



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“ANÁLISIS Y ESTABILIZACIÓN DE ARCILLA NEGRA CON CLORURO DE SODIO (NaCl), ARENA POMEZ, CAL Y CEMENTO, PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Jhonny Antonio Robles Díaz.

**Tutor**

Ing. Luis Gustavo Espinoza G.

Managua, 30 de abril de 2018

## DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional y por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad e iluminar mi mente para salir adelante en este arduo camino del saber.

A mi esposa, Eliett Gissela Obando Chavez.

Por ser mi principal fuente de inspiración y motivación para el desarrollo y culminación de mi estudio profesional.

Quien ha estado conmigo en todo momento, dándome todo su amor y apoyo incondicional para poder llegar a culminar esta carrera profesional. Y sobre todo, por confiar en mí.

A mis hijos, Hazzel Tamara Robles Obando, Huquett Valentina Robles Obando, Johnny Christopher Robles Obando, Eliett Jessenia Robles Obando, Alexa Gisela Robles Obando y Keytlin Nahary Lumbi Robles.

Por todo su apoyo emocional que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi vida universitaria y para que vean en mi un ejemplo a seguir.

A todos ellos dedico el presente documento, porque han confiado en mí, lo que ha contribuido al éxito de este documento.

Jhonny Antonio Robles Díaz

## **AGRADECIMIENTO**

A través de estas líneas quiero expresar mi, más sincero agradecimiento a todas las personas que con su aporte científico y humano han colaborado en la realización de este documento de investigación.

El inmenso agradecimiento a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto tan importante de mi vida. Y por darme fortaleza, sabiduría y perseverancia para alcanzar mi meta de finalizar con éxito este documento investigativo.

Un agradecimiento muy especial a mi esposa e hijos, por su invaluable amor y apoyo, ofrecido a lo largo de mi formación tanto personal como profesional.

A mi tutor Ing. Luis Gustavo Espinoza G, quien con paciencia y vastos conocimientos guío mi trabajo monográfico.

A la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), prestigioso centro educativo que me ha acogido y brindado la oportunidad de superación, así como a la planta de docentes que supieron impartir y compartir sus conocimientos.

## ÍNDICE

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4 OBJETIVOS .....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1 CONCEPTOS BASICOS.....	8
2.2 Estabilización.....	8
2.2.1 Características de la estabilización.....	8
2.2.2 Tipos de estabilizaciones.....	8
2.2.2.1 Estabilización Física.....	8
2.2.2.2 Estabilización Química.....	9
2.2.2.3 Estabilización Mecánica .....	9
2.2.3 Productos empleados en la estabilización.....	9
2.3 SUELO. ....	10
2.3.1 Origen y formación del Suelo. ....	10
2.3.2 Tipos de Suelos.....	11
2.3.3 Ensayos de Suelos.....	12
2.3.4 Propiedades Índice. ....	12
2.3.5 Pesos Unitarios .....	19
2.3.6 Proctor Estándar .....	20

2.3.7 Valor Relativo de Soporte Normal del Suelo (C.B.R) .....	20
2.3.8 Resistencia a la Compresión no confinada .....	21
<b>CAPITULO III</b>	
<b>ANALISIS Y RESULTADOS</b>	
3.1 Metodología.....	23
3.1.1 Descripción del suelo:.....	23
3.2 Trabajo de campo. ....	25
3.3 Trabajo de laboratorio. ....	26
3.3.1 Resultados obtenidos.....	26
3.3.2 Tipos de agentes estabilizantes utilizados en esta investigación. .....	34
3.3.3 Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cemento. ....	36
3.3.4 Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cal.....	45
3.3.5. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y arena pómez.....	54
3.3.6 Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cloruro de sodio.....	63
3.3.7 Selección del agente estabilizante. ....	72
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>CONCLUSIONES Y COMENDACIONES</b>	
4.1 Conclusiones .....	79
4.2 Recomendaciones .....	80
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS</b>	

## **RESUMEN**

El presente trabajo comprende la realización y análisis de ensayos de laboratorio e in situ; así como la evaluación técnica de mezclas con aditivos: cloruro de sodio, arena pómez, cal y cemento para seleccionar la alternativa que mejor contribuya al mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de la arcilla negra, la cual fue extraída del “Barrio la campana”, ubicado en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua.

El tema se desarrolló en cuatro capítulos, el primero constituido por introducción, antecedentes, justificación, objetivos de la investigación.

El segundo capítulo, abarca conceptos de estabilización, características de la estabilización, tipos de estabilizaciones, productos empleados en la estabilización, suelos, tipos de suelos, ensayos realizados al suelo.

En el capítulo III, se aborda la metodología: trabajo de campo, trabajo de laboratorio, resultados obtenidos.

Por último, se formulan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio, también las diferentes referencias bibliográficas. Además, se incluyen anexos que contienen los datos y resultados de cada uno de los ensayos efectuados.

## Lista de tablas

<b>Nº</b>	<b>Nombre</b>	<b>Pag.</b>	<b>Nº</b>
1	Ecuación utilizada en el ensayo	17	
2	Ensayos a la muestra	24	
3	Porcentaje de humedad	25	
4	Pesos unitarios	25	
5	Gravedad específica	25	
6	Granulometría mecánica	26	
7	Granulometría por sedimentación	27	
8	Límites de consistencia	28	
9	Compactación Proctor estándar	29	
10	Valor relativo de soporte (C.B.R)	30	
11	Esfuerzos	31	
12	Resultados obtenidos	33	
13	Límites de consistencia	34	
14	Valor relativo de soporte (C.B.R)	35	
15	Esfuerzos	36	
16	Límites de consistencia	37	
17	Valor relativo de soporte (C.B.R)	38	
18	Esfuerzos	39	
19	Límites de consistencia	40	
20	Valor relativo de soporte (C.B.R)	41	
21	Esfuerzos	42	
22	Límites de consistencia	43	
23	Valor relativo de soporte (C.B.R)	44	
24	Esfuerzos	45	
25	Límites de consistencia	46	
26	Valor relativo de soporte (C.B.R)	47	
27	Esfuerzos	48	
28	Límites de consistencia	49	

29	Valor relativo de soporte (C.B.R)	50
30	Esfuerzos	51
31	Límites de consistencia	52
32	Valor relativo de soporte (C.B.R)	53
33	Esfuerzos	54
34	Límites de consistencia	55
35	Valor relativo de soporte (C.B.R)	56
36	Esfuerzos	57
37	Límites de consistencia	58
38	Valor relativo de soporte (C.B.R)	59
39	Esfuerzos	60
40	Límites de consistencia	61
41	Valor relativo de soporte (C.B.R)	62
42	Esfuerzos	63
43	Límites de consistencia	64
44	Valor relativo de soporte (C.B.R)	65
45	Esfuerzos	66
46	Límites de consistencia	67
47	Valor relativo de soporte (C.B.R)	68
48	Esfuerzos	69
49	Mezclas– esfuerzos	70
50	Mezclas – C.B.R	71
51	Mezclas – esfuerzos	72
52	Mezclas – C.B.R	73
53	Mezclas – esfuerzos	74
54	Mezclas – esfuerzos	75

## Lista de figuras

<b>Nº</b>	<b>Nombre</b>	<b>Pag. Nº</b>
1	Origen y formación del suelo	11
2	Características del hidrómetro	16
3	Macro localización del lugar en estudio	23
4	Micro localización del sitio en estudio	24
5	Columna estratigráfica del pozo a cielo abierto	25

## Lista de gráficos

<b>Nº</b>	<b>Nombre</b>	<b>Pag. Nº</b>
1	Análisis granulométrico mecánico	26
2	Análisis granulométrico por hidrometría	17
3	Determinación del límite líquido	28
4	Densidad Vs humedad	29
5	Densidad Vs C.B.R	31
6	Determinación del límite líquido	34
7	Densidad Vs C.B.R	36
8	Determinación del límite líquido	37
9	Densidad Vs C.B.R	39
10	Determinación del límite líquido	40
11	Densidad Vs C.B.R	42
12	Determinación del límite líquido	43
13	Densidad Vs C.B.R	45
14	Determinación del límite líquido	46
15	Densidad Vs C.B.R	48
16	Determinación del límite líquido	49
17	Densidad Vs C.B.R	51
18	Determinación del límite líquido	52
19	Densidad Vs C.B.R	54
20	Determinación del límite líquido	55

21	Densidad Vs C.B.R	57
22	Determinación del Límite líquido	58
23	Densidad Vs C.B.R	60
24	Determinación del Límite líquido	61
25	Densidad Vs C.B.R	63
26	Determinación del Límite líquido	65
27	Densidad Vs C.B.R	66
28	Determinación del Límite líquido	67
29	Densidad Vs C.B.R	69
30	Esfuerzo a compresión de espécimen de suelo - cemento Vs % cemento en peso	70
31	% cemento Vs C.B.R	71
32	Esfuerzo a compresión de espécimen de suelo – Cal hidratada Vs % cal hidratada en peso	72
33	% cal hidratada Vs C.B.R	73
34	Esfuerzo a compresión de espécimen de suelo – arena pómez Vs % arena pómez en peso	74
35		
36	Esfuerzo a compresión de espécimen de suelo – cloruro de sodio Vs % cloruro de sodio peso	75

# **CAPITULO I**

## **GENERALIDADES**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Algunos suelos arcillosos, debido a su mala calidad y baja capacidad de soportar cargas impuestas, no siempre cumplen con los requerimientos necesarios para ser empleados en los proyectos. Una alternativa de solución es mejorar las características mecánicas del material, estabilizándolo con productos adicionados. Los pavimentos de carreteras que se construyen sobre suelo de baja capacidad de soporte, presentan un elevado costo por que su diseño demanda mayores espesores. Luego su vida útil disminuye por problemas de hundimientos o asentamientos.

El funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacente. los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos, por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización, utilizando diversos materiales, como cales, cementos, aditivos, emulsiones, enzimas, etc. sin embargo, aún es necesario profundizar en el estudio de nuevos métodos de estabilización que otorguen resultados favorables y que su a vez, se proyecten en beneficio económico y tecnológico dentro de la industria de la construcción.

Algunos métodos de mejoramiento de suelos en pavimentación es la adición de materiales elevados en calcio, como el cemento y la cal hidratada; estos materiales mezclados en un porcentaje adecuado, con la humedad óptima y energía de compactación de acuerdo a la capa a construir han demostrado un comportamiento eficiente cuando se tienen un buen control de calidad. Presentan una buena resistencia a los factores climáticos, adecuada absorción de los esfuerzos producidos por el tránsito, y disminuye los costos de construcción.

Es importante destacar que las sales han sido estudiadas, con fines de estabilización, desde hace varias décadas, entre las que se pueden citar el cloruro de potasio, el cloruro de magnesio, cloruro de bario, nitrato de sodio, carbonato de sodio, cloruro de calcio, cloruro de sodio, entre otros, sin embargo, solo algunas de ellas, por razones económicas, han podido ser aplicadas a la estabilización de terracerías. Particularmente, el cloruro de sodio por su bajo costo, es de los que más se han empleado en carreteras, en algunos casos con mayor o menor éxito dependiendo de las condiciones particulares del caso que se trate.

En el presente trabajo de investigación se plantea el estudio de la estabilización de arcilla negra, la cual fue extraída del “Barrio la campana”, ubicado en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua, para lograr la estabilización se utilizaron cuatros tipos de estabilizantes (arena pómez, cloruro de sodio, cal hidratada y cemento). En las mezclas se utilizaron diferentes porcentajes de estabilizantes.

Se realizaron ensayos de laboratorio a la muestra de arcilla, y a todas las mezclas que se utilizaron para lograr valores positivos en la estabilización, todos estos ensayos realizados de acuerdo a las normas ASTM.

También se realizaron graficas del comportamiento del porcentaje de estabilizante versus la resistencia y el porcentaje óptimo de cal hidratada y cemento versus C.B.R.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El empleo de la estabilización química de los suelos se ha convertido en una muy seria alternativa a considerar en estos momentos, a partir de contar con una gran cantidad de vialidades que han sido evaluadas y construidas con este método en los últimos años con resultados altamente alentadores.

La estabilización química de los suelos ofrece una alternativa en costos más baja a los métodos tradicionales de construcción y tienen la gran ventaja de utilizar los suelos del sitio de los trabajos. A partir de los exitosos trabajos realizados y la ventajosa relación costo-efectividad lograda, este método ha ido ganando adeptos en muchos sectores.

La estabilización de suelos con cal parece ser la más antigua forma de mejoramiento de suelos por este estilo de método. Hay evidencia de que la vía Apia, acceso a la antigua Roma, se construyó utilizando estas técnicas.

En términos generales, las técnicas de estabilización con cal hidratada son bastantes similares a las de la estabilización con cemento, pero existen dos aspectos de diferencia que conviene destacar desde un principio. En primer lugar, la cal tiene un aspecto de aplicación que se extiende mucho más hacia los materiales más arcillosos que el cemento y, en contrapartida, se extiende algo menos hacia los materiales granulares de naturaleza friccionante.

En segundo lugar, está el uso cada día más extendido que se hace de la estabilización con cal como un pre-tratamiento, lo que da una filosofía especial a mucho de los usos de la cal, pues en estos casos no necesariamente han de satisfacerle todos los requerimientos de una estabilización definida. (Rico y Del castillo, vol. 2,2000).

La aplicación de suelo – cemento empezó a estudiarse metódicamente entre 1910 y 1920. En Inglaterra, en 1917, Brooke Bradley empleo con éxito una mezcla de cemento con suelo arcilloso en la construcción de una carretera.

Sin embargo, a pesar de los excelentes resultados, la técnica no fue usada posteriormente.

En los estados unidos, el uso del suelo-cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies. El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de California del Sur contribuyeron al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940.

Los productos químicos que han sido más empleados en Nicaragua, son: la cal y el cemento; estos aditivos han sido utilizados para estabilizar la capa de subbase en tramos de carretera, tales como: Nandaime – Rivas – Peñas Blancas, Boaco – Matiguas – Río Blanco, Izapa – León – Chinandega, La Gateada – Nueva Guinea, San Benito – Sébaco y Muhan – El Rama. A estos se le adicionan los tramos de caminos que han sido adoquinados (finalizados y en proceso de ejecución), donde se ha propuesto estabilizar la base de los mismos. En cuanto a caminos no pavimentados, se ha estabilizado el tramo de camino revestido La Dalia – La Mora – Waslala; donde se utilizó cemento y Sistema Consolid. Así mismo, existen algunos tramos de caminos rurales que han sido tratados con estabilizantes, en muchos casos de ellos, utilizados en tramos de pendientes fuertes, pero que no se cuenta con registro de estas intervenciones. En comparación con otros países, en Nicaragua, se cuenta con la experiencia obtenida, a como se mencionó anteriormente, sin embargo, no se dispone de esta información como una base científica, útil en la determinación de comportamientos técnicos, resultados, y comparaciones.

En Nicaragua no existe registro de estabilización con cloruro de sodio ni con arena pómez.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a que la arcilla negra es de mala calidad y baja capacidad de soportar cargas, no es apta para usarse como capa de sub-rasante en la construcción de la estructura de pavimento ni como material de desplante en estructuras verticales. Por lo tanto, el suelo será removido y sustituido por otro de mejor calidad, o en su defecto, emplear cualquier método de estabilización que permita cumplir con las especificaciones de resistencia, la cual es de **21 Kg/cm<sup>2</sup>** (norma I.N.V E-614), para ser utilizadas como un material óptimo para el proyecto a ejecutar.

En el barrio “La Campana”, ubicado en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua, se dificulta el acceso vehicular debido a que el suelo predominante es la arcilla negra, la cual durante el invierno la vía se vuelve intransitable debido a la acumulación de aguas pluviales, lo que dificulta el buen tránsito de medios de transporte urbano. Las paredes de las casas de la población presentan fisuras debido a la expansión de la arcilla en temporada lluviosa y contracción en la temporada seca.

El propósito de esta investigación en la parte social es el de mejorar la calidad de vida en ese sector ya que reduce gastos de transporte, enfermedades que se puedan presentar por las condiciones en que se encuentra, una mayor confiabilidad bajo todas las condiciones climáticas que se presenten, un mejor acceso para vehículos livianos y pesados que pasan por la zona, así como a las comunidades vecinas a esta , en el barrio existe un colegio esto hace que los estudiante hagan uso de las vías, ya que se estarían eliminando los impedimentos que puedan presentarse y de esta forma optimizar las condiciones para poder llegar a su centro.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general.**

- Determinar la estabilización de arcilla negra con cloruro de sodio (nacl), arena pómez, cal y cemento, para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar la toma de muestras alteradas por medio del método de pozo a cielo abierto a una profundidad de un metro, en el sitio en estudio.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelo, a través de los ensayos: Límites de consistencia, Granulometría, Gravedad específica, Densidad seca máxima, Humedad Optima, Humedad Natural, Peso Volumétrico, Resistencia a la compresión Simple, Valor Relativo de Soporte (C.B.R).
- Seleccionar el porcentaje óptimo de agente estabilizante a través del ensayo de resistencia a compresión simple.

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO**

## **2.1 CONCEPTOS BASICOS.**

Para comprender el análisis de una estabilización de suelos cohesivos es necesario conocer algunos conceptos básicos que permitirán una mejor comprensión de los temas relacionados con los suelos cohesivos

## **2.2 ESTABILIZACIÓN.**

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.

Se dice que es la corrección de una deficiente para darle una mayor resistencia al terreno o bien disminuir su plasticidad.

### **2.2.1 Características de la estabilización.**

La estabilización de suelos consiste en un tratamiento químico o mecánico para mejorar o mantener la estabilidad de una masa de suelo o para mejorar sus propiedades ingenieriles.

La estabilización química consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo, el cual mezclado con el suelo, normalmente produce unos cambios en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y en algunos casos, pega los granos entre sí de modo de producir un incremento en su resistencia.

La estabilización mecánica es la alteración de las propiedades del suelo cambiando su granulometría por medio de agregar o sacar partículas o por compactación del suelo.

### **2.2.2 Tipos de estabilizaciones.**

#### **2.2.2.1 Estabilización Física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo por medio de mezclas de suelos.

### **2.2.2.2 Estabilización Química**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

### **2.2.2.3 Estabilización Mecánica**

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

### **2.2.3 Productos empleados en la estabilización.**

En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presente las variaciones que se espera lograr en lo que respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad.

✓ **Cal:**

Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

✓ **Cemento Portland:**

Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

✓ **Productos Asfálticos:**

Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.

✓ **Cloruro de sodio:**

Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

✓ **Cloruro de calcio:**

Impermeabilizan y disminuyen los polvos en los suelos, principalmente para las arcillas y limos.

✓ **Escoria de fundición:**

Esta se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

✓ **Polímeros:**

Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongarle su vida útil.

✓ **Hule de neumático:**

Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

## **2.3 SUELO.**

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física, y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. Los suelos son sistemas complejos donde ocurren una vasta gama de procesos físicos y biológicos que se ven reflejados en la gran variedad de suelos existentes en la tierra (Crespo, 2004, página 18).

Juárez & Rico (2007) dicen que muchos son los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de estos son: la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, deposición de material orgánico y la intervención humana en procesos específicos.

