



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“Análisis comparativo de las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso adicionado con óxido de calcio (cal) al 10% y cloruro de sodio (sal de maras) al 10%, 12% y 14% para subrasante de la via Urbana Colectora Programada en la Comunidad Campesina Pillao Matao-San Jeronimo-Cusco”

Presentado por:

**Casa Maxi Danai Alondra
Tapia Ataucuri Julio Cesar**

**Para optar el título profesional de
Ingeniero Civil**

Asesor: Mg. Eigner Román Villegas

CUSCO-PERÚ

2022



Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios y a la virgen de Copacabana por darme fuerzas en todo el camino de mi vida universitaria para cumplir con mi metas personales y profesionales. A mis padres Victor Casa Velásquez y Leonor Maxi Ayma por ser un apoyo incondicional y por todo el sacrificio que hacen para sacarme adelante. A mi hermana Nayda por estar a mi lado en cada paso que doy y por el apoyo moral que siempre me brinda.

Danai Alondra Casa Maxi

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Carmen Ataucuri Meza y Ronald Tapia Venero por el apoyo incondicional que me han brindado hasta el día de hoy, apoyo sin el cual no hubiera sido posible alcanzar esta tan anhelada meta. A mis hermanos Virginia Isabel, Ronald Antauro, Francisco Alejandro, Jerónimo Inti y Omar Carlos por ser el motor y motivo de mis logros y además por ser el apoyo emocional que uno siempre necesita. Y a mis abuelas Virginia Venero Flores e Isabel Meza Quintana por el apoyo y cariño desinteresado durante mi camino hasta este momento.

Julio Cesar Tapia Ataucuri



Agradecimientos

A la Universidad Andina del Cusco por la formación académica a la escuela profesional de Ingeniería Civil y a su plana de docentes por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales.

A nuestro asesor Mgt. Ing. Eigner Román Villegas por su asesoramiento, ideas y acompañamiento en todo el desarrollo de esta presente investigación.

A nuestros ingenieros dictaminantes Ing. Jose Alberto Montesinos Cervantes, Ing. Cesar Augusto Chura Cortez e Ing. Heber Gutierrez Vallejo por sus consejos y enseñanzas durante el proceso de la tesis.

Al Arq. Ferdinand Castro Rodríguez por el apoyo y la valiosa información brindada para el desarrollo de la presente investigación.

Al laboratorio de “INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y Materiales” por brindarnos sus instalaciones para realizar nuestros ensayos y así poder desarrollar la investigación.

A todas las personas que de alguna u otra manera tuvieron que ver con el desarrollo de la investigación, a todos los que dieron su ayuda y apoyo para beneficio de esta.



Resumen

El presente estudio tiene por objetivo analizar y determinar en qué medida varían las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso que es adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio (sal de maras) al 10%, 12% y 14% para subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco mediante los ensayos de laboratorio de análisis granulométrico (MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88), Límites de Atterberg (MTC E 110 Y E 111 - ASTM D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90), Proctor Modificado (MTC E 115) y ensayo de valor soporte de los suelos CBR (MTC E 132 – ASTM D-1883) siendo una investigación cuantitativa. Durante la investigación fue empleada la técnica del reconocimiento de campo, seguidamente se evaluó el lugar para iniciar con el trazo y la excavación de 4 calicatas en un tramo representativo donde cada muestra fue ensayada indicando ser un suelo arcilloso, según AASHTO su clasificación A-6 y según SUCS su clasificación CL (arcilla inorgánica de plasticidad baja a media). Siendo un suelo arcilloso se trasladaron muestras de cada calicata para ser ensayadas en “Ingeniería y Construcción E.I.R.L”, laboratorio de materiales y suelos, enfocados en el ensayo de CBR que cuantifica la capacidad resistente como subrasante se obtuvo datos de la muestra patrón y muestras adicionadas con los diferentes porcentajes de aditivos. Teniendo los resultados de los ensayos de las 6 muestras representativas se realizó la comparación donde se concluye que el suelo arcilloso adicionado con 12% de cloruro de sodio incrementa su capacidad portante en promedio 49.66 % con relación al suelo natural, en vista que la muestra tiene mayor resistencia en subrasante y puede ser utilizada para mejorar las características físico-mecánicas del suelo arcilloso, actuando como un estabilizador químico.

Palabras claves: Porcentaje de CBR, densidad máxima seca, limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad, subrasante, cal, sal de maras.



Abstract

The purpose of this study is to analyze and determine to what extent the physical and mechanical properties of a clayey soil added with 10% calcium oxide (lime) compared to 10%, 12% and 14% sodium chloride (salt of maras) for subgrade in the rural community of Pillao Matao - San Jeronimo - Cusco by means of laboratory tests of granulometric analysis (MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 and T-88), E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 and T-88), Atterberg Limits (MTC E 110 and E 111 - ASTM D 4318 - AASHTO T-89 and T-90), Modified Proctor (MTC E 115) and CBR soil support value test (MTC E 132 - ASTM D-1883) being a quantitative investigation. The technique used for the investigation was first the field reconnaissance, then the site was evaluated to start with the layout and excavation of 4 pits in a representative section where each sample was tested indicating that it was a clayey soil, according to AASHTO its A-6 classification and according to SUCS its CL classification (inorganic clay of low to medium plasticity). Being a clayey soil, samples were taken from each test pit to be tested in the soil and materials laboratory "Ingeniería y Construcción E.I.R.L." focused on the CBR test that quantifies the resistant capacity as a subgrade, data was obtained from the standard sample and samples added with different percentages of additives. Having the test results of the 6 representative samples, a comparison was made where it was concluded that the clayey soil added with 12% of sodium chloride increases its bearing capacity in average 49.66% with respect to the natural soil, being this the sample with the highest resistance in subgrade and can be used to improve the physical-mechanical properties of a clayey soil acting as a chemical stabilizer.

Keywords: CBR percentage, maximum dry density, liquid limit, plastic limit, plasticity index, subgrade, lime, salt of maras.



Introducción

La estabilización de suelos es una técnica utilizada para optimizar las propiedades físico-mecánicas del suelo que no cumple con los requisitos para la construcción de infraestructuras.

La estabilización de suelos arcillosos es una práctica común puesto que frecuentemente al momento de plantear algún proyecto de infraestructura nos topamos con suelos de este tipo que tienen por propiedades ser materiales plásticos, con susceptibilidades volumétricas en contacto con el agua y por ende que al estar sometidos a cargas se presentan asentamientos que son perjudiciales para las estructuras que serán construidas en este tipo de suelos.

El propósito de hacer una investigación que analice las características del suelo arcilloso adicionado con cloruro de sodio (sal) y óxido de calcio (cal) es el de brindar posibilidades para estabilizar suelos arcillosos, puesto que ambos son compuestos químicos que, al ser adicionados en suelos arcillosos podrían tener como consecuencia la mejora de propiedades tales como límites de consistencia, densidad seca máxima, contenido óptimo de humedad, entre otras, haciéndolo más estable.

La presente investigación cuenta con cinco capítulos, los cuales se componen de la siguiente forma:

En el capítulo I se encuentra la Introducción, donde se desarrolla la descripción y el planteamiento del problema, posteriormente se delimitan los objetivos y por último se desglosa la justificación, limitación y delimitación espacial y temporal.

El capítulo II denominado Marco Teórico, comprende estudios previos o los denominados antecedentes, están incluidas también las bases teóricas de las variables de estudio para finalizar con la operacionalización.

En el capítulo III está el Método, en esta sección se desarrolla la metodología y el diseño de investigación, asimismo se define la población, muestra, las técnicas y sus respectivos instrumentos válidos y fiables.

