



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“MEJORAMIENTO DEL CBR DE UN SUELO ARCILLOSO CON CLORURO DE SODIO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Greisi Meliza Díaz Chacón

Asesor:

Ing. Gabriel Cachi Cerna

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Greisi Meliza Díaz Chacón**, denominada:

“MEJORAMIENTO DEL CBR DE UN SUELO ARCILLOSO CON CLORURO DE SODIO”

Ing. Gabriel Cachi Cerna
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Irene Ravines Azañero
JURADO

Ing. Ivan Mejía Díaz
JURADO

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a Él he logrado concluir con mi carrera, a mis padres y hermanos, porque ellos siempre estuvieron sacrificándose día tras día para brindarme su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis tíos por sus palabras y su compañía, a mi abuelita Cristina aunque no esté físicamente con nosotros, desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien, a mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera ha contribuido para el logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mis papás ya que ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mí las bases de responsabilidad y deseo de superación, en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y sus grandes corazones me llevan a admirarles cada día más, agradecer también a mis padres y hermanos por el apoyo moral y económico para poder seguir con mis estudios.

Gracias Dios por concederme los mejores padres, gracias por estar conmigo en cada paso de mi vida.

Agradecer también a mi asesora de mi tesis la Ingeniera Rosa Llique Mondragón, por su apoyo en la elaboración de la presente tesis.

De igual manera agradezco al Ingeniero Orlando Aguilar Aliaga, por los conocimientos brindados durante todo el periodo de la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación.....	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	13
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. <i>Suelos</i>	16
2.2.2. <i>Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)</i>	16
2.2.3 <i>Generalidades de las estabilizaciones</i>	20
2.2.4 <i>Cloruro de sodio (Nacl)</i>	21
2.2.5 <i>Ensayos de Laboratorio</i>	24
2.3. Marco Normativo / Legal	29
Fuente: Elaboración propia, 2017.	29
2.4. Definición de términos básicos	30
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	31
3.1. Hipótesis	31
3.2. Formulación de la hipótesis	31
3.3. Operacionalización de variables	31
Tabla N°. 06 Matriz de consistencia.....	31
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
4.1. Diseño de investigación	33
4.2. Unidad de estudio	33
4.3. Población	33
4.4. Muestra (muestreo o selección).....	33
4.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	34
CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....	35
5.1. Procedimiento General.	35

5.2.	Extracción de la muestra.....	35
5.3.	Ensayo de contenido de humedad	36
5.4.	Ensayo de análisis granulométrico	37
5.5.	Método de incorporación de NaCl en el suelo	39
5.6.	Ensayo de límites de Atterberg	40
	a) <i>Límite líquido.</i>	40
5.7.	Ensayo de peso específico material fino	42
5.8.	Clasificación SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos)	43
5.9.	Ensayo de compactación proctor modificado	43
5.10.	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	46
	CAPÍTULO 6. RESULTADOS	48
6.1.	Resultados obtenidos en laboratorio.	48
6.2.	Contenido de humedad de la muestra.....	48
6.3.	Análisis granulométrico.	49
6.4.	Ensayo de límites de Atterberg.....	49
6.5.	Peso específico.....	49
6.6.	Clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos)	50
6.7.	Ensayo de proctor modificado.	50
6.8.	Ensayo CBR (California Bearing Ratio)	50
	CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
7.1.	LÍMITES DE ATTERBERG.	51
7.2.	PESO ESPECÍFICO.	52
7.3.	PROCTOR MODIFICADO.	53
	7.3.1. <i>DENSIDAD SECA.</i>	53
	7.3.2. <i>ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD.</i>	53
7.4.	CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	54
	CONCLUSIONES.	56
	RECOMENDACIONES.	57
	REFERENCIAS.....	58
	PANEL FOTOGRÁFICO.....	60
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido

Tabla N° 01. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	20
Tabla N° 02. Características típicas del cloruro de sodio (NaCl).....	23
Tabla N° 03: Características de suelos según Índices de plasticidad.....	27
Tabla N° 04 Especificaciones Técnicas.....	29
Tabla N° 05 Marco Normativo.....	30
Tabla N°. 06 Matriz de consistencia.....	32
Tabla N°. 07 Operacionalización de variables.....	33
Tabla N°. 08 Población de muestras de aplicación en la tesis.....	35
Tabla N°. 09 Ensayos de aplicación en la tesis.....	35
Tabla N° 10: Resultados de ensayo contenido de humedad.....	40
Tabla N° 11: Resultados de ensayo análisis granulométrico por lavado.....	50
Tabla N° 12: Resultados de ensayo límites de Atterberg.....	50
Tabla N° 13: Resultados de ensayo peso específico.....	50
Tabla N° 14: Resultados de ensayo Proctor modificado.....	51
Tabla N° 15: Resultados de ensayo CBR.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Contenido

Gráfico N° 01: Comparación de resultados límite líquido.....	52
Gráfico N° 02: Comparación de resultados límite plástico.....	52
Gráfico N° 03: Comparación de resultados de índices de plasticidad.....	53
Gráfico N° 04: Comparación de resultados de peso específico.....	53
Gráfico N° 05: Comparación de resultados de densidad seca.....	54
Gráfico N° 06: Comparación de resultados de Óptimo contenido de humedad.....	55
Gráfico N° 07: Comparación de resultados de CBR a 0.1”.....	56
Gráfico N° 08: Comparación de resultados de CBR a 0.2”.....	56

RESUMEN

El objetivo principal que se presenta en la investigación es determinar el mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con cloruro de sodio. Para el desarrollo de la presente investigación la muestra fue extraída de un banco de arcilla ubicado en el centro poblado Santa Bárbara distrito de Baños del Inca provincia de Cajamarca región Cajamarca, seguidamente éste suelo fue analizado y ensayado en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte de Cajamarca. Para determinar el mejoramiento del suelo arcilloso adicionado cloruro de sodio se realizaron los siguientes ensayos: contenido de humedad, granulometría, peso específico, Límites de Atterberg, Proctor Modificado y california bearing ratio (CBR), estos ensayos fueron aplicados para la muestra patrón como también para la adición de los porcentajes (14%, 16% y 18%) de cloruro de sodio. Al culminar la tesis se alcanzó determinar el mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con cloruro de sodio, así afirmando la hipótesis planteada ya que el CBR de un suelo arcilloso mejora hasta un 20% al adicionar porcentajes entre 14% y 18% de cloruro de sodio. En termino generales el índice CBR para 0.1" varía 44.44% de la muestra patrón, para 0.2" el CBR varía 29.90% de la muestra patrón. Especificando que existe un mejoramiento del CBR obteniéndose los siguientes resultados: para un CBR al 0.1": en la muestra patrón un CBR de 4.05%, en porcentaje de 14% de NaCl un CBR de 5.02%, adicionado 16% de NaCl un CBR de 4.45% e incrementando 18% de NaCl se obtiene un CBR de 5.85%. Para un CBR al 0.2" los resultados obtenidos es que en la muestra patrón se obtiene un CBR de 4.85%, adicionado 14% de NaCl se obtiene un CBR de 5.82%, en porcentaje de 16% de NaCl se obtiene un CBR de 6.1%, e incrementando 18% de NaCl se obtiene un CBR de 6.30%.

ABSTRACT

The main objective presented in the investigation is to determine the improvement of the CBR of a clayey soil with sodium chloride.

For the development of the present investigation, the sample was extracted from a clay bank located in the center of Santa Bárbara district of Baños del Inca, Cajamarca province, Cajamarca region, then this soil was analyzed and tested in the laboratory of the Universidad Privada del Norte of Cajamarca.

To determine the improvement of the clay soil added sodium chloride the following tests were carried out: moisture content, granulometry, specific gravity, Atterberg Limits, Modified Proctor and California bearing radius (CBR), these tests were applied for the standard sample as well as for the addition of the percentages (14%, 16% and 18%) of sodium chloride.

At the end of the thesis it was possible to determine the improvement of the CBR of a clayey soil with sodium chloride, thus affirming the proposed hypothesis since the CBR of a clayey soil improves up to 20% when adding percentages between 14% and 18% of chloride sodium. In general terms, the CBR index for 0.1 "varies 44.44% of the standard sample, for 0.2" the CBR varies 29.90% of the standard sample. Specifying that there is an improvement of the CBR obtaining the following results: for a CBR to 0.1 ": in the standard sample a CBR of 4.05%, in percentage of 14% of NaCl a CBR of 5.02%, added 16% of NaCl a CBR of 4.45% and increasing 18% of NaCl a CBR of 5.85% is obtained. For a CBR to 0.2 "the obtained results is that in the standard sample a CBR of 4.85% is obtained, added 14% of NaCl a CBR of 5.82% is obtained, in a percentage of 16% of NaCl a CBR of 6.1% is obtained , and increasing 18% of NaCl, a CBR of 6.30% is obtained.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil. En los terrenos arcillosos, particularmente en climas áridos o semiáridos, es altamente probable encontrar problemas relacionados con inestabilidades volumétricas ante la ganancia o pérdida de agua. Existen en la práctica diversos métodos para estabilizar a tales suelos; cada método, utiliza diferentes agentes estabilizadores (Anguas, 2002).

El tratamiento adecuado de suelos para intensificar sus propiedades físicas y mecánicas es de suma importancia. Ya que, en algunas regiones del país existen suelos que no son aptos para construir sobre ellos, es por eso que es necesario recurrir a la estabilización de suelos con algunos métodos que representan un costo adicional. El cloruro de sodio (NaCl) funciona como un retardante de pérdida de humedad, proporciona una manera confiable, fácil de encontrar y económica de estabilizar los suelos utilizados en bases y sub-bases, puede ser usado en varias cantidades (Roldán, 2010).

En la Ciudad de Cajamarca existen peligros ante fenómenos geológicos en el cual ha identificado cuatro niveles de peligro considerando en la zona de muy alto peligro a los suelos, compuestos principalmente por arcillas plásticas y arcillas limosas, con contenidos de humedad relativamente altos, debido a la presencia de nivel freático alto. Presenta en su mayoría suelos expansivos en grandes proporciones. Debido a las características del suelo presenta alta intensidad sísmica (INDECI, 2005)

Las estructuras de pavimento están constituidas por múltiples capas horizontales de diferentes propiedades mecánicas, iniciando por la carpeta de rodadura, seguida por capas granulares y finalizando en el terreno natural. Una de las funciones de estas capas, son las de absorber los esfuerzos producidos por el flujo vehicular y

transmitirlos al terreno natural, para lo cual las condiciones de compactación y material que las constituyen deben cumplir unos requerimientos, que en oportunidades no se cumplen en estado natural y es necesario adicionar algún elemento industrial o tener un proceso constructivo diferente para satisfacer los requerimientos mínimos estipulados por la normatividad (Reyes, 2006).

Por lo tanto, la presente investigación se utilizará el cloruro de sodio para evaluar como mejora la resistencia del suelo, ya que para pavimentos exclusivamente, se requiere el CBR para el mejoramiento de la subrasante, así se evita el sobre costo del mejoramiento por otro método (corte de excavación y over).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el porcentaje de mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con adición de cloruro de sodio en porcentajes de 14%, 16% y 18%?