### **2.3.1 Origen y formación del Suelo.**

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas las cuales se presentan en la figura N° 1.

Figura N°1: “Origen y Formación del suelo”



Fuente: Propia

### 2.3.2 Tipos de Suelos.

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía en base a criterios puramente descriptivos. Actualmente la clasificación de suelos está basada en las propiedades mecánicas de los suelos.

A continuación se describen los suelos más comunes, con el nombre generalmente utilizados para su clasificación en el terreno según ASTM.

- **Las Arenas y las Gravas:** Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.
- **Los limos:** Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida. Algunas veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos.
- **Las Arcillas:** Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo.

Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

Para identificar un suelo se utiliza el nombre del material predominante como sustantivo y el de menor proporción como adjetivo calificativo.

Por ejemplo Arena Limosa, indica un suelo en el cual predomina la arena y contiene cierta cantidad de limo (según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS).

### **2.3.3 Ensayos de Suelos**

Dichos ensayos nos permiten conocer propiedades físicas y mecánicas de los suelos según las normativas ASTM y AASHTO.

Estas normativas definen la determinación de las propiedades del suelo a través del método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), para obras de tipo vertical y el método HRB (Highway Research Board) para obras horizontales.

### **2.3.4 Propiedades Índice.**

A continuación, se dan a conocer las propiedades índices de los suelos y su objetivo de análisis.

#### **2.3.4.1 Humedad.**

El contenido de humedad del suelo, se define como la cantidad de agua presente en el suelo al momento de efectuar el ensaye, relacionado al peso de su fase sólida, (Das, 2001).

$$\%w = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100 ; \text{Ecuación \# 1}$$

Donde:

%w= porcentaje de humedad

Wh= peso de húmedo

Ws= peso seco

Todos los suelos se componen de tres fases, sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está constituida por las partículas minerales, la parte líquida está representada principalmente por agua, y la gaseosa por aire (Juárez y Rico, 2004).

Todas las fases ocupan un determinado volumen, y representan un determinado peso, con respecto al total de una muestra.

El objetivo principal de este ensaye es conocer la cantidad de agua presente en el suelo natural, esta se encuentra expresada en porcentaje y se utiliza posteriormente para determinar otras relaciones volumétricas. Estas pueden ser: peso específico, relación de vacíos grados de saturación y el peso volumétrico.

#### **2.3.4.2 Gravedad específica:**

Se define como Gravedad Específica de los Suelos, a la relación de la densidad de un suelo y la densidad del agua.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} ; \text{ Ecuación \# 2}$$

Donde:

$\gamma_s$ =densidad del suelo

$\gamma_w$ =densidad del agua

El valor de la Gravedad Específica de un suelo queda expresado por un valor abstracto; además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de la Mecánica de Suelos, el valor de la misma varía entre 2.20 y 3.00.

La gravedad específica es una propiedad de los materiales muy importante. Se utiliza para el cálculo de volúmenes de vacíos, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo, especialmente para agregados finos; es importante indicar que la gravedad específica no es un indicador de calidad.

#### **2.3.4.3 Análisis granulométrico**

La granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, ya que permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina. Además, las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de los suelos.

La estabilidad de un suelo depende de su cantidad de vacíos, mientras esta sea menor mejor será el comportamiento del mismo. Para lograr que los vacíos de un suelo sean reducidos al mínimo es necesario que el material tenga una gama de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas más pequeñas.

Esta prueba se remite a determinar al tamaño o diámetro de las partículas que componen el suelo, existen diferentes métodos, dependiendo de la mayor proporción de tamaños que existen en la muestra que se va a analizar.

Para las partículas Gruesas, el procedimiento utilizado es el Método Mecánico o Granulometría por Tamizado.

$$\%RP = \frac{WRP}{W_{total}} \times 100 ; \text{Ecuación \# 3}$$

Donde:

%RP= porcentaje retenido parcial

WRP=peso retenido parcial

Wtotal= peso total

$$\%RA = \Sigma \%RP ; \text{Ecuación \# 4}$$

Donde:

%RA= porcentaje retenido acumulado

$\Sigma$ %RP=sumatoria de los porcentajes retenidos parcial

$$\%Q_{PT} = 100 - \%RA; \text{Ecuación \# 5}$$

Donde:

%Q<sub>PT</sub> = porcentaje que pasa el tamiz

Pero para las partículas finas, por dificultarse más el tamizado se utiliza el Método del Sifoneado o el Método del Hidrómetro, basados en la Ley de Stokes.

$$D = \frac{K \sqrt{L/t}}{t} ; \text{ Ecuación \# 6}$$

Donde:

D=diámetro de las partículas

L= lectura

T= tiempo

#### **2.3.4.3.1 Granulometría por tamizado**

Es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominando a la fracción menor al (Tamiz N° 200) como limo, Arcilla y Coloide. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

El primer grupo es la fracción “gruesa”, que está conformada por las partículas mayores a la malla N° 200 (0.074mm). Y el segundo es la parte “fina”, la cual está conformada por todas aquellas partículas menores a la malla N° 200. Se considera un suelo grueso, cuando el 50% del peso de una muestra queda retenido en la malla N° 200. Los suelos gruesos se subdividen en:

**a) Gravass de símbolo genérico **G**.**

**b) Arenas, de símbolo genérico **S**.**

Las gravas y las arenas se separan con la malla N° 4 (4.76mm). Se considera como grava a todo el material retenido en dicha malla.

El material que pasa la malla N° 4 y es retenido en la malla N° 200, es una arena.

Estos grupos **G** y **S**, se subdividen en cuatro grupos más, en función de su gama de tamaños, de la presencia de finos y la plasticidad de los mismos.

De esta forma a cada grupo formado se le asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas. Cuando el 50% del peso total de la muestra traspasa la malla N° 200, se dice que el suelo es fino.

De la misma forma que los suelos gruesos, los finos se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (**IP**).

Estos tres grupos son:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico **M**.
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo **C**.
- c) Arcillas y limos orgánicos de símbolo genérico **O**.

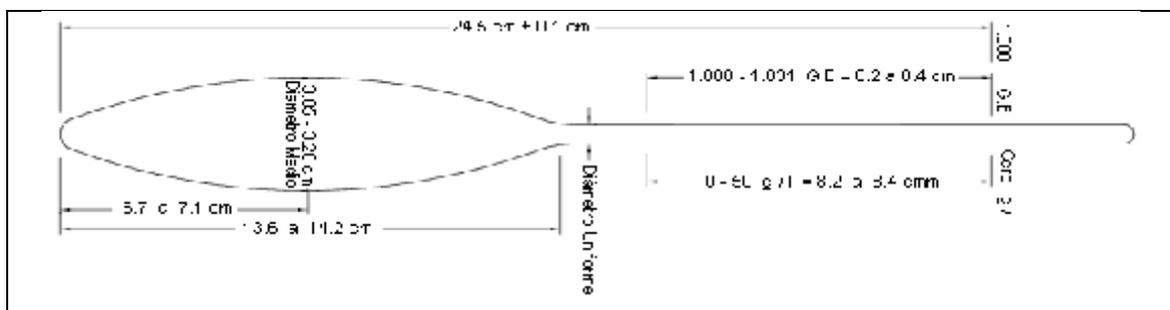
Al igual que los suelos gruesos, el símbolo consta de dos letras, esta segunda letra es asignada en función de su grado de compresibilidad, definida por el límite líquido (**LL**), esta segunda letra puede ser **H**, para una alta compresibilidad o **L**, para baja compresibilidad.

### 2.3.4.3.2 Análisis granulométrico por medio del hidrómetro

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido con el diámetro de la esfera. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños.

El diámetro se usa para determinar el porcentaje de partículas del suelo dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis del hidrómetro se aplica a partículas de suelo que pasan el tamiz No.10.

Figura N° 2, Características del hidrómetro.



Fuente: (Crespo Villalaz, 2004).

La tabla muestra las ecuaciones utilizados en el cálculo de los parámetros de interés en esta prueba.

Tabla N° 1: Ecuaciones utilizadas en el ensayo.

Parámetro	ID	Ecuación
Corrección lecturas	2.5	$R = R'' + 0.6 \times 10^{-3}$
Diámetro de Partículas	2.6	$D = K \cdot \sqrt{L/t}$

Fuente: (Crespo Villalaz, 2004).

Donde:

R=lectura corregida, R'' = lectura real y  $0.6 \times 10^{-3}$  = factor de corrección.

D= Diámetro de las partículas, L = lectura, t = tiempo.

#### 2.3.4.4 Límites de consistencia de los Suelos (Límites de Atterberg).

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916). (ASTM International, 2007), los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza.

Pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

La arcilla, por ejemplo, al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido. El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico. Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo (Crespo, 2004).

- ✓ **Limite Liquido (L.L):** (Crespo, 2004), el límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo.

$$L.L = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 ; \text{Ecuación \# 7}$$

Donde:

L.L = limite liquido

Wh = peso húmedo

Ws = peso seco

- ✓ **Limite Plástico (L.P.):** el límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porciento, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm. de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente (Crespo, 2004).

$$L.P = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 ; \text{Ecuación \# 8}$$

Donde:

L.P = limite plástico

Wh = peso húmedo

Ws = peso seco

- ✓ **Límite de Contracción (L.C.):** en un suelo se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo. El límite de contracción es muy útil para evaluar el comportamiento de cortes y terraplenes principalmente en el posible surgimiento de grietas (Crespo, 2004).

$$Lc = \frac{Wm - Ws (V_1 - V_2) \gamma_w}{Ws} \times 100; \text{ Ecuación \# 9}$$

Dónde:

Lc = Límite de Contracción

Wm = Peso de la muestra húmeda.

Ws = Peso de la muestra seca.

V1 = Volumen de la muestra húmeda

V2 = Volumen de la muestra seca

$\gamma_w$  = Peso específico del agua a temperatura de ensaye.

- ✓ **Índice de plasticidad (IP):** es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil.

$$I.P = L.L - L.P; \text{ Ecuación \# 10}$$

Donde:

I.P = índice de plasticidad.

L.L = límite líquido

L.P = límite plástico

El **IP** se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.

### 2.3.5 Pesos Unitarios

Es la relación entre el peso de una determinada cantidad de suelo y el volumen ocupado por el mismo, considerando como volumen al que ocupan las partículas y su correspondiente espacio inter granular.

$$PV = \frac{Ws}{Vol}; \text{ Ecuación \# 11}$$

Donde:

PV= peso volumétrico

Ws= peso seco

Vol. = volumen del molde

### 2.3.6 Proctor Estándar

La prueba Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto:

- a) Determinar el peso volumétrico seco máximo que se puede alcanzar en un material, así como la humedad óptima a que deberá hacerse la compactación.

$$\text{PVM} = \frac{W_s}{\text{Vol}} ; \text{Ecuación \# 12}$$

Donde:

PVM=peso volumétrico máximo

Vol.=volumen del molde

$$\%w = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 ; \text{Ecuación \# 13}$$

Donde:

%w= porcentaje de humedad

Wh= peso de húmedo

Ws= peso seco

- b) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, aeropuertos y calles, relacionan el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

### 2.3.7 Valor Relativo de Soporte Normal del Suelo (C.B.R)

El valor relativo de soporte de un suelo (C.B.R) es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelos, respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra tipo piedra triturada.

$$\text{C. B. R (0.1'')} = \frac{\text{Esfuerzo para (0.1'')}}{\text{Esfuerzo patron para (0.1'')}} \times 100 ; \text{Ecuación \# 13}$$

$$\text{C. B. R (0.2')} = \frac{\text{Esfuerzo para (0.2')}}{\text{Esfuerzo patron para (0.2')}} \times 100 ; \text{Ecuación \# 14}$$

Donde:

C.B.R (0.1", 0.2") = valor relativo de soporte normal.

### **2.3.8 Resistencia a la Compresión no confinada**

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión no-confinada de suelos cohesivos en las condiciones inalteradas y remodeladas, empleando la aplicación de la carga ya sea por deformación controlada o por esfuerzo controlado.

El propósito principal del ensayo de compresión no-confinada es obtener de manera rápida valores cuantitativos aproximados de la resistencia a la compresión para permitir su ensayo sin confinamiento.

Resistencia a la compresión no-confinada. La carga por unidad de área a la cual un espécimen prismático o cilíndrico de suelo fallara en un ensayo de compresión simple. En estos métodos de ensayos se toma la resistencia a la compresión no-confinada como la carga máxima alcanzada por unidad de área, o la carga por unidad de área al 20% de deformación axial, la que se obtenga primero durante un ensayo.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{carga (lbs)}}{\text{area (plg}^2)} ; \text{Ecuación \# 15}$$

**CAPITULO III**  
**ANALISIS Y RESULTADOS**

### 3.1 METODOLOGÍA

#### 3.1.1 Descripción del suelo:

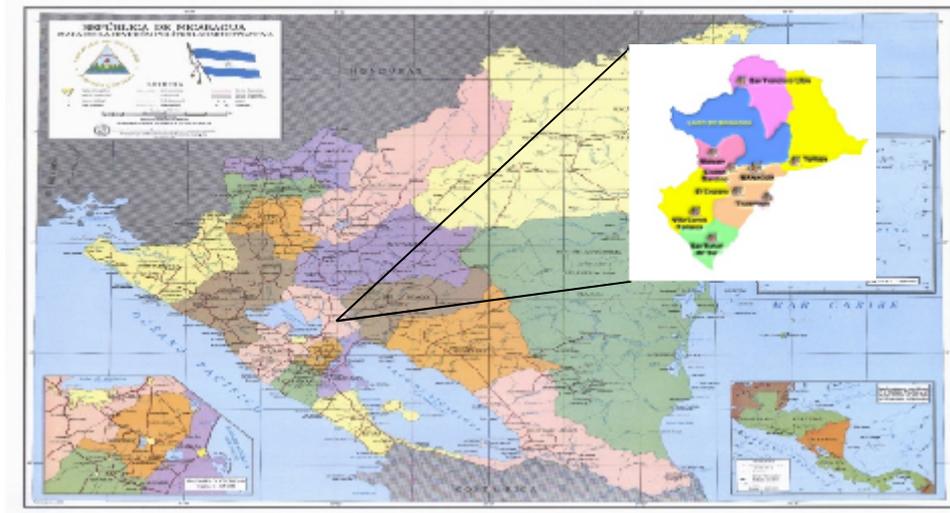
El suelo a estabilizar es cohesivo por lo que su estructura es inestable y se tiene que hacer un previo tratamiento para lograr que sea funcional para la construcción. Los suelos cohesivos son de los más difíciles de estabilizar por las características de plasticidad que poseen y el porcentaje de absorción de humedad, en esta investigación de estabilización se trabaja con suelos procedentes del Barrio la campana, sector norte del municipio de Tipitapa del departamento de Managua (Fig. N° 4: Micro localización del sitio en estudio), el cual contiene más del 25% de partículas finas y un índice de plasticidad mayor del 10%, estas características lo hacen susceptible a la estabilización. Las muestras recolectadas son de color negro y para extraerlas se debió de excavar a 1 metro de profundidad para evadir el suelo orgánico y tener muestras de suelos más limpia.

##### 3.1.1.1 Localización del sitio en estudio.

- Macro localización:

El municipio de Tipitapa, pertenece al departamento de Managua y está ubicada a 20 km de la Ciudad de Managua.

Figura N° 3: Macro localización del lugar en estudio.

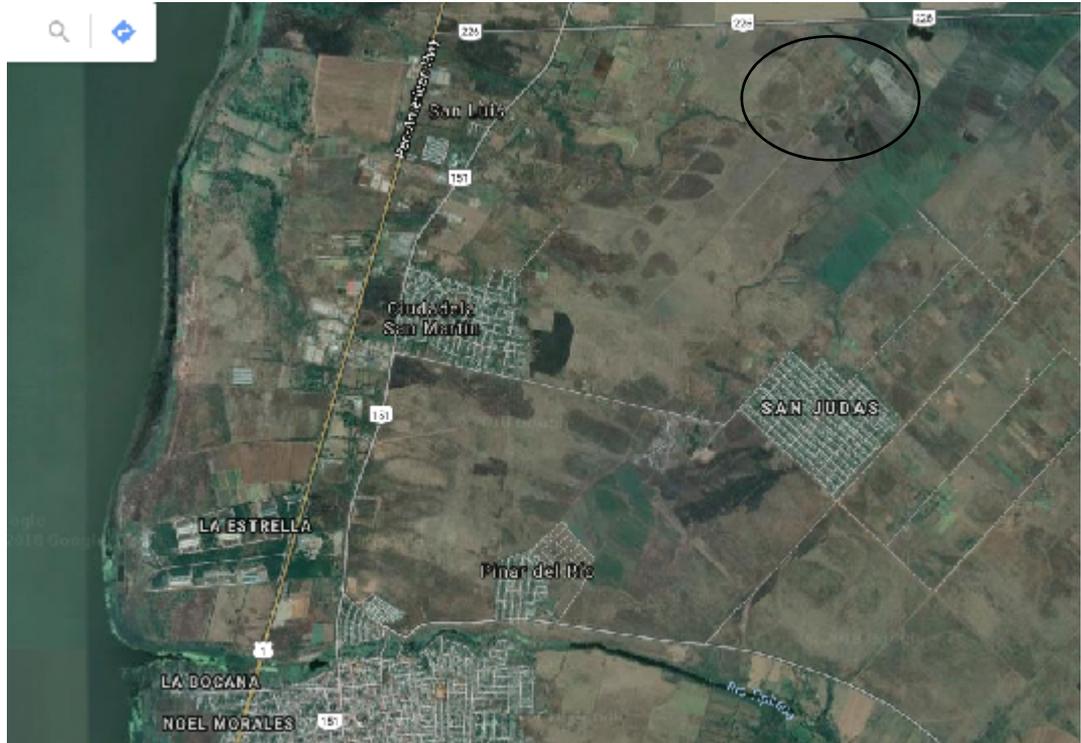


Fuente: Elaboración Propia.

- **Micro Localización:**

El sitio exacto de la investigación se encuentra ubicado a 5.5 km al Noreste del Barrio Ciudadela San Martín del municipio de Tipitapa.

Figura N° 4: Micro localización del sitio en estudio

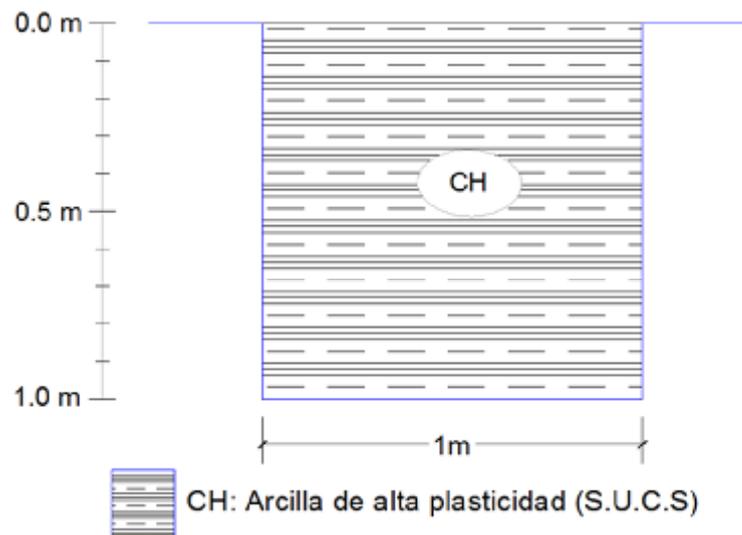


Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2 TRABAJO DE CAMPO.

