humedad, para proctor



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°09:

Tabla matriz para proctor modificado

Masa del contenedor	Es la masa del contenedor más el suelo	Contenido de humedad	Densidad Máxima	Humedad Máxima
---------------------	--	----------------------	-----------------	----------------

Muestra	Mc	Mcs	W	Dmax	Hmax
Suelo I	A	B	C	D	
.	
.	
.	

Fuente: Elaboración propia

2.4.10. California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132)

Para este ensayo se hizo con el método de hinchamiento y se hizo en 3 pasos:

1. Compactación CBR

Se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en ensayo de compactación Proctor modificado. Luego se compactó la muestra con 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 13 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 por capa. Se determinó la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras en cada molde. Posteriormente se determinó la densidad seca de las muestras de cada molde

2. Hinchamiento

Se invirtió las muestras de tal manera que la superficie libre quedó en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base. Se colocó sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión. Luego se colocó los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante días (96 horas), se registró las lecturas de expansión cada 24 horas.

3. Ensayo de carga

Después de los cuatro días se sacaron los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos se retiró el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejando drenar durante 15 minutos.

Se colocó la sobrecarga en cada molde, luego se la llevó a la prensa hidráulica, se procedió al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min, se registró las lecturas de carga de cada muestra.

2.4.11. Análisis de resultados

Se analizaron los resultados, de forma gráfica y numérica, teniendo en cuenta su desviación estándar y la varianza.

A. Desviación estándar

$$DS = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

DS: Desviación Estándar

X: Valor

x: Valor promedio de los valores n: Número de muestras

B. Varianza

$$V = \frac{DS}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

DS : Desviación Estándar

x : Valor promedio de los valores

V : Varianza

C. Análisis ANOVA o análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA), se refiere en general a un conjunto de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales. El problema más sencillo de ANOVA se conoce como el análisis de varianza de un solo factor o diseño completamente al azar, éste se utiliza para comparar dos o más tratamientos, dado que sólo consideran dos fuentes de variabilidad, los tratamientos y el error aleatorio. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2014) es decir este análisis ayuda a evitar el error por comparación de valores, en nuestro caso tenemos 4 estados (0% y la adición de 2%, 4% y 6%) para saber si en realidad hay cambios considerables y/o mejora en el CBR de la muestra, debemos comparar pares de resultados, hablamos de una cantidad de 15 pares para el análisis a 1” y otros 15 pares más para el análisis a 2” es decir 30 pares de resultados, esta herramienta minimiza el trabajo y a la vez disminuye el error por comparación.

Para aplicar este análisis, utilizamos las ecuaciones de la figura N° 05 con ello vamos a obtener el F calc o “F” calculado, el cual se compara con los valores críticos de una distribución F en la tabla de Fisher (Anexo 3), esto sirve para validar el modelo teniendo en consideración al conjunto de variables incluidas en el mismo. Cuanto más alto es el “F” calculado más reducida es su significancia asociada (sig) y, por tanto, más alta la probabilidad de que las variables del modelo en su conjunto sean significativas (INEI - Publicaciones, 2016).

En otras palabras, lo que vamos a comprobar utilizando esta herramienta (ANOVA) es si existe o no una verdadera variación entre los valores de CBR obtenidos tanto al 0% de adición de cloruro de calcio (muestra patrón) y las adiciones al 2%, 4% y 6%. Es importante contar con un respaldo estadístico ya que lo que se busca es no solo mejorar las propiedades físicas del suelo de la carretera al centro poblado de Salamanca, sino que esta mejora sea significativa, el análisis de varianza ANOVA nos va a demostrar si efectivamente alcanzamos esta mejora.

Para realizar el análisis ANOVA debemos utilizar el siguiente esquema representado en la siguiente tabla:

Figura N° 05

Estructura de tabla ANOVA

	SS	GL	MS	F
Entre	$SS_E = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_i - \bar{x})^2$ $= \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$k - 1$	$MS_E = \frac{SS_E}{k-1}$	$\frac{MS_E}{MS_D}$
Dentro	$SS_D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$ $= \sum_{i=1}^k (n_i - 1) x_i^2$	$n - k$	$MS_D = \frac{SS_D}{n-a}$	
Total	$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$	$n - 1$		

Fuente: (Montes F. , 2004)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Tabla de ubicación de calicatas

Tabla N° 10:

Ubicación de calicatas coordinadas UTM

Calicata	Latitud	Longitud	Cota	Coordenadas UTM
I	7°49'1.97"S	79°14'50.02"O	78 m.s.n.m.	17S 693268.4 9135507.2
II	7°49'5.36"S	79°15'19.63"O	76 m.s.n.m.	17S 692360.7 9135406.8
III	7°49'9.82"S	79°15'50.61"O	70 m.s.n.m.	17S 691411 9135273.7
IV	7°49'6.17"S	79°16'23.66"O	65 m.s.n.m.	17S 690398.9 9135390
V	7°49'26.49"S	79°16'34.78"O	60 m.s.n.m.	17S 690055.6 9134767.1

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 10 nos muestra las ubicaciones exactas de cada Calicata en el tramo de 5 km de la carretera al centro poblado de Salamanca, además de ello muestra la cota de dicha ubicación. Para agilizar su búsqueda si se desee, se han colocado las coordenadas en 2 sistema de ubicación.

3.2. Análisis Granulométrico

Tabla N° 11:

Calicata 01: Resumen de los porcentajes pasantes del análisis granulométrico.

Malla	GRANULOMETRÍA				
	NTP 339.128				
	Díámetro (mm)	Peso Ret (g)	% Ret. parcial	% Ret. Acumulado	%Que pasa
1" ½	37.500				100.0
1"	25.000	48.8	2.4	2.4	97.6
¾"	19.000	13.2	0.7	3.1	96.9
½"	12.500	56.7	2.8	5.9	94.1
3/8"	9.500	53.8	2.7	8.6	91.4
N° 4	4.750	38.3	1.9	10.5	89.5
N° 10	2.000	50.9	2.5	13.1	86.9
N° 16	1.100	40.3	2.0	15.1	84.9
N° 30	0.600	42.6	2.1	17.2	82.8
N° 40	0.425	29.5	1.5	18.7	81.3
N° 50	0.297	48.8	2.4	21.1	78.9
N° 100	0.149	192.1	9.6	30.7	69.3
N° 200	0.075	117.4	5.9	36.6	63.4

BC	Menor a 0.075	1268.2	63.4	100.0	0.00
Total		2000.5	100.0		

Fuente: Elaboración propia

Calicata 01

C-01/0.00-1.50m. Material limo arcilloso, suelo arcilloso, con un 63.40% de material que pasa la malla N° 200, limite liquido = 28.7 e índice de plasticidad = 15.30 de expansión media en condición normal. Clasificado en el sistema "SUCS" como un suelo "CL", y el sistema "AASHTO" como un suelo "A-6 limoso arenoso", y con un contenido de humedad de 3.7% con un IG 7.

Tabla N° 12

Clasificación AASHTO de Calicata 01

Clasificación AASHTO	IG
A-6	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13:

Calicata 02: Resumen de los porcentajes pasantes del análisis granulométrico.