1.3. Justificación

Justificación teórica: La información con la que se cuenta, acerca de la utilización de Cloruro de Sodio para el aumento del CBR en suelos arcilloso en la provincia de Cajamarca es limitada, ya que, se necesita saber si hay un límite en la utilización de este producto con relación a los suelos arcillosos, esta investigación tiene como propósito el aporte de nueva información a la ya existente.

Justificación aplicativa o práctica: Cajamarca es una región con múltiples tipos de suelo donde el más representativo es el suelo arcilloso el cual no cumple con los estándares normativo y constructivos para ser utilizado en la construcción, es por ello que se busca la manera de mejorar este tipo de suelo donde se ejecuten obras que necesiten un elevado valor de CBR, es de allí que la presente investigación busca determinar que porcentaje de cloruro de sodio es adecuado en el aumento del CBR del suelo antes mencionado.

Justificación valorativa: es de suma importancia poder contar con productos que aporten a la mejora del CBR del suelo y mejor aún si esos productos son fáciles de obtener como es el cloruro de sodio (sal de mesa), es así que en la presente

investigación se muestra una alternativa para mejora del suelo arcilloso, utilizando porcentajes mayores al 12% del producto antes mencionado el cual se puede aplicar de manera práctica ya que es un producto conocido.

Justificación académica. La información adquirida a lo largo de la vida universitaria no es la suficiente para afrontar problemas existentes y por existir en el desarrollo de nuestra vida profesional, esta investigación nos muestra nuevas alternativas en lo referente a estabilización de suelos lo cual incrementa nuestros conocimientos referentes a este tema.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✓ Determinar el porcentaje de mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con adición de cloruro de sodio en porcentajes de 14%, 16% y 18%.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Clasificar el suelo mediante el sistema SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos).
- ✓ Hallar el contenido de humedad de la muestra patrón.
- ✓ Determinar los Límites de Atterberg y los pesos específicos del suelo tanto para la muestra patrón como para la muestra añadiendo los porcentajes de cloruro de sodio (14%, 16% y 18%).
- ✓ Determinar los parámetros de compactación del suelo tanto para la muestra patrón como para la muestra añadiendo los porcentajes de cloruro de sodio (14%, 16% y 18%).
- ✓ Determinar el CBR del suelo arcilloso para la muestra patrón y para la muestra añadiendo porcentajes de cloruro de sodio (14%, 16% y 18%).

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A nivel Internacional

Según Roldan, 2010, formuló una dosificación de suelo-cloruro de sodio, para estabilizar suelos utilizados en bases y sub-bases, con dos tipos de arena (color beige y caliza) y establecer la diferencia de pérdida de humedad en suelos estabilizados con cloruro de sodio y suelos sin estabilizar. En dicha investigación se evaluó el comportamiento físico y mecánico de suelos empleados en bases y sub-bases, esta evaluación se realizó midiendo la capacidad de soporte con los ensayos de resistencia a la compresión no confinada, compresión triaxial consolidado y módulo de resiliencia. De esta investigación se obtuvo como resultado que, 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 mayores al 2% en condiciones críticas. Se concluye que 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.

Gárnica (2002) en uno de sus artículos titulados “Estabilización De Suelos Con Cloruro De Sodio Para Uso En Las Vías Terrestres” realizaron el estudio experimental con los suelos arcillosos, potencialmente expansivos, con la finalidad de evaluar su estabilización con cloruro de sodio (NaCl) en terracerías. Trabajó con dos tipos de suelo en donde aplicó los ensayos de acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica Mexicana acerca del estudio de suelos, determinó la influencia de la sal en las propiedades físicas y mecánicas, variando los porcentajes de la sal adicionada al suelo. En dicha investigación se concluyó que el cloruro de sodio generó modificaciones, tanto en las propiedades índice como en las mecánicas, en los materiales estudiados, respecto a la plasticidad de los materiales ensayados, se observa que éstos presentan en estado natural valores muy similares, los suelos en estado natural se clasifican como arcillas de alta compresibilidad (CH); conforme se incrementa el contenido de sal y se clasifica en el grupo CL. Se demostró que el periodo de reposo, entre la adición de sal y el ensaye, no afecta a los valores de plasticidad de los suelos analizados.

A nivel nacionales.

Según Roxana Ugaz, 2001, manifestó en sus ensayos de estabilización de suelos con el RBI-8 que la utilización del aditivo ensayado determinó un incremento considerable de la capacidad de soporte en una amplia gama de suelos (Gravas, Arenas, Arcillas y Limos) brindándonos una solución al problema de la subrasante que se presenta al momento de la construcción de una carretera, donde muchas veces se emplea una estabilización mecánica para aumentar el valor del CBR.

Según Gutiérrez, 2010, determinó el aumento de la densidad seca del suelo al proporcionar cloruro de sodio en 3%, 4% y 5% además se propuso demostrar que el cloruro de magnesio en porcentajes de 32% y 42% es la opción que ofrece mayores ventajas técnicas, económicas y ambientales frente al cloruro de calcio y consecuentemente frente a los demás aditivos (sales) con los cuales suele compararse. Aplicó los ensayos correspondientes a mecánica de suelos como contenido de humedad, plasticidad, proctor y CBR lo cual le sirvió para poder desarrollar sus objetivos propuestos. Los resultados obtenidos se demostraron que existe aumento de la máxima densidad seca conforme se le iba aumentando el porcentaje de aditivo (3%, 4% y 5%) además frente a lo económica y ambientalmente que el Cloruro de Magnesio Hexahidratado tiene grandes desventajas frente al Cloruro de Calcio. No se pudo comprobar el aumento del CBR en el ensayo de Laboratorio puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al Cloruro de Magnesio.

A nivel Local.

Según Palomino, 2016, en su tesis Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice california bearing ratio (CBR) de un suelo arcilloso, evalúa la influencia de cloruro de sodio en 4%, 8% y 12% en el CBR de un suelo arcilloso, en el cual concluye que al adicionar el cloruro de sodio a un suelo arcilloso en porcentajes de 4%, 8% y 12% incrementa el valor del CBR hasta un 10% en comparación a la muestra patrón. Puesto que el índice CBR para 0.1" varía un 3.29% de la muestra patrón, mientras que para 0.2" el índice CBR varía 9.69% de la muestra patrón.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelos

Según NTP: 339.134, el suelo es la colección de cuerpos naturales formados por sólidos (minerales y orgánicos), líquidos y gaseosos, sobre la superficie de los terrenos. Presenta ya sea horizontes o capas, que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones y transformaciones de energía y materia, o por habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.

El suelo está formado por tres fases: líquida, sólida y gaseosa. En la mayor parte de los suelos, la fase sólida la forman partículas minerales que constituyen el esqueleto estructural en el que está absorbidos el humus o las partículas orgánicas. Entre las partículas de la fase sólida existen espacios porosos los cuales son llenados con la fase líquida y gaseosa, juntamente (Cruz, 2009).

Textura del suelo. Es la proporción relativa por tamaños de partículas de arena, limo y arcilla. Las cuales al combatirse generan las clases texturales.

Para poder definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide se consideran tres grupos de parámetros, que son:

- a. Los parámetros de identificación: La granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado en función del contenido en agua).
- b. Los parámetros de estado: La humedad (contenido en agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes.
- c. Los parámetros estrictamente geo mecánicos: La resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad.

2.2.2. Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Según AASTHO, El sistema de clasificación SUCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Éste sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad, que fue obtenida por medio de investigaciones realizadas en laboratorio por A. Casagrande (1932).

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos:

- ✓ Suelo de grano grueso.
- ✓ Suelo de grano fino.

a) Clasificación para suelos Gruesos.

Según NTP 339.134, 1999 en los suelos gruesos se tiene las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las gravas (G) si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N° 4, y pertenece al grupo de las arenas (S) en caso contrario (Crespo, 2004)

Los primeros tienen más del 50% de granos mayores que el tamiz N° 200 (0.075 mm). Se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz N° 4 (4.75 mm), y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz N° 4 (4.75 mm). A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la gradación: W, buena gradación con poco o ningún fino; P, gradación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

b) Clasificación para suelos Finos.

Según NTP 339.134, 1999 el sistema unificado los considera en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido menos al 50%, en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido mayor de 50% y en un grupo para los suelos finos altamente orgánicos.

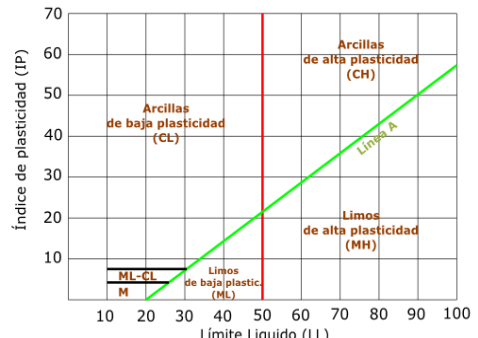
Los suelos finos, con más del 50% bajo el tamiz N° 200 (0.075 mm), se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50% y H, si es mayor (Crespo, 2004)

- **Arcilla.** Es un suelo que pasa la malla estándar N° 200 y puede exhibir plasticidad (propiedades plásticas) dentro de un cierto rango de contenido de humedad y que tiene una considerable resistencia cuando está seco. Con propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción

de grano fino de un suelo, con un índice plástico igual o mayor que 7, y su ubicación dentro de un gráfico de índice plástico versus límite líquido cae en o sobre la línea "A".

- **Limo.** Suelo que pasa la malla estándar N° 200, que es no plástico o muy poco plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca el aire. Con propósitos de clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice plástico menor de 4 o que su ubicación en el gráfico índice plástico versus límite líquido cae por debajo la línea "A".
- **Arcilla orgánica.** Una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que podría ser clasificado como una arcilla, excepto que el valor líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.
- **Limo orgánico.** Un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, un limo orgánico es un suelo que podría ser clasificado como un limo, excepto que el valor de su límite líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.
- **Turba.** Un suelo compuesto de tejido vegetal en varios estados de descomposición, usualmente con un olor orgánico, un color oscuro a negro, una consistencia esponjosa y una textura que va desde la fibrosa a amorfa.

Tabla N° 01. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% ->GW,GP,SW,SP. >12% ->GM,GC,SM,SC. 5 al 12% ->casos límite que requieren usar doble símbolo. Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	G= Grava, S=Arena, O=Suelo Organico, P=Turba M=Limo, C= Arcilla, W= Bien Graduada, P=Mal Graduada, L=Baja Comprensibilidad, H=Alta Comprensibilidad CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S) 	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		
Suelos muy orgánicos						

Fuente: NTP 339.134,1999

2.2.3 Generalidades de las estabilizaciones

Se denomina estabilización al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima, rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que ellos se espera (Crespo, 2004)

La finalidad de la estabilización de suelos es la de mejorar el nivel del servicio de la superficie de rodadura y aumentar la vida útil de las carreteras no pavimentadas, disminuir el asentamiento de estructuras, aumentar la resistencia del suelo y facilitar el trabajo de construcción que sufren un deterioro progresivo por la intervención de agentes climáticos como las lluvias o por la falta de mantenimiento, provocando la formación de baches, encalaminado, erosión o desprendimiento de partículas, emisión de polvo. La estabilización posibilita que dichas capas de rodadura estén aptas para el tránsito en cualquier época del año mitigando los problemas de deterioro y aumentando el tiempo entre mantenimiento y mantenimiento, como también reducir los asentamientos en las estructuras y disminuye los daños causados durante el congelamiento y descongelamiento progresivo de suelos (Rafael, 2001).