Para el desarrollo de este estudio experimental se realizó un pozo a cielo abierto de 1m x 1m visto en planta por 1m de profundidad (Figura N° 1, anexo A, Pág. I), en el sitio en estudio Barrio la Campana (Figura N° 4), con el objetivo de poder evaluar visiblemente el estrato de arcilla y así poder tomar tres (3) muestras alteradas, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de materiales y suelos de la UNI, para su caracterización (Figura N° 2, anexos A, Pág.I).

Figura N°5: Columna estratigráfica del pozo a cielo abierto



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 TRABAJO DE LABORATORIO.

A partir de las muestras obtenidas mediante el pozo a cielo abierto, se le efectuaron ensayos físico-mecánicos, para caracterizarlas. Se utilizaron los procedimientos establecidos por las normas de la A.S.T.M, los cuales se mencionan en la tabla N° 2.

Tabla N° 2. Ensayos a la muestra de suelo.

<b>Ensayo</b>	<b>Especificaciones A. S. T. M.</b>
Exploración y Muestreo	No tiene
Determinación de humedad natural	D - 2216
Densidad bruta (peso unitario)	C 29/ C 29M – 97
Análisis Granulométrico	D – 422
Gravedad específica	D – 854
Límites de consistencia	D – 4318
Proctor Estándar	D- 698 - 91
Resistencia a la compresión sin confinar	D - 2166
Valor relativo de soporte <b>(C.B.R)</b>	D – 1883 - 73
Clasificación <b>(S.U.C.S)</b>	D - 2487

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.1 Resultados obtenidos.

Las tres (3) muestras obtenidas a partir del pozo a cielo abierto fueron agrupadas y ensayadas como una sola muestra por ser iguales.

### 3.3.1.1 Ensayo de determinación del porcentaje de humedad natural.

En el ensayo de contenido de humedad natural se obtuvo un valor promedio de 48.4%.

Tabla N° 3: Porcentaje de humedad

Ensayo N°	1	2	3	promedio
% w	47.9	48.5	48.7	48.4

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.2 Ensayo de densidad bruta (pesos unitarios o pesos volumétricos).

En el ensayo de pesos unitarios efectuado se obtuvo un peso volumétrico seco suelto de 939 Kg/m<sup>3</sup> y un peso volumétrico seco compacto de 1050 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabla N° 4: Pesos unitarios

Ensayo N°	1	2	3	promedio
PVSS(Kg/m <sup>3</sup> )	940	937	939	939
PVSC(Kg/m <sup>3</sup> )	1059	1060	1060	1060

PVSS: Peso volumétrico seco suelto. PVSC: Peso volumétrico seco compacto.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.3 Ensayo de gravedad específica.

En el ensayo de gravedad específica se obtuvo un valor promedio de 2.54, siendo este resultado aceptable para este tipo de suelo.

Tabla N° 5: Gravedad específica

Ensayo N°	1	2	3	promedio
Gs	2.53	2.54	2.54	2.54

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.4 Ensayo de granulometría (mecánico).

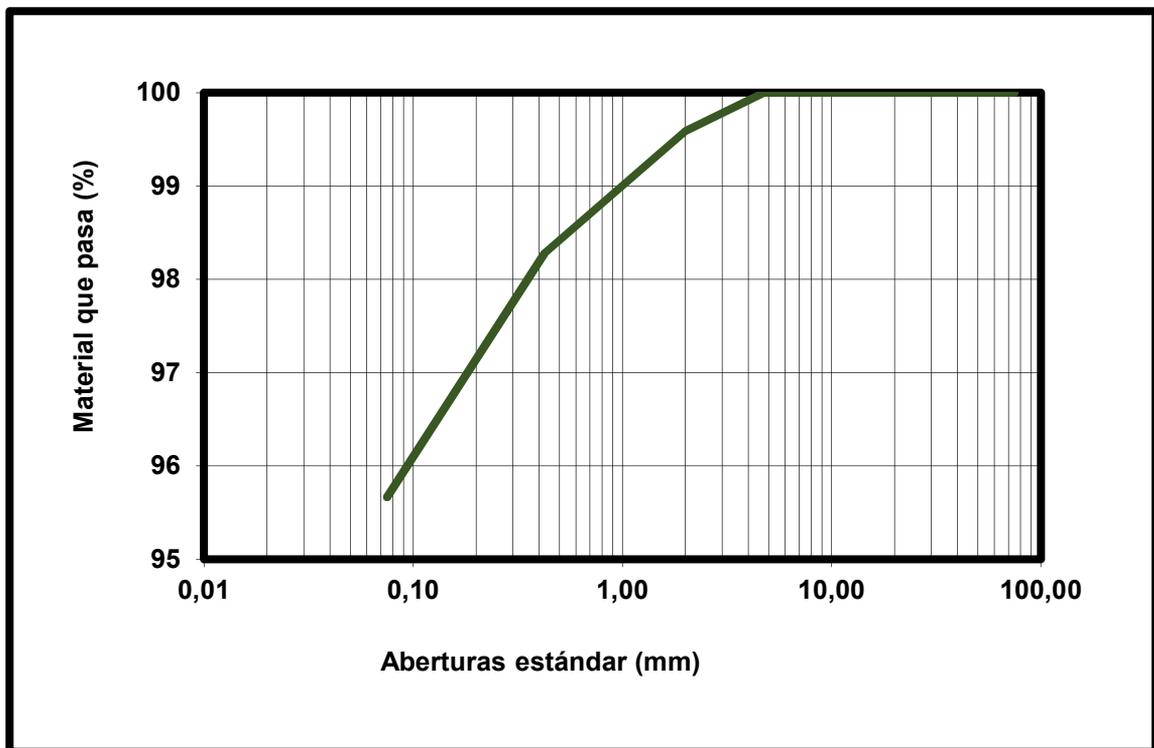
En el ensayo de granulometría mecánica se pudo calcular los porcentajes que pasan en cada uno de los tamices seleccionado obteniendo un 4.0% de arena y un 96% de limos y/o arcillas.

Tabal N° 6: Granulometría mecánica

Análisis con tamices			% de materiales		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa	% grava	% arena	% limos y/o arcillas
N° 4	4.76	100	0.0	4.0	96
N° 10	2.00	99			
N° 40	0.42	98			
N° 200	0.075	96			

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 1: Análisis granulométrico (mecánica)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.5 Ensayo de granulometría por hidrometría (sedimentación).

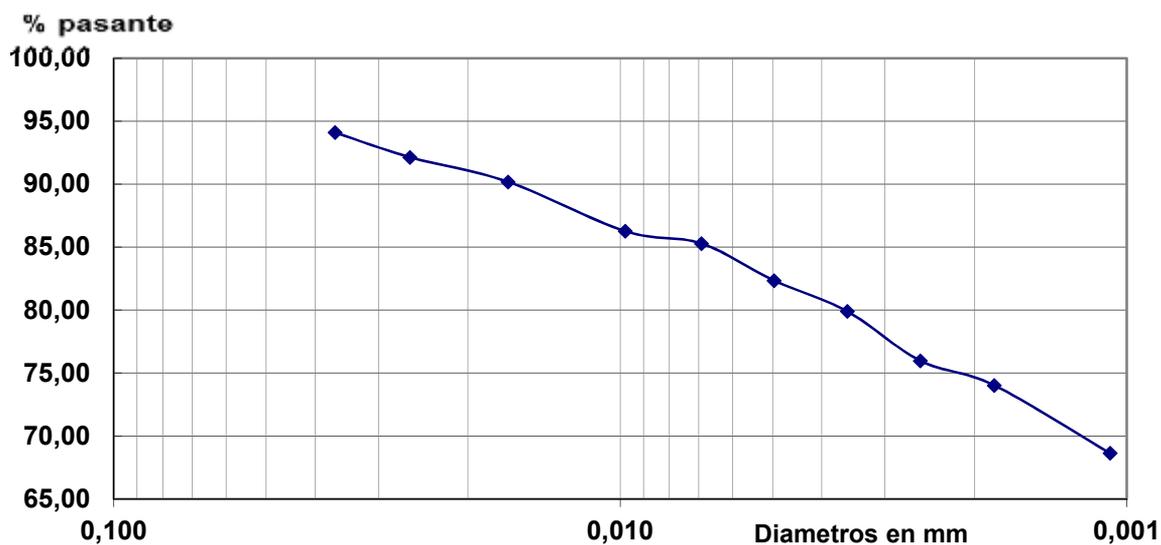
En el ensayo de granulometría por sedimentación se pudo calcular los porcentajes que pasan en cada uno de los diámetros, obteniendo un 22.0% de limos y un 74% de arcillas.

Tabla N° 7: Granulometría por sedimentación

Análisis por sedimentación		% de materiales	
Diámetros (mm)	% que pasa	% limo	% arcilla
0.037	94	22	74
0.026	92		
0.017	90		
0.010	86		
0.007	85		
0.005	82		
0.004	80		
0.003	76		
0.002	74		
0.001	69		

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 2: Análisis granulométrico por hidrometría (sedimentación)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.6 Ensayo de Límites de consistencia.

En el ensayo de límites de consistencia se logró calcular el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 82.2% y un límite plástico de 34.0. El índice de plasticidad es de 48.2%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de alta plasticidad **(CH)**.

Tabla N° 8: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	82.2	34.0	48.2	<b>CH</b>	Arcilla

L.L: Limite Liquido

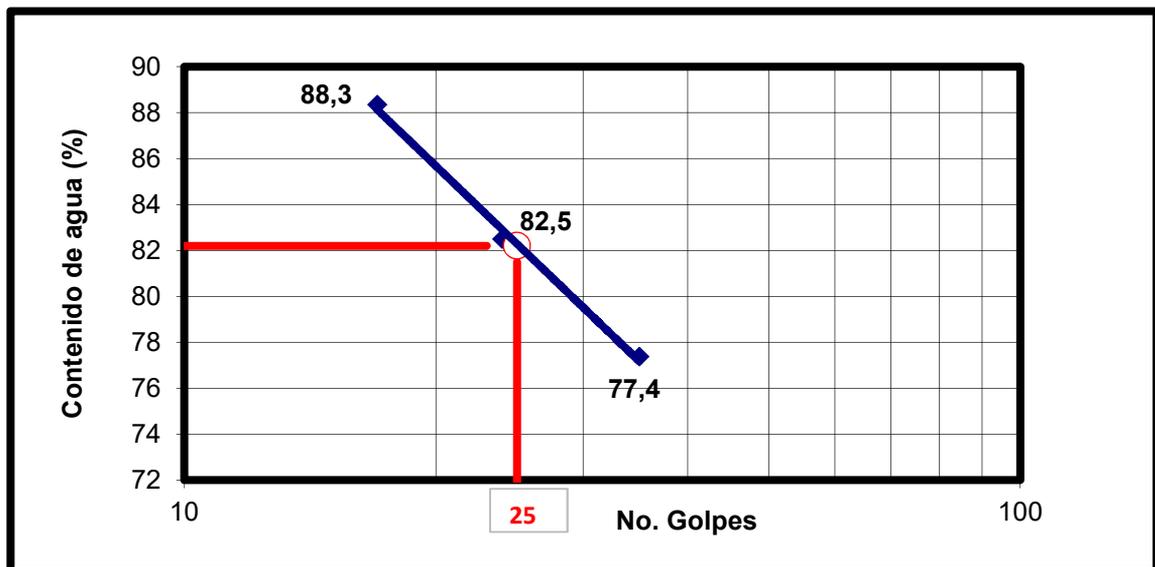
L.P: Limite Plástico

I.P: Índice de Plasticidad

S.U.C.S: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 3: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.7 Ensayo de compactación Proctor estándar.

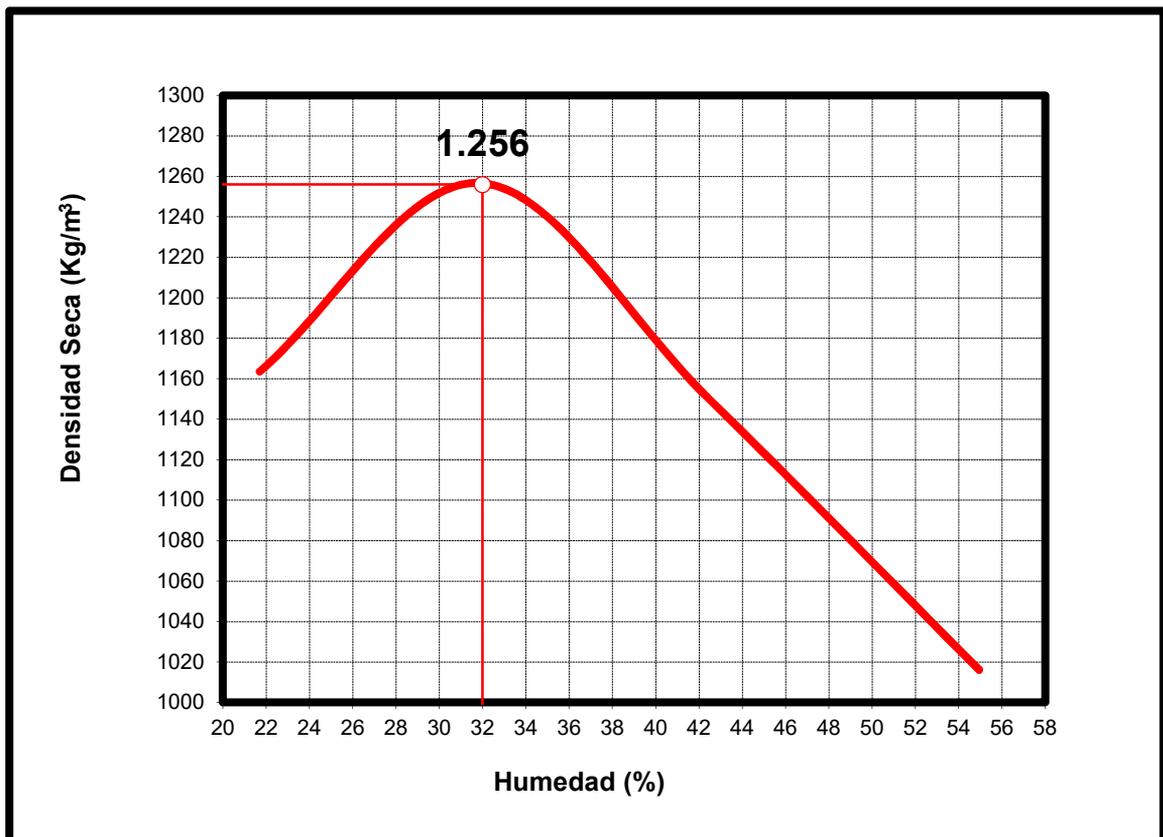
En el ensayo de Proctor estándar se encontró una densidad seca máxima de 1256 Kg/m<sup>3</sup> y una humedad óptima de 32.0%.

Tabla N° 9: Compactación Proctor estándar

<b>Ensayo N°</b>	1
<b>Muestra N°</b>	1
<b>Descripción del suelo</b>	Arcilla de color negro
<b>Densidad seca máxima (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1256
<b>Humedad óptima (%)</b>	32.0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 4: Densidad Vs humedad



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.8 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R).

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 1.6, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 2.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 2.2.

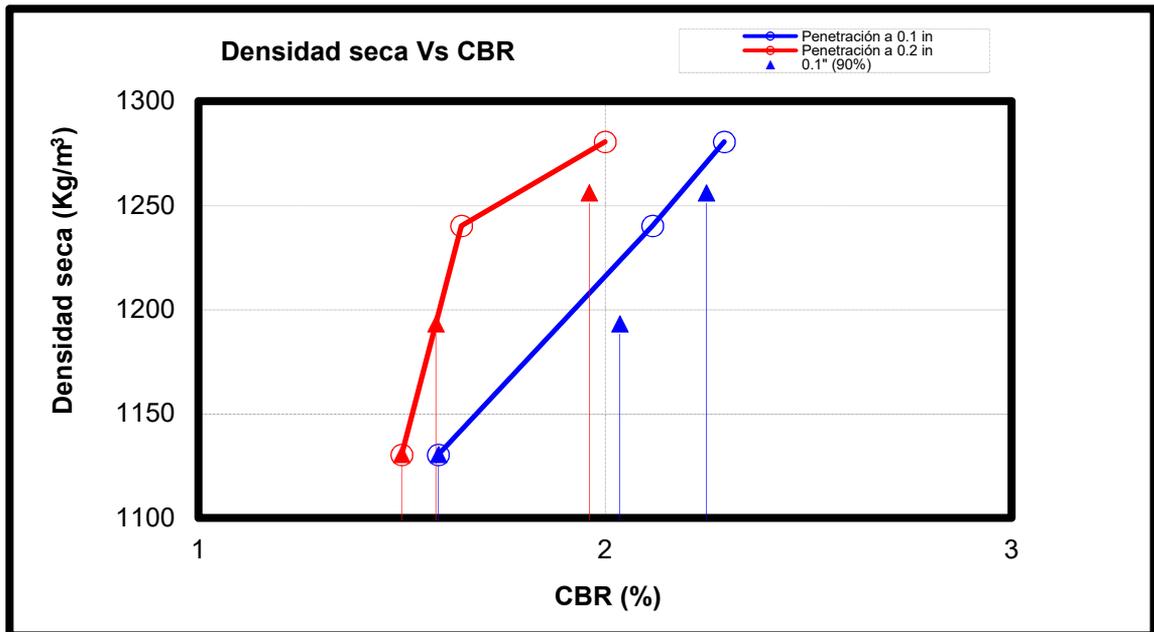
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 10: Valor relativo de soporte (C.B.R).

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados							
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0			
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)		
1	25	33.5	1130	90.0	14.8		
2	34	30.3	1240	98.7	13.9		
3	56	33.0	1280	101.9	13.0		
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos			
compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"	
90.0	1.6	1.5	90.0	1130	1.6	1.5	
98.7	2.1	1.6	95.0	1193	2.0	1.6	
101.9	2.3	2.0	100.0	1256	2.2	2.0	

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 5: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.9 Ensayo a la compresión simple.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 5.9.

Tabla N° 11: Esfuerzos

Espécimen N°	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
			PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	1,006	12.57	80.0	5.6	5.9
2	1,112	12.57	88.5	6.2	
3	1,033	12.57	82.1	5.8	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2 Tipos de agentes estabilizantes utilizados en esta investigación.

Para esta investigación se utilizó cuatro tipos de agentes estabilizantes;

- Cloruro de Sodio.
- Arena Pómez.
- Cal Hidratada.
- Cemento Portland.