En el capítulo IV se encuentran los Resultados, en esta parte se describen los objetivos con respecto a los datos recogidos, por tanto, se presenta la clasificación de suelos, límites de consistencia, Proctor Modificado y CBR Ensayo de Soporte de California.



En el capítulo V se halla la Discusión, en esta parte se presenta la descripción de hallazgos importantes, las comparaciones con literatura e implicancias de la investigación.

Adicionalmente, el estudio culmina con conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los respectivos anexos, los instrumentos y sus validaciones.



Índice General

Dedicatoria	2
Agradecimientos.....	3
Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Índice General	8
Indice de Tablas	11
Índice de Figuras	18
Capítulo I: Introducción	23
1.1. Planteamiento del Problema.....	23
1.1.1. Descripción del problema.....	23
1.1.2.1. Formulación interrogativa del Problema General.....	25
1.1.2.2. Formulación interrogativa de los Problemas Específicos	26
1.2. Justificación de la investigación	26
1.2.1. Justificación Técnica:.....	26
1.2.2. Justificación Social:	27
1.2.3. Justificación por viabilidad	27
1.2.4. Justificación por relevancia.....	28
1.3. Limitaciones de la investigación	28
1.4. Objetivos de la investigación.....	29
1.4.1. Objetivo general.....	29
1.4.2. Objetivos específicos	29
1.5. Delimitación del estudio.....	30
1.5.1. Delimitación espacial:.....	30
1.5.2. Delimitación temporal:	30



1.6.	Metodología de la tesis	30
1.6.1.	Tipo de investigación	30
1.6.2.	Nivel de la investigación.....	30
1.6.3.	Metodología de la investigación	31
Capitulo II:	Marco Teórico de la Tesis	32
2.1.	Antecedentes de la tesis	32
2.1.1.	Antecedentes a nivel local	32
2.1.2.	Antecedentes a nivel nacional.....	32
2.1.3.	Antecedentes a nivel internacional	33
2.2.	Base teórico- científico.....	35
2.2.1.	Pavimento	35
2.2.1.1.	Partes de un pavimento	35
2.2.1.2.	Tipos de pavimento	36
2.2.2.	Suelos:.....	37
2.2.4.	Estabilización de Suelos	50
2.2.4.1.	Tipos de estabilizaciones:	50
2.2.5.	Cloruro de sodio (NaCl):	51
2.2.7.	Estabilización de suelos con cloruros	54
2.2.8.	Estabilización con cloruro de sodio (NaCl):	55
2.2.9.	Cal:.....	57
2.2.10.	Tipos de cal	58
2.2.11.	Estabilización con cal	58
2.2.12.	Ensayos de Laboratorio:	59
2.3.	Definición de términos básicos:.....	60
2.4.	Hipótesis	60
2.4.1.	Hipótesis general.....	60



2.4.2.	Sub hipótesis	60
2.5.	Variables e indicadores.....	61
2.5.1.1.	Variables Dependientes:	61
2.5.1.2.	Variables Independientes:.....	61
2.5.1.3.	Variables Intervinientes	61
2.5.2.	Cuadro de Operacionalización de Variables:.....	61
Capitulo III: Método.....		63
3.1.	Metodología de la investigación-Alcance de estudio	63
3.1.1.	Tipo de investigación.....	63
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación.....	63
3.1.3.	Método de la investigación	63
3.2.	Diseño de la investigación.....	63
3.2.1.	Diseño metodológico	63
3.2.2.	Diseño de ingeniería	64
3.3.	Población	65
3.3.1.	Descripción de la población.....	65
3.3.2.	Cuantificación de la población.....	65
3.4.	Muestra.....	67
3.4.1.	Descripción de la muestra	67
3.4.2.	Cuantificación de la muestra.....	67
3.4.3.	Método de muestreo.....	70
3.4.4.	Criterios de evaluación de la muestra	70
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	71
3.5.1	Técnicas de recolección de datos:.....	71
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos:	211
Capitulo IV: Resultados de la investigación		217



4.1. Contenido de humedad	217
Capitulo V: Discusión	252
5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos.	252
5.2. Limitaciones del estudio.	253
5.3. Comparación crítica con la literatura existente.	253
5.4. Implicancias del estudio.	254

Indice de Tablas

Tabla 1. Simbología para tipos de suelo según clasificación SUCS.....	39
Tabla 2. Tabla para clasificación de suelos Método AASHTO.....	41
Tabla 3. Tabla para clasificación de suelos Método AASHTO.....	41
Tabla 4. Cuadro de Operacionalización de Variables dependientes.	62
Tabla 5. Diseño de la ingeniería del presente Proyecto de Investigación.....	64
Tabla 6. Número de Calicatas par Exploración de Suelos	65
Tabla 7. Número de calicatas realizadas.	66
Tabla 8. Número de ensayos granulométricos por calicata.	67
Tabla 9. Datos del suelo arcilloso natural.	73
Tabla 10. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.	73
Tabla 11. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.....	73
Tabla 12. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.....	73
Tabla 13. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.....	74
Tabla 14. Datos del suelo arcilloso natural.	74
Tabla 15. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.	74
Tabla 16. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.....	74
Tabla 17. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.....	74
Tabla 18. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.....	74



Tabla 19.	Datos del suelo arcilloso natural.	75
Tabla 20.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.	75
Tabla 21.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.	75
Tabla 22.	Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.	75
Tabla 23.	Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.	75
Tabla 24.	Datos del suelo arcilloso natural.	76
Tabla 25.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.	76
Tabla 26.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.	76
Tabla 27.	Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.	76
Tabla 28.	Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.	76
Tabla 29.	Datos del suelo arcilloso natural.	76
Tabla 30.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.	77
Tabla 31.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.	77
Tabla 32.	Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.	77
Tabla 33.	Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.	77
Tabla 34.	Datos del suelo arcilloso natural.	77
Tabla 35.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.	77
Tabla 36.	Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.	77
Tabla 37.	Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.	78
Tabla 38.	Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.	78
□ Calicata C-01	81
Tabla 39.	Muestra 1 de C-01	81
Tabla 40.	Muestra 2 de C-01	82
Tabla 41.	Muestra 3 de C-01	83
Tabla 42.	Muestra 4 de C-02	84
Tabla 43.	Muestra 5 de C-02	85



Tabla 44.	Muestra 6 de C-02.....	86
Tabla 45.	Muestra 7 de C-03.....	87
Tabla 46.	Muestra 8 de C-03.....	88
Tabla 47.	Muestra 9 de C-03.....	89
Tabla 48.	Muestra 10 de C-04.....	90
Tabla 49.	Muestra 11 de C-04.....	91
Tabla 50.	Muestra 12 de C-04.....	92
Tabla 51.	Datos del suelo arcilloso natural.....	97
Tabla 52.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	98
Tabla 53.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	98
Tabla 54.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	99
Tabla 55.	Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	99
Tabla 56.	Datos del suelo arcilloso natural.....	100
Tabla 57.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	100
Tabla 58.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	100
Tabla 59.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	101
Tabla 60.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	102
Tabla 61.	Datos del suelo arcilloso natural.....	102
Tabla 62.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	103
Tabla 63.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	103
Tabla 64.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	104
Tabla 65.	Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	104
Tabla 66.	Datos del suelo arcilloso natural.....	105
Tabla 67.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	105
Tabla 68.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	106
Tabla 69.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	106



Tabla 70.	Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	107
Tabla 71.	Datos del suelo arcilloso natural	107
Tabla 72.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal	108
Tabla 73.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	108
Tabla 74.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	108
Tabla 75.	Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	109
Tabla 76.	Datos del suelo arcilloso natural	110
Tabla 77.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal	110
Tabla 78.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	111
Tabla 79.	Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	111
Tabla 80.	Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	112
Tabla 81.	Suelo arcilloso natural	117
Tabla 82.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	118
Tabla 83.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	119
Tabla 84.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	119
Tabla 85.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	120
Tabla 86.	Suelo arcilloso natural	121
Tabla 87.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	122
Tabla 88.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	123
Tabla 89.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	124
Tabla 90.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	125
Tabla 91.	Suelo arcilloso natural	126
Tabla 92.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	127
Tabla 93.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	128
Tabla 94.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	129
Tabla 95.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	130