2.2.3.1 Método de estabilización de suelos.

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

Estabilización química,

Estabilización física,

Estabilización mecánica.

Estabilización electroquímica.

Estabilización Química.

El MTC E 1109 – 2004, indica que la estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.

La estabilización química se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas, tales como: cal, cementos Portland, productos asfálticos, cloruro de calcio, cloruro de sodio, cenizas volantes, entre otros.

2.2.4 Cloruro de sodio (NaCl)

Es un compuesto químico de fórmula NaCl. Las sales se caracterizan por sus enlaces iónicos, lo cual da lugar a puntos de fusión relativamente altos, conductividad eléctrica en disolución o fundidas y estructura cristalina en estado sólido.

El cloruro de sodio está formado por cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales tienen la propiedad de atraer y mantener el agua líquida o en vapor, y se pueden obtener en el mercado tamaños grandes de cristales o polvo fino y de diferente tamaño de pureza, esta característica hace que el cloruro de sodio pueda servir como enlace entre las partículas (Gárnica, 2002).

El cloruro de sodio (NaCl) se obtiene por tres métodos diferentes, el primero mediante la utilización de los rayos solares, que consiste en colocar agua salada (agua de mar) en lugares donde la energía del sol evapora el agua y el resultado son residuos de sal. El segundo método consiste en la extracción de minas de sal que existen en el país y el tercero mediante la utilización de hornos industrializados que evaporan el agua del océano y recopilan los residuos que son convertidos en sal (Reyes, 2004)

2.2.4.1 Estabilización con cloruro de sodio (NaCl)

La estabilización con cloruro de sodio mejora algunas propiedades de los suelos a utilizar en bases y sub-bases. De igual forma que otros métodos de estabilización, el cloruro de sodio necesita de un método adecuado para mezclarse con el suelo a estabilizar, con el fin de reducir riesgos en la salud de los trabajadores in situ, y obtener una mezcla de suelo-cloruro de sodio que produzca mejores resultados (Roldán, 2010).

El NaCl (Cloruro de Sodio), sal común o sal de mesa, denominada en su forma mineral como halita, es un compuesto químico con la fórmula NaCl. se ha utilizado en diferentes investigaciones para determinar su incidencia en las propiedades mecánicas de bases granulares, especialmente para evitar el efecto de la evaporación del agua y reducir la temperatura de congelamiento, teniéndose resultados satisfactorios debido a que controla los cambios de humedad en las capas granulares, generado incrementos en la resistencia o haciéndolos constantes (Garnica, 2002).

Igual que en la mayoría de las estabilizaciones, el cloruro de sodio puede aplicarse directamente al suelo a tratar y encontrar una relación en porcentaje que permita estabilizar adecuadamente el suelo.

Las formas de aplicación del cloruro de sodio son:

- ✓ En grano.
- ✓ En salmuera.

a) En grano.

Esta forma de emplear consiste en aplicar un porcentaje de cloruro de sodio directamente al suelo, que homogenice de forma uniforme.

Este método no es 100% eficiente, ya que al mezclar el suelo con el químico quedan porciones de suelo, en el cual tiene un menor porcentaje de NaCl con respecto a otros. Sin el ensayo en laboratorio es fácil la homogenización con métodos prácticos, haciendo que la mezcla suelo cloruro de sodio sea la correcta, de esta

manera el cloruro de sodio estará presente en toda la muestra de suelo (Roldán, 2010).

Imagen n° 01. Mezcla del químico al suelo en grano.



Fuente: Adaptado de Roldán, 2017.

b) En salmuera.

Según Roldán, 2010, Una de las principales propiedades del cloruro de sodio es que puede disolverse en agua fácilmente, es una ventaja para aplicar satisfactoriamente el porcentaje adecuado al suelo. Al diluir el cloruro de sodio en agua es más fácil aplicarlo al suelo y homogeneizarlo.

La salmuera llena los espacios entre las partículas de suelo y establece un método eficiente al mismo tiempo que se agrega la humedad óptima al suelo. Sin embargo, al crear salmuera se corre el riesgo de afectar la maquinaria empleada para su realización, ya que la sal es un agente oxidante.

Imagen n° 02: Aplicación del químico al suelo en salmuera.



Fuente: Adaptado de Roldán, 2017.

2.2.5 Ensayos de Laboratorio

2.2.5.1 Contenido de Humedad.

De acuerdo a MTC E 108(ASTM D 2216), el contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Este modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}^*$. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

El contenido de humedad se calcula usando el peso de agua y el peso del espécimen seco, se expresa en porcentaje con la fórmula siguiente:

$$(W\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \dots (Ec. 1)$$

Dónde:

- W%, es el contenido de agua.
- W_w , es el peso de agua que contiene la muestra.
- W_s , es el peso del suelo seco.

2.2.5.2 Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado

De acuerdo a NTP 339.128 (ASTM D 422), los ensayos de granulometría tienen por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo, definidos por las aberturas de las mallas utilizadas, Al finalizar este ensayo obtenido el peso retenido en los tamices se procede a calcular el porcentaje por cada tamiz, como se indica en la siguiente fórmula:

$$\%Retenido = \frac{W_{tamiz}}{W_1} \times 100 \dots (Ec. 2)$$

En donde:

W tamiz: Peso retenido en cada tamiz

W1 : Peso de la muestra secada al horno

2.2.5.3 Límites de Atterberg

Según NTP 339.129 (ASTM D 4318), éste método consiste en definir los límites correspondientes a los tres estados que presenta el suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites son: el límite de liquidez (LL), el límite de plasticidad (LP) y el límite de retracción (LR). Para respetar las notaciones internacionales más empleadas, LL, LP y LR pueden ser llamados WL, WP y WS.

Para hallar estos límites se realizan en agregados finos que pasan por un tamiz de malla cuadrada de 0.42 mm (tamiz n° 40) según la norma, Pero para apreciar todas las características de este, había que tener en cuenta la proporción de elementos gruesos y finos que contiene.

El Límite Líquido se determina sabiendo que el suelo remoldeado tiene una pequeña resistencia al corte de tal modo que la muestra de suelo remoldeado necesita de 25 golpes para cerrar en ½ pulgada dos secciones de una pasta de suelo.

El Límite Plástico Es el contenido de humedad para el cual el suelo se fractura al ser amasado en bastoncitos de diámetro 1/8" (3mm) cuando se amasa una pequeña porción de suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa.

El Límite de Retracción Es la humedad que se obtiene en la pérdida de coherencia por falta de agua al momento en que el suelo se fisura. Se le define como la humedad justa y suficiente para llenar los poros del suelo cuando este alcanza su volumen mínimo, es una medida cada vez menos utilizada y que tiene a desaparecer.

Índice de plasticidad.- Es una característica muy interesante en los límites de Atterberg, su nomenclatura es IP, se define como la diferencia LL y LP. (Sanz, 1995)

$$IP = LL - LP \dots (Ec. 3)$$

En dónde.

IP: índice de plasticidad

LL: límite líquido

LP: límite Plástico.

El índice de plasticidad permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso, como se muestra la clasificación en la siguiente tabla:

Tabla N° 03: Características de suelos según Índices de plasticidad

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
IP > 20	Suelos muy arcilloso
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos pocos arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcillas

Fuente: Sanz, 1995.

2.2.5.4 Ensayo de peso específico material fino

De acuerdo a NTP 339.131 (ASTM D 854), Llamado también peso específico relativo de una sustancia dada, es su peso unitario dividido por el peso unitario

del agua cuando se destila a una temperatura de 4 °C. Este valor se usa para la predicción del peso unitario de un suelo, para realizar el análisis de hidrómetro y para el cálculo de la relación de vacíos de un suelo. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fws}} \dots (Ec. 4)$$

En dónde:

W_s : Es el peso de la muestra seca

W_{fw} : Peso de la Fiola más el agua

W_{fws} : Peso de la Fiola, suelo y agua.

2.2.5.5 Ensayo de compactación proctor modificado.

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación).

Proctor Modificado se determinan la relación de densidad y humedad de un suelo en particular, aplicando un esfuerzo a través de una energía específica de compactación mediante la caída de un pisón cilíndrico de una altura de 12" y 18", dentro de un molde cilindro de 4" y 6" de diámetro.

$$D_s = \frac{D_h}{1 + \frac{W\%}{100}} \dots (Ec. 5)$$

En dónde:

D_s : Densidad seca.

D_h : Densidad húmeda.

$W\%$: Contenido de humedad.

Tabla N° 04 Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	PROCTOR MODIFICADO		
1	MÉTODO		A	B	C
2	Condiciones para la selección 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%
3	Tipo de material utilizado		Pasante malla N°4	Pasante malla 3/8"	Pasante malla 3/4"
4	N° de capas	N	5	5	5
5	N° de golpes	N	25	25	56
6	Diámetro de molde	Cm	10.16± 0.04	10.16± 0.04	15.24± 0.07
7	Altura del molde	Cm	11.64± 0.05	11.64± 0.05	11.64± 0.05
8	Volumen del molde	cm ³	944± 0.15	944± 0.15	2124± 0.25
9	Peso del martillo	Kg	4.54± 0.01	4.54± 0.01	4.54± 0.01
10	Altura caída del martillo	Cm	45.72± 0.16	45.72± 0.16	45.72± 0.16
11	Diámetro del martillo	Cm	5.08± 0.025	5.08± 0.025	5.08± 0.025
12	Energía de compactación	Kg/cm	27.485	27.485	27.485

Fuente: MTC 115 / ASTM D 1557, 2004.

2.2.5.6 California Bearing Ratio (CBR)

De acuerdo a NTP 339.175 (ASTM D 1883), la finalidad del presente ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California, como una forma de clasificación y evaluación de la

capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras.

El ensayo de CBR es el más empleado para el diseño de pavimentos, y mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

$$C.B.R = 100 * \frac{Carga\ Unitaria\ del\ Ensayo}{Carga\ Unitaria\ Patrón}$$

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento.

El hecho de sumergir la muestra se debe a que si podemos prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo y de haberlo sugerido, lo penetramos con un pistón el cual va conectado a un pequeño "plotter" que nos genera una gráfica donde se nos representa la carga respecto a profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro muestra.

2.3. Marco Normativo / Legal

Tabla N° 05 Marco Normativo.

ENSAYO	NORMATIVA
Contenido de humedad	NTP 339.127 (ASTM D 2216)
Análisis granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D 422)
Límites de Atterberg	NTP 339.129 (ASTM D 4318)
Clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos)	NTP 339.134 (ASTM D 2487)
Peso específico material fino	NTP 339.131 (ASTM D 854)
Proctor modificado (ensayo de compactación)	NTP 339.141 (ASTM D 1557)
CBR (California Bearing Ratio)	NTP 339.145 (ASTM D 1883)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.4. Definición de términos básicos

- **Cloruro de sodio:** Se denomina al producto natural designado como sal el cual se obtiene de fuentes naturales (sal gema, sal marina), salares y salmueras (MINSA, 1999).
- **Suelo arcilloso:** Son partículas de cualquier sustancia inorgánica menores a 0,02 mm., tamaño para el cual empiezan a tener influencia las acciones fisicoquímicas. Los terrenos arcillosos son en principio, los más peligrosos para cimentar. En ellos se pueden producir grandes asentamientos en un largo o aun larguísimo plazo de tiempo (MTC, 2004)
- **CBR:** El Ensayo **CBR** (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad (NTP 339.145, 1999)
- **Estabilización química de suelos.** La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto (MTC, 2004).
- **Contenido de Humedad.** La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas (NTP 339.127, 1999).
- **Análisis granulométrico.** Los análisis granulométricos se realizaron mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferente enumeración, dependiendo de la separación de los cuadros de la maya. Los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas (NTP 339.128, 1999).
- **Granulometría.** Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis granulométrico (ASTM C 136).