#### 3.3.2.1 Características de las mezclas de suelo-agentes estabilizantes usados.

Con el fin de evaluar el porcentaje óptimo de agente estabilizante para el tipo de suelo en estudio, se le agrego diferentes porcentajes de agentes con relación al peso del suelo. Las muestras se sometieron a un periodo de curado de 7 días. Los porcentajes usados son:

- mezcla suelo-agente estabilizante (95% - 5%) → 95 - 5
- mezcla suelo-agente estabilizante (88% - 12%) → 88 - 12
- mezcla suelo-agente estabilizante (80% - 20%) → 80 - 20

#### 3.3.2.1 Procedimiento para calcular el peso de los materiales.

1. calcular la cantidad de material en peso de suelo seco que usaremos en el ensayo.

Aquí hay que calcular al menos para tres probetas de cilindros Proctor.

Se procedió así:

- Del ensayo Proctor: se obtuvo la densidad seca máxima y la humedad óptima. adicionalmente se obtiene el % corregido de estabilizante.

La cantidad de suelo seco compactado por metro cubico de suelo – estabilizante se obtiene como:

$$Psc = \frac{\text{Densidad seca maxima}}{1 + \% \text{estabilizante} / 100} ; \text{ Ecuación \# 13}$$

La cantidad de suelo seco por espécimen en el Proctor estándar es de 0.944 litros, por tanto, la cantidad de suelo seco por espécimen será de:

$$P_{esp} = \frac{P_{sc} 0,944}{1000}; \text{ Ecuación \# 14}$$

Esto nos dará la cantidad de suelo requerido para fabricar una probeta. Como se exigen tres, habrá que multiplicar esta cantidad por tres.

A la cantidad total se le adiciona el 15% como desperdicio, para tener material suficiente para los ensayos y garantizar la medición de humedad, la cual se contralora con el suelo sobrante de cada ensayo.

2. Determinación de la cantidad de estabilizante (Ce)

Ce=cantidad total de suelo x % de estabilizante en tanto por uno.

3. Cantidad de agua a añadir

$$Aa = \frac{Wt(w_{opt}-w_{nat})}{(1+w_{nat}) \times \gamma_w} \text{ (cm}^3\text{); Ecuación \# 15}$$

Donde:

**Aa:** agua a añadir

**Wt:** peso total de la muestra a ensayar

**w<sub>opt</sub>**=humedad optima del material obtenido del Proctor.

**w<sub>nat</sub>**=humedad natural del suelo.

**γ<sub>w</sub>**=Densidad del agua.

Este procedimiento se repite con los cuatro tipos de estabilizantes.

**3.3.2.1.1 Resultados obtenidos de los cálculos realizados.**

Tabla N° 12: Resultados obtenidos

Mezcla #	Estabilizante (%)	Peso del suelo (grs)	Agua a añadir (ml)	Peso del estabilizante (grs)
1	5	3,896	615	194.8
2	12	3,652	576.6	438.2
3	20	3,557	561.6	711.4

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3 Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cemento.

Los ensayos que se realizaron a la muestra de suelo con los diferentes porcentajes de cemento son: Límites de consistencia A.S.T.M D – 4318, Valor relativo de soporte (C.B.R) A.S.T.M D – 1883 – 73 y Resistencia a la compresión sin confinar A.S.T.M D – 2166.

#### 3.3.3.1 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 95% de suelo y 5% cemento.

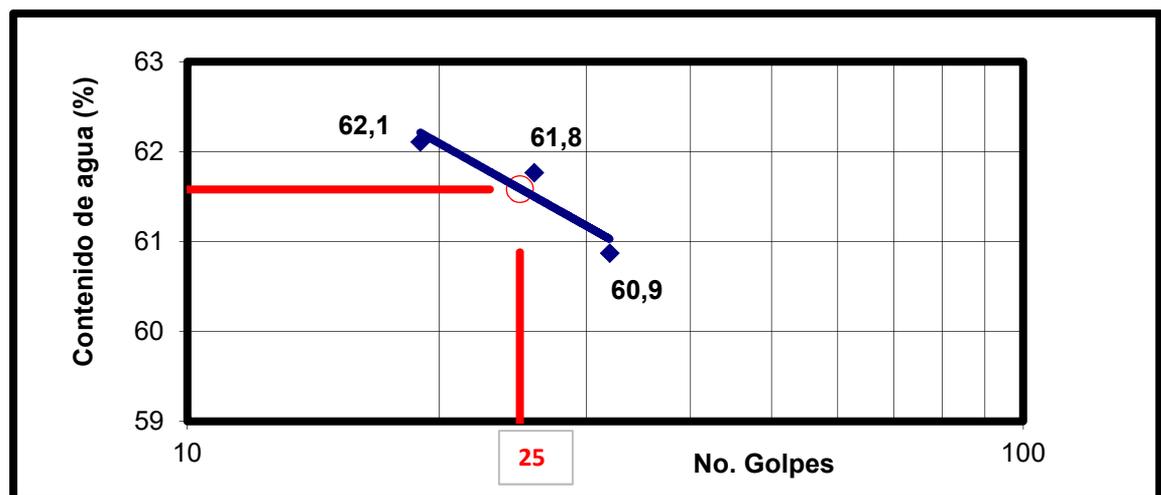
En el ensayo de límites de consistencia se logró calcular el límite líquido, obteniendo un valor de 61.1% y un límite plástico de 37.0%. El índice de plasticidad es de 24.6%. Su clasificación según **(SUCS)** es de un limo de alta plasticidad **(MH)**.

Tabla N° 13: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	61.6	37.0	24.6	MH	Limo

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N° 6: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.2 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 95% de suelo y 5% cemento.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo de suelo sin estabilizar.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 9.4, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 11.3 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 18.6.

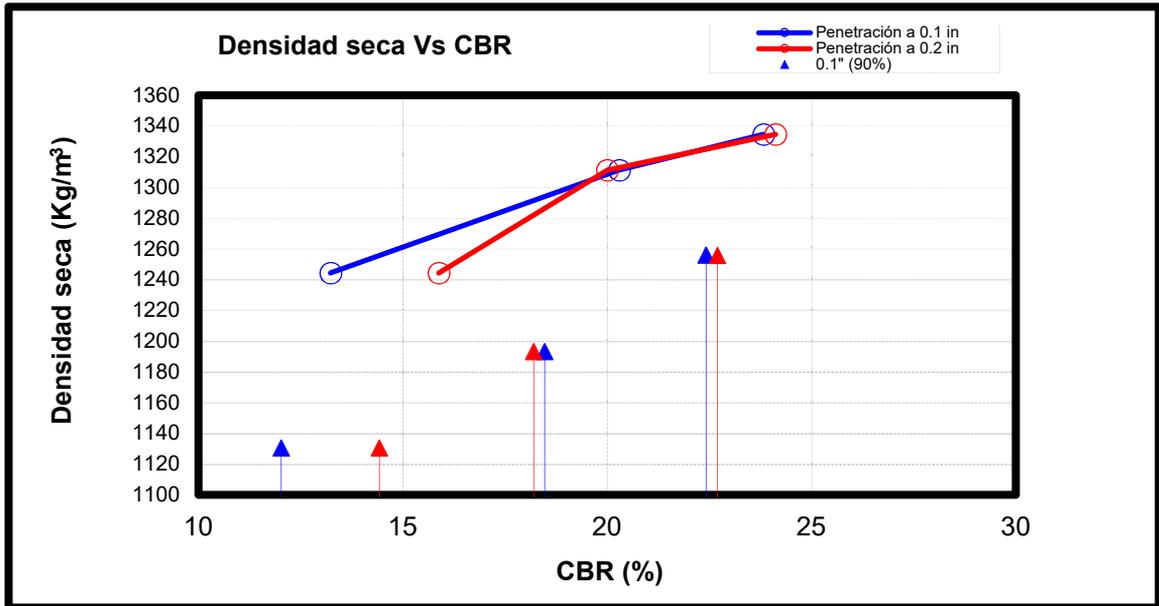
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 14: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad óptima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	33.4	1169	93.1	3.0	
2	34	32.7	1215	96.8	2.8	
3	56	31.5	1251	99.1	2.2	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
93.1	9.7	10.0	90	1130	9.4	9.7
96.8	11.5	12.4	95	1193	11.3	12.1
99.1	18.5	17.7	100	1256	18.6	17.7

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 7: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.3 Ensayo a la compresión simple mezcla de 95% de suelo y 5% cemento.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 13.8.

Tabla N° 15: Esfuerzos

Espécimen N°	Cemento (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	5	2,449	12.57	194.8	13.7	13.8
2	5	2,467	12.57	196.3	13.8	
3	5	2,467	12.57	196.3	13.8	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.4 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 88% de suelo y 12% cemento.

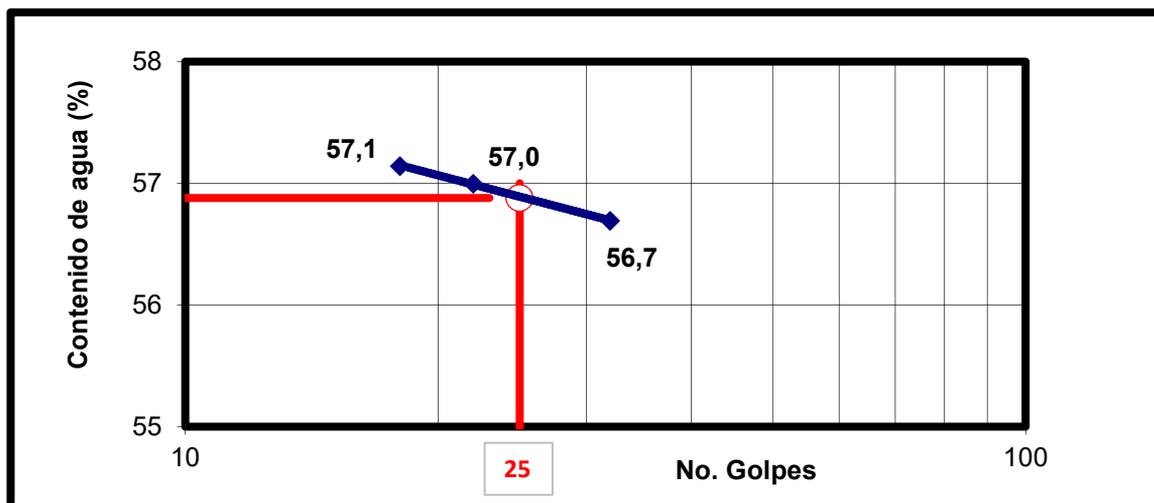
En el ensayo de límites de consistencia se logró determinar el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 56.9% y un límite plástico de 36.0%. El índice de plasticidad es de 20.9%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de un limo de alta plasticidad **(MH)**.

Tabla N° 16: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	56.9	36.0	20.9	MH	Limo

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N° 8: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.5 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 88% de suelo y 12% cemento.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizante.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 12.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 18.5 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 22.4.

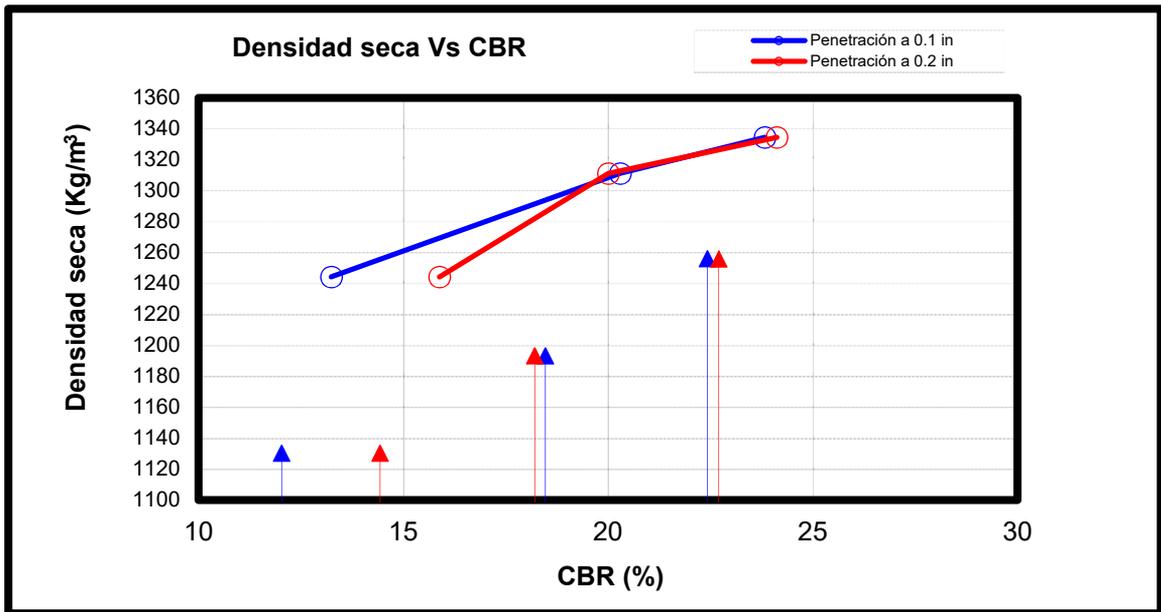
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 17: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	33.4	1175	93.5	3.3	
2	34	32.7	1204	95.9	2.9	
3	56	31.5	1257	100.1	2.2	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
99.1	13.2	15.9	90	1130	12.0	14.4
104.4	20.3	20.3	95	1193	18.5	18.2
106.3	23.8	23.8	100	1256	22.4	22.7

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 9: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.6 Ensayo a la compresión simple mezcla de 88% de suelo y 12% cemento.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 19.1.

Tabla N° 18: Esfuerzos

Especimen N°	Cemento (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	12	3468	12.57	275.9	19.4	19.1
2	12	3378	12.57	268.7	18.9	
3	12	3396	12.57	270.2	19.0	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.7 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 80% de suelo y 20% cemento.

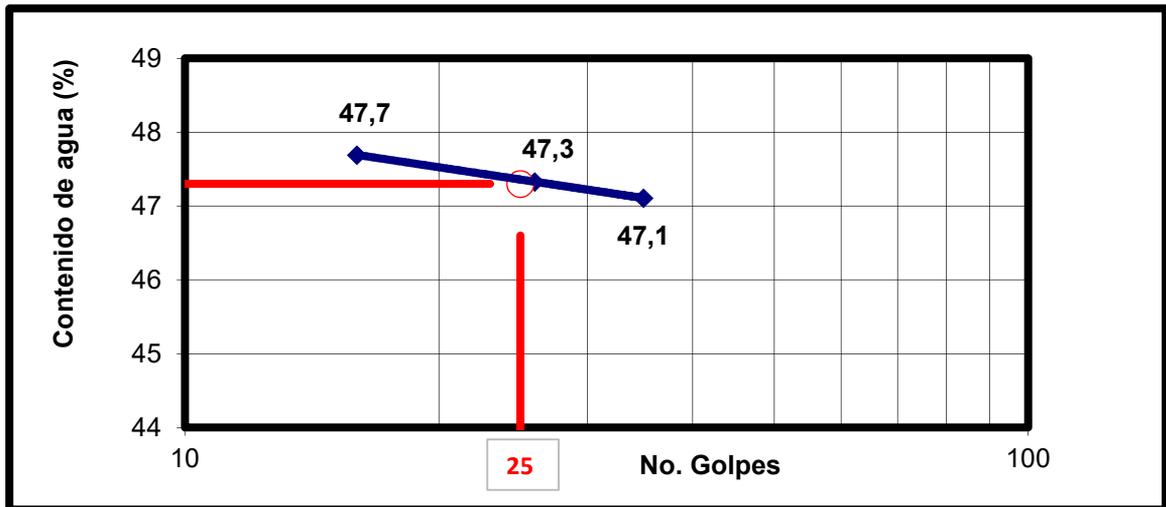
En el ensayo de límites de consistencia se logró determinar el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 47.3% y un límite plástico de 36.0%. El índice de plasticidad es de 11.3%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de un limo de baja plasticidad **(ML)**.

Tabla N° 19: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	47.3	36.0	11.3	ML	Limo

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 10: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.8 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 80% de suelo y 20% cemento.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizante.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 34.2, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 38.4 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 41.5.

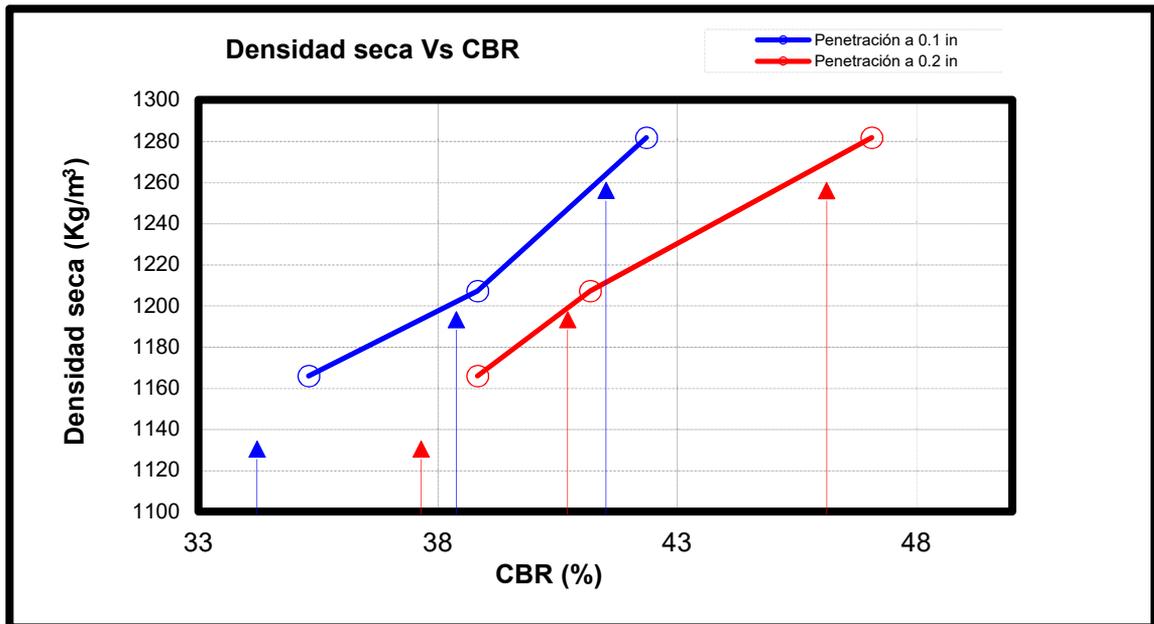
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 20: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	32.6	1166	92.8	3.3	
2	34	31.8	1207	96.1	2.9	
3	56	32.8	1282	102.0	2.1	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
92.8	35.3	38.8	90	1130	34.2	37.6
96.1	38.8	41.2	95	1193	38.4	40.7
102.0	42.4	47.1	100	1556	41.5	46.1

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 11: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.9 Ensayo a la compresión simple mezcla de 80% de suelo y 20% cemento.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 26.2.

Tabla N° 21: Esfuerzos

Espécimen N°	Cemento (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	20	4,737	12.57	377	26.5	26.2
2	20	4,647	12.57	370	26.0	
3	20	4,683	12.57	373	26.2	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4 Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cal.

Los ensayos que se realizaron a la muestra de suelo con los diferentes porcentajes de cal son: Límites de consistencia A.S.T.M D – 4318, Valor relativo de soporte (C.B.R) A.S.T.M D – 1883 – 73 y Resistencia a la compresión sin confinar A.S.T.M D – 2166.