Malla	GRANULOMETRÍA				
	NTP 339.128				
	Díámetro (mm)	Peso Ret (g)	% Ret. parcial	% Ret. Acumulado	%Que pasa
1" ½	37.500				100.0
1"	25.000	54.8	2.7	2.7	97.3
¾"	19.000	49.2	2.5	5.2	94.8
½"	12.500	54.4	2.7	7.9	92.1
3/8"	9.500	52.8	2.6	10.5	89.5
N° 4	4.750	40.2	2.0	12.5	87.5
N° 10	2.000	45.9	2.3	14.8	85.2
N° 16	1.100	41.3	2.1	16.9	83.1
N° 30	0.600	43.5	2.2	19.0	81.0
N° 40	0.425	40.7	2.0	21.1	78.9
N° 50	0.297	31.2	1.6	22.6	77.4
N° 100	0.149	191.2	9.5	32.1	67.9
N° 200	0.075	114.8	5.7	37.8	62.2
BC	Menor a 0.075	1248.2	62.2	100.0	
Total		2000.5	2007.9	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Calicata 02

C-02/0.00-1.50m. Material limo arcilloso, suelo arcilloso, con un 62.20% de material que pasa la malla N° 200, limite liquido = 31.2 e índice de plasticidad = 15.80, de expansión

media en condición normal. Clasificado en el sistema "SUCS" como un suelo "CL", y el sistema "AASHTO" como un suelo "A-6 limoso arenoso", y con un contenido de humedad de 3.1% con un IG 7.

Tabla N° 14

Clasificación AASHTO de Calicata 02

Clasificación AASHTO	IG
A-6	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15:

Calicata 03: Resumen de los porcentajes pasantes del análisis granulométrico.

Malla	GRANULOMETRÍA				
	NTP 339.128				
	Diámetro (mm)	Peso Ret (g)	% Ret. parcial	% Ret. Acumulado	%Que pasa
1" ½	37.500				100.0
1"	25.000	49.1	2.5	2.5	97.5
¾"	19.000	51.6	2.6	5.0	95.0
½"	12.500	64.0	3.2	8.2	91.8
3/8"	9.500	54.4	2.7	10.9	89.1
N° 4	4.750	42.3	2.1	13.1	86.9
N° 10	2.000	49.5	2.5	15.5	84.5
N° 16	1.100	45.2	2.3	17.8	82.2
N° 30	0.600	54.4	2.7	20.5	79.5
N° 40	0.425	43.2	2.2	22.7	77.3
N° 50	0.297	34.5	1.7	24.4	75.6
N° 100	0.149	175.0	8.7	33.1	66.9
N° 200	0.075	188.3	9.4	42.6	57.4
BC	Menor a 0.075	1149.2	57.4	100.0	
Total		2000.5	2000.5	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Calicata 03

C-03/0.00-1.50m. Material limo arcilloso, suelo arcilloso, con un 57.40% de material que pasa la malla N° 200, límite líquido = 29.0 e índice de plasticidad = 14.90, de expansión media en condición normal. Clasificado en el sistema "SUCS" como un suelo "CL", y el sistema "AASHTO" como un suelo "A-6 limoso arenoso", y con un contenido de humedad de 3.1% con un IG 5.

Tabla N° 16

Clasificación AASHTO de Calicata 03

Clasificación AASHTO	IG
A-6	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 17:

Calicata 04: Resumen de los porcentajes pasantes del análisis granulométrico.

Malla	GRANULOMETRÍA				
	NTP 339.128				
	Diámetro (mm)	Peso Ret (g)	% Ret. parcial	% Ret. Acumulado	%Que pasa
1" ½	37.500				100.0
1"	25.000	44.7	2.2	2.2	97.8
¾"	19.000	45.2	2.3	4.5	95.5
½"	12.500	53.1	2.6	7.1	92.9
3/8"	9.500	50.3	2.5	9.6	90.4
N° 4	4.750	42.6	2.1	11.8	88.2
N° 10	2.000	53.6	2.7	14.4	85.6
N° 16	1.100	46.2	2.3	16.7	83.3
N° 30	0.600	56.5	2.8	19.6	80.4
N° 40	0.425	39.7	2.0	21.5	78.5
N° 50	0.297	28.4	1.4	23.0	77.0
N° 100	0.149	169.1	8.4	31.4	68.6
N° 200	0.075	176.1	8.8	40.2	59.8
BC	Menor a 0.075	1199.2	59.8	100.0	
	Total	2000.5	2004.6		

Fuente: Elaboración propia

Calicata 04

C-04/0.00-1.50m. Material limo arcilloso, suelo arcilloso, con un 59.80% de material que pasa la malla N° 200, límite líquido = 31.0 e índice de plasticidad = 16.40, de expansión media en condición normal. Clasificado en el sistema "SUCS" como un suelo "CL", y el sistema "AASHTO" como un suelo "A-6 limoso arenoso", y con un contenido de humedad de 3.1% con un IG 7.

Tabla N° 18

Clasificación AASHTO de Calicata 04

Clasificación AASHTO	IG
A-6	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19:

Calicata 05: Resumen de los porcentajes pasantes del análisis granulométrico.

Malla	GRANULOMETRÍA				
	NTP 339.128				
	Diámetro (mm)	Peso Ret (g)	% Ret. parcial	% Ret. Acumulado	%Que pasa
1" ½	37.500				100.0
1"	25.000	41.8	2.1	2.1	97.9
¾"	19.000	50.7	2.5	4.6	95.4
½"	12.500	46.8	2.3	6.9	93.1
3/8"	9.500	46.1	2.3	9.2	90.8
N° 4	4.750	44.8	2.2	11.5	88.5
N° 10	2.000	40.9	2.0	13.5	86.5
N° 16	1.100	39.6	2.0	15.5	84.5
N° 30	0.600	49.5	2.5	17.9	82.1
N° 40	0.425	37.7	1.9	19.8	80.2
N° 50	0.297	29.9	1.5	21.3	78.7
N° 100	0.149	173.3	8.6	29.9	70.1
N° 200	0.075	177.1	8.8	38.8	61.2
BC	Menor a 0.075	1229.2	61.2	100.0	
Total		2000.5	2007.2		

Fuente: Elaboración propia

Calicata 05

C-05/0.00-1.50m. Material limo arcilloso, suelo arcilloso, con un 61.20% de material que pasa la malla N° 200, límite líquido = 30.1 e índice de plasticidad = 15.20, de expansión media en condición normal. Clasificado en el sistema "SUCS" como un suelo "CL", y el sistema "AASHTO" como un suelo "A-6 limoso arenoso", y con un contenido de humedad de 3.1% con un IG 6.