Tabla 96.	Suelo arcilloso natural.....	131
Tabla 97.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	132
Tabla 98.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	133
Tabla 99.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	134
Tabla 100.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	135
Tabla 101.	Suelo arcilloso natural.....	136
Tabla 102.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	137
Tabla 103.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	138
Tabla 104.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	139
Fuente: Elaboración propia.....		139
Tabla 105.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	140
Tabla 106.	Suelo arcilloso natural.....	141
Tabla 107.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	142
Tabla 108.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	143
Tabla 109.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	144
Tabla 110.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	145
Tabla 111.	Suelo arcilloso natural.....	151
Tabla 112.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	153
Tabla 113.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	155
Tabla 114.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	157
Tabla 115.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	159
Tabla 116.	Suelo arcilloso natural.....	161
Tabla 117.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal.....	163
Tabla 118.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal.....	165
Tabla 119.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal.....	167
Tabla 120.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal.....	169



Tabla 121.	Suelo arcilloso natural	171
Tabla 122.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal	173
Tabla 123.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	175
Tabla 124.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	177
Tabla 125.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	179
Tabla 126.	Suelo arcilloso natural	181
Tabla 127.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal	183
Tabla 128.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	185
Tabla 129.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	187
Tabla 130.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	189
Tabla 131.	Suelo arcilloso natural	191
Tabla 132.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal	193
Tabla 133.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	195
Tabla 134.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	197
Tabla 135.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	199
Tabla 136.	Suelo arcilloso natural	201
Tabla 137.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal	203
Tabla 138.	Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal	205
Tabla 139.	Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal	207
Tabla 140.	Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal	209
Tabla 141.	Formato de Análisis Granulométrico	211
Tabla 142.	Formato de Limites de Atterberg.....	212
Tabla 143.	Formato de Proctor Modificado	213
Tabla 144.	Formato de CBR.....	214
Tabla 145.	Resultado de ensayo de Contenido de Humedad (Muestra 1).....	217
Tabla 146.	Resultado de ensayo de Contenido de humedad (Muestra 2).....	217



Tabla 147.	Resultado de ensayo de Contenido de humedad (Muestra 3).....	218
Tabla 148.	Resultado de ensayo de Contenido de humedad (Muestra 4).....	219
Tabla 149.	Resultado de ensayo de Contenido de humedad (Muestra 5).....	219
Tabla 150.	Resultado de ensayo de Contenido de humedad (Muestra 6).....	220
Tabla 151.	Resultado de ensayo de Limite Liquido (Muestra 1)	221
Tabla 152.	Resultado de ensayo de Limite Liquido (Muestra 2)	222
Tabla 153.	Resultado de ensayo de Limite Liquido (Muestra 3)	222
Tabla 154.	Resultado de ensayo de Limite Liquido (Muestra 4)	223
Tabla 155.	Resultado de ensayo de Limite Liquido (Muestra 5)	224
Tabla 156.	Resultado de ensayo de Limite Liquido (Muestra 6)	224
Tabla 157.	Resultado de ensayo de Limite Plástico (Muestra 1)	225
Tabla 158.	Resultado de ensayo de Limite Plástico (Muestra 2)	226
Tabla 159.	Resultado de ensayo de Limite Plástico (Muestra 3).	227
Tabla 160.	Resultado de ensayo de Limite Plástico (Muestra 4).	227
Tabla 161.	Resultado de ensayo de Limite Plástico (Muestra 5).	228
Tabla 162.	Resultado de ensayo de Limite Plástico (Muestra 6).	229
Tabla 163.	Resultado de ensayo de Índice de Plasticidad (Muestra 1)	229
Tabla 164.	Resultado de ensayo de Índice de Plasticidad (Muestra 2)	230
Tabla 165.	Resultado de ensayo de Índice de Plasticidad (Muestra 3)	231
Tabla 166.	Resultado de ensayo de Índice de Plasticidad (Muestra 4)	231
Tabla 167.	Resultado de ensayo de Índice de Plasticidad (Muestra 5)	232
Tabla 168.	Resultado de ensayo de Índice de Plasticidad (Muestra 6)	233
Tabla 169.	Resultado de ensayo de Proctor Modificado (Muestra 1).	235
Tabla 170.	Resultado de ensayo de Proctor Modificado (Muestra 2).	235
Tabla 171.	Resultado de ensayo de Proctor Modificado (Muestra 3).	236
Tabla 172.	Resultado de ensayo de Proctor Modificado (Muestra 4).	237



Tabla 173.	Resultado de ensayo de Proctor Modificado (Muestra 5).	238
Tabla 174.	Resultado de ensayo de Proctor Modificado (Muestra 6).	238
Tabla 175.	Resultado de ensayo de CBR al 95% (Muestra 1).....	240
Tabla 176.	Resultado de ensayo de CBR al 95% (Muestra 2).....	240
Tabla 177.	Resultado de ensayo de CBR al 95% (Muestra 3).....	241
Tabla 178.	Resultado de ensayo de CBR al 95% (Muestra 4).....	241
Tabla 179.	Resultado de ensayo de CBR al 95% (Muestra 5).....	242
Tabla 180.	Resultado de ensayo de CBR al 95% (Muestra 6).....	243
Tabla 181.	Resultado de ensayo de CBR al 100 % (Muestra 1).....	244
Tabla 182.	Resultado de ensayo de CBR al 100% (Muestra 2).....	244
Tabla 183.	Resultado de ensayo de CBR al 100% (Muestra 3).....	245
Tabla 184.	Resultado de ensayo de CBR al 100% (Muestra 4).....	246
Tabla 185.	Resultado de ensayo de CBR al 100% (Muestra 5).....	247
Tabla 186.	Resultado de ensayo de CBR al 100% (Muestra 6).....	248
Tabla 187.	Formato de Análisis Granulométrico	261
Tabla 188.	Formato de Limites de Atterberg.....	262
Tabla 189.	Formato de Proctor Modificado	263
Tabla 190.	Formato de CBR.....	264

Índice de Figuras

Figura 1.	Trocha Cusco – Quillabamba.....	23
Figura 2.	Trocha Cusco – Puerto Maldonado.....	24
Figura 3.	Via Urbana Colectora Programada	25
Figura 4.	Grafica de Plasticidad del USCS. (Das, 2001).....	39
Figura 5.	Fórmula para hallar el Índice de Grupo, metodología AASHTO	40
Figura 6.	Estructura de los Filosilicatos (tetraedros).....	43



Figura 7.	Estructura de los Filosilicatos (láminas).	44
Figura 8.	Estructura interna de las Caolinitas.	45
Figura 9.	Estructura interna de las Illitas.	46
Figura 10.	Estructura Interna de las Montmorillonitas.	46
Figura 11.	Pozos de sal, Salineras de Maras – Urubamba – Cusco – Perú	53
Figura 12.	Extracción de sal de Maras – Urubamba – Cusco – Perú.	53
Figura 13.	Empacado de Sal de Maras – Urubamba – Cusco – Perú.	54
Figura 14.	Uso de Cloruro de Sodio en grano.	56
Figura 15.	Control de polvo y estabilización de caminos con cloruros.	57
Figura 16.	Plano de ubicación calicatas.	67
Figura 17.	Estratigrafía calicata N° 01	68
Figura 18.	Estratigrafía calicata N° 02.	69
Figura 19.	Estratigrafía calicata N° 03	69
Figura 20.	Estratigrafía calicata N° 04	70
Figura 21.	Zona de estudio	71
Figura 22.	Excavación de suelos	72
Figura 23.	Trituración y lavado del material	79
Figura 24.	Tamizado del material	80
Figura 25.	Tamizado del material	94
Figura 26.	Equipos para ensayo de Limite Liquido	94
Figura 27.	Ensayo de Limite Liquito del suelos adicionado con los diferentes porcentajes de Oxido de Calcio y Cloruro de Sodio	95
Figura 28.	Ensayo de Limite Liquito del suelos adicionado con los diferentes porcentajes de Oxido de Calcio y Cloruro de Sodio	96
Figura 29.	Equipos para ensayo de Proctor Modificado	113
Figura 30.	Trituración del material	113