#### 3.3.4.1 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 95% de suelo y 5% cal hidratada.

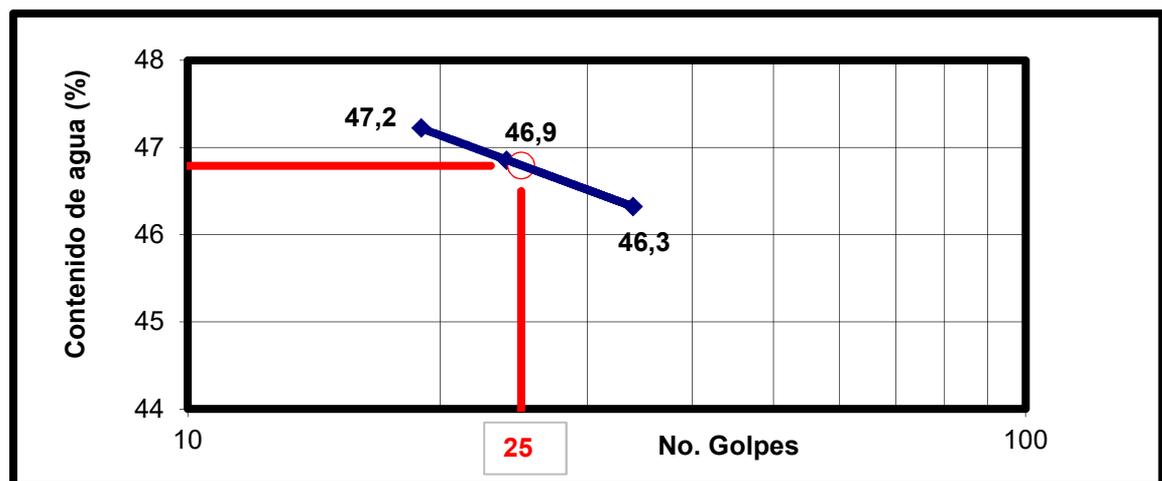
En el ensayo de límites de consistencia se logró determinar el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 46.8% y un límite plástico de 43.0%. El índice de plasticidad es de 3.8%. Su clasificación según; (**SUCS**) es de un limo de baja plasticidad (**ML**).

Tabla N° 22: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	46.8	43.0	3.8	ML	Limo

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 12: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.2 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 95% de suelo y 5% cal hidratada.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizar.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 11.5, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 16.3 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 20.9.

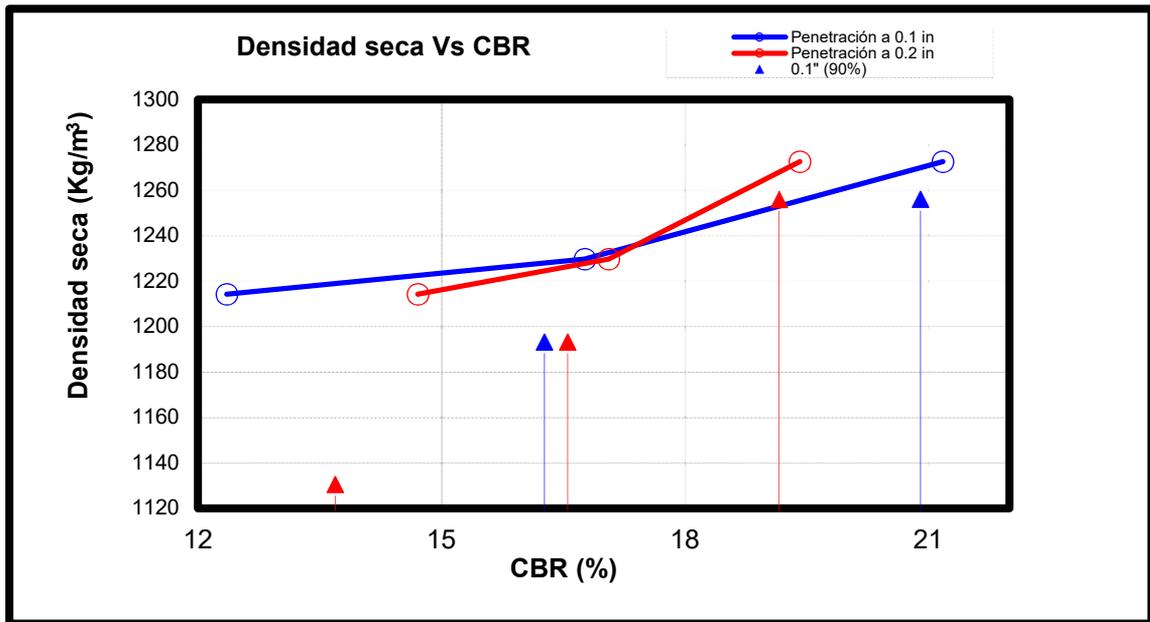
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 23: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad óptima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	32.1	1214	96.2	2.9	
2	34	32.3	1230	97.9	2.3	
3	56	31.7	1273	101.3	1.7	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.			Valores de <b>C.B.R</b> corregidos			
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
96.2	12.4	14.7	90	1130	11.5	13.7
97.9	16.8	17.1	95	1193	16.3	16.6
101.3	21.2	19.4	100	1256	20.9	19.2

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 13: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.3 Ensayo a la compresión simple mezcla de 95% de suelo y 5% cal hidratada.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 11.5.

Tabla N° 24: Esfuerzos

Especimen N°	Cal (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	5	2020	12.57	160.7	11.3	11.5
2	5	2002	12.57	159.3	11.2	
3	5	2091	12.57	166.3	11.7	

Fuente: Elaboración propia.

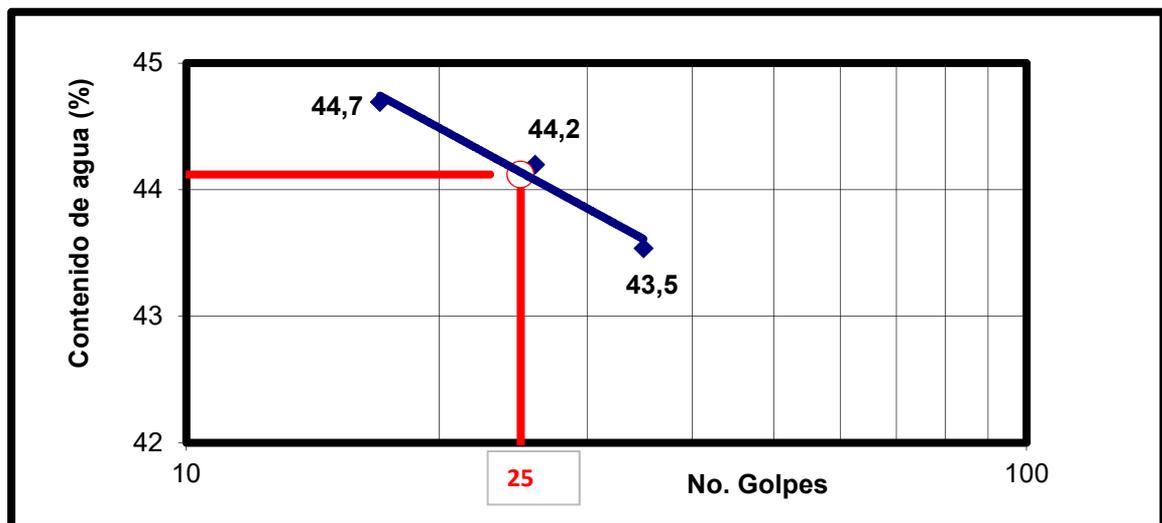
### 3.3.4.4 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 88% de suelo y 12% cal hidratada.

En el ensayo de límites de consistencia se logró determinar el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 44.1% y un límite plástico de 42.0%. El índice de plasticidad es de 2.1%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de un limo de baja plasticidad **(ML)**.

Tabla N° 25: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	44.1	42.0	2.1	ML	Limo

Grafica N° 14: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.5 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 88% de suelo y 12% cal hidratada.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizar.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 12.5, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 20.3 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 22.9.

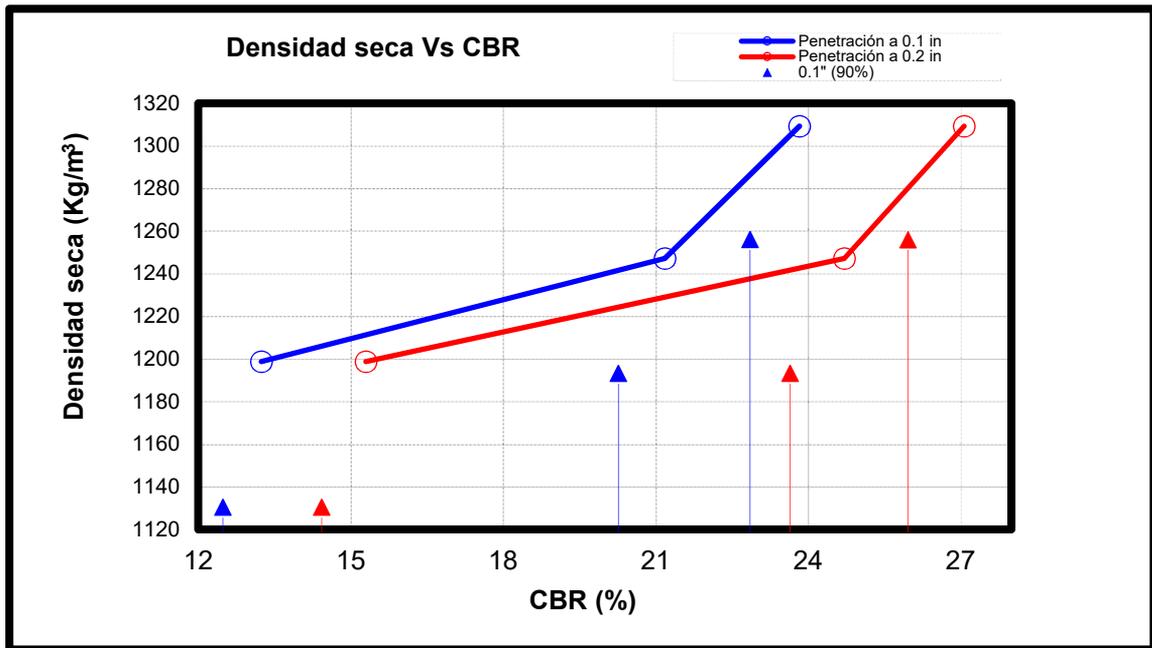
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 26: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	31.8	1199	95.4	2.5	
2	34	31.5	1247	99.3	2.4	
3	56	30.0	1309	104.2	1.7	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.			Valores de <b>C.B.R</b> corregidos			
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
95.4	13.2	15.3	90	1130	12.5	14.4
99.3	21.2	24.7	95	1193	20.3	23.6
104.2	27.1	27.1	100	1256	22.9	26.0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 15: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.6 Ensayo a la compresión simple mezcla de 88% de suelo y 12% cal hidratada.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup>. promedio de 17.2.

Tabla N° 27: Esfuerzos

Espécimen N°	Cal (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	12	3128	12.57	248.8	17.5	17.2
2	12	3057	12.57	243.2	17.1	
3	12	3039	12.57	241.8	17.0	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.7 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 80% de suelo y 20% cal hidratada.

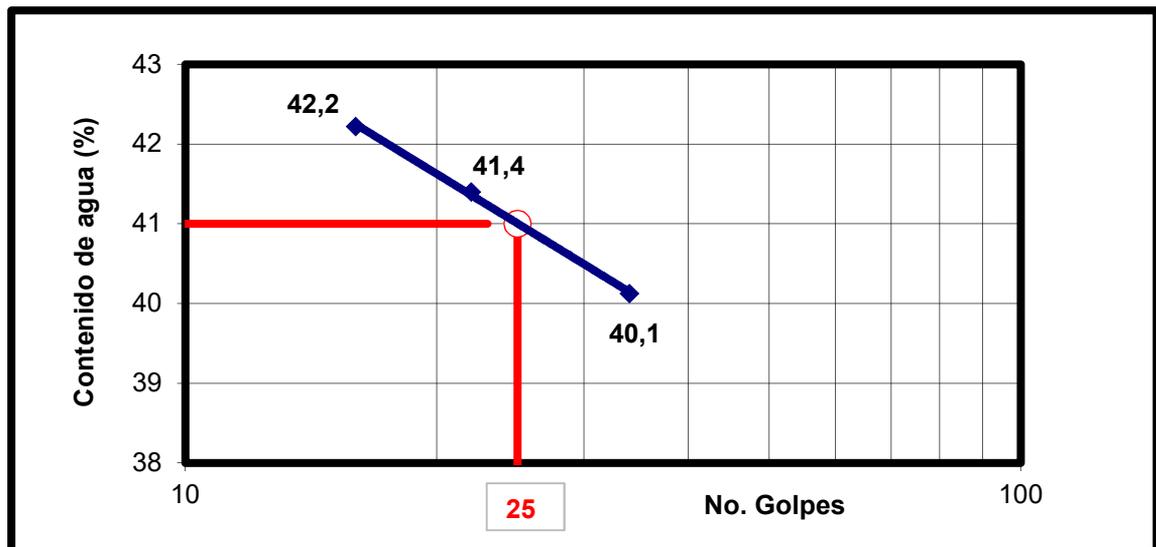
En el ensayo de límites de consistencia se logró determinar el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 41.0% y un límite plástico de 40.0%. El índice de plasticidad es de 1.0%. Su clasificación según; (**SUCS**) es de un limo de baja plasticidad (**ML**).

Tabla N° 28: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	41.0	40.0	1.0	ML	Limo

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 16: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.8 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 80% de suelo y 20% cal hidratada.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizar.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 13.6, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 22.1 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 28.1.

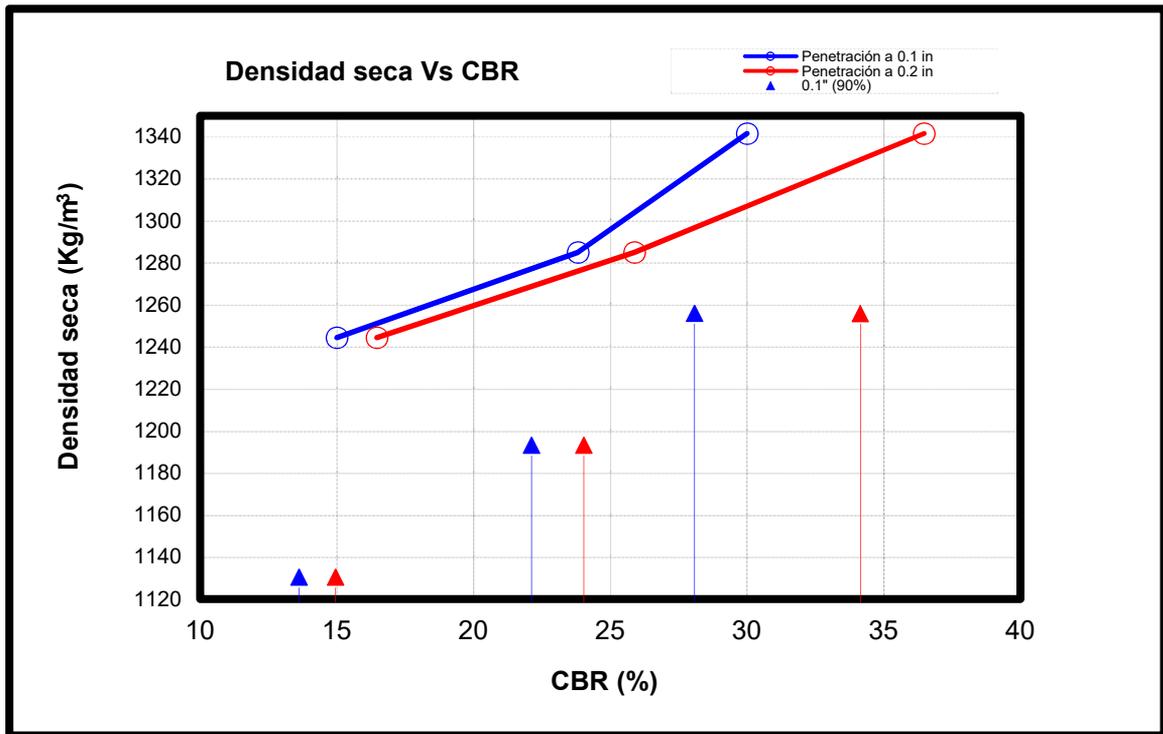
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 29: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	32.1	1245	99.1	2.5	
2	34	31.9	1285	102.3	2.4	
3	56	32.0	1342	106.8	1.7	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		Compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
99.1	15.0	16.5	90	1130	13.6	15.0
102.3	23.8	25.9	95	1193	22.1	24.0
106.8	30.0	36.5	100	1256	28.1	34.1

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 17: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4.9 Ensayo a la compresión simple mezcla de 80% de suelo y 20% cal hidratada.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 23.0.

Tabla N° 30: Esfuerzos

Espécimen N°	Cal (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	20	4075	12.57	324.2	22.8	23.0
2	20	4111	12.57	327.0	23.1	
3	20	4147	12.57	329.9	23.2	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y arena pómez.

La arena pómez utilizada en esta investigación es procedente del banco de arena pómez las flores, y fue cribada por el tamiz N° 4, utilizando lo que retiene dicho tamiz, luego fue molida en la máquina de los ángeles y cribada por el tamiz N° 40, utilizando lo que pasa el tamiz N° 40.

Los ensayos que se realizaron a la muestra de suelo con los diferentes porcentajes de arena pómez son: Límites de consistencia A.S.T.M D – 4318, Valor relativo de soporte (C.B.R) A.S.T.M D – 1883 – 73 y Resistencia a la compresión sin confinar A.S.T.M D – 2166.

#### 3.3.5.1 Ensayo de Límites de consistencia; mezcla de 95% de suelo y 5% arena pómez.

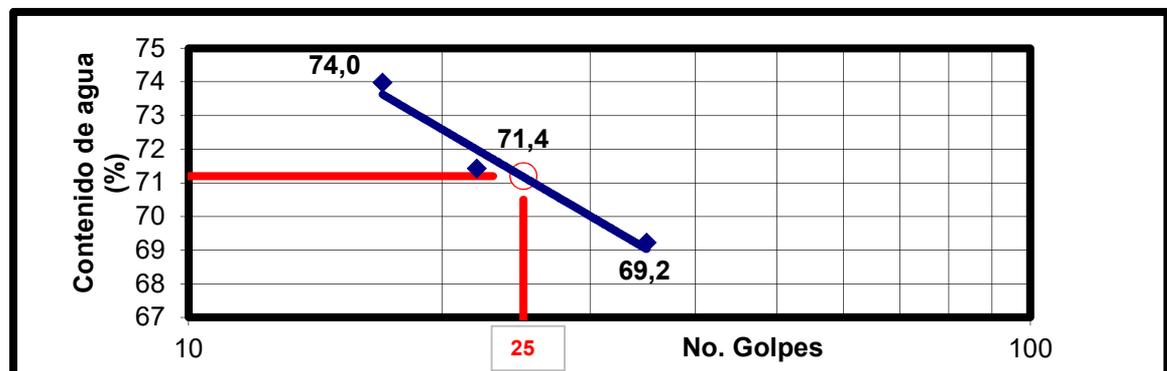
En el ensayo de límites de consistencia se determinan el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 71.2% y un límite plástico de 33.0%. El índice de plasticidad es de 38.2%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de alta plasticidad **(CH)**.