Tabla N°20

Clasificación AASHTO de Calicata 05

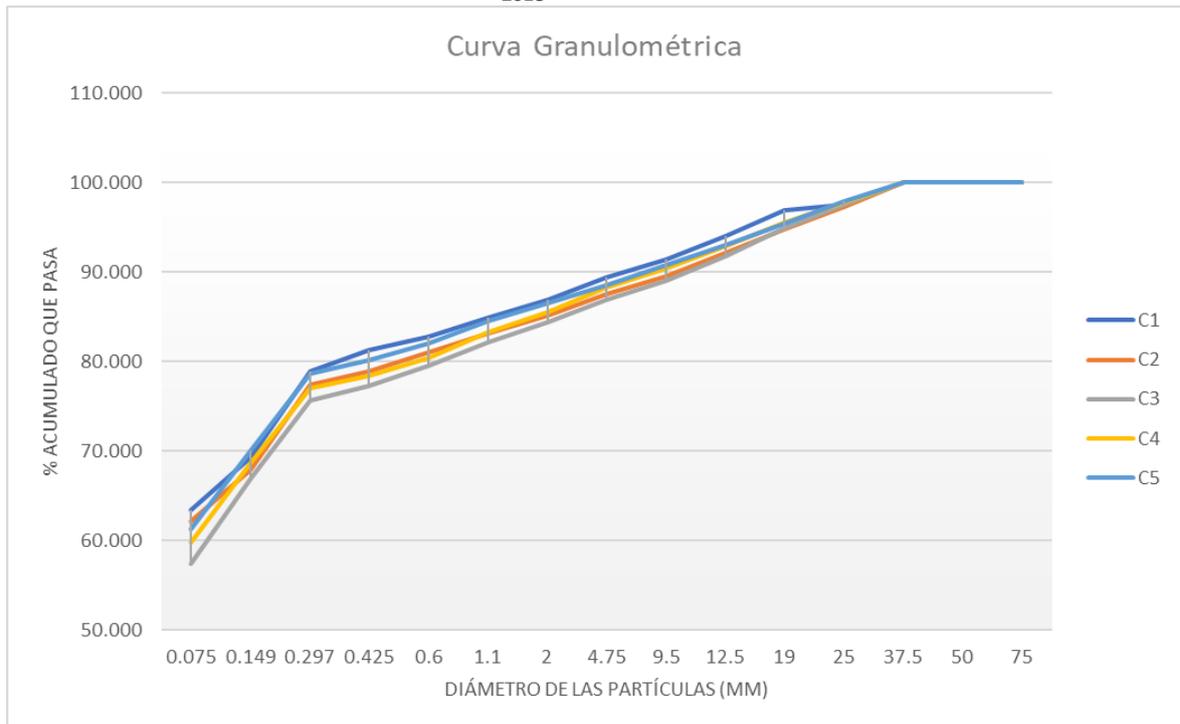
Clasificación AASHTO	IG
A-6	6

Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores, podemos inferir que el suelo, objeto de estudio, tiene una clasificación AASHTO de A-6.

Figura N° 06.

Curvas granulométricas de las 5 calicatas



Fuente: Elaboración propia

3.3.Límites de Atterberg

Tabla N° 21.

Resumen de los límites de Atterberg

	Limite líquido	Limite plástico	Índice de plasticidad
Calicata 1	28.7	13.4	15.3
Calicata 2	31.2	15.4	15.8
Calicata 3	29.0	14.9	14.1
Calicata 4	31.0	14.5	16.4
Calicata 5	30.1	14.9	15.2

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 21 nos da un alcance de los valores encontrados para el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de cada una de las calicatas. Estos valores van a complementar lo encontrado en granulometría para confirmar la clasificación de nuestro suelo.

3.4.Clasificación ASSHTO

Con los límites líquidos e índices de plasticidad de cada una de las cinco calicatas y con ayuda de la carta de plasticidad se puede determinar el tipo de suelo al que pertenece.

Tabla N° 22.

Resumen de los promedios o aproximaciones de los límites de Atterberg

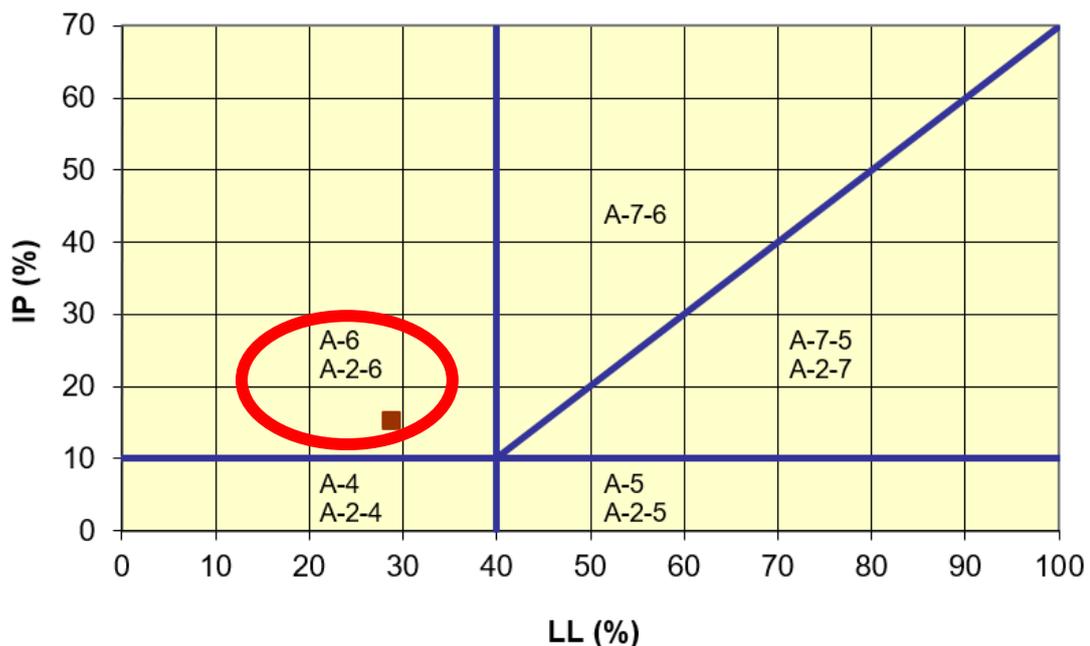
	Límite líquido	LL promedio	Índice de plasticidad	AASHTO
Calicata 1	29	Todos los	15	Todos los
Calicata 2	31	límites	16	puntos
Calicata 3	29	líquidos son	14	indican que
Calicata 4	31	menores a	16	es una
Calicata 5	30	40%	15	clasificación
				A6

Fuente: Elaboración propia

Entonces con ayuda de la carta de plasticidad, podemos interceptar los puntos de límite líquido e índice de plasticidad aproximados.

Figura N° 07:

Carta de plasticidad AASHTO



Fuente: Normativa AASHTO

Como se puede visualizar en la figura N° 07, el suelo pertenece a la clasificación “A-6”, en donde: A-6: es un suelo de tipo arcilloso, de calificación regular a malo como subgrado.

Tomando en cuenta solo el Índice de plasticidad, según (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014) en la página 32, nos muestra una tabla en la cual podemos clasificar bastante bien un suelo utilizando solo el índice de plasticidad. Un IP (Índice de Plasticidad) alto, corresponde a un suelo muy arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según la siguiente tabla:

Tabla N° 23:

Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014)

Tenemos que el Índice de Plasticidad del suelo en la carretera a Salamanca es en promedio 15.36 tomando la tabla N° 23 como referencia, tendría una Plasticidad MEDIA por tal la característica Suelo Arcilloso

Esta información contenida en el citado manual, confirma la granulometría y los resultados en la clasificación AASHTO.

3.5. Contenido de humedad

Tabla N° 24.

Resumen de los contenidos de humedad (por profundidad)

Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5
------------	------------	------------	------------	------------

% Humedad	3.7	3.1	2.8	3.6	3.7
-----------	-----	-----	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración Propia

En (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014) página 33 el manual indica, que la determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que obtendremos de los ensayos de Proctor para obtener el CBR del suelo. Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, se deberá compactar el suelo y el aporte del agua faltante. Si la humedad natural es superior a la humedad óptima se propone aumentar la energía de compactación o reemplazar el material.