- **Proctor modificado.** El método está basado en la determinación de las densidades secas de varias probetas, compactadas en idénticas condiciones, pero con contenidos de humedad diferentes. Para cada contenido de humedad se alcanza una determinada densidad, de manera que estos pares de valores, representados en coordenadas cartesianas, definen la relación buscada (NTP 339.141, 1999).

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.2. Formulación de la hipótesis

La adición de cloruro de sodio incrementa el CBR de un suelo arcilloso hasta un 20%

3.3. Operacionalización de variables

Tabla N°. 06 Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES
¿Cuál es el efecto de cloruro de sodio sobre el CBR de un suelo arcilloso?	Mejorar el CBR de un suelo arcilloso con cloruro de sodio.	La adición de cloruro de sodio incrementa el CBR de un suelo arcilloso hasta un 20%	<p>Dependiente: CBR con la adición de cloruro de sodio</p> <p>Independiente: Adición de Cloruro de sodio en porcentajes de 14,16 y 18%.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla N°. 07 Operacionalización de variables.

TIPOS DE VARIABLES	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	TECNICA / INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE	Cloruro de sodio	La sal es un producto natural, que se obtiene de la molienda de la sal gema o sal de roca compuesto en un 98% por cloruro de sodio (NaCl) y un 2% de arcilla /limos (Freytez, 2015).	• Adición de cloruro de sodio en 14% del peso de la muestra.	Ensayo
			• Adición de cloruro de sodio en 16% del peso de la muestra.	Ensayo
			• Adición de cloruro de sodio en 18% del peso de la muestra.	Ensayo
DEPENDIENTE	CBR con la adición de cloruro de sodio	La finalidad de este ensayo es encontrar el índice California Bearing Ratio (CBR,) de suelos compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables (Freytez, 2015).	• Contenido de humedad.	Ensayo: NTP 339.127, 199
			• Peso específico.	Ensayo: NTP 339.131, 199
			• Análisis granulométrico.	Ensayo NTP 339.128, 199
			• Ensayo de límites de Atterberg.	Ensayo: NTP 339.129, 199
			• Ensayo de compactación proctor modificado.	Ensayo: NTP 339.141, 199
			• Límites de plasticidad.	Ensayo: NTP 339.129, 199
			• CBR (Resistencia al Esfuerzo)	Ensayo: NTP 339.145, 199
			• Clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos)	Ensayo: NTP 339.34, 199

Fuente: Elaboración propia, 2017.

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Diseño de investigación

La investigación será del tipo experimental aplicada, ya que se realizó ensayos en laboratorio para determinar el comportamiento del suelo al interactuar con el aditivo.

4.2. Unidad de estudio

Suelo arcilloso del centro poblado de Santa Bárbara distrito de Baños del Inca provincia de Cajamarca región Cajamarca.

4.3. Población

La cantidad en total de muestras son 8 las cuales se justifican en el siguiente cuadro:

Tabla N°. 08 Población de muestras de aplicación en la tesis.

Descripción		Muestra Patrón	Muestra 14% NaCl	Muestra 16% NaCl	Muestra 18% NaCl	TOTAL DE MUESTRAS POR CBR
California Bearing Ratio (CBR)	CBR 1'' (%)	1	1	1	1	4
	CBR 2'' (%)	1	1	1	1	4
TOTAL DE MUESTRAS						8

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.4. Muestra (muestreo o selección)

Banco de arcilla del centro poblado de Santa Bárbara distrito de Baños del Inca provincia de Cajamarca región Cajamarca. La determinación de muestra se realizó por el método de cuarteo manual, como se indica:

- a) Se colocó la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no hay pérdida de material, se mezcló el material hasta formar una pila cónica.
- b) Se dividió el material en cuatro partes de tal manera q se obtenga un espesor y diámetro uniforme para cada parte.
- c) Se eliminó dos de las partes diagonales opuestas (Seleccionadas de color rojo) y se mezcló el material restante (fue tomado para el uso de los ensayos en laboratorio)

Imagen n° 03: cuarteo manual del material.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Los ensayos aplicados al suelo arcilloso están realizados como especifica la norma determinada para mecánica de suelos, los cuales son necesarios para establecer si hay una mejora en el CBR de un suelo arcilloso aplicando cloruro de sodio.

Estos ensayos fueron supervisados por el personal encargado del laboratorio y por el asesor de la tesis.

Tabla N°. 09 Ensayos de aplicación en la tesis.

ENSAYOS
Contenido de humedad
Análisis granulométrico
Límites de Atterberg
Clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos)
Peso específico material fino
Proctor modificado (ensayo de compactación)
CBR (California Bearing Ratio)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

5.1. Procedimiento General.

En el mes de abril del 2017 se localizó el lugar de dónde se sacó el suelo arcilloso, el cual está ubicado en el centro poblado de Santa Bárbara, la cantidad de material sacado es de 250 kg, el material fue transportado a la ciudad de Cajamarca al Jr. San Marcos, lugar dónde se almacenó y secó dicho material, posteriormente éste fue trasladado en kilos a la Universidad Privada Del Norte para realizar sus respectivos ensayos, para poder obtener sus características y clasificarlo mediante SUCS (Sistema Unificado de clasificación de suelos).

Posteriormente de haber clasificado el suelo como una arcilla de alta plasticidad, a través de los ensayos de contenido de humedad, granulometría por lavado y los Límites de Atterberg, este último ensayo se realizó para las distintas dosificaciones de 14%, 16% y 18% de cloruro de sodio. Seguidamente se procedió a realizar los ensayos de proctor modificado tanto para la muestra patrón, así como para la dosificación antes mencionadas de cloruro de sodio obteniéndose el óptimo contenido de humedad para cada una de las muestras.

Con los contenidos óptimos de humedad se procedió a realizar el ensayo California Bearing Ratio (CBR) tanto de la muestra patrón como también de las dosificaciones de cloruro de sodio mencionadas anteriormente, para analizar la influencia de esta adición de cloruro en la California Bearing Ratio (CBR) del suelo arcilloso.

5.2. Extracción de la muestra.

La extracción de la muestra se realizó el día 20 de abril del 2017, la cual se realizó manualmente del banco de arcilla, dicho material sirvió para realizar la presente investigación.

El banco de arcilla está ubicado en las siguientes coordenadas:

Norte: 9214587 m

Este: 778569 m

Cota: 2824 m

Imagen n° 04: Ubicación del banco de arcilla.



Fuente: Google maps, 2017.

5.3. Ensayo de contenido de humedad

El contenido de humedad de un material se usa para expresar las relaciones de fase del aire, agua y sólidos en un volumen de material dado. Como es posible obtener la humedad en casi todos los tipos de muestra, se utiliza con frecuencia para completar los diagramas de fase. En un suelo fino (cohesivo), la consistencia depende de su humedad. La humedad de un suelo, junto con sus límites líquido y plástico se usa para expresar su consistencia relativa o índices de liquidez.

Material

Muestra alterada extraída del estrato en estudio (½ kg).

Equipo

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperaturas $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Recipiente o Tara.

Procedimiento

- Se identificó y pesó el recipiente donde se va colocar el material para introducir al horno.

- Se tomó una muestra de masa y se colocó en el recipiente.
- Se determinó el peso del recipiente y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registré este valor.
- Se colocó el recipiente con el material húmedo en el horno. Se secó el material hasta alcanzar una masa constante. Manteniendo el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura.
- Luego que el material se secó a peso constante, se removió el contenedor del horno. Se permitió el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Se determinó el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza. Se registró este valor.

Imagen n° 05: contenido de humedad.



Fuente: elaboración propia, 2017.

5.4. Ensayo de análisis granulométrico

El presente ensayo se realizó solo para la muestra patrón siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTP 339.128 (ASTM D 422) el cual consiste en el análisis granulométrico por lavado. El procedimiento realizado se presenta a continuación.

Equipos

- Balanza digital de precisión 0.1 gr.
- Estufa con control de temperaturas 110 °C \pm 5 °C

- Juego de tamices: N°4, N°8, N°10, N°16, N°20, N°30, N° 40, N°50, N°60, N°100, N°200, tapa y fondo de acuerdo a la norma.
- Bandejas metálicas.
- Cuarteador mecánico.
- Lona para cuarteo en campo.
- Equipo complementario: Cucharón, brocha, escobillas de fierro, espátula, recipientes vacíos, sacos de polietileno.

Procedimiento

- Se tomó la cantidad de la muestra más representativa en campo de acuerdo a la Norma ASTM D75.
- Se colocó la muestra dentro de los sacos de polietileno para su traslado a laboratorio.
- Se pesó la muestra con su humedad natural con una precisión de 0.1 gr.
- Se secó la muestra en el horno a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas hasta que la muestra tenga un peso constante.
- Se retiró la muestra y se dejó enfriar al ambiente.
- Se procedió a pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr.
- Se lavó la muestra ejerciendo presión suave con los dedos y utilizando escobilla de fierro para liberar las partículas arcillosas adheridas a las partículas más gruesas. Toda el agua proviene del lavado colocado en la malla N° 200.
- Se continuó con el lavado hasta que el agua sea transparente.
- Se puso a secar la muestra lavada en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$ hasta que la muestra tenga un peso constante, incluyendo todas las partículas retenidas a la malla N °200. Se retiró la muestra y se dejó enfriar al ambiente.
- Se procedió a pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr. Se colocó el juego de tamices desde el tamaño máximo del agregado hasta el tamiz N° 4 en orden descendente, añadiendo la tapa y fondo. Tamicé la muestra seca.
- Se pesó las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr. Se colocó el juego de tamices desde el tamiz N° 8 hasta el tamiz N° 200 en orden descendente, colocando la tapa y fondo.
- Se tamizó lo retenido en el plato pasante el Tamiz N° 4 del tamizado anterior.
- Se pesó las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr.
- Finalmente se registró y procesó los datos.

Imagen n° 06: granulometría por lavado.



Fuente: elaboración propia, 2017

5.5. Método de incorporación de NaCl en el suelo

El método para la incorporación de NaCl en el suelo que se utilizó fue el de grano que consiste en mezclar en función del peso cierto porcentaje de NaCl 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 NaCl que se incorporó. Este porcentaje dependió del peso de la muestra del suelo utilizado en cada ensayo establecido.

Imagen n° 07: Preparación de material con porcentajes de cloruro de sodio.



Fuente: elaboración propia, 2017

5.6. Ensayo de límites de Atterberg.

Ensayo que se realizó tanto para la muestra patrón como para las dosificaciones de 14%, 16% y 18% de NaCl en estudio, los procedimientos se realizaron de acuerdo a la norma NTP 339.129 (ASTM D 4318), el procedimiento realizado se muestra a continuación.