Figura 31.	Mezcla del material con el agua a diferentes porcentajes	114
Figura 32.	Compactado del molde Proctor	115
Figura 33.	Mezcla del material con los aditivos a diferentes porcentajes	115
Figura 34.	Mezcla del material con los aditivos a diferentes porcentajes	116
Figura 35.	Trituración y mezclado del material.....	146
Figura 36.	Compactado y enrazado de la muestra	147
Figura 37.	Peso de la muestra compactada y el molde	148
Figura 38.	Moldes compactados y sumergidos en agua	149
Figura 39.	Moldes sumergidos con diferentes porcentajes de aditivos	149
Figura 40.	Moldes húmedos después de 96 horas sumergidos en agua.....	149
Figura 41.	Penetración de moldes CBR.....	150
Figura 42.	Variación Contenido de humedad (Muestra 1).	217
Figura 43.	Variación Contenido de humedad (Muestra 2).	218
Figura 44.	Variación Contenido de humedad (Muestra 3).	218
Figura 45.	Variación Contenido de humedad (Muestra 4).	219
Figura 46.	Variación Contenido de humedad (Muestra 5).	220
Figura 47.	Variación Contenido de humedad (Muestra 6).	220
Figura 48.	Variación Limite Líquido (Muestra 1).	221
Figura 49.	Variación Limite Líquido (Muestra 2).	222
Figura 50.	Variación Limite Líquido (Muestra 3).	223
Figura 51.	Variación Limite Líquido (Muestra 4).	223
Figura 52.	Variación Limite Líquido (Muestra 5).	224
Figura 53.	Variación Limite Líquido (Muestra 6).	225
Figura 54.	Variación Limite Plástico (Muestra 1).	226
Figura 55.	Variación Limite Plástico (Muestra 2).	227
Figura 56.	Variación Limite Plástico (Muestra 3).	227



Figura 57.	Variación Limite Plástico(Muestra 4).	228
Figura 58.	Variación Limite Plástico (Muestra 5).	228
Figura 59.	Variación Limite Plástico (Muestra 6).	229
Figura 60.	Variación Índice de Plasticidad (Muestra 1).	230
Figura 61.	Variación Índice de Plasticidad (Muestra 2).	231
Figura 62.	Variación Índice de Plasticidad (Muestra 3).	231
Figura 63.	Variación Índice de Plasticidad (Muestra 4).	232
Figura 64.	Variación Índice de Plasticidad (Muestra 5).	233
Figura 65.	Variación Índice de Plasticidad (Muestra 6).	234
Figura 66.	Variación Densidad Seca Máxima (Muestra 1).	235
Figura 67.	Variación Densidad Seca Máxima (Muestra 2).	236
Figura 68.	Variación Densidad Seca Máxima (Muestra 3).	237
Figura 69.	Variación Densidad Seca Máxima (Muestra 4).	238
Figura 70.	Variación Densidad Seca Máxima (Muestra 5).	238
Figura 71.	Variación Densidad Seca Máxima (Muestra 6).	239
Figura 72.	Variación CBR al 95 % (Muestra 1).	240
Figura 73.	Variación CBR al 95 % (Muestra 2).	241
Figura 74.	Variación CBR al 95 % (Muestra 3).	241
Figura 75.	Variación CBR al 95 % (Muestra 4).	242
Figura 76.	Variación CBR al 95 % (Muestra 5).	243
Figura 77.	Variación CBR al 95 % (Muestra 6).	243
Figura 78.	Variación CBR al 100% (Muestra 1).	244
Figura 79.	Variación CBR al 100% (Muestra 2).	245
Figura 80.	Variación CBR al 100% (Muestra 3).	246
Figura 81.	Variación CBR al 100% (Muestra 4).	247
Figura 82.	Variación CBR al 100% (Muestra 5).	248



Figura 83.	Variación CBR al 100% (Muestra 6).....	248
Figura 84.	Resumen de resultados Muestra 01.....	249
Figura 85.	Resumen de resultados Muestra 02.....	249
	250
Figura 86.	Resumen de resultados Muestra 03.....	250
Figura 87.	Resumen de resultados Muestra 04.....	250
Figura 88.	Resumen de resultados Muestra 05.....	251
Figura 89.	Resumen de resultados Muestra 06.....	251
Figura 90.	Certificado de Calibración Prensa CBR 01.....	266
Figura 91.	Certificado de Calibración Prensa CBR 02.....	267
Figura 92.	Certificado de Calibración Balanza 01.....	268
Figura 93.	Certificado de Calibración Balanza 02.....	269
Figura 94.	Certificado de Calibración Balanza 03.....	270
Figura 95.	Certificado de Calibración Tamizador.....	271



Capítulo I: Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Descripción del problema

Las propiedades erráticas de los suelos arcillosos hacen que se dificulten los procesos constructivos en general y más específicamente en los diseños de pavimentos en un suelo con presencia de este tipo de material. La arcilla al estar en presencia de agua tiene una variación de volumen, lo que produce inestabilidad en estructuras que usan suelos con alta presencia de arcilla como soporte.

La alta incidencia de lluvias en nuestra región que reciben las arcilla nos hace susceptibles a problemas generados por el comportamiento deformacional de los suelos en carreteras. Un claro ejemplo es el que se veía en la carretera Cusco – Puerto Maldonado o la carretera Cusco – Quillabamba antes de que éstas sean pavimentadas.



Figura 1. Trocha Cusco – Quillabamba

Fuente: <https://rpp.pe/peru/cusco/la-convencion-agricultores-solicitan-ayuda-ante-desborde-de-rios-noticia-941631>



Figura 2. Trocha Cusco – Puerto Maldonado.

Fuente: <https://elcomercio.pe/peru/madre-de-dios/105-aniversario-madre-dios-fotos-ineditas-region-noticia-485365-noticia/?foto=6>

La C.C. de Pillao Matao reúne las características físico mecánicas y geotécnicas ideales en arcillas para poder realizar el presente estudio, puesto que presenta alta presencia de arcilla y por otro lado también se encuentra en una zona de altas precipitaciones pluviales (Cusco).

Asimismo, podemos decir que el presente proyecto está dirigido a la estabilización de suelos para pavimentos, considerando que en la zona encontramos dos vías programadas en el “Plan de Desarrollo Urbano Cusco al 2023” (Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial-Municipalidad del Cusco 2013) , una de ellas es la Vía Urbana Arterial Programada y la otra Vía Urbana Colectora Programada; para efectos de nuestro estudio abordaremos la Vía Urbana Colectora Programada.

1.1.2. Formulación interrogativa del Problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del Problema General

¿En qué medida varían las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco?