El porcentaje de humedad o la humedad natural encontrada en la muestra en promedio arroja 3.38%, líneas abajo en el Proctor encontramos que en promedio la humedad óptima es de 18.6 %, si tomamos en cuenta lo mencionado en el manual del MTC, se recomienda la compactación del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua, es decir, se necesita agregar agua a la muestra y la adición del cloruro de Calcio tiene la propiedad de retener la humedad del ambiente completando la humedad faltante en el suelo para así mejorar sus propiedades físicas.

3.6. Materia orgánica

Tabla N°25.

Resumen de los contenidos de materia orgánica (por profundidad)

	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5
% Materia orgánica	2.2	3.6	2.3	3.6	2.2

Fuente: Elaboración propia

La presencia de materia orgánica nos confirma la clasificación de suelo como un A-6 según AASHTO ya que un suelo arcillo tiende a contener cantidades de material orgánico.

3.7. Gravedad específica

Tabla N° 26.

Resumen de las gravedades específicas

	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5
Gravedad específica a 20 °C	2.79	2.82	2.78	2.79	2.81

Fuente: Elaboración propia

Observamos en la tabla N° 26 los diferentes valores encontrados para la gravedad específica o en otras palabras la densidad de nuestra muestra, si bien es cierto la gravedad específica es adimensional, numéricamente es igual a la densidad.

En (Quispe, 2014) clasifican a los suelos según su gravedad específica (Gs) la cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla N° 27:

Clasificación de suelo según su Gravedad específica

Material	Gs
Arcilla de origen volcánico	2.20 – 2.50
Suelos Orgánicos	2.50 – 2.65
Suelos granulares	2.63 – 2.68
Limos Inorgánicos	2.67 – 2.73
Arcillas poco plásticas	2.72 – 2.78
Arcillas plásticas	2.78 – 2.86
Arcillas expansivas	2.86 – 2.90

Fuente: (Quispe, 2014)

El valor promedio de la gravedad específica a 20 °C es de 2.798 lo que clasificaría a nuestra muestra como un suelo arcilloso plástico.

3.8.Proctor

Tabla N°28.

Resumen de proctor para las 5 calicatas

	Muestra de suelo	Adición de cloruro de calcio (CaCl ₂)		
	0%	2%	4%	6%

Calicata 1	Densidad máxima seca (gr/cm³)	1.36	1.54	1.75	1.57
	Humedad óptima (%)	18.50	15.50	14.00	14.50
Calicata 2	Densidad máxima seca (gr/cm³)	1.35	1.52	1.71	1.56
	Humedad óptima (%)	18.50	15.80	14.10	14.60
Calicata 3	Densidad máxima seca (gr/cm³)	1.37	1.55	1.75	1.59
	Humedad óptima (%)	19.00	15.40	14.20	14.30
Calicata 4	Densidad máxima seca (gr/cm³)	1.39	1.54	1.79	1.57
	Humedad óptima (%)	18.00	15.60	13.90	14.60
Calicata 5	Densidad máxima seca (gr/cm³)	1.40	1.60	1.76	1.61
	Humedad óptima (%)	19.00	15.20	13.90	14.30

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 28 presentamos los resultados de la densidad máxima seca y la humedad óptima, observamos que el comportamiento de los resultados varía según la cantidad de aditivo, también observamos que no solo cambia, sino, que al adicionar 6% de cloruro de calcio la densidad máxima seca baja, igualándose al resultado con una concentración de 2%, este fenómeno se puede deber al bajo contenido de humedad en la muestra (sin aditivo) en (Quintana, 2014) menciona que para un bajo contenido de humedad, las partículas del suelo no están lubricadas, existiendo un trabazón entre las partículas adyacentes, trabazón es la fricción que evita el movimiento y el recomodo. A medida que se aumenta el contenido de humedad, se desarrolla una película de agua más grande sobre las partículas, haciendo que el suelo se haga más plástico y que sea más fácil para las partículas moverse y reacomodarse, es decir, se pierde el trabazón de las partículas.

3.9. Índice de CBR

Tabla N° 29.

Resumen del índice de CBR para las 5 calicatas

	Muestra de suelo	Adición de cloruro de calcio (CaCl ₂)			
		0%	2%	4%	6%
Calicata 1	CBR 0.1" (%)	5.8	20	27	22
	CBR 0.2" (%)	6.9	22	29	25
Calicata 2	CBR 0.1" (%)	6.8	19	27	22
	CBR 0.2" (%)	7.5	22	29	25
Calicata 3	CBR 0.1" (%)	7.6	21	30	23
	CBR 0.2" (%)	7.8	24	32	26
Calicata 4	CBR 0.1" (%)	6.5	20	30	22
	CBR 0.2" (%)	7.0	21.5	32	25
Calicata 5	CBR 0.1" (%)	8.7	20	30	21
	CBR 0.2" (%)	8.3	22	32	25

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el análisis comparativo, tenemos que en (MTC, 2014) indica en la norma MTC E 132 en la página 35 y según el CBR obtenido de los estudios realizados una tabla para la clasificación de la sub rasante, detalle que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 30:

Categorización de Sub rasante por CBR

Categoría de Sub rasante	CBR
S0: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	De CBR >= 3% a CBR < 6%
S2: Sub rasante Regular	De CBR >= 6% a CBR < 10%
S3: Sub rasante Buena	De CBR >= 10% a CBR < 20%

S4: Sub rasante Muy buena De CBR \geq 20% a CBR $<$ 30%

S5: Sub rasante Excelente De CBR \geq 30%

Fuente: (MTC, 2014)

Haciendo la comparación, tenemos que nuestra muestra tiene un valor promedio de CBR sin aditivo de 7.08 %, si observamos la tabla N° 30 podemos clasificar a la sub rasante como S2 o sub rasante regular, ahora comparando los resultados del CBR con aditivo al 4% tenemos un valor de 28.8% en promedio y califica a la sub rasante como S4 o sub rasante muy buena.

Es requisito que la sub rasante sea de buena calidad, la adición de cloruro de calcio aporta las propiedades físicas y las condiciones para una mejora considerable del sustrato.

3.10. Tabla Estadística

Tabla N°31.

Consolidado de todos los datos, análisis realizados a las muestras con cada dosificación

	Límite líquido	LL promedio	Índice de plasticidad	Clasificación AASHTO	% Humedad	Dosificación	Proctor		CBR	
							Densidad máxima seca	Humedad Óptima	CBR 0.1" (%)	CBR 0.2" (%)
C1	28.7	< 40%	15.3	A - 6	3.7	0%	1.36	18.5	5.8	6.9
						2%	1.54	15.5	20	22
						4%	1.75	14	27	29
						6%	1.57	14.5	22	25
C2	31.2	< 40%	15.8		3.1	0%	1.35	18.5	6.8	7.5
						2%	1.52	15.8	19	22
						4%	1.71	14.1	27	29
						6%	1.56	14.6	22	25
C3	29	< 40%	14.1		2.8	0%	1.37	19	7.6	7.8
						2%	1.55	15.4	21	24
						4%	1.75	14.2	30	32
						6%	1.59	14.3	23	26
C4	31	< 40%	16.4		3.6	0%	1.39	18	6.5	7
						2%	1.54	15.6	20	21.5
						4%	1.79	13.9	30	32
						6%	1.57	14.6	22	25
C5	30.1	< 40%	15.2		3.7	0%	1.4	19	8.7	8.3
						2%	1.6	15.2	20	22
						4%	1.76	13.9	30	32
						6%	1.61	14.3	21	25

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 31 se presenta un resumen de todos los datos obtenidos en los análisis de nuestra muestra, la carretera a Salamanca está compuesta de arcilla principalmente, un CBR muy pobre, la sub rasante no califica para ser asfaltada en un futuro, con la adición de cloruro de calcio se demuestra que se mejora considerablemente y el resultado de CBR es la mejor prueba de ello.