Equipos

- Balanza digital de precisión 0.01 gr.
- Estufa con control de temperaturas $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz N° 40
- Para límite líquido: Copa de Casagrande, ranuradores, espátula.
- Para límite plástico: Vidrio esmerilado, espátula.
- Cápsulas de aluminio y porcelana.

Procedimiento

a) Límite líquido.

- El material obtenido se secó a una temperatura no mayor a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ o secado a temperatura ambiente según la norma ASTM 4318 Sección 10.2.1. Cuando la mayor parte estaba seca se procedió a tamizar por la malla N° 40 y se obtuvo 200 gr para el ensayo. El material se saturó con agua potable en una cápsula de porcelana. Se procedió al batido de material (mezclado) por un periodo de 15 minutos.
- Se verificó la calibración de la copa de Casagrande (altura de caída libre de la cazuela), que esté de acuerdo a norma (1cm).
- Terminado el mezclado se procedió al ensayo del límite líquido: se colocó la pasta en la cuchara de la Copa de Casagrande, se mezcló la muestra y se niveló utilizando la espátula. Se pasó al ranurador dividiendo la pasta en dos mitades iguales.
- Se dejó caer la cuchara desde una altura de 1 cm a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que se cerró a una distancia de 13 mm. Este proceso se repitió para obtener los tres valores de interpolación en el gráfico contenido de humedad vs N° de golpes.
- Se procedió a pesar la muestra húmeda ensayada con una precisión de 0.01 gr.

- Se colocó la muestra a secar en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por el tiempo que sea necesario, hasta obtener un peso constante.
- Se retiró la muestra del horno y se pesó el contenido de cada recipiente con una precisión de 0.01 gr.

Imagen n° 08: límite líquido.



Fuente: elaboración propia, 2017

b) Límite plástico.

- Se obtuvo una muestra para límite plástico de unos 20 gramos.
- Se hizo perder un poco de humedad con las manos si la muestra está muy saturada.
- Se hizo bolitas de unos 2 gr cada una, luego se procedió al rolado con los dedos sobre el vidrio esmerilado haciendo hilos, este rolado se realizó hasta que el diámetro de 3 mm se rompa en pedazos en un tiempo no mayor a 2 minutos por cada bolita ensayada.
- Se tomó dos muestras en cápsulas de aluminio y cada una tuvo un peso mínimo de 6 gr de suelo, según la sección 16.1 a 16.6 de la norma.
- Se pesó la muestra húmeda con una precisión de 0.01 gr.
- Se colocó a secar la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Se retiró las muestras del horno: Límite líquido y límite plástico y se dejó enfriar al ambiente.
- Se tuvo en cuenta no dejar mucho tiempo en el ambiente para evitar la absorción de la humedad giroscópica.

- Se pesó las muestras secas ensayadas con una precisión de 0.1 gr.
- Se registró y se procedió a procesar los datos obtenidos con una precisión de 0.1%.

Imagen n° 09: límite plástico.



Fuente: elaboración propia, 2017

5.7. Ensayo de peso específico material fino

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.131 (ASTM D 854) para la muestra patrón y la dosificación de 14%, 16% y 18% de NaCl en estudio añadido al suelo como se especificó anteriormente. Seguidamente se muestra el procedimiento utilizado en el presente ensayo de laboratorio.

Equipos

- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Fiola de 500 ml.

Procedimiento

- Se pesó la muestra seca.
- Se llenó la fiola con agua hasta la marca de 500 ml y pesar.
- Se colocó la muestra seca ya pesada en la Fiola vacía y, se vertió el agua hasta cubrir la muestra, se agitó durante 15 minutos de tal manera que las burbujas de aire fueron extraídas.

- Una vez pasado los 15 minutos se agregó a la fiola agua hasta la marca de 500 ml y pesar.
- Se determinó el peso específico.

Imagen n° 10: Peso específico.



Fuente: elaboración propia, 2017

5.8. Clasificación SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos)

La clasificación de suelo solo se realizó teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de análisis granulométrico, límite líquido y plástico. El procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,075 mm) se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.134 (ASTM D 2487) donde primero se comprobó mediante el análisis granulométrico que más del 50% pasa por 0.075 mm seguido en la cartilla de clasificación introduciéndose los datos obtenidos de índice de plasticidad versus el límite líquido logrando finalmente la clasificación de la muestra en estudio.

5.9. Ensayo de compactación proctor modificado

El ensayo de proctor modificado se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.141 (ASTM D 1557) por el Método "A". Seguidamente se muestra el procedimiento utilizado en el presente ensayo de laboratorio.

Equipos

- Balanza digital de 20 Kg con una precisión de 0.1 gr.
- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Molde para Proctor Modificado.
- Pisón de operación manual de sección circular con un peso de 4.54 Kg para Proctor Modificado.
- Mallas N° 4
- Equipo complementario: Espátulas, regla metálica, bandeja probeta graduada de 1 litro, martillo de goma, badilejo, cucharón, bolsas plásticas, recipientes vacíos.

Procedimiento

- Primero se verificó el análisis granulométrico para determinar cuál de los métodos es aplicable según la tabla N° 04.
- se tamizó por la malla correspondiente hasta obtener un peso húmedo aproximado de 35 kg para Proctor modificado.
- El material a ensayarse estaba por debajo del contenido óptimo de humedad.
- Se incrementó la cantidad de agua al material gradualmente a cada punto de 2 en 2% hasta encontrar el contenido óptimo de humedad. En ningún caso los incrementos fueron mayores al 4% según la Sección 10.2.1 de la norma ASTM D698.
- Luego se colocó el material dentro de las bolsas plásticas y se selló.
- Cumplido el tiempo mínimo de 8 horas de saturación se procedió a ensayar los especímenes para el Proctor Modificado en cinco porciones.
- Se colocó el molde seleccionado sobre la base rígida horizontal nivelada.
- Se colocó el material con el cucharón dentro del molde seleccionado nivelando con la mano, se colocó el pistón de compactación sobre la porción vertida en el molde y luego se levantó el mango hasta que el pisón llegó al extremo de la guía y se dejó caer sobre la porción (1 golpe). El espesor compactado fue de 1" (2.54 cm). Los golpes fueron aplicados a una velocidad uniforme sobre toda la superficie de la porción en el molde no excediéndose aproximadamente de 1.4 segundos por golpe.
- Se retiró el pisón del molde y se colocó una nueva capa, se compactó de la misma manera como se indicó anteriormente, continuando de este modo hasta completar las cinco capas requeridas.

- Retirado el collarín del molde los posibles vacíos que se formaron en la superficie de enrasamiento se rellenó con material fino. Se retiró el material suelto de los bordes del molde y se pesó el espécimen con una precisión de 1 gr.
- Se obtuvo la densidad húmeda con una precisión de 0.001 gr/cm³.
- Se mezcló y homogenizó el material compactado que se encontró dentro del molde para obtener el contenido de humedad.
- Se pesó el material húmedo para determinar el contenido de humedad con una precisión de 0.1 gr.
- Colocó el material a secar en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C hasta obtener un peso constante.
- Se retiró el material del horno y se dejó enfriar en el ambiente por el espacio de 25 minutos aproximadamente.
- Se pesó la muestra seca con una precisión de 0.1 gr
- Se repitió los pasos para los 4 especímenes.
- Se registró y procesé datos.

Imagen n° 11: Compactación proctor modificado.



Fuente: elaboración propia, 2017

5.10. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)

En ensayo de CBR se desarrolló de acuerdo a la norma NTP 339.145 (ASTM D 1883), para suelos cohesivos a estos suelos les afecta la humedad de compactación y la densidad obtenida, por lo que se las ensayo cada muestra después de colocarlas en agua durante 4 días se realizó tanto a la muestra patrón como también a la muestra con las dosificaciones de 14%, 16% y 18% de cloruro de sodio. Este ensayo se desarrolló en tres partes las cuales se mencionan a continuación:

Equipos

- Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg de peso y 3 trípodes
- Pisón Proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- 3 diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 Kg de capacidad.
- Espátula.
- Taras identificadas.

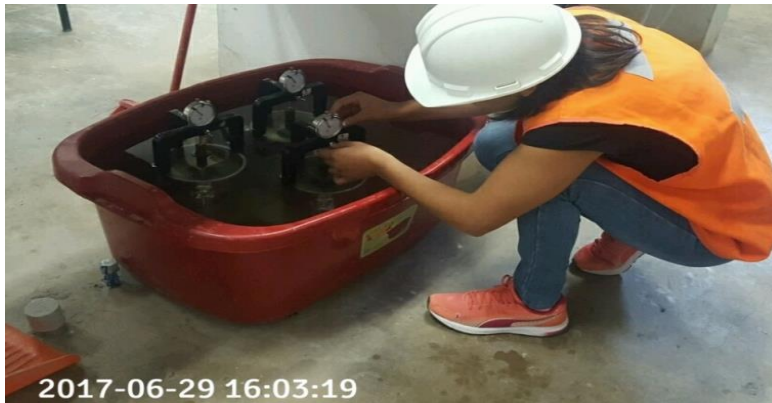
Procedimiento

Este procedimiento consta de 3 fases:

a) Ensayo de compactación CBR (determinación de la densidad y húmeda del suelo).

- Se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en ensayo de compactación Proctor modificado.
- Se compactó la muestra con 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 por capa.
- Se determinó la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras en cada molde.
- Se determinó la densidad seca de las muestras de cada molde.

Imagen n° 12: Compactación California Bearing Ratio (CBR).



Fuente: elaboración propia, 2017

b) Ensayo de hinchamiento (determinación de las propiedades expansivas del material)

- 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.
- 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.

Imagen n° 13: Hinchamiento (CBR).



Fuente: elaboración propia, 2017.

c) Ensayo de carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración)

- Después de los cuatro días se sacó 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, se 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.

Imagen n° 14: Penetración (CBR).



Fuente: elaboración propia, 2017.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Resumen de resultados:

6.1. Resultados obtenidos en laboratorio.

En el presente capítulo se presenta los resultados obtenidos en laboratorio, así como el procesamiento de datos.

6.2. Contenido de humedad de la muestra.

Tabla N° 10: Resultados de ensayo contenido de humedad

Descripción de la muestra	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N °03
Contenido de Humedad	28.13 %	26.23 %	25.63%
	Promedio		26.7%

Fuente: Elaboración propia, 2017

6.3. Análisis granulométrico.

Tabla N° 11: Resultados de ensayo análisis granulométrico por lavado.

TAMIZ		% QUE PASA
N°	ABER.(mm)	
N °4	4.76	99.60
N °10	2.00	96.75
N °20	0.84	94.64
N °30	0.59	92.63
N °40	0.42	90.41
N °60	0.25	83.44
N °100	0.15	76.70
N °200	0.08	72.06

Fuente: Elaboración propia, 2017

6.4. Ensayo de límites de Atterberg

Tabla N° 12: Resultados de ensayo límites de Atterberg

Descripción		Muestra Patrón	Muestra 14% NaCl	Muestra 16% NaCl	Muestra 18% NaCl
Límites de Atterberg (%)	Límite líquido	42.20	39.00	37.20	33.88
	Límite plástico	22.63	21.05	20.34	18.16
	Índice de plasticidad	19.57	17.95	16.86	15.72

Fuente: Elaboración propia, 2017

6.5. Peso específico

Tabla N° 13: Resultados de ensayo peso específico.