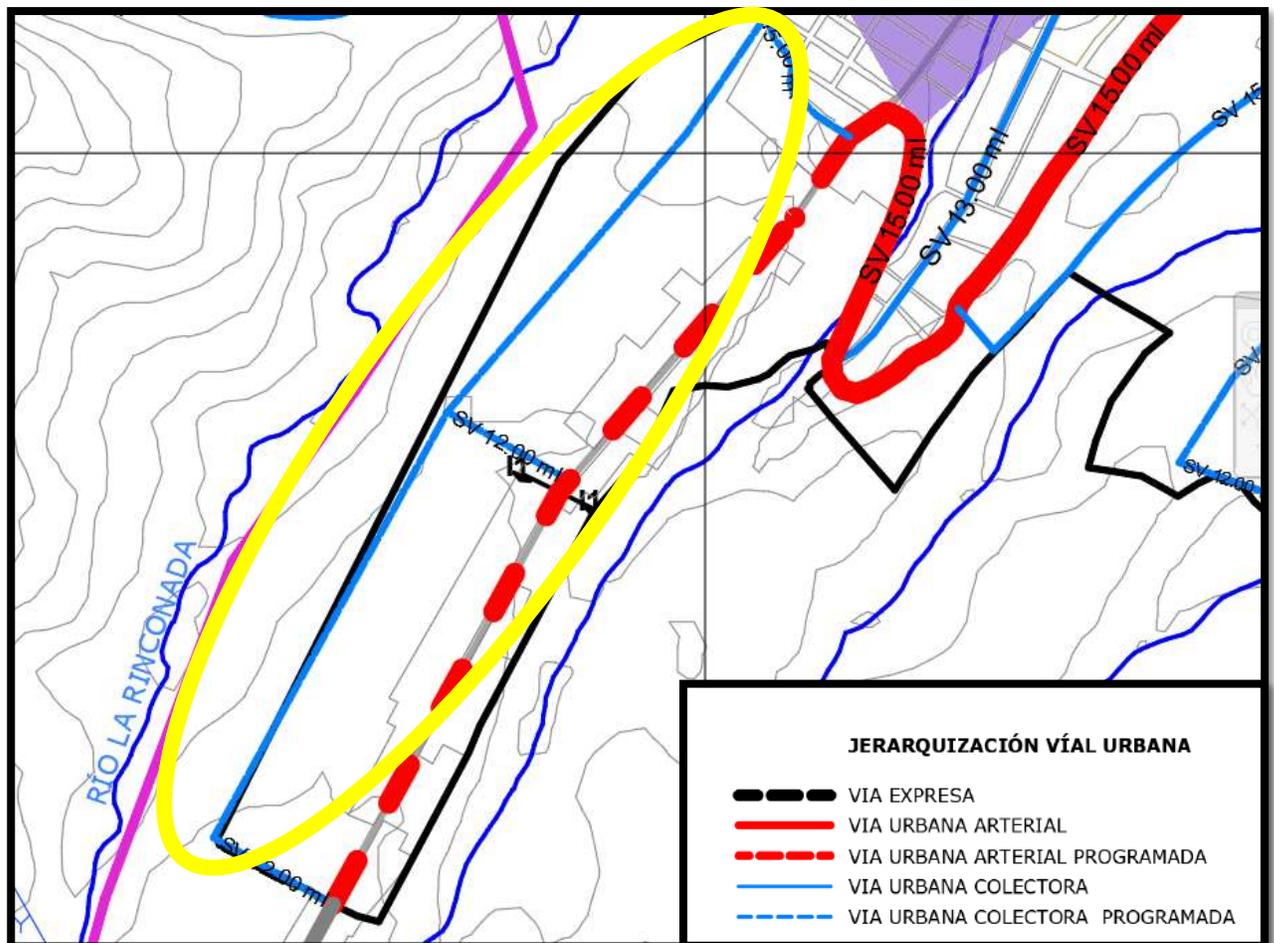


Figura 3. Vía Urbana Colectora Programada

Fuente: "Plan de Desarrollo Urbano Cusco al 2023" (Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial-Municipalidad del Cusco 2013)".



1.1.2.2. Formulación interrogativa de los Problemas Específicos

Problema específico N°1

¿Cómo varía el porcentaje de humedad de un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante en la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco?

Problema específico N°2

¿Cómo varían los límites de consistencia de un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante en la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco?

Problema específico N°3

¿Cómo varía la Densidad Seca Máxima que tendrá un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % y comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante en la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco?

Problema específico N°4

¿Cómo varía el CBR (California Bearing Ratio) que presenta un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante en la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco?

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Justificación Técnica:

Poco se sabe sobre el uso de cloruro de sodio y óxido de calcio para mejorar las propiedades mecánicas de suelos arcilloso para subrasante en la comunidad campesina de Pillao Matao, en este sentido es necesario determinar si existen restricciones para el empleo de estos productos en suelos arcillosos de tipo CL (Arcilla de baja plasticidad), el cual es el tipo de arcilla que encontramos en la zona a estudiar.



Es importante estudiar los aditivos para identificar su empleo en la estabilización de suelos arcillosos, puesto que el mejoramiento del comportamiento de este tipo de suelo se usa un material (Sal de Maras) que se produce en nuestra región, lo que también lo hace más beneficioso aún puesto que al tener el material en nuestra región supone un menor costo de adquisición para la estabilización del suelo que usaremos para nuestro estudio.

Otro dato importante es que el Cloruro de Sodio ha demostrado tener efectos beneficiosos en los suelos tales como:

- Reduce la permeabilidad en la superficie.
- Rebaja el punto de congelación del agua del suelo.
- Forma una costra dura en la superficie.
- Ayuda a retener agua durante la compactación.
- Aumenta la densidad seca máxima.

(Mateos de Vicente, 2013)

1.2.2. Justificación Social:

La principal población objetivo serán las personas que viven en áreas cuyos suelos presentan alta presencia de arcilla y pretenden construir carreteras o edificaciones, puesto que la inestabilidad de este material se podría corregir con el estabilizador que se evaluará en esta Tesis.

También tenemos a los residentes de obra que trabajan en terrenos donde la presencia de arcilla es abundante y que podrían usar, de ser positivos, los resultados de esta investigación para poder estabilizar el suelo en el que están trabajando con Cloruro de Sodio (Sal de Maras) u Oxido de Calcio (Cal).

Otros beneficiarios podrían ser investigadores, tesisistas e ingenieros que deseen investigar en temas de estabilización de suelos que podrían utilizar esta Tesis como referencia para sus trabajos.

Los proyectistas de carreteras que buscan estabilizadores de suelos también serán beneficiados con el presente estudio, pues tendrán una opción adicional a los otros ya conocidos agentes estabilizantes.

1.2.3. Justificación por viabilidad

Este estudio fue factible, tomando en cuenta que uno de los materiales que serán utilizados para la adición al suelo (Sal de Maras) existe en abundancia en nuestra zona. Un claro ejemplo es la mina



de sal que existe en la localidad de Maras. Por otro lado, el Óxido de Calcio (Cal) es un material que no presenta dificultad para poder ser adquirido en nuestra región.

También podemos decir que ya existen antecedentes de investigaciones realizadas sobre este tema. Y por otro lado contamos con instalaciones apropiadas para realizar los ensayos en laboratorios de la Universidad Andina del Cusco.

Cabe mencionar que otros aspectos como el acceso al material necesario para poder realizar este estudio, recursos para el transporte de muestras y tiempo para realizar los ensayos fueron viables y cubiertos durante la realización de la investigación.

1.2.4. Justificación por relevancia

Teniendo en cuenta que en la región hay épocas en las cuales se tiene altas precipitaciones pluviométricas y nuestro estudio cobra una elevada relevancia puesto que la solución planteada con el uso de Cloruro de Sodio (Sal de Maras) y Oxido de Calcio (Cal) les hace frente a los problemas que causa el agua sobre suelos arcillosos.