Tabla N° 31: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	71.2	33.0	38.2	CH	Arcilla

Fuente: Elaboración propia

Grafica N° 18: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.2 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 95% de suelo y 5% arena pómez.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizar.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 1.7.

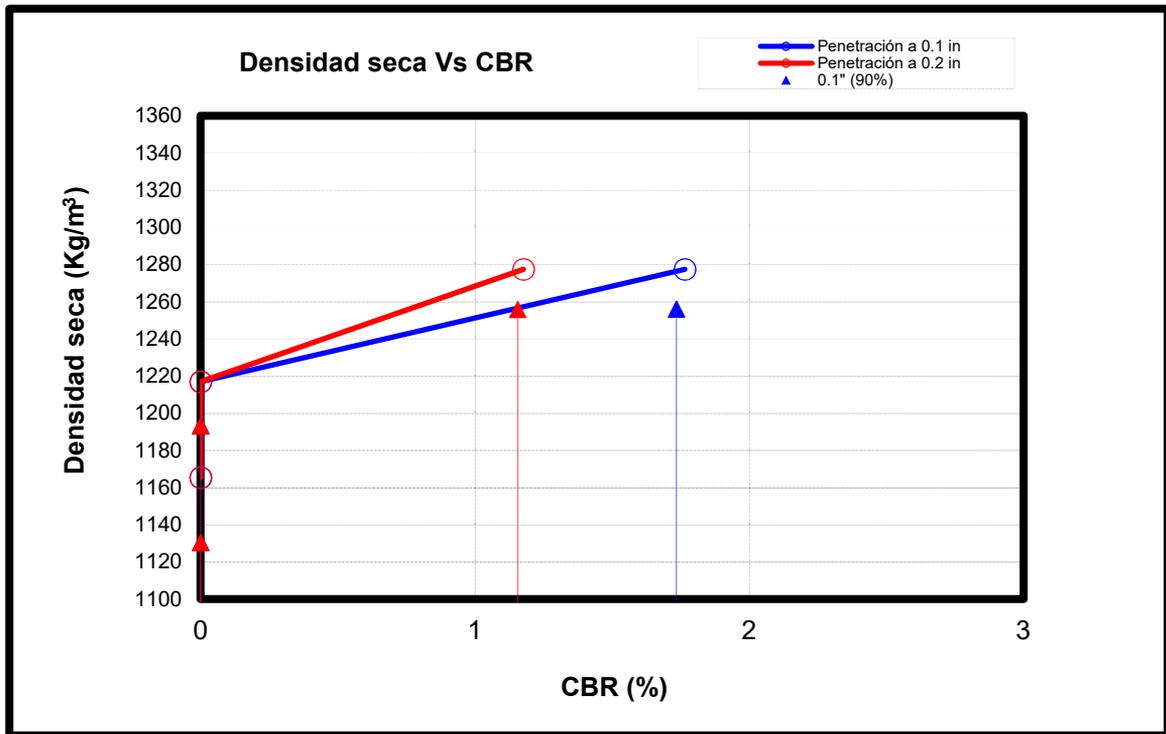
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 32: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad óptima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	31.8	1165	92.8	14.3	
2	34	32.3	1217	96.9	13.4	
3	56	31.5	1278	101.7	12.5	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
92.8	0.0	0.0	90	1130	0.0	0.0
96.9	0.0	0.0	95	1193	0.0	0.0
101.7	1.8	1.2	100	1256	1.7	1.2

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 19: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.3 Ensayo a la compresión simple mezcla de 95% de suelo y 5% arena pómez.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 6.1.

Tabla N° 33: Esfuerzos

Espécimen N°	Arena pómez (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	5	1,112	12.57	88.5	6.2	6.1
2	5	1,059	12.57	84.2	5.9	
3	5	1,086	12.57	86.4	6.1	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.4 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 88% de suelo y 12% arena pómez.

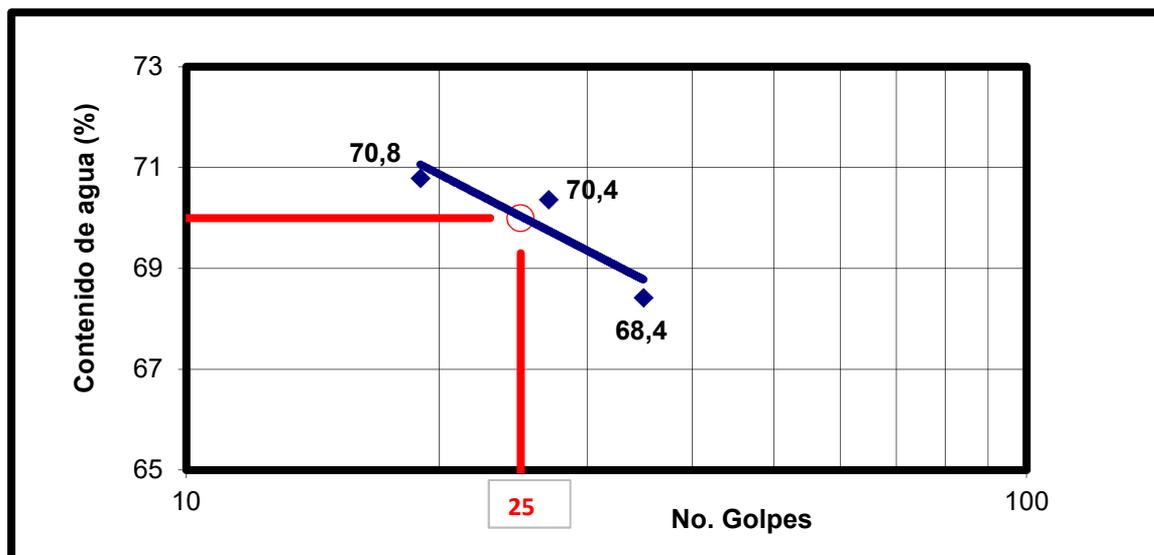
En el ensayo de límites de consistencia se determinan el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 70.0% y un límite plástico de 32.0%. El índice de plasticidad es de 38.0%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de alta plasticidad **(CH)**.

Tabla N° 34: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	70.0	32.0	38.0	CH	Arcilla

Fuente: Elaboración propia

Grafica N° 20: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.5 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 88% de suelo y 12% arena pómez.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizante.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 1.7.

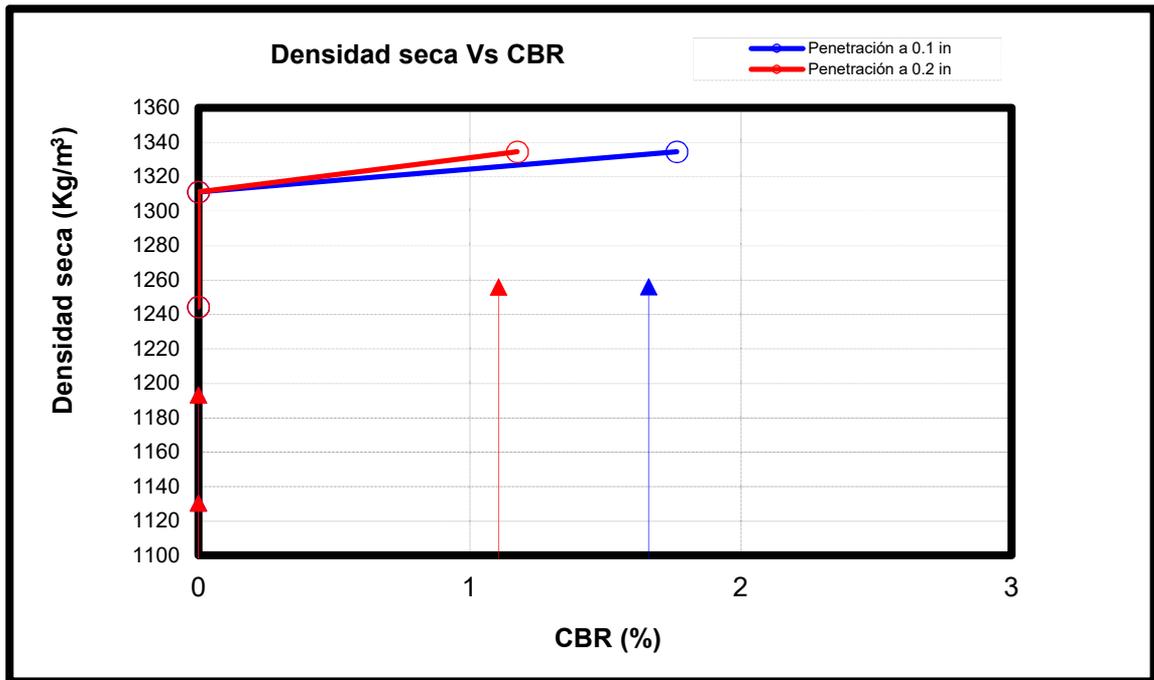
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 35: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	33.4	1244	99.1	12.1	
2	34	32.7	1311	104.4	11.2	
3	56	31.5	1334	106.3	10.0	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
99.1	0.0	0.0	90	1130	0.0	0.0
104.4	0.0	0.0	95	1193	0.0	0.0
106.3	1.8	1.2	100	1256	1.7	1.1

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 21: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.6 Ensayo a la compresión simple mezcla de 88% de suelo y 12% arena pómez.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 6.4.

Tabla N° 36: Esfuerzos

Especimen N°	Arena pómez (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	12	1,059	12.57	84.2	5.9	6.4
2	12	1,218	12.57	96.9	6.8	
3	12	1,138	12.57	90.6	6.4	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.7 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 80% de suelo y 20% arena pómez.

En el ensayo de límites de consistencia se determinan el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 57.7% y un límite plástico de 29.0%. El índice de plasticidad es de 28.7%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de alta plasticidad **(CH)**.

Tabla N° 37: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	57.7	29.0	28.7	CH	Arcilla

Fuente: Elaboración propia

Grafica N° 22: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.8 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 80% de suelo y 20% arena pómez.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizante.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 2.6.

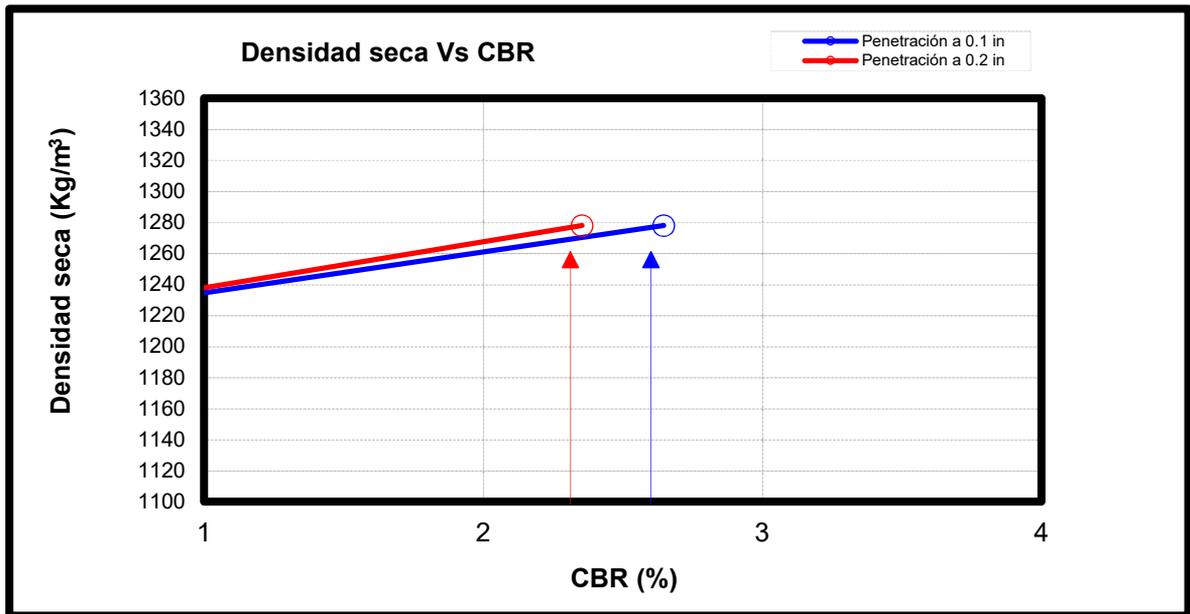
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 38: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	31.5	1143	91.0	9.1	
2	34	32.1	1208	96.2	8.7	
3	56	31.7	1277	101.7	8.0	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.			Valores de <b>C.B.R</b> corregidos			
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
91.0	0.0	0.0	90	1130	0.0	0.0
96.2	0.0	0.0	95	1193	0.0	0.0
101.7	2.6	2.4	100	1256	2.6	2.3

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 23: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5.9 Ensayo a la compresión simple mezcla de 80% de suelo y 20% arena pómez.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 6.7.

Tabla N° 39: Esfuerzos

Especimen N°	Arena pómez (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	20	1,165	12.57	92.7	6.5	6.7
2	20	1,191	12.57	94.8	6.7	
3	20	1,218	12.57	96.9	6.8	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6 Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cloruro de sodio.

Los ensayos que se realizaron a la muestra de suelo con los diferentes porcentajes de cloruro de sodio son: Límites de consistencia A.S.T.M D – 4318, Valor relativo de soporte (C.B.R) A.S.T.M D – 1883 – 73 y Resistencia a la compresión sin confinar A.S.T.M D – 2166.

#### 3.3.6.1 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 95% de suelo y 5% cloruro de sodio.

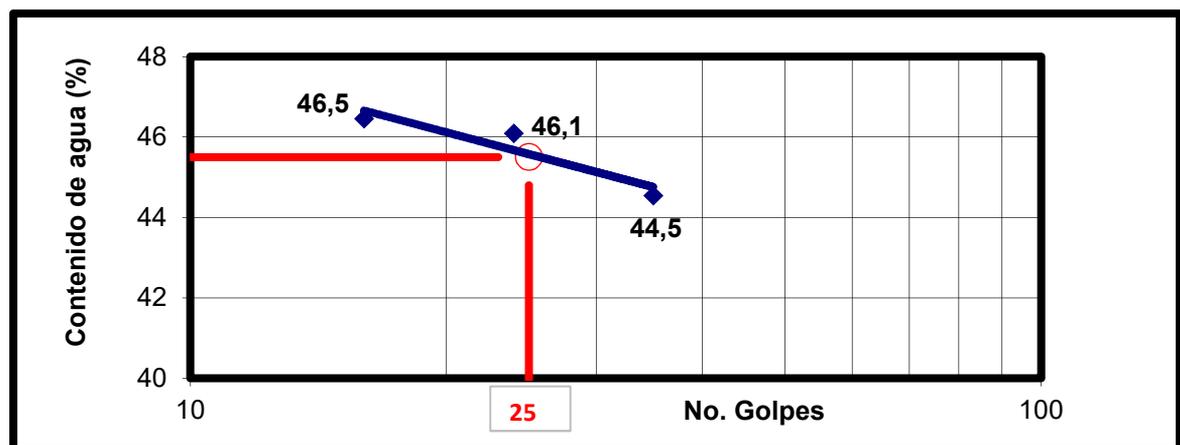
En el ensayo de límites de consistencia se determinan el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 45.5% y un límite plástico de 27.0%. El índice de plasticidad es de 18.5%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de baja plasticidad **(CL)**.

Tabla N° 40: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	45.5	27.0	18.5	CL	Arcilla

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 24: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.2 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 95% de suelo y 5% cloruro de sodio.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizar.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0.

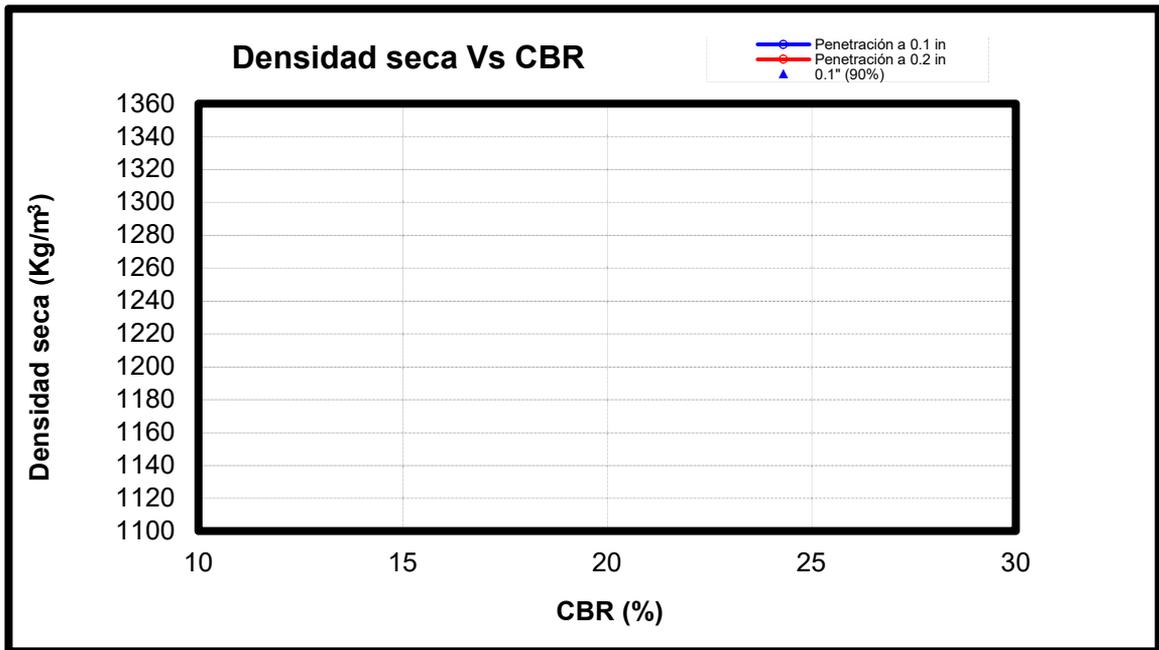
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 41: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad óptima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	29.8	1285	102.3	19.9	
2	34	29.1	1326	105.6	19.5	
3	56	29.5	1384	110.2	19.1	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
102.3	0.0	0.0	90	1130	0.0	0.0
105.6	0.0	0.0	95	1193	0.0	0.0
110.2	0.0	0.0	100	1256	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 25: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.3 Ensayo a la compresión simple mezcla de 95% de suelo y 5% cloruro de sodio.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 6.5.

Tabla N° 42: Esfuerzos

Especimen N°	Cloruro de sodio (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	5	1,138	12.57	90.5	6.4	6.5
2	5	1,138	12.57	90.5	6.4	
3	5	1,112	12.57	88.5	6.2	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.4 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 88% de suelo y 12% cloruro de sodio.