Descripción	Muestra Patrón	Muestra 14% NaCl	Muestra 16% NaCl	Muestra 18% NaCl
Peso específico de muestra (gr/cm ³)	2.41	2.44	2.47	2.50

Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.6. Clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos)

Utilizando la carta de plasticidad del sistema unificado de clasificación de suelos según los resultados obtenidos en el análisis granulométrico por lavado y los resultados de límites de Atterberg se clasificó al suelo como una arcilla de media plasticidad (CL).

6.7. Ensayo de proctor modificado.

Tabla N° 14: Resultados de ensayo Proctor modificado.

Descripción		Muestra Patrón	Muestra 14% NaCl	Muestra 16% NaCl	Muestra 18% NaCl
Proctor Modificado	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	1.758	1.780	1.800	1.826
	Humedad Óptima (%)	20.8	20.0	18.8	17.7

Fuente: Elaboración propia, 2017

6.8. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

Tabla N° 15: Resultados de ensayo CBR.

Descripción		Muestra Patrón	Muestra 14% NaCl	Muestra 16% NaCl	Muestra 18% NaCl
California Bearing Ratio (CBR)	CBR 1" (%)	4.05	5.02	5.45	5.85
	CBR 2" (%)	4.85	5.82	6.10	6.30

Fuente: Elaboración propia, 2017

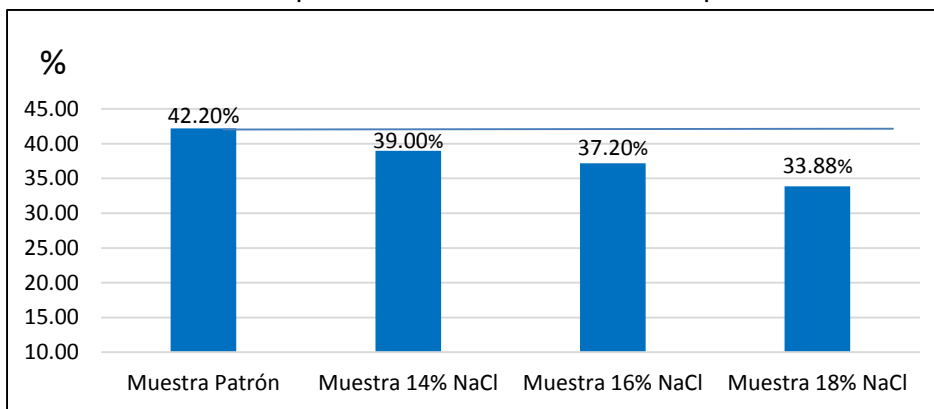
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

De la presente investigación, como resultados obtenidos en los ensayos de límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) presentaron una disminución al incorporar la dosificación de cloruro de sodio con respecto a la muestra patrón.

7.1. LÍMITES DE ATTERBERG.

Límite líquido. En comparación a la muestra patrón del suelo arcilloso, el límite líquido presenta una deducción al aumentar la dosificación de cloruro de sodio.

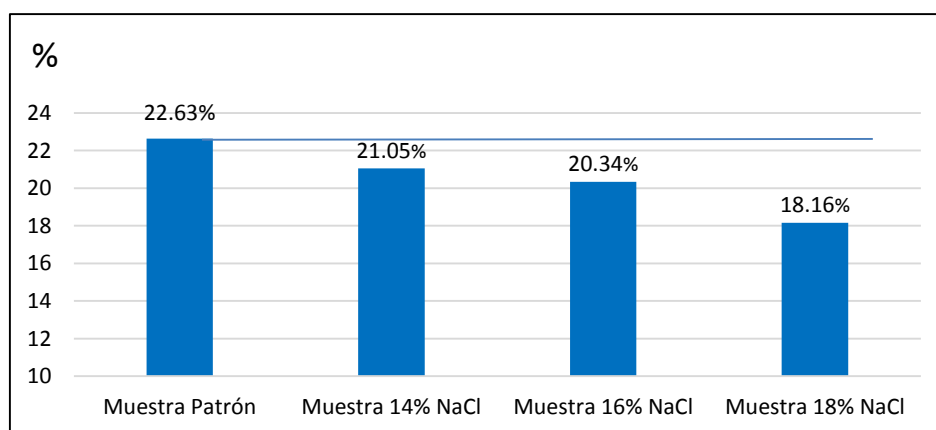
Gráfico N° 01: Comparación de resultados límite líquido.



Fuente: Elaboración propia, 2017

Límite plástico. El límite plástico también presenta una deducción al aumentar la dosificación del cloruro de sodio en comparación a la muestra patrón.

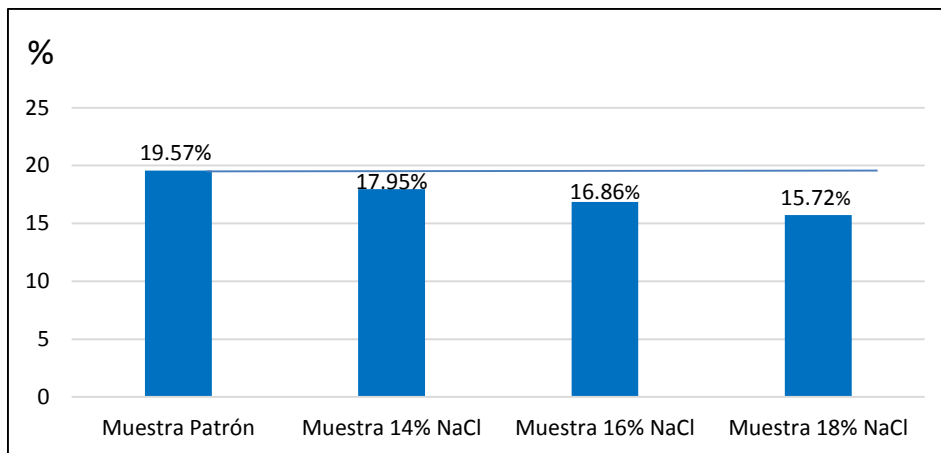
Gráfico N° 02: Comparación de resultados límite plástico.



Fuente: Elaboración propia, 2017

Índice de plasticidad. El índice de plasticidad muestra una variación igual al límite líquido y límite plástico, su plasticidad empobrece al aumentar la dosificación de cloruro de sodio.

Gráfico N° 03: Comparación de resultados de índices de plasticidad.

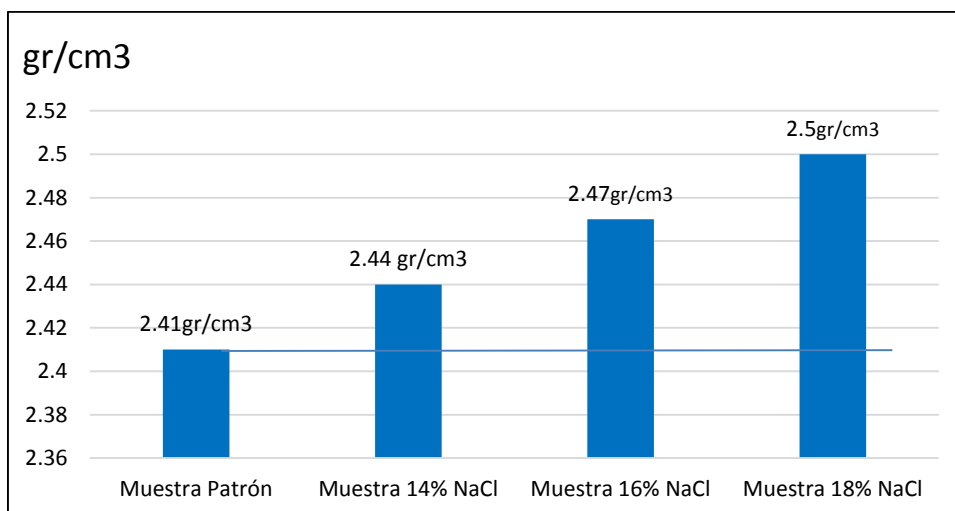


Fuente: Elaboración propia, 2017.

7.2. PESO ESPECÍFICO.

En los resultados obtenidos a través del ensayo de peso específico, se puede evidenciar que al aumentar la dosificación de cloruro de sodio a la muestra patrón de arcilla, el peso específico varía aumentado en base a la muestra patrón.

Gráfico N° 04: Comparación de resultados de peso específico.



Fuente: Elaboración propia, 2017

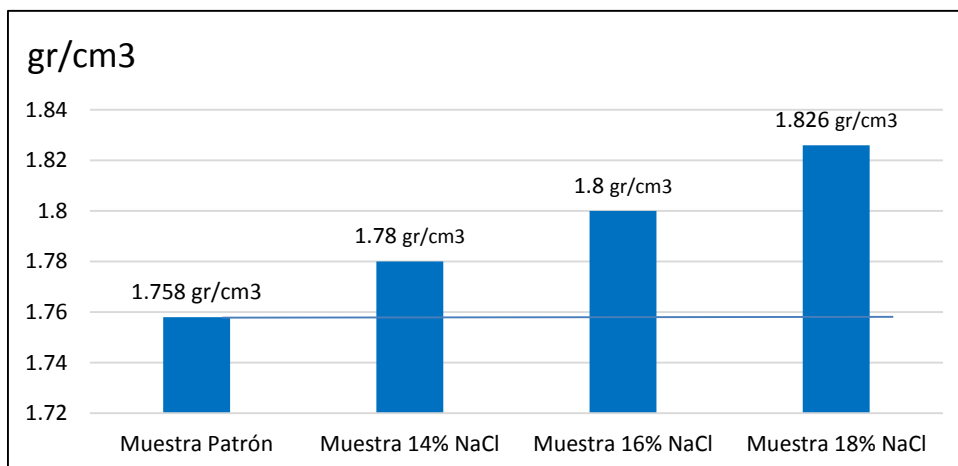
7.3. PROCTOR MODIFICADO.

En el presente ensayo se obtuvo resultados para densidad seca y para óptimo contenido de humedad, con respecto a densidad seca los resultados indican crecimiento al aumentar el porcentaje de cloruro de sodio, en cuanto al óptimo contenido de humedad los resultados presenta una variación decreciente al aumentar los porcentajes de cloruro de sodio a la muestra patrón, estos resultados muestran semejanza a los resultados obtenidos por Roldan de Paz en su tesis titulada “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases” donde indica que al agregar cloruro de sodio al suelo ,se incrementa la densidad seca y se reduce la humedad óptima por ende se obtiene resultados favorables para los porcentajes de CBR.

7.3.1. DENSIDAD SECA.

Densidad Seca. Los resultados obtenidos en densidad seca indican que al aumentar el porcentaje de cloruro de sodio a la muestra patrón su densidad aumenta.

Gráfico N° 05: Comparación de resultados de densidad seca.