Un dato relevante de la región es la longitud de las vías en la zona, donde existe un total de 2648.6 km de vías, de las cuales 2094.6 son carreteras no pavimentadas (MTC, 2013), lo que hace que estudios nos sirvan para dotar de soluciones en el marco de estabilizar suelos que son utilizados como medio de transporte para muchas personas que buscan moverse de manera segura y más rápida.

El mejoramiento de las carreteras implica un mayor desarrollo económico para los puntos que éstas conectan, teniendo esto presente podemos afirmar que de manera indirecta el estudio e investigación de nuevos agentes estabilizantes para suelos cobran vital relevancia en un contexto de mejoras económicas y desarrollo.

1.3. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de este estudio son las siguientes:

- El suelo a estabilizar será de tipo arcilloso presente en la CC Pillao Matao.
- El tipo de estabilización que aplicaremos será la estabilización química.
- Un estabilizador a utilizar será el Cloruro de Sodio producido en la localidad de Maras, Provincia de Urubamba, Región del Cusco.



- Otro de los estabilizadores a utilizar es el Óxido de Calcio (Cal) industrial.
- El acceso a la zona de estudio y a la cantera de Sal es parcial por efectos de las restricciones impuestas por el Gobierno a causa de la pandemia global producida por el COVID-19.
- La etapa de la realización de ensayos se programó en el laboratorio privado “INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.” ya que, el acceso a los laboratorios de la Universidad Andina del Cusco era restringido por la emergencia sanitaria debido a la pandemia relacionada al COVID-19.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar en qué medida varían las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivos específico N°1

Determinar en qué medida varía el porcentaje de humedad de un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

Objetivos específico N°2

Determinar en qué medida varían los límites de consistencia que tendrá un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

Objetivos específico N°3

Obtener la variación de la Densidad Seca Máxima que tendrá un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para



subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

Objetivos específico N°4

Determinar en qué medida varía el CBR (California Bearing Ratio) que presenta un suelo arcilloso adicionado con Oxido de Calcio (Cal) al 10 % comparado con Cloruro de Sodio al 10%, 12% y 14% para subrasante Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

1.5.Delimitación del estudio

1.5.1. Delimitación espacial:

El presente estudio fue realizado en la Comunidad Campesina de Pillao Matao, San Jerónimo, Cusco.

La zona específica a esta dentro de las Vías programadas en el “Plan de Desarrollo Urbano Cusco al 2023”, y tiene la clasificación de Vía Urbana Colectora Programada.

1.5.2. Delimitación temporal:

Los ensayos fueron realizados entre los meses de septiembre y octubre del año 2021.

1.6.Metodología de la tesis

1.6.1. Tipo de investigación

La investigación estará determinada por la naturaleza del objeto de investigación, en este sentido fue cuantitativa, porque los datos recibidos del laboratorio fueron recopilados y procesados estadísticamente (según Sampieri).

1.6.2. Nivel de la investigación

La investigación fue de nivel descriptivo-correlacional, (según Sampieri) porque fue determinado a través de ensayos, una correlación entre porcentajes de adición de Cloruro de Sodio (Sal de Maras), Oxido de Calcio (Cal), asimismo se dieron a conocer los efectos que las combinaciones de estos compuestos causan en un suelo arcilloso; y también determinar con cuál de las combinaciones el suelo a estudiar ofrece una mejora en su comportamiento físico mecánico frente a un suelo sin adición de estos.



1.6.3. Metodología de la investigación

Se trata de una investigación Experimental. (Según Sampieri), por el hecho de que se experimentó con Cloruro de Sodio (Sal de Maras) y Oxido de Calcio (Cal), compuestos químicos que fueron añadidos a un suelo arcilloso.



Capítulo II: Marco Teórico de la Tesis

2.1. Antecedentes de la tesis

2.1.1. Antecedentes a nivel local

- **Título:** “Análisis y evaluación de la estabilidad de suelos de arcilla en APV Pícol Orcompugio mediante la adición de 10% de cal y 15%, 25% y 30% de puzolana volcánica de cantera Racci a lecho de carretera pavimentada según Manual de Carreteras, suelo, geología, geotecnia y pavimento”
- **Autores:** Mamani Garcia, Jherson
Ramirez Rondán, Mario Brennan Indrex.
- **Universidad:** Universidad Andina del Cusco
- **Año:** 2020
- **Resumen:** Este trabajo de investigación tuvo de objetivo determinar cómo se modifican las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la arcilla mediante la adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 10%, 15%, 25% y 30% para mejorar la calidad de las vías de APV. Pícol Orcompugio. Asimismo, fue de enfoque cuantitativo, nivel correlacional, método hipotético-deductivo y durante el estudio realizaron una exploración del área de estudio, la cual supuso la producción de 6 calicatas para conseguir materiales con las siguientes características: mayor finura y mayor índice de plasticidad. Los resultados revelan que, estabilizar el suelo con cal combinado al 10% y puzolana volcánica al 15%, 25% y 30%; se comprobó un aumento de la densidad de CBR y se obtuvo un material con un contenido de CBR del 95 % por encima del 6 % de CBR, asimismo se verificó un aumento en la densidad máxima seca en un suelo de arcilla, es decir con puzolana volcánica al nivel 15% aumentó un 6,67%, al 25% acrecentó un 8,48%, y al 30% aumentó 10,3%. Aunque se presentaron incrementos, también se evidencio que el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad tuvo una disminución. Comprobándose así que material estabilizador hace que la arcilla sea cada vez más alcalina. Por otra parte, combinar sólo 10% de cal con puzolana volcánica al 25% y 30% en tierra estabilizada; es adecuado para su uso como sustrato de acuerdo con las directrices de carreteras

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

- **Título:** “Mejorar el CBR de suelos de arcilla con cloruro de sodio”,



- **Autor:** Greisi Meliza Díaz Chacón.
- **Universidad:** Universidad Privada del Norte, Lima – Perú.
- **Año:** 2018
- **Resumen:** El principal objetivo fue determinar la mejora de CBR de suelos de arcilla con cloruro de sodio. Para desarrollar este estudio se recolectó una muestra de arcilla de Santa Bárbara-Cajamarca, la cual posteriormente se analizó y ensayó en un laboratorio de la UPN. De acuerdo con los datos, las pruebas de: humedad, granulación, peso específico, Límite de Atterberg, Radio Proctor Modificado y Radio de Rodamiento California (CBR), permitieron demostrar el mejoramiento de suelos arcillosos con 14, 16 y 18% de cloruro de sodio. Al finalizar la tesis se logra determinar la mejora de CBR de arcillas utilizando NaCl, confirmando así la hipótesis de que la CBR de arcillas mejora al 20% al agregar un porcentaje entre 14% y 18% de NaCl. . En general, el índice CBR para 0,1” varió un 44,44 % con respecto a la muestra de referencia, para 0,2” el índice CBR cambió un 29,90 % con respecto a la muestra de referencia. Al determinar que hay una mejora en CBR, se obtienen los siguientes resultados: CBR es 0.1” : en la muestra estándar, CBR es 4.05%, como porcentaje de NaCl es 14%, CBR es 5.02%, agregue 16% NaCl , CBR es de 4,45%, y al aumentar un 18% de NaCl se obtiene un CBR de 5,85%. Para un CBR de 0.2” el resultado es que en la muestra estándar obtenemos un CBR de 4.85%, agregando 14% NaCl obtenemos un CBR de 5.82%, según 16% NaCl obtenemos un CBR de 6.1%, y cuando aumentando NaCl al 18%, el CBR se obtiene al 6,30%.