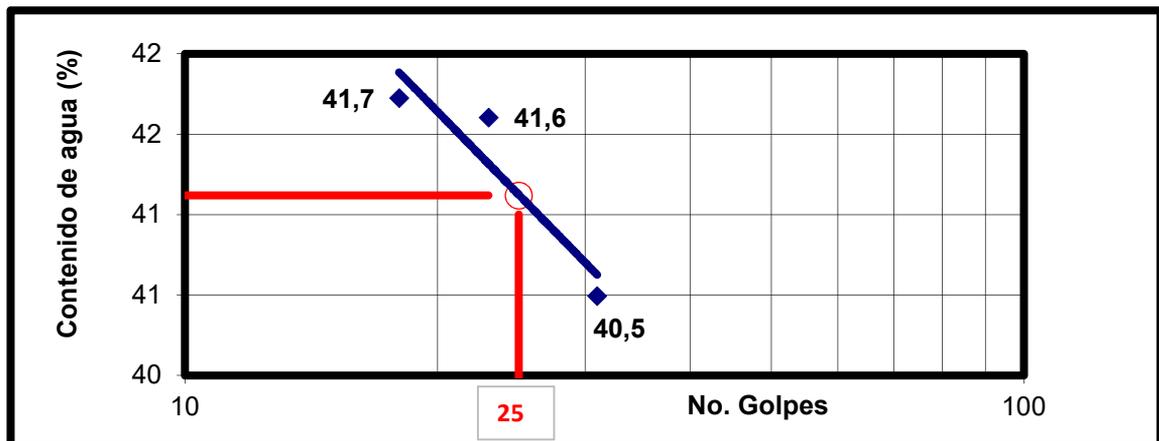
En el ensayo de límites de consistencia se determinan el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 41.1% y un límite plástico de 25.0%. El índice de plasticidad es de 16.1%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de baja plasticidad **(CL)**.

Tabla N° 43: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	41.1	25.0	16.1	CL	Arcilla

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 26: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.5 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 88% de suelo y 12% cloruro de sodio.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizante.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0.

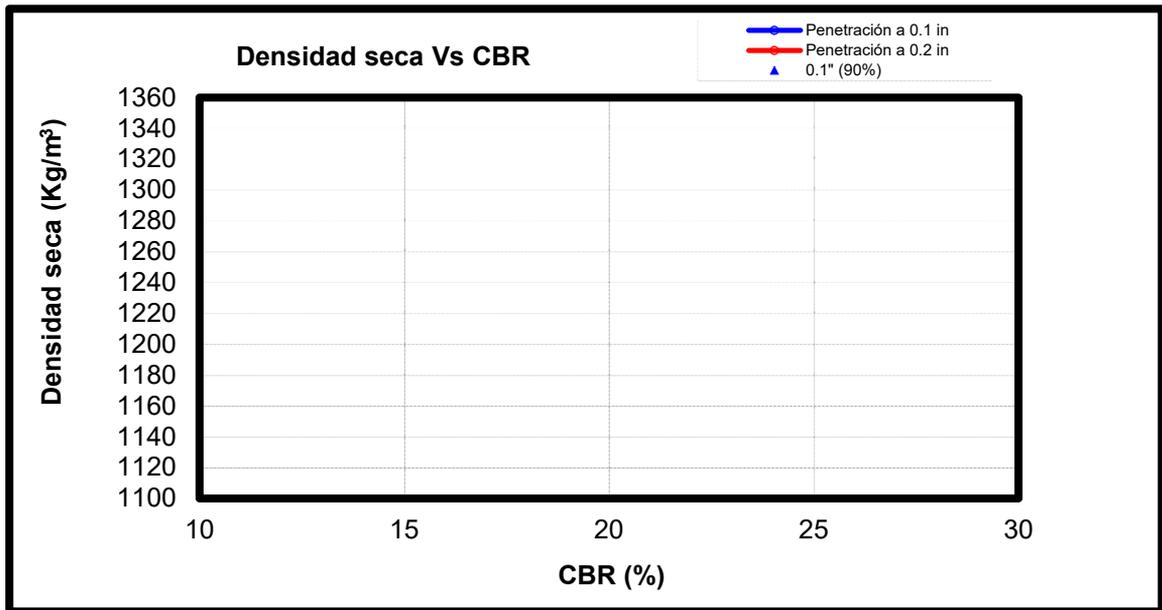
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 44: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	19.9	1323	105.3	21.5	
2	34	19.6	1371	109.2	20.5	
3	56	19.3	1420	113.1	19.2	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.			Valores de <b>C.B.R</b> corregidos			
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
105.3	0.0	0.0	90	1130	0.0	0.0
109.2	0.0	0.0	95	1193	0.0	0.0
113.1	0.0	0.0	100	1256	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 27: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.6 Ensayo a la compresión simple mezcla de 88% de suelo y 12% cloruro de sodio.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 6.6.

Tabla N° 45: Esfuerzos

Especimen N°	Cloruro de sodio (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	12	1,191	12.57	94.5	6.7	6.6
2	12	1,112	12.57	88.5	6.2	
3	12	1,218	12.57	96.9	6.8	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.7 Ensayo de Límites de consistencia mezcla de 80% de suelo y 20% cloruro de sodio.

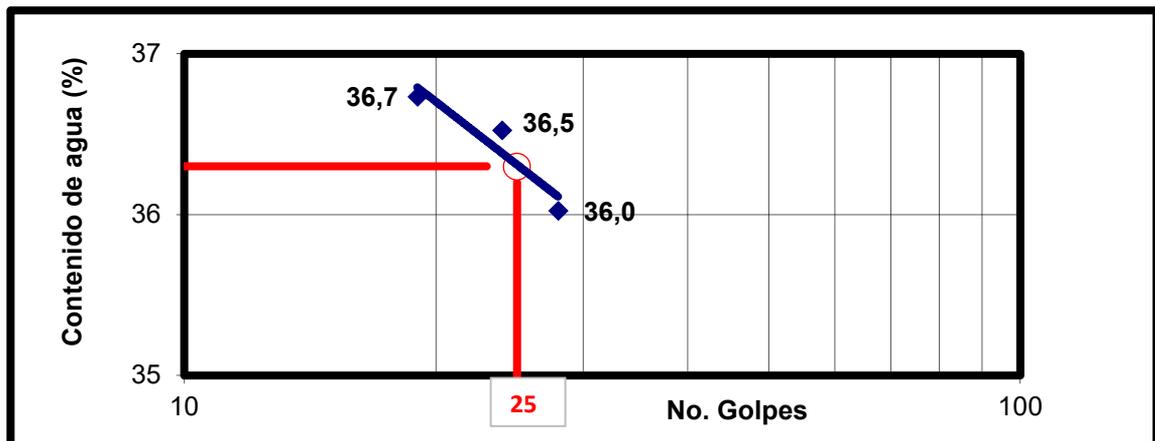
En el ensayo de límites de consistencia se determinan el límite líquido, obteniendo un valor en porcentaje de 36.3% y un límite plástico de 23.0%. El índice de plasticidad es de 13.3%. Su clasificación según; **(SUCS)** es de una arcilla de baja plasticidad **(CL)**.

Tabla N° 46: Límites de consistencia

Ensayo N°	Muestra N°	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	S.U.C.S	Descripción del suelo
1	1	36.3	23.0	13.3	CL	Arcilla

Fuente: Elaboración propia

Grafica N° 28: Determinación del límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.8 Ensayo de Valor relativo de soporte (C.B.R) mezcla de 80% de suelo y 20% cloruro de sodio.

Para este ensayo de C.B.R se utilizó la densidad seca máxima y la humedad óptima del ensayo del suelo sin estabilizante.

En el ensayo de (C.B.R), se encontró para el 90% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 0.0 y para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 1.7.

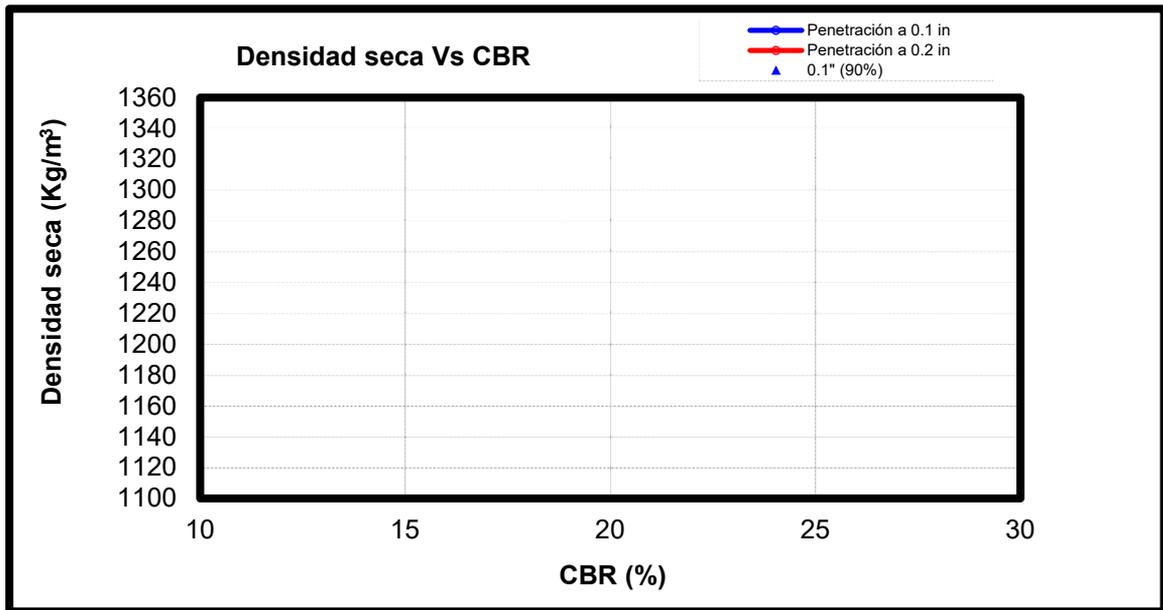
Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Tabla N° 47: Valor relativo de soporte (C.B.R)

Grado de Compactación alcanzado por los diferentes especímenes moldeados						
Densidad seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> ): 1256				Humedad optima (%): 32.0		
Probeta N°	Golpes N°	Humedad (%)	Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)	Hinchamiento (%)	
1	25	16.1	1387	110.4	22.7	
2	34	16.7	1417	112.8	19.9	
3	56	16.4	1446	115.1	18.5	
Valores de <b>C.B.R</b> obtenidos para los especímenes.				Valores de <b>C.B.R</b> corregidos		
Compactación (%)	<b>C.B.R</b> a una penetración de:		compactación (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>C.B.R</b> a una penetración de:	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"
110.4	0.0	0.0	90	1130	0.0	0.0
112.8	0.0	0.0	95	1193	0.0	0.0
115.1	0.0	0.0	100	1256	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 29: Densidad Vs C.B.R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6.9 Ensayo a la compresión simple mezcla de 80% de suelo y 20% cloruro de sodio.

En el ensayo de compresión simple se encontró un esfuerzo en Kg/cm<sup>2</sup> promedio de 6.9.

Tabla N° 48: Esfuerzos

Especimen N°	Cloruro de sodio (%)	Carga (lbs)	Área (Plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo		Esfuerzo promedio
				PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	20	1,244	12.57	99.0	7.0	6.9
2	20	1,218	12.57	96.9	6.8	
3	20	1,244	12.57	99.0	7.0	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.7 Selección del agente estabilizante.

#### 3.3.7.1 Suelo - cemento

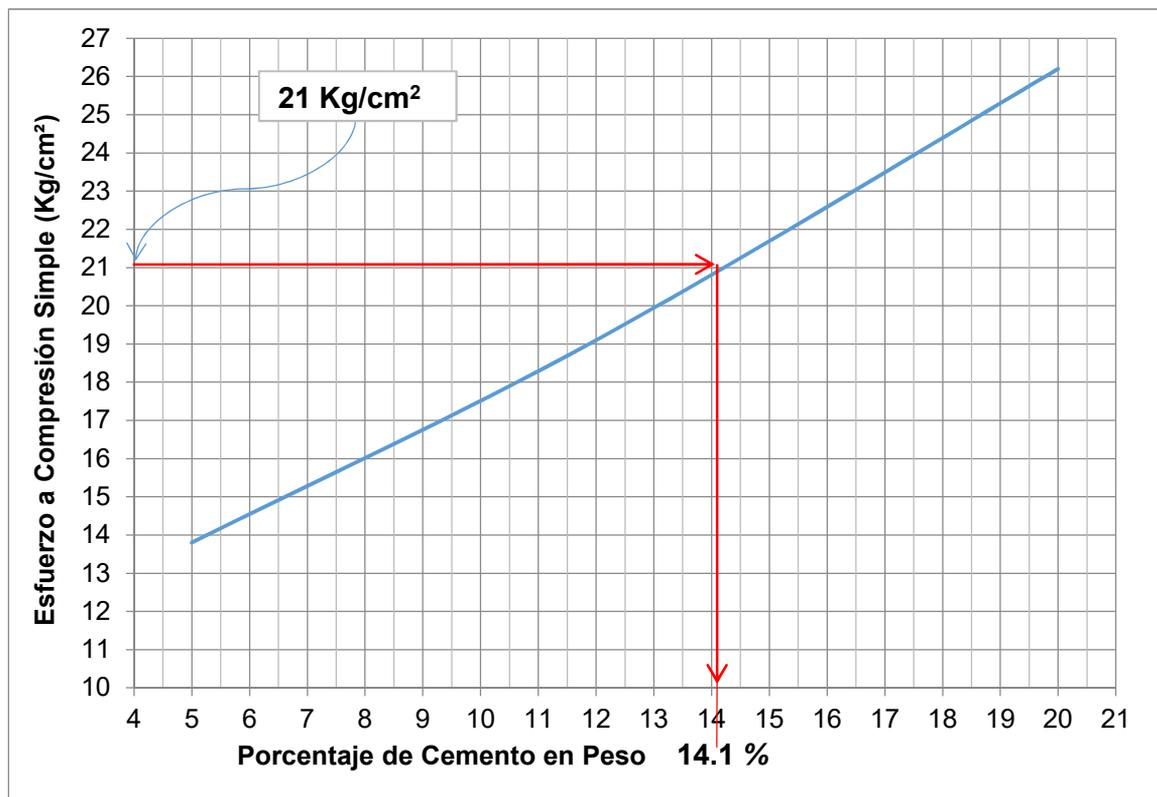
Por medio del grafico esfuerzo a compresión de especímenes de suelo - cemento Vs % de cemento se fijó que él % óptimo en peso para lograr un **esfuerzo de 21 Kg/cm<sup>2</sup> es de 14.1%.**

Tabla N° 49: Mezclas - esfuerzos

Mezcla		Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo (%)	Cemento (%)	
95	5	13.8
88	12	19.1
80	20	26.2

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 30: Esfuerzo a Compresión de Espécimen de Suelo-Cemento Vs % Cemento en Peso



Fuente: Elaboración propia.

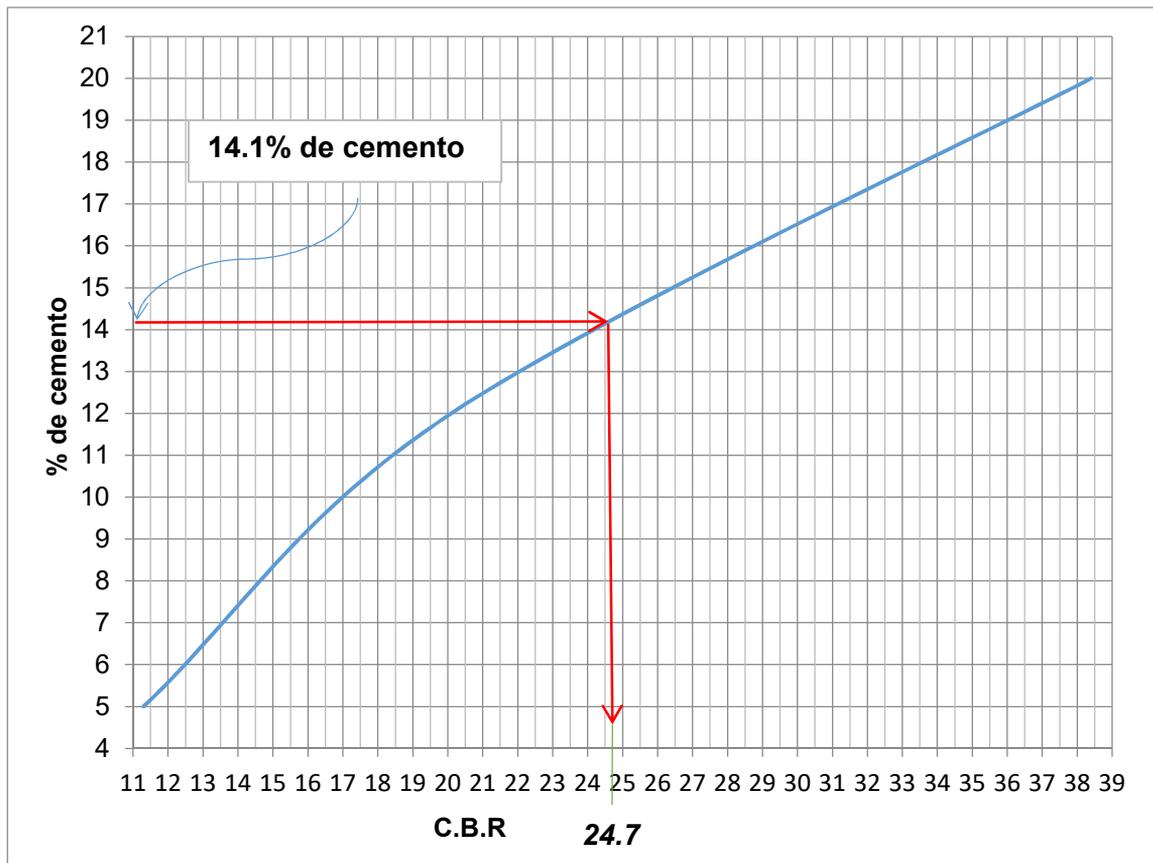
Por medio del grafico % cemento Vs % C.B.R se encontró el **C.B.R de 24.7**, para **14.1% de cemento**.