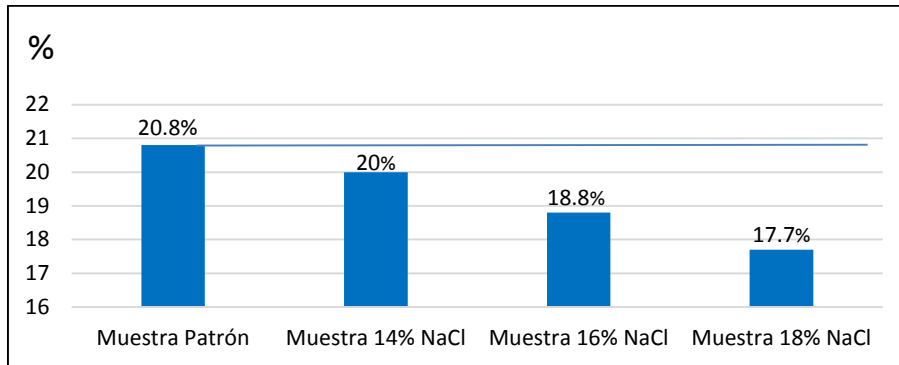


Fuente: Elaboración propia, 2017

7.3.2. ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD.

Óptimo contenido de humedad. Los resultados obtenidos indican que al aumentar la dosificación de cloruro de sodio, el óptimo contenido de humedad disminuye en base a la muestra patrón.

Gráfico N° 06: Comparación de resultados de Óptimo contenido de humedad.



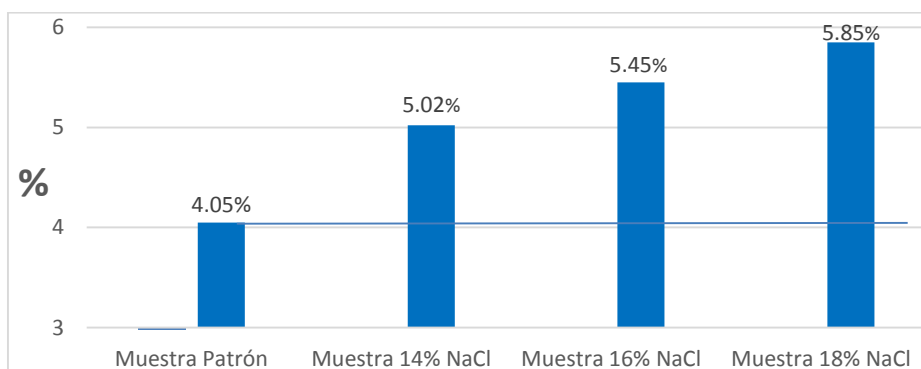
Fuente: Elaboración propia, 2017

7.4. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Según los resultados obtenidos en el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) se puede observar que el valor CBR incrementa a un 95% de la máxima densidad seca a 0.1" y 0.2" esto afirma la hipótesis planteada que al adicionar cloruro de sodio a un suelos arcillosos en 14%, 16% y 18% incrementa la capacidad portante (CBR), hasta en un 20%. En los resultados de CBR a 0.1" hay un crecimiento al subir el porcentaje de cloruro de sodio desde 5.85% de la muestra patrón hasta 6.30% en porcentaje de 18% de sal, con respecto a los resultados logrados de CBR a 0.2" también aumenta desde 4.85% para la muestra patrón hasta 6.30% para el porcentaje de 18% de sal.

En los resultados de CBR 0.1" se puede evidenciar una variación ascendente al adicionar porcentajes de cloruro de sodio desde 4.05% de la muestra patrón hasta 5.85% que es la dosificación de 18% de cloruro de sodio.

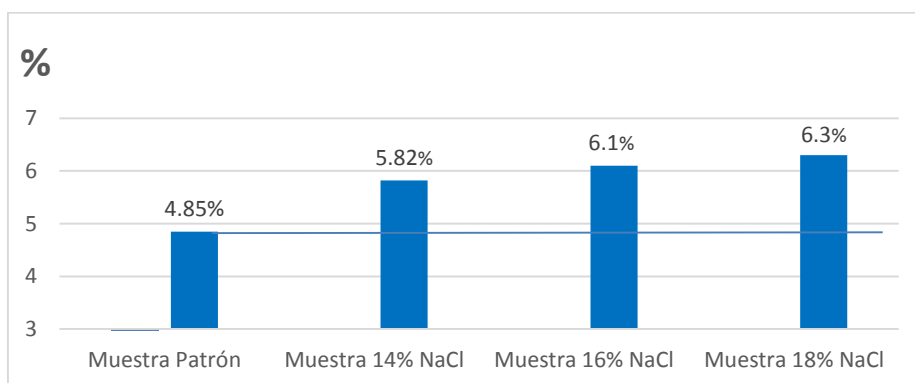
Gráfico N° 07: Comparación de resultados de CBR 0.1".



Fuente: Elaboración propia, 2017

En los resultados de CBR 0.2” como podemos observar en el siguiente gráfico, el CBR incrementó desde 4.85% que es la muestra patrón hasta 6.30% para el porcentaje de 18% de cloruro de sodio.

Gráfico N° 08: Comparación de resultados de CBR 0.2”



Fuente: Elaboración propia, 2017

Comparando con investigaciones relacionadas a la presente tesis como la de Yelsin Palomino Saldaña en su tesis titulada “Influencia de la adición de cloruro sodio en el índice california bearing ratio (CBR) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016” menciona que al adicionar el cloruro de sodio a un suelo arcilloso en porcentajes menores a 14% su CBR incrementa hasta en un 10% en comparación a su muestra patrón (arcilla).

En relación a los resultados logrados en esta investigación se puede afirmar que al adicionar cloruro de sodio en dosificaciones mayores a 16% y menos a 18% a un suelo arcilloso el CBR incrementa más del 20%.

CONCLUSIONES.

1. Se comprobó la hipótesis planteada ya que el CBR de un suelo arcilloso mejora hasta un 20% al adicionar porcentajes entre 14% y 18% de cloruro de sodio. Ya que el índice CBR para 0.1" varía 23.95% de la muestra patrón, para 0.2" el CBR varía 29.90% de la muestra patrón sabiendo que: para un CBR al 0.1": en la muestra patrón un CBR de 4.05%, en porcentaje de 14% de NaCl un CBR de 5.02%, adicionado 16% de NaCl un CBR de 4.45% e incrementando 18% de NaCl se obtiene un CBR de 5.85%. Para un CBR al 0.2" los resultados obtenidos es que en la muestra patrón se obtiene un CBR de 4.85%, adicionado 14% de NaCl se obtiene un CBR de 5.82%, en porcentaje de 16% de NaCl se obtiene un CBR de 6.1%, e incrementando 18% de NaCl se obtiene un CBR de 6.30%.
2. Se determinó la variación de índice de plasticidad el cual fue reduciendo al adicionar mayores dosificaciones de cloruro de sodio. Obteniéndose los siguientes resultados: índice de plasticidad para la muestra patrón de 19.57%, un índice de plasticidad de 17.95% agregado 14% NaCl, incrementando 16% de NaCl se obtuvo una plasticidad de 16.86% y para un 18% de NaCl se obtuvo una plasticidad de 15.72%.
3. Los resultados de peso específico tienen una variación de aumento al añadir los porcentajes de cloruro de sodio, obteniéndose así un peso específico de 2.41gr/cm³ para la muestra patrón y 2.50gr/cm³ para una dosificación de 18% de NaCl.
4. Los resultados logrados en los parámetros de compactación se obtuvieron en densidad seca y óptimo contenido de humedad, con respecto a la densidad seca los resultados fueron creciendo desde 1.758 g/cm³ que es la muestra patrón hasta 1.826 para una dosificación de 18% de sal, con respecto al óptimo contenido de humedad los resultados fueron decreciendo puesto que para la muestra patrón es de 20.8 g/cm³ y para una dosificación de 18% de sal es de 17.7g/cm³ el óptimo contenido de humedad.

RECOMENDACIONES.

1. Investigar el comportamiento de un suelo arcilloso incrementando otras sustancias químicas.
2. Optimizar los rangos de adición del porcentaje de NaCl.
3. Investigar otro tipo de suelo adicionado cloruro de sodio.

REFERENCIAS

1. NTP 339.127 (1999) - Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo
2. NTP 339.128 (1999) - Método de ensayo para el análisis granulométrico.
3. NTP 339.129 (1999) - Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.
4. NTP 339.134 (1999) - Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
5. NTP 339.131 (1999) - Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de sólidos de un suelo.
6. NTP 339.141 (1999) - Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada.
7. NTP 339.145 (1999) - Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
8. Norma oficial Mexicana nom – re nat – 2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis.
9. MTC. (2004). Estabilización química de suelos - Caracterización del estabilizado y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado. Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
10. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. Secretaría General. Resolución S.G.Nº 344, 1999.
11. Aguas. (2002). estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. México: secretaria de comunicaciones y trasportes.
12. Cruz Velasco, L. G. (2009). Mecánica de Suelos I. Cauca: Universidad del Cauca.
13. Crespo, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México: Limusa Editores.
14. Clasificación de suelos sucs y aashto. En línea 05/06/2017, disponible https://www.academia.edu/18450242/clasificacion_de_suelos_sucs_y_aashto.
15. Freytez, D. (12 de 11 de 2015). El suelo. Obtenido de Monografías: <http://www.monografias.com/trabajos93/guia-estudio-edafologia/guia-estudio-edafologia.shtml>.
16. Gutiérrez, C. A. (2010). Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bichiofita) frente al cloruro de calcio. Lima: Universidad Ricardo Palma.

17. Gárnica, P. (2002). Mecánica de materiales para pavimentos. México: Instituto Mexicano del transporte.
18. INDECI. (2005). Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres ciudad de Cajamarca. Cajamarca: Instituto Nacional de Defensa Civil.
19. Palomino, S. Y. (2016). Influencia del cloruro de sodio en el índice de california bearing ratio (CBR) de un suelo arcilloso. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.
20. Roxana M Ugaz Palomino, Carlos Tupia Córdova, Jorge E. Alva Hurtado, puno, 2001. Ensayos de estabilización de suelos con el aditivo rbi-81.
21. Reyes, c. y. (2006). uso de cloruro de sodio en bases granulares. España: Universidad Militar de Nueva Granada.
22. Roldán de Paz, J. (2010). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para bases y sub bases. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
23. Rafael Dalré Tenreiro. (2001). Caminos rurales proyecto y construcción, México, 3era edición.
24. Sanz, J. (1995). Mecánica de Suelos. Barcelona: editions eyrolles.

PANEL FOTOGRAFICO.

Fotografía N° 01



Fotografía dónde se muestra que se está extrayendo el material para la elaboración de la tesis.

Fotografía N° 02



Pesando la muestra para hallar el contenido de humedad del material arcilloso.

Fotografía N° 03



Secado del material arcilloso para realizar los ensayos asignados en la presente tesis.

Fotografía N° 04 y N° 05



Chancado y tamizado del material para los ensayos de límite de Atterberg (malla n° 40) y peso específico (malla n°4).

Fotografía N° 06 y N° 07



Se observa que la tesista está realizando el ensayo de límite líquido para la muestra patrón con la cuchara Casagrande.

Fotografía N° 08



Se está colocando al horno la muestra que se obtuvo del ensayo de límite líquido.