2.1.3. Antecedentes a nivel internacional

- **Título:** “Analizar y estabilizar arcilla negra con cloruro de sodio (NaCl), arena pómez, cal y cemento para mejorar sus propiedades mecánicas”
- **Autor:** Jonny Antonio Robles Díaz.
- **Universidad:** Universidad Nacional de Ingeniería, Managua-Nicaragua.
- **Año:**2018
- **Resumen:** El objetivo fue determinar la estabilización de arcilla negra con cloruro de sodio (NaCl), arena pómez, cal y cemento, para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Para el desarrollo de este estudio experimental se realizó un pozo de 1m x 1m visto en planta por 1m de profundidad, para evaluar la arcilla, de este proceso se tomaron tres (3) muestras alteradas, que fueron llevadas a un laboratorio para su respectivo análisis de



acuerdo con las normas de la A.S.T.M. A partir de la evaluación técnica se selecciona la muestra que mejores propiedades físico-químicas obtiene. Finalmente, se encontró que la resistencia adquirida de la arcilla negra al cloruro de sodio (6,5, 6,6 y 6,9 kg/cm²) y arena de piedra pómez (6,1, 6,4 y 6,8 kg/cm²) es ligeramente superior a la resistencia del suelo natural (5, 6, 6.2). y 5,8 kg/cm²), aunque por debajo del requerimiento establecido de 21 kg/cm² (Norma I.N.V. E-614), por lo que el segundo estabilizador no aplica a este suelo, mientras que el estabilizador con cemento logró valores de resistencia superiores (13,8, 19,2 y 26,2 kg/cm²) que la cal apagada (11,5, 17,2 y 23,0 kg/cm²). Además, se encontró que al estabilizar la arcilla existente con cemento se logró aumentar su CBD de 0 a 24.7, obteniendo mejores propiedades físico-mecánicas.

- **Título:** Estabilizar el suelo con cloruro de sodio para uso vial.
- **Autores:** Paul Garnica Anguas
Alfonso Pérez Salazar
José Antonio Gómez López
Edda Yhaaraby Obil Veiza,
- **Universidad:** Instituto Mexicano del Transporte, México.
- **Año:** 2002
- **Resumen:** El objetivo fue analizar el comportamiento de suelos arcillosos mezclados con cloruro de sodio, con el fin de determinar la estabilización de suelos. El cloruro de sodio en particular, debido a su bajo costo, es más utilizada en las carreteras, en algunos casos con más o menos éxito dependiendo de las condiciones específicas de cada caso. Se analizaron los cambios en las propiedades físico-mecánicas de suelos cuando se les adiciona sales en diferentes medidas. La sal se utiliza de dos formas diferentes: diluida y granulada. Las propiedades físicas analizadas son los límites de densidad, y por ende su clasificación en SUCS y el potencial de hidrógeno (pH), así como la compactación. Las posiciones de los suelos en el gráfico de plasticidad en estado natural están arriba de la línea A y a la derecha de la línea B. por lo tanto, se clasifican como arcillas altamente compresibles (CH); a medida que aumenta el contenido de sal, el suelo tiende a desplazarse hacia la izquierda de la curva de rendimiento superior para clasificarse como suelo CL. Se demostró que el intervalo entre la salinidad y la prueba no afectó los índices de plasticidad de los suelos analizados.



Por otro lado, se observa que en la compactación del suelo aumenta la densidad de materia seca y disminuye el contenido óptimo de humedad al aumentar el contenido de sal. Esto puede deberse a un aumento en la cantidad de cristales de sal que se adhieren a los minerales del suelo. Cabe señalar que un aumento en el contenido de agua de las muestras significó una disminución en las propiedades de expansión para ambos suelos.

El módulo de elasticidad tiende a disminuir con el aumento del contenido de sal ya sea salmuera o grano. Por tanto, la estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en vías disminuye la resistencia a la compresión. Con base en los resultados, la estabilización de suelos con cloruro de sodio da resultados diferentes para los suelos tratados, produciendo propiedades aún más desfavorables para los suelos utilizados como pavimentos. Por ello, es importante realizar un análisis previo del efecto del producto en la estabilización. Cabe señalar que, se observó una disminución en la propiedad de expansión, que aumentó a medida que aumentaba el contenido de humedad del suelo. Este método se puede utilizar cuando el contenido de agua supera el nivel óptimo de compactación. Como se mencionó, la sal afecta la tensión superficial del agua en el suelo de una manera que minimiza su evaporación. Esta puede ser una propiedad importante para suelos compactados cuyo contenido de humedad corresponde al brazo húmedo de la curva de compactación de Proctor.

2.2. Base teórico- científico

2.2.1. Pavimento

La vía está formada por un conjunto de revestimientos superpuestos de forma relativamente horizontal, diseñadas y construidas técnicamente con materiales adecuados y debidamente compactados. Estas construcciones estratificadas dependen del subsuelo vial obtenido a través de la excavación durante la exploración y deben soportar adecuadamente las cargas de tráfico recurrentes durante el periodo de vida para el que fue diseñado (Montejo, 2006).

2.2.1.1. Partes de un pavimento

- **Capa de rodadura o desgaste:** parte superficial de la carretera, que puede ser de hormigón bituminoso, cemento Portland o adoquines; además tiene la función de soportar directamente el peso de los vehículos.



- **Capa base:** capa rodante, tiene por función principal soportar, distribuir y transferir cargas de tráfico. Esta capa será de material granular drenante (CBR > 80%) o tratada con asfalto, cal o cemento.
- **Sub base:** capa específica con un grosor de diseño que sirve de soporte a la base y al respaldo. Es empleado también como drenaje o controlador capilar con contener material granular (CBR > 40%), cemento o tratada con cal (MTC, 2013).
- **Sub rasante:** es una parte importante de la estructura de la carretera, y su construcción debe estar sujeta a estándares específicos, como reglamentos, normas y guías de diseño de carreteras emitidas por el MTC. Asimismo, brinda apoyo directo a la vía, se construye entre el terreno natural plano o el pavimento.

Esta capa inferior de las excavaciones en el terreno natural, contendrá la estructura de pavimentación y se construirá con materiales de suelos seleccionados con propiedades aceptables y compactados en diferentes capas para una construcción estable del cuerpo, de tal manera que no se vea afectada por el tránsito. Son factores esenciales en el diseño de la estructura del pavimento, el soporte de la vía en condiciones de uso, en conjunto con el tráfico y las propiedades de los materiales.

En la fase de construcción, el último 0,30 m de suelo debajo del subrasante debe compactarse al 95 % de la densidad seca máxima alcanzada en la prueba Proctor modificada (MTC, 2013).

La capa subrasante se ubica en la parte inferior de la estructura de pavimento, y debe tener un CBR menor igual a 6%. Si esto se incumple, se debe de estabilizar de la forma más adecuada, económica y técnicamente (Sarmiento y Arias, 2015, p. 21).

2.2.1.2. Tipos de pavimento

- **Pavimentos flexibles:** capa asfáltica que rueda sobre capas granulares de mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y caliente.
- **Pavimento semirrígido:** la estructura consiste en una capa asfáltica sobre un sustrato tratado con cemento o cal. Son parte de este tipo de pavimentos los adoquinados.
- **Pavimento Rígido:** es una estructura que consiste específicamente de una sub-base granular, sin embargo, esta puede ser granular y ser fijada con cemento, asfalto o cal;



también posee una capa de soporte hecho de losas de concreto de cemento hidráulico como aglutinante, agregado o aditivo (MTC, 2013).

2.2.2. Suelos:

Según la NTP: 339.134, el suelo es un conjunto de cuerpos naturales en la superficie terrestre, constituidos por líquidos, sólidos y gases. Cuenta con horizontes o capas que difieren de la materia original debido a la adición, pérdida, movimiento y conversión de energía y materia. Asimismo, tiene la capacidad de sustentar las raíces de las plantas en el entorno natural (Cruz, 2009).

El suelo consta de tres fases: líquida, sólida y gaseosa. En la mayoría de los suelos, la fase sólida consiste en elementos minerales que forman el marco estructural en el que se absorben el humus o las partículas orgánicas. Entre los elementos de la fase sólida hay vacíos porosos que son rellenos con componentes líquidos o gaseosos.