Las adiciones fueron de 2%, 4% y 6% de esos porcentajes los mejores resultados se dieron en una adición de 4%.

3.11. Análisis de Varianza ANOVA

El análisis de varianza ANOVA es una herramienta estadística que nos va a permitir confirmar la cantidad de variación que existe en un universo de datos, en nuestro estudio el indicador más importante es el CBR, este indicador nos va a decir si nuestro suelo está mejorado y listo para ser utilizado como subrasante o en su defecto si mejoraron las propiedades físicas del mismo y así mejorar la transitabilidad de la carretera. Para confirmar estos 2 escenarios de mejora, debemos analizar que tanto varía el CBR, que tan efectiva es la aplicación del cloruro de calcio ya que una mínima variación después de aplicar el cloruro de calcio, no justificaría que este sea usado para mejorar el suelo. El universo de datos que va a nutrir nuestro análisis ANOVA se encuentran en la tabla N° 29 que son todos los valores de CBR encontrados con las diferentes adiciones de cloruro de calcio de 0% (muestra patrón), 2%, 4% y 6%. Luego de haber aplicado la técnica de análisis de varianza ANOVA, obtenemos los siguientes resultados en la siguiente tabla.

Tabla N°32

Resultados ANOVA

Fuente de variación	Grados de Libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Varianza o cuadrados medios (CM)	F calc
Tratamientos	2	212.8	212.8	172.54
Error Residual	12	14.8	1.233	

Total	14	227.6
-------	----	-------

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la tabla de F de Fisher (Anexo 3) buscamos el F de tabla y comparamos con el F calc, obteniendo: F de tabla o $F(2,12) = 3.89$ y $F_{calc} = 172.54$.

Entonces:

$$F_{calc} \gggg F(2,12)$$

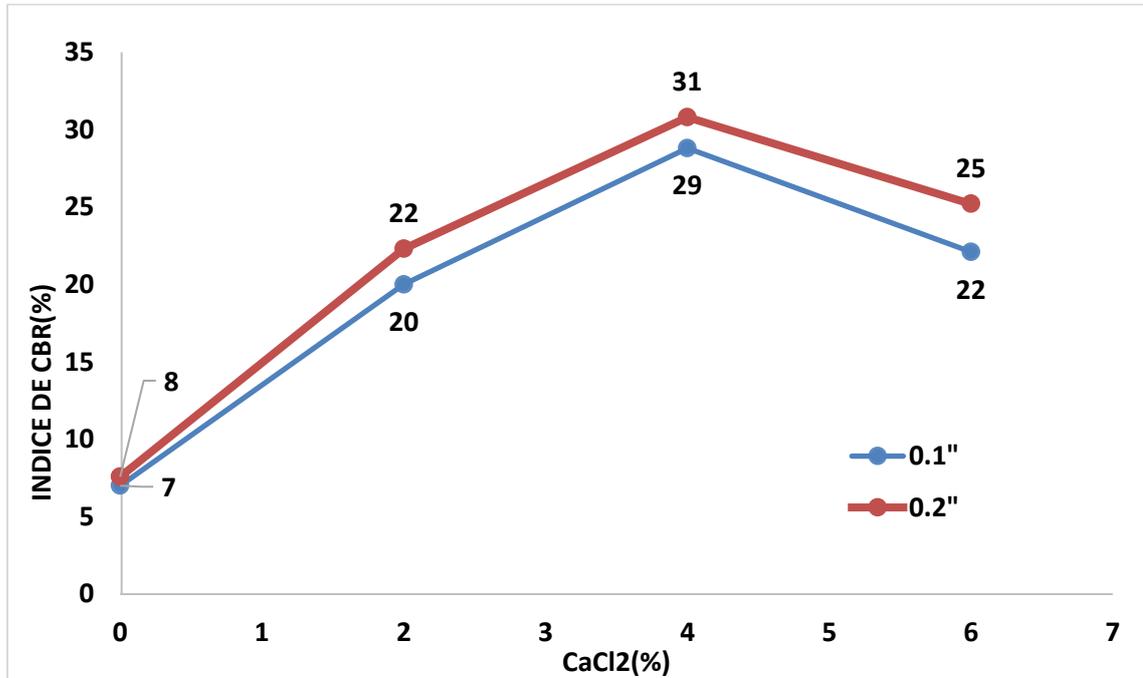
$$172.54 \ggggggggg 3.89$$

Entendemos que, con un nivel de significancia $\alpha = 5\%$ y (2,12) grados de libertad, se encuentra el valor en la tabla, siendo para este caso $F_{tablas} = 3.89$. Tenemos $F_{calc} = 172.54 > F_{tablas} = 3.89$, se rechaza la hipótesis nula, como lo podemos ver en la tabla N° 32. Por lo que sí existe suficiente evidencia estadística al nivel del 5% de que hay una diferencia significativa entre los diferentes indicadores de CBR.

3.12. Resultados Finales

Figura N° 08.

Resultados promedios de los Índice de CBR con diferentes porcentajes de cloruro de calcio.