Tabla N° 50: Mezclas - C.B.R

Mezcla		C.B.R
Suelo (%)	Cemento (%)	
95	5	11.3
88	12	20.1
80	20	38.4

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 31: %Cemento Vs C.B.R



Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.7.2 Suelo – cal hidratada

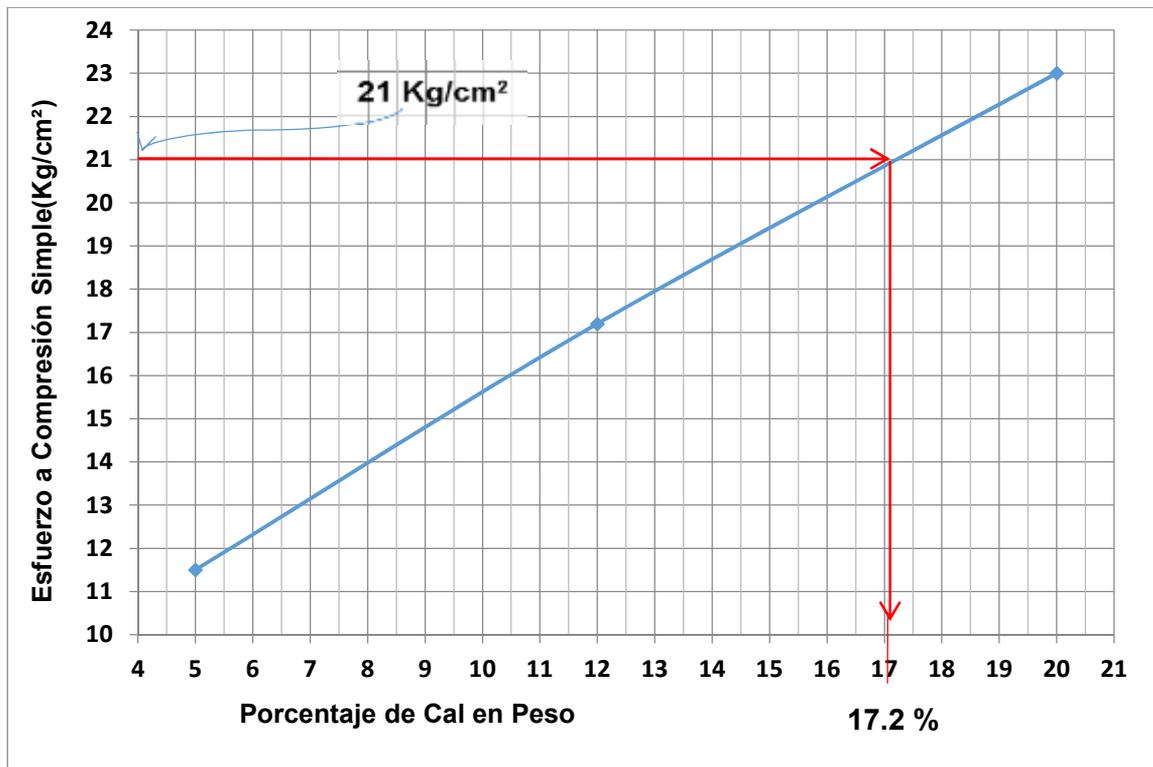
Por medio del grafico esfuerzo a compresión de especímenes de suelo - cal hidratada Vs % de cal hidratada se fijó que el % óptimo en peso para lograr un **esfuerzo de 21 Kg/cm<sup>2</sup> es de 17.2%**

Tabla N° 51: Mezclas - esfuerzos

Mezcla		Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo (%)	Cal hidratada (%)	
95	5	11.5
88	12	17.2
80	20	23.0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 32: Esfuerzo a Compresión de Espécimen de Suelo - Cal hidratada Vs % Cal hidratada en Peso



Fuente: Elaboración propia.

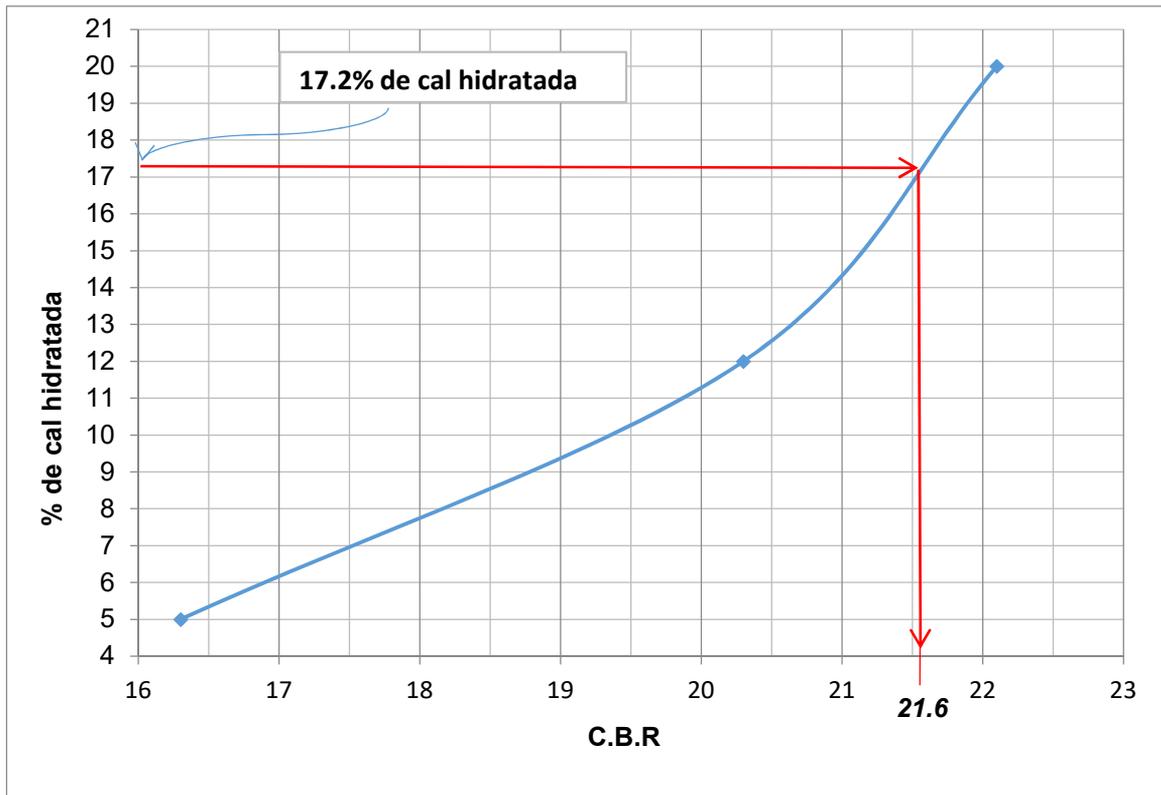
Por medio del grafico % cal hidratada Vs % C.B.R se encontró el **C.B.R de 21.6**, para **17.2% de cal hidratada**.

Tabla N° 52: Mezclas – C.B.R

Mezcla		C.B.R
Suelo (%)	Cal hidratada (%)	
95	5	16.3
88	12	20.3
80	20	22.1

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 33: %Cal hidratada Vs C.B.R



Los C.B.R. son tomados para 0.1 pulgada de penetración.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.7.3 Suelo – arena pómez

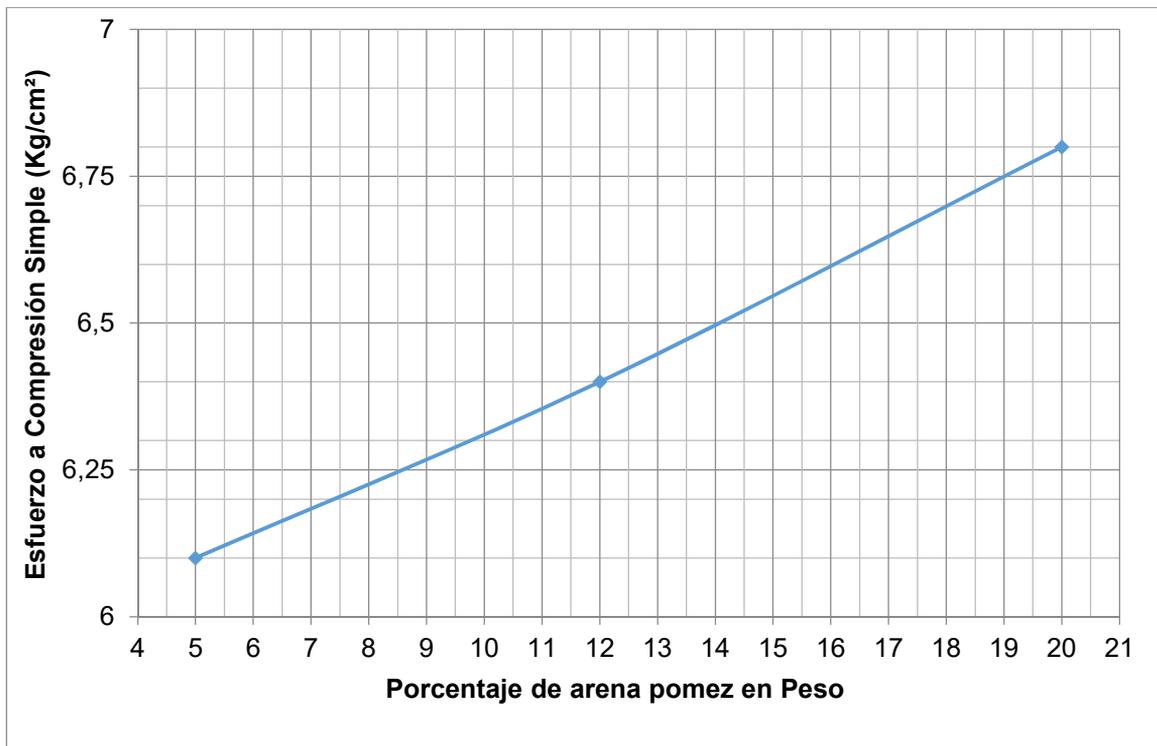
En el ensayo de esfuerzo a compresión de especímenes de suelo - arena pómez Vs % de arena pómez no se logró fijar el % óptimo para lograr los **21 Kg/cm<sup>2</sup>** debido a que los esfuerzos están por debajo del estipulado.

Tabla N° 53: Mezclas - esfuerzos

Mezcla		Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo (%)	Arena pómez (%)	
95	5	6.1
88	12	6.4
80	20	6.8

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 34, Esfuerzo a Compresión de Espécimen de Suelo-arena pómez Vs % arena pómez en Peso



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.7.4 Suelo – cloruro de sodio

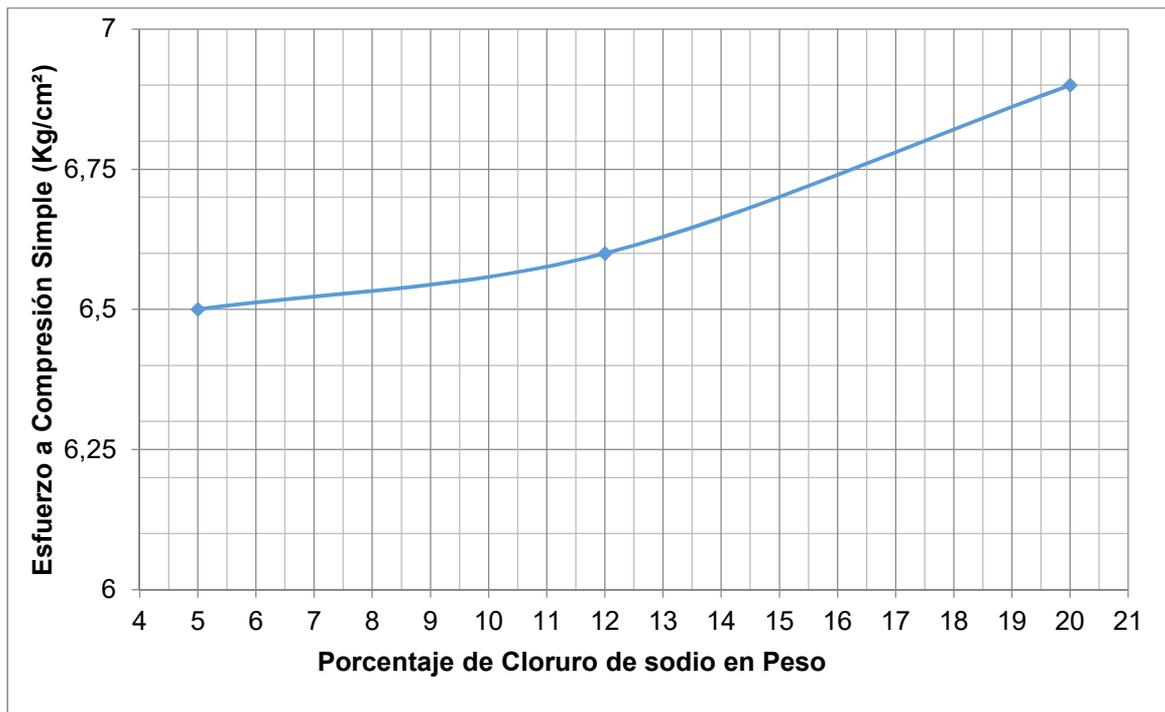
En el ensayo de esfuerzo a compresión de especímenes de suelo - cloruro de sodio Vs % de cloruro de sodio no se logró fijar el % óptimo para lograr los 21 Kg/cm<sup>2</sup> debido a que los esfuerzos están por debajo del estipulado.

Tabla N° 54: Mezcla - esfuerzos

Mezcla		Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo (%)	Cloruro de sodio (%)	
95	5	6.5
88	12	6.6
80	20	6.9

Fuente: Elaboración propia.

Grafica N° 35: Esfuerzo a Compresión de Especimen de Suelo-cloruro de sodio Vs %cloruro de sodio en Peso



Fuente: Elaboración propia.

# **CAPITULO IV**

## **CONCLUSIONES Y COMENDACIONES**

## 4.1 CONCLUSIONES

Con todo lo mostrado en el presente trabajo podemos concluir que:

- 1) En cuanto a las muestras de suelo, tomadas del pozo a cielo abierto se agruparon y se analizaron como una sola muestra, por tener características iguales.
- 2) De acuerdo con los resultados obtenidos para determinar las propiedades físico - mecánicas de la arcilla negra objeto de estudio, en forma general, esta presenta características de un suelo malo para terracería y malo para sub-rasante en estructura de pavimento, muy plástica, con bajo C.B.R permitiendo deformaciones bajo la influencia de las cargas y del agua; lo cual tiene mucha afectación dadas las condiciones climatológicas de la zona.
- 3) Basado en los datos obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión; efectuados a los especímenes preparados con cada uno de los estabilizantes utilizados, se concluye que la estabilización con cemento logro mayores valores de resistencia (13.8,19.2 y 26.2 Kg/cm<sup>2</sup>), en comparación con la cal hidratada (11.5, 17.2 y 23.0 Kg/cm<sup>2</sup>); quedando está en un segundo plano, debido a que para los contenidos de cal ensayados se alcanzaron menores resistencia.
- 4) La resistencia alcanzada de la arcilla negra con cloruro de sodio (6.5,6.6 y 6.9 Kg/cm<sup>2</sup>) y arena pómez (6.1,6.4 y 6.8 Kg/cm<sup>2</sup>) es ligeramente mayor que la resistencia del suelo natural (5.6, 6.2 y 5.8 Kg/cm<sup>2</sup>), aunque por debajo del requisito establecido 21 Kg/cm<sup>2</sup> (Norma I.N.V E-614), por lo cual estos últimos estabilizantes no son aplicables a este tipo de suelo.
- 5) Del análisis de resistencia a la compresión simple realizado a las estabilizaciones; se determinó que el porcentaje optimo es 14.1% logrado por el cemento, el cual garantiza una resistencia de 21 Kg/cm<sup>2</sup> (Norma I.N.V E-614).
- 6) Adicionalmente se establece que, con la estabilización de la arcilla existente con cemento, se logra incrementar de o a 24.7 el C.B.R de la misma, obteniéndose un mejor comportamiento físico – mecánico.

## 4.2 RECOMENDACIONES

En base a los resultados de laboratorio y las conclusiones anteriores, se propone las siguientes recomendaciones:

- 1) La arcilla negra del sitio en estudio (Barrio la campana) no debe utilizarse para terracería ni para sub-rasante sin antes ser estabilizada con cemento o con cal hidratada.
- 2) Como material de terracería y sub-rasante puede estabilizarse el suelo analizado, elaborando una mezcla de suelo-cemento, con una relación de volúmenes sueltos 1:10.5 (1 parte en volumen suelto de cemento con 10.5 partes en volumen suelto del suelo), es decir emplear 3.1 bolsas de cemento de 42.5 Kg. de peso cada una por cada metro cúbico del suelo a estabilizar, o bien emplear el 14.1% de cemento en peso.

La mezcla de suelo-cemento deberá quedar con una consistencia un poco seca, lo que indica que deberá tener una humedad cercana a la óptima. Se deberá compactar en capas no mayores de 0.20 metros, al 95% de su densidad seca máxima.

- 3) Como material de terracería y sub-rasante puede estabilizarse el suelo analizado, elaborando una mezcla de suelo-cal hidratada, con una relación de volúmenes sueltos 1:4.3 (1 parte en volumen suelto de cal hidratada con 4.3 partes en volumen suelto del suelo), es decir emplear 14.3 bolsas de cal hidratada de 25 lbs. de peso cada una por cada metro cúbico del suelo a estabilizar, o bien emplear el 17.2% de cal hidratada en peso.

La mezcla de suelo-cal hidratada deberá quedar con una consistencia un poco seca, lo que indica que deberá tener una humedad cercana a la óptima. Se deberá compactar en capas no mayores de 0.20 metros, al 95% de su densidad seca máxima.

## BIBLIOGRAFÍA

Beltrán parra, Copado Beltrán, Estabilización de suelo Arcillosos con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia San Juan Capistrano de Ciudad Obregón, (Tesina). México.

Braja M. Das, Principios de Ingenieria de Cimentaciones ( 4 ed) México .

Crespo Villalaz, C. (n.d.). Mecánica de Suelos y Cimentaciones (4 ed.). México: Limusa.

Gamica Anguas, Perez Salazar, Gomez Lopez,Obil Veiza,Estabilizacion de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vias terrestres.(instituto mexicano del transporte).Mexico.

Juarez Badillo, Mecanica de suelos (tomo 1) mexico.

Ruano Lopez, Estabilizacion de suelos cohesivos por medio de arenas volcanicas y cal viva, (Monografia).Guatemala.

Normas ASTM

**ANEXOS**

**ANEXO A**  
**IMÁGENES**

## POZO A CIELO ABIERTO Y MUESTRA DE ARCILLA NEGRA

Imagen N° 1: Pozo a cielo abierto



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N° 2: Muestra de Arcilla negra seca



Fuente: Elaboración propia.

## CONTENIDO DE HUMEDAD

Imagen N° 3: Ensayo de % de humedad



Fuente: Elaboración propia.

## PESOS VOLUMETRICOS

Imagen N° 4: Ensayo de peso volumétrico



Fuente: Elaboración propia.

## GRAVEDAD ESPECÍFICA

Imagen N° 5: Ensayo de gravedad específica



Fuente: Elaboración propia.

## GRANULOMETRIA MECANICA

Imagen N° 6: Ensayo de Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

## GRANULOMETRIA POR SEDIMENTACION

Imagen N° 7: Ensayo de Hidrometria



Fuente: Elaboración propia.

## LIMITES DE CONSISTENCIA

Imagen N° 8: Ensayo de limite liquido



Fuente: Elaboración propia.

## PROCTOR ESTANDAR

Imagen N° 9: Ensayo de proctor



Fuente: Elaboración propia.

## VALOR RELATIVO SOPORTE (C.B.R)

Imagen N° 10: Ensayo de (C.B.R)



Fuente: Elaboración propia.

## MEZCLA DE SUELO – AGENTES ESTABILIZANTES

Imagen N° 11: Ensayo de Límites de consistencia



Fuente: Elaboración propia.

## VALOR RELATIVO SOPORTE (C.B.R)

Imagen N° 12: Ensayo de (C.B.R)



Fuente: Elaboración propia.

## RESISTENCIA DE ESPECIMENES

Imagen N° 13: Ensayo de resistencia



Fuente: Elaboración propia.