Fotografía N° 09



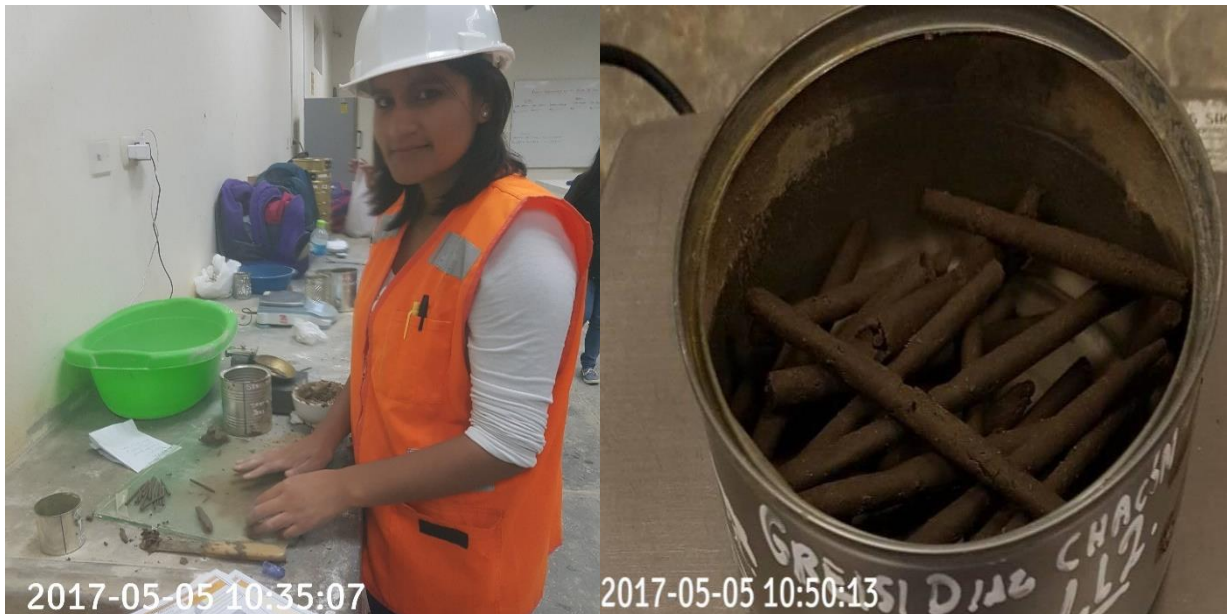
Se observa que la tesista está realizando el ensayo de límite plástico para la muestra patrón sobre el vidrio esmerilado.

Fotografía N° 10 y N° 11



Continuación del ensayo de límite plástico y la colocación de la muestra al horno una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fotografía N° 12 y N° 13



Se observa que la tesista está realizando el ensayo de límite plástico con los porcentajes de cloruro de sodio.

Fotografía N° 14 y N° 15



Se está realizando el ensayo de peso específico, en la fotografía de la izquierda se está pesando la Fiola con agua, en la otra imagen se está pesando la Fiola más el material y el agua.

Fotografía N° 16



Se puede apreciar a la tesista realizando el análisis granulométrico mediante lavado de la Malla N ° 20

Fotografía N° 17 y N° 18



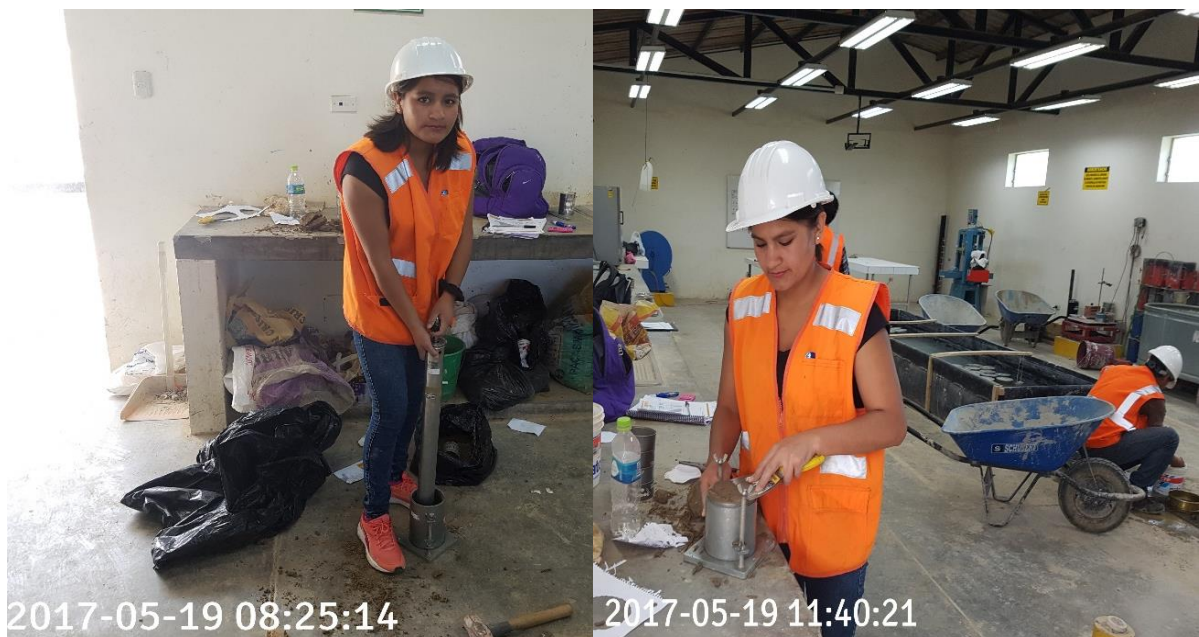
Se observa que la tesista está pesando el material retenido en la malla N°200 y a continuación colocándolo al horno.

Fotografía N° 19 y N° 20



Sacado de la muestra del ensayo de granulometría para pesarlo y a continuación realizar el tamizado de la muestra.

Fotografía N° 21 y N° 22



Se observa a la tesista haciendo el ensayo de proctor modificado para la muestra patrón.

Fotografía N° 23 y N° 24



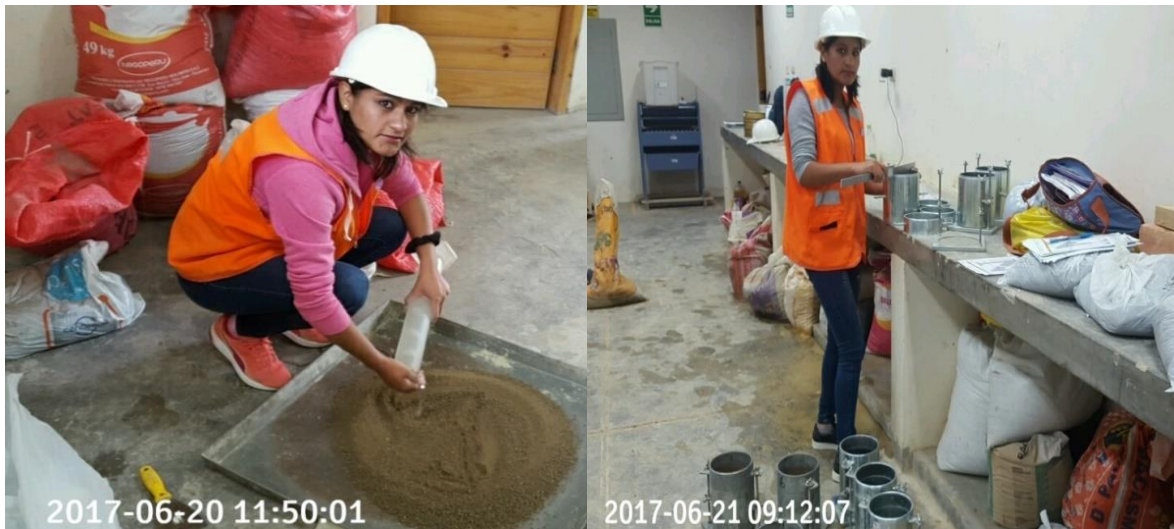
Se observa a la tesista preparando la muestra para el ensayo de proctor modificado con los porcentajes de cloruro de sodio.

Fotografía N° 25, N° 26 y N° 27



Se está realizando el ensayo de proctor modificado para los porcentajes de cloruro de sodio respectivo.

Fotografía N° 28 y N° 29



En la fotografía de la izquierda se observa la preparación de la muestra para el ensayo de CBR, en la siguiente fotografía se observa la medición de los moldes para proceder a realizar los ensayos de CBR.

Fotografía N° 30 y N° 31



En la primera fotografía se aprecia a la tesista pesando los moldes, en la segunda fotografía se aprecia a la tesista realizando el ensayo de compactación en los moldes de CBR.

Fotografía N° 32



Se está sumergiendo a los moldes en agua para luego medir el hinchamiento de la muestra.

Fotografía N° 33



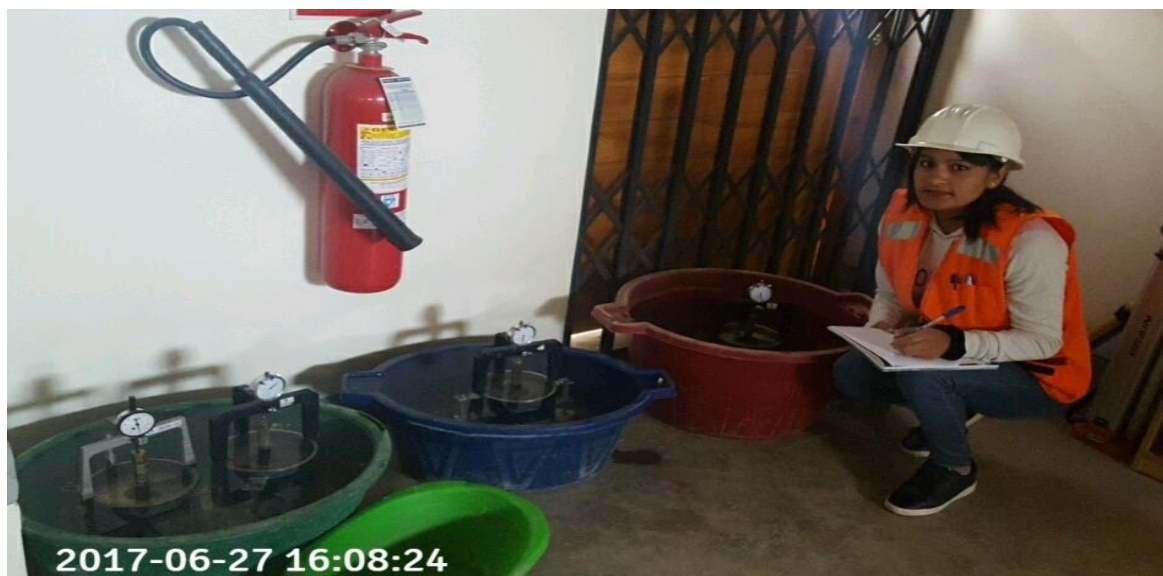
Se observa a la tesista preparando la muestra para el ensayo de CBR con los porcentajes de cloruro de sodio respectivo.

Fotografía N° 34 y N° 35



Se aprecia a la tesista realizando el ensayo de compactación en los moldes de CBR, supervisada por su asesora Ing. Rosa Llique.

Fotografía N° 36



Se aprecia a la tesista tomando nota del hinchamiento de la muestra sumergidos en agua.

Fotografía N° 37



Se observa al laboratorista alistando la prensa hidráulica para realizar el ensayo de penetración.

Fotografía N° 38 y N° 39



En la primera fotografía se observa la instalación del deformímetro en los moldes para saber el hinchamiento de la muestra con porcentajes de sal respectivamente. En la segunda fotografía se observa a la tesista y laboratorista realizando el ensayo de penetración.

ANEXOS