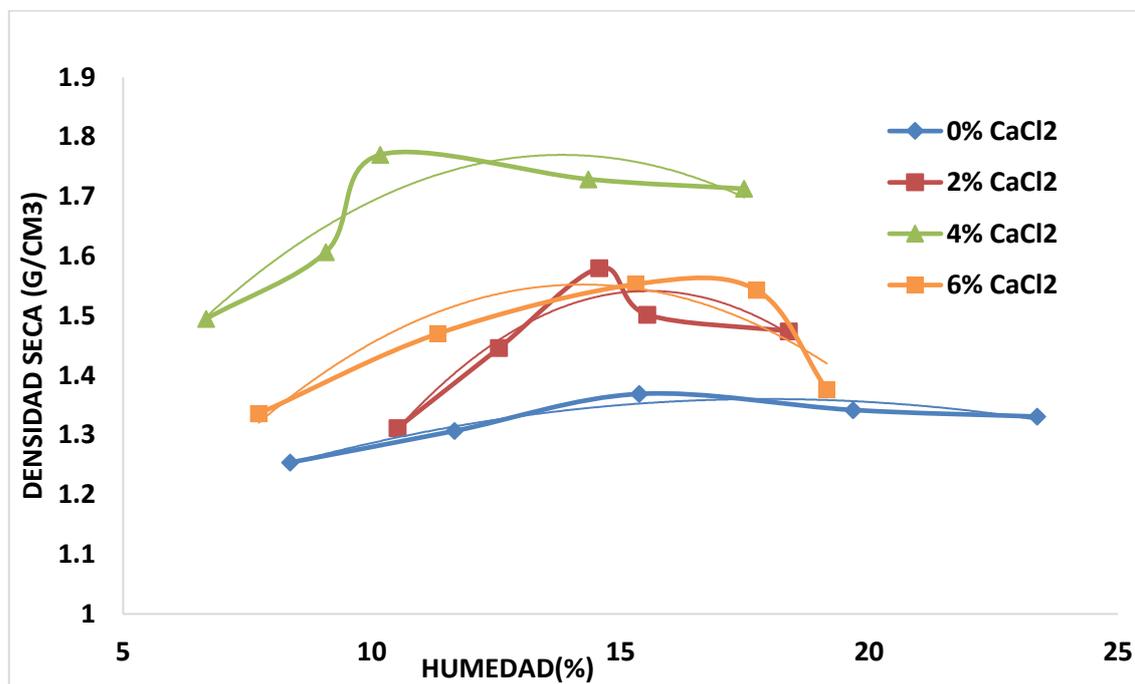


Fuente: Estudio de suelos laboratorio UNT

Figura 08, muestra los resultados de índice de CBR a 0.1” y 0.2” para suelos tratados con 2%, 4% y 6% de concentración de CaCl2 en peso de suelo, observándose el incremento del CBR, donde se obtuvo como valor inicial de 7% y 8% de CBR para 0.1” y 0.2” respectivamente para el suelo sin aditivo (muestra patrón), hasta llegar a sus valores máximos de 29% y 31% de CBR para 0.1” y 0.2” para suelos con 4% de estabilizante.

Figura N° 09.

Curvas de proctor modificado de suelo con diferentes cantidades de cloruro de calcio.



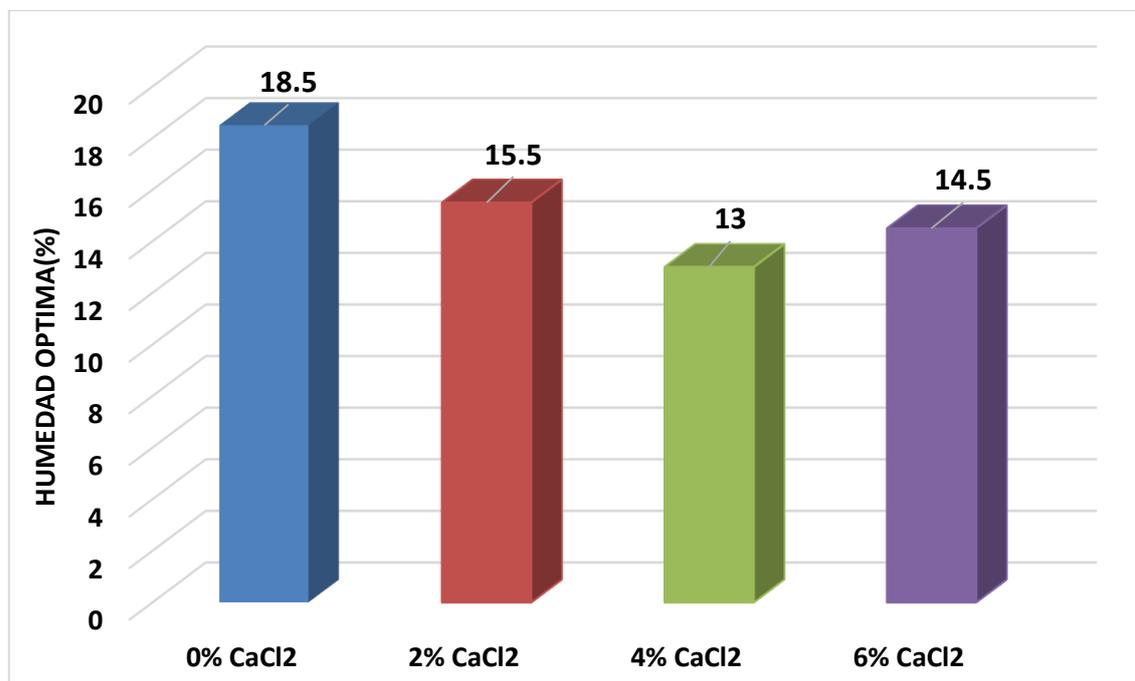
Fuente: Estudio de suelos laboratorio UNT

La figura 09, muestra el consolidado de curvas de compactación correspondientes al ensayo de proctor mediante energía modificada para suelos con distintos porcentajes de cloruro de calcio como agente estabilizante.

Observando las demás muestras y su comportamiento, como característica común tienen que absorben menor cantidad de agua, también observamos que mientras se incrementa la cantidad de CaCl₂ las curvas se inclinan hacia el lado izquierdo del gráfico, lo que indica una disminución en el porcentaje de humedad. Así mismo, si analizamos el comportamiento de la densidad seca, tenemos que la muestra con 4% de concentración de aditivo tiene una mayor densidad seca, pero la muestra con 2% y 6% de concentración de aditivo (CaCl₂) tienen menores valores.

Figura N° 10.

Resultados de las humedades optimas de suelos con diferentes cantidades de cloruro de calcio.

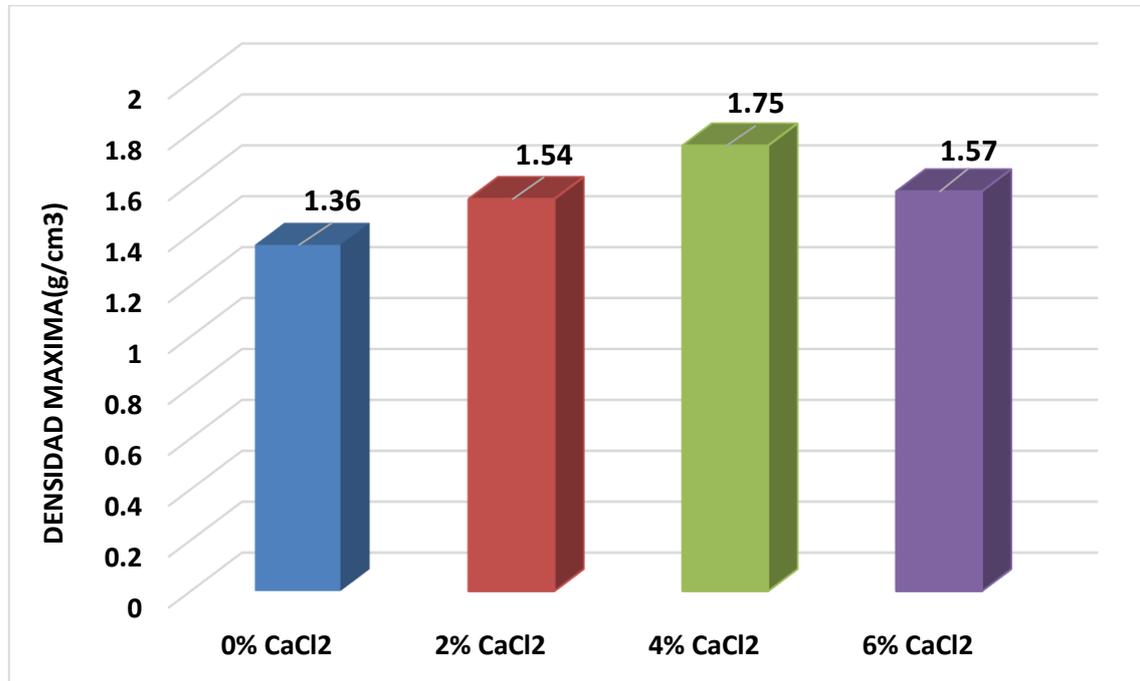


Fuente: Estudio de suelos laboratorio UNT

Figura 10, muestra el efecto que tiene el porcentaje de cloruro de calcio sobre las humedades optimas, resultantes del ensayo de proctor, se observa que el incremento de la cantidad de CaCl₂ disminuyo la humedad optima del ensayo de proctor, solamente hasta el 4% de estabilizante; dichas humedades fueron un máximo de 18.5% para el suelo natural y 13% de humedad para el suelo con 4% de cloruro cálcico, para aumentar nuevamente con 6% de aditivo, debido a la sobre saturación del suelo.

Figura N° 11.

Resultados de las densidades de máxima compactación de suelos con diferentes cantidades de cloruro de calcio.



Fuente: Estudio de suelos laboratorio UNT

En la Figura 11, se puede observar el efecto que tiene el porcentaje de cloruro de calcio sobre las densidades de máxima compactación, resultantes del ensayo de proctor, se observa que el incremento de la cantidad de CaCl₂ incrementa las densidades de máxima compactación, solamente hasta el 4% de estabilizante; pasando de 1.36 g/cm³ hasta un valor máximo de 1.75 g/cm³, para después disminuir con el 6% de cloruro cálcico.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una vez descrita y analizada nuestra investigación y los resultados obtenidos de la misma, debemos realizar las discusiones que nos sirvan para consolidar toda la información obtenida y al mismo tiempo que sirva de sendero para investigaciones futuras.

4.1. Discusión

El objetivo principal de la presente investigación era el de determinar la influencia de la adición de cloruro de calcio sobre el índice de CBR en el suelo arcilloso de la carretera al centro poblado Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, provincia de Ascope para lo cual debíamos contar con una muestra patrón y 3 distintas dosificaciones; 2%, 4% y 6% para comparar las variaciones. En (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014) en la página 97 nos muestra una guía referencial complementaria para la selección del tipo de estabilizador según el tipo de suelo además de la bibliografía encontrada en (Ponce Crispín, 2018) la tesis “Uso de cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande – Huancavelica” toma como estabilizante el cloruro de calcio. Los porcentajes de adición (2%, 4% y 6%) se eligieron tomando como referencia ambas publicaciones y en aras de ampliar el conocimiento con respecto a cómo el cloruro de calcio modifica las propiedades físicas de los suelos arcillosos.

Nuestra hipótesis menciona que la adición de cloruro de calcio va a mejorar las propiedades físicas del suelo como para ser utilizado como subrasante y/o mejorar la transitabilidad de la vía. Los resultados obtenidos respaldan lo mencionado ya que efectivamente la compactación mejora considerablemente cuando se adiciona un 4% de cloruro de calcio, esta afirmación no solo es respaldada por los cálculos de CBR sino que con el análisis de varianza (ANOVA) confirmamos que además de existir una variación positiva (aumento) con respecto al valor de CBR, esta variación también es significativa y si tomamos como referencia las conclusiones de (Ponce Crispín, 2018) en la tesis “Uso de cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande – Huancavelica” que indica “...acorde con los resultados de la investigación el uso de cloruro de calcio no influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos...”; adicional a ello menciona que en la calicata 01 si presenta un incremento considerable de 22.89% al 43.01%. Podemos decir que con índice de CBR del 22.89% la subrasante ya tenía una buena calidad, quizá es por ello que no encuentra una mejora

considerable en sus demás calicatas, los valores de CBR encontrados en mi investigación para las muestras patrón (0% de cloruro de calcio) fluctúan entre 5.8% y 8.5% de CBR, un indicador bastante pobre.

El aumento considerable de CBR de la muestra implica una mejor conformación del suelo en estudio, según (Ponce Crispín, 2018) en su estudio y como se mencionó anteriormente, que la adición de cloruro de calcio no presenta mayor incidencia en las propiedades físicas del suelo, sin embargo proporciona a las arcillas la retención de líquidos necesarios para la reducción de formación de polvo con el tránsito y evita la expansión y/o contracción de las arcillas ante la presencia de agua; esto significaría una mejora en la cohesión de las partículas en el suelo.

Los suelos estabilizados con cloruro cálcico mejoran su resistencia debido a que experimentan una densificación o encalque, debido exclusivamente al cloruro. A esta densificación se la identifica como el “curado” porque tiene lugar después de la compactación. La pérdida de humedad durante el curado favorece también la concentración de la solución de cloruro, aumentando la tensión superficial de la concentración, lo que también puede contribuir al incremento en la densidad observada por ende al incremento de del índice de CBR.

Otras de las propiedades del cloruro es que suministra iones de calcio que pueden ser intercambiados por otros iones en la superficie de las partículas de arcilla, mejorando sensiblemente la plasticidad de las arcillas montmorilloníticas y reduciendo el hinchamiento de las mismas cuando absorben agua mejorando la estabilidad de las partículas y por ende del suelo, manifestándose así en el incremento del CBR. El descenso de los valores de resistencia al aumentar la dosificación de cloruro de calcio a 6%, se debe a que cuando el suelo se sobresatura debido a la gran cantidad de agua retenida en las partículas del suelo, su densificación disminuye por tal el suelo se encuentra en un estado inestable ya que estos suelos pasan de su estado plástico a su estado líquido, en este estado el suelo no presenta gran consistencia y por ende baja resistencia o índices de CBR.

La adición ideal para llegar a máximo de la mejora del suelo será de 4% de cloruro de calcio para suelos arcillosos en la carretera a Salamanca mejorando el CBR hasta llegar a un valor de 32%, en (Briones Martínez, 2018) la tesis “Influencia del cloruro de magnesio en comparación con el cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados”

alcanza un CBR de 57.04% con una adición de 2% de cloruro de calcio. Este resultado tan alentador se puede deber a que la tesis citada se realizó en Cajamarca; adicional a ello; en (Jara Anyaypoma, 2014) la tesis “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso – 2014” menciona adicionando 4% de aditivo, se mejora un CBR del 2.55% al 11.48%; estos resultados refuerzan y consolidan lo encontrando en el presente trabajo de investigación.

A un suelo con mejor compactación, tendrá mayor densidad, como menciona en (Ponce Crispín, 2018) El aumento en densidad está originado por una modificación en el estado de floculación de las partículas arcillosas del suelo, obteniendo en suelos bien graduados (A-2-4 AASHTO) un aumento en la densidad de 2.05 (0% de aditivo) a 2.20 (1.5% de aditivo) esto produce una mayor facilidad para que las partículas gruesas cambien de posición durante el proceso de compactación. El estado de floculación o dispersión de las partículas de arcilla depende de la concentración de la sal. En el suelo las cantidades de cloruro mayores que un 1 % cambian el estado de floculación, disminuyendo la densidad máxima para el mismo esfuerzo de compactación.

Muy similar a lo que ocurre con nuestros análisis, obtenemos que la densidad aumenta de 1.36 (0% de aditivo) a 1.76 (4% de aditivo) con una adición de 4%.

4.2. Conclusiones

- Se determinó que la influencia de la adición de cloruro de calcio sobre el comportamiento de CBR de una muestra de suelo arcilloso de la carretera al centro poblado Salamanca se comporta de la siguiente manera: con una adición al 2%, 4% y 6% de CaCl_2 , obtenemos como resultado que al 4% de CaCl_2 , el índice de CBR presenta valores máximos de 29% y 31% para 0.1" y 0.2" respectivamente.
- Se caracterizó el tipo de suelo mediante la Asociación Americana Oficial de Carreteras y Transporte del Estado (AASHTO), determinando que pertenece a un suelo A-6, suelo arcilloso, con una calidad de pobre a malo.
- Se determinó los límites de Atterberg del suelo inicial llegando a obtener un límite líquido máximo de 31.2 % y un límite plástico máximo del 15.4; pertenecientes a la calicata 2; también se determinó sus propiedades físicas tales como humedad, alcanzando un promedio de 3.4%, una cantidad de materia orgánica promedio de 2.8%; de la misma manera se realizó el ensayo de proctor con el que se determinó que con el 4% de CaCl_2 , es el más óptimo, llegando a una densidad de 1.79 g/cm³ y una humedad máxima de 13.9%.
- Se determinó la relación del índice de CBR que se obtuvo entre una muestra patrón y muestras con adición de 2%, 4% y 6% de cloruro de calcio respectivamente, obteniendo que en la muestra patrón (0% adición cloruro de calcio) el CBR presentó un indicador de 8%, conforme aumenta la concentración del cloruro de calcio, obtenemos que para un 2% obtenemos un CBR de 22%; para un 4% de concentración obtenemos un CBR de 31% y finalmente para una concentración de 6% de cloruro de calcio obtenemos un CBR de 25%. Nos damos cuenta claramente que el estado óptimo de concentración para determinar una influencia favorable es del 4% de adición de Cloruro de calcio.
- Finalmente se concluye que con una adición de 4% de cloruro de calcio con respecto al peso de la muestra, se mejoran considerablemente las características físicas del suelo de la carretera a Salamanca, aumenta el índice de CBR, en un 244% y mejora

la densidad máxima seca en un 28.67% si tomamos los valores de CBR y los comparamos en la clasificación del MTC, la sub rasante de la carretera a Salamanca se convierte de una valoración “regular a baja” a una calificación de “Muy buena”. La mejora como se demuestra es considerable.

- Para fundamentar la mejora de las propiedades físicas de la sub rasante se utilizó la herramienta llamada ANOVA, que por sus siglas en inglés “Analysis Of Variance” confirman que hay una variación considerable entre los datos obtenidos para el CBR en las diferentes dosificaciones (2%, 4% y 6%).

CAPÍTULO V. REFERENCIAS

- Ascope, M. P. (2011 - 2021). *Plan de Desarrollo Concertado 2011 - 2021 Provincia de Ascope*. Trujillo: Municipalidad Provincial de Ascope.
- Bardales Villanueva, J. A. (2018). *Estudio de Suelo carretera a Salamanca*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Briones Martínez, A. (2018). *Influencia del cloruro de magnesio en comparación con el cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Cayturo, O. Z. (27 de 06 de 2015). *CivilGeeks*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2015/06/27/guia-la-estabilizacion-suelos/>
- Chacón, G. M. (2018). *Mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con cloruro de sodio*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- De la Cruz Gutierrez, L. M., & Salcedo Rojas, K. K. (2016). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para paviimentación en Palian - Huancayo - Junín*. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes.
- Díaz, J. C. (2011). *Estabilización de subrasantes y afirmados en caminos rurales empleando agua de mar en el CP. Tangay*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014). *Manual de Carreteras Suelos, geología, geotécnia y pavimientos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Gobierno Regional La Libertad. (2006). *Estudio de diagnóstico y zonificación en el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia de Ascope*. Trujillo: Gobierno Regional.
- Grevisse, M. (29 de febrero de 2016). *Tendencias*. Obtenido de <https://tendencias.com/hogar/suelos-arcillosos-caracteristicas-y-cuidados/>
- Grupo SACSA. (07 de Julio de 2015). *Características del suelo Arcilloso*. Obtenido de <http://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/>

- INDECI. (2009). *Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Guadalupe*. Guadalupe: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INEI - Publicaciones. (2016). *Metodología de análisis de datos*. Lima: INEI. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0911/cap02.pdf
- INEI. (2017). *Información departamental, provincial y distrital de población que requiere atención adicional y devengado per cápita*. Lima: Centro Nacional de Planeamiento estratégico.
- INEI. (2018). *Perú: indicadores de Empleo e Ingreso por departamento 2007 - 2017*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- J., B. W. (2015). *Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región Lambayeque*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Jara Anyaypoma, R. (2014). *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Jarrín, J. E. (2011). *Estabilización de suelos cohesivos con el uso de cloruro de calcio*. Quito: Universidad católica de Ecuador.
- Liplata. (2013). *Liplata*. Obtenido de <https://www.liplata.pe/web/servicios/estabilizacion-quimica>
- MEF. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Lima - Lince: Servicios gráficos JMD s.r.l.
- Ministerios de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG*. Lima: MTC.
- Montes, C. A. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de Magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

- Montes, F. (2004). *Análisis de Varianza ANOVA*. Valencia: Departamento de Estadística Universidad de Valencia.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras suelos, geología, geotécnica y pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Municipalidad de Magdalena de Cao. (2015). *Mejoramiento y ampliación de agua potable y alcantarillado en el cp. Salamanca, distrito de Magdalena de Cao, Ascope - La Libertad*. Trujillo: Gobierno de Perú.
- Paz, J. R. (2010). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Ponce Crispín, D. K. (2018). *Uso de cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande – Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Quevedo Haro, E. C. (2013). *Granulometría de agregados (Grueso y Fino)*. Chimbote: Universidad Nacional Del Santa.
- Quintana, L. P. (2014). *Estudio de la resistencia de la Sub base usando experimentos factoriales basado en el contenido de humedad, energía de compactación y la hidratación*. Huancayo: Universidad Nacional del centro del País.
- Quispe, B. M. (2014). *Gravedad Específica de Sólidos*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rojas Foinquinos, J. J., & Alva Hurtado, J. E. (2005). *Arcillas y lutitas expansivas en el norte y nororiente peruano*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rojas, D. N. (2011). *Elección y Dosificación del Conglomerante en Estabilización de Suelos*. Sonora: Instituto Tecnológico de Sonora.
- Saldaña, Y. E. (2016). *INfluencia de la adición de cloruro de sodio en el índice california Bearing ratio (CBR) de un suelo arcilloso, Cajamarca*. 2016: Universidad Privada del Norte.

Ugaz Palomino, R. M. (2006). *Estabilización de Suelo y su aplicación en el mejoramiento de Subrasante*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Universidad Nacional Autónoma de México. (1014). *Análisis de la varianza ANOVA*. Probabilidad y Estadística. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/Laboratoriovirtualdeestadistica/CARPETA%203%20INFERENCIA_ESTADISTICA/DOC_%20INFERENCIA/TEMA%204/11%20ANALISIS%20DE%20VARIANZA.pdf

Yucra Callata, A., & Camala Jilapa, E. I. (2017). *Análisis del uso de aditivos PermaZyme y cloruro cálcico en la estabilización de la base de la carretera no pavimentada (desvío Huancané - Chupa) - Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

ANEXOS