La textura del suelo, tiene una proporción relativa al tamaño de la arena, arcilla y limo, que al combinarse crean capas de textura. Para determinar el comportamiento del suelo ante las estructuras que lo afectan, se tienen en cuenta tres grupos de parámetros:

- a. Parámetros de identificación: granulometría (distribución de los tamaños de las partículas que componen el agregado) y plasticidad (la diferencia de densidad del árido en función a la cantidad del agua).
- b. Parámetros de estado: humedad (agua en el agregado) y densidad, relacionados con el grado de compactación de las partículas constituyentes.
- c. Parámetros estrictamente geo mecánicos: resistencia al corte, deformación o permeabilidad.

2.2.2.1. Clasificación de suelos

Los suelos más comunes se describen y clasifican en el campo de acuerdo con las normas ASTM.

- Arena y grava: suelos de características granulares, redondo o angular, casi alterados por las rocas minerales. Este suelo no tiene cohesión entre sus piezas.
- Limos: suelo de grano fino, pero menos maleable que la arcilla, que muchas veces contiene materia orgánica dividida, aunque a veces contienen restos visibles de plantas u otra materia orgánica en descomposición.
- Arcillas: suelo compuesto de partículas como resultado de la descomposición química y mineral de los componentes de las rocas, debido a las malas condiciones climáticas en



general. Es un suelo resistente cuando está mojado, muy duro cuando está seco y de muy baja permeabilidad.

Además, hay dos tipos de sistemas de clasificación de suelos que se usan comúnmente con fines de ingeniería, el Sistema de clasificación uniforme de suelos (USCS), empleado en ingeniería y geología para describir la textura y volumen del suelo y el sistema de clasificación AASHTO.

El USCS Y AASHTO utilizan resultados del análisis granulométrico y determinaciones de límites de Atterberg (LL, LP, IP) en las clasificaciones de los suelos. Los componentes estructurales del suelo son: grava, arena, limo y arcilla.

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

El SUCS presentado por Arthur Casagrande, se utiliza para describir el tamaño y textura de los granos del suelo. Este sistema se puede aplicar a materiales no consolidados y a suelos de menos de 3" y es representado por BB (Das, 2001).

Los granos gruesos y finos del suelo se pueden identificar a través del tamiz No. 200. La tierra gruesa se retiene en el tamiz mientras que la fina pasa a través de ella. Por lo tanto, se dice que el suelo es grueso si más del 50% de sus partículas se mantienen en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son más pequeñas que el tamiz. El sistema estándar considera que los suelos blandos se dividen en grupos: limo inorgánico (M), arcilla inorgánica (C), y arcilla orgánica (O).

Cabe resaltar, el suelo grueso se divide en arena y grava y son tamizados con el No. 4, entonces para que sea parte de grava más del 50% debe ser retenido por el tamiz No. 4 y será considerado arena si atraviesa el instrumento.

Estos suelos a su vez se subdividen de acuerdo al límite líquido, para identificarlos se tienen que encontrar en alguno de los dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compresibility), si supera los 50 se añade la letra H (hight compresibility).

De esta forma se obtiene:

ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.

OL: Limos y arcillas orgánicas.

CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.

OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.

(Geoxnet, 2019)

Tabla 1. Simbología para tipos de suelo según clasificación SUCS.

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobremente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	H

(Geoxnet, 2019)

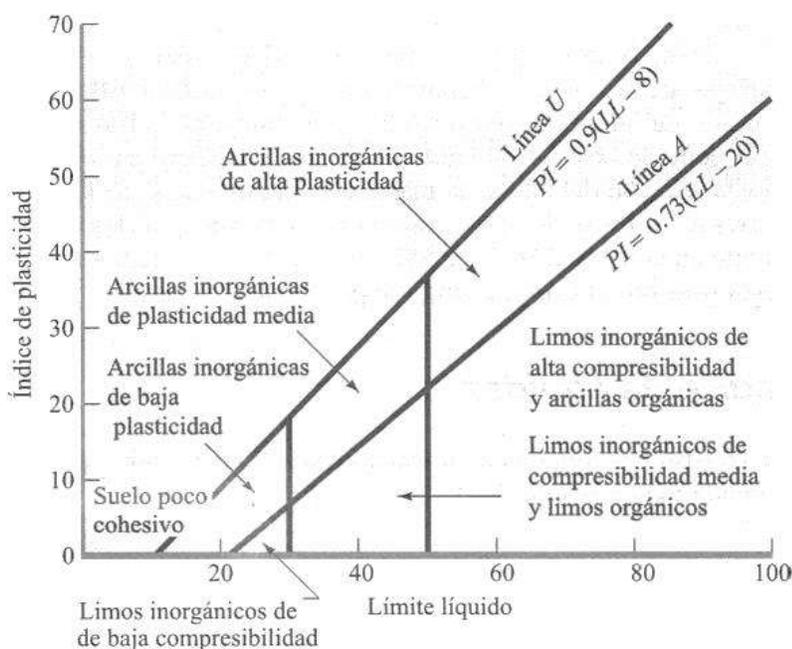


Figura 4. Grafica de Plasticidad del USCS. (Das, 2001)

• **Método AASHTO**

Este método clasifica los suelos, según la composición granulométrica, el límite líquido y el índice plástico, en siete grupos del A-1 al A-7. Los suelos con partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0.075 mm) menos del 35% constituyen los grupos A1, A2, A3 y sus subgrupos.



Este método clasifica a los suelos, de acuerdo a su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad, en siete grupos de A-1 a A-7. Los suelos cuyas partículas pasan el tamiz No. 200 (0,075 mm) en un porcentaje menor al 35 %, forman los Grupos A1, A2, A3 y los subgrupos que corresponden.

En cambio, los suelos finos limo-arcillosos que contienen más del 35 % de material fino que pasa el Tamiz No. 200, constituyen los Grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y los correspondientes subgrupos.

Por otro lado, la arcilla fina que contiene más del 35% de finos pasa por el tamiz No. 200 formando los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y sus subgrupos especiales.

La ventaja de este método radica en la posibilidad de evaluar la calidad del suelo a través del "Índice de Grupo". Los suelos que tienen similar comportamiento se encuentran en el mismo grupo y están representados por un determinado Índice.

La ventaja de este método es la capacidad de evaluar la calidad del suelo mediante un "índice de grupo". Los suelos con comportamiento similar están en el mismo grupo y están representados por un indicador determinado.

Los índices de grupo de los materiales granulares están comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a suelos limosos entre 8 y 12, y los correspondientes a suelos arcillosos entre 11 y 20 o un número mayor.

Los indicadores de grupo para materiales granulares son de 0 a 4, el índice de humus es de 8 a 12 y el índice de arcilla es de 11 a 20 o un número mayor.

El índice de grupo debe ser escrito entre paréntesis, su valor puede ser determinado mediante la fórmula siguiente:

El índice del conjunto debe escribirse entre paréntesis, y su valor puede determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$IG = (F-35) [0,2 + 0,005(LL-40)] + 0,01(F-15) (IP-10)$$

Figura 5. Fórmula para hallar el Índice de Grupo, metodología AASHTO

donde:

F = Porcentaje que pasa el tamiz No. 200

LL = Límite Líquido

IP = Índice de Plasticidad

(Eddyhrbs, 2011)



Tabla 2. Tabla para clasificación de suelos Método AASHTO.

Clasificación general	Material Granular (35% o menos del total pasa No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamices (Porcentaje que pasa)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa No. 40							
Limite Liquido				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Tipo usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Fuente: Principles of Geotechnical Engineering, Braja M. Das, 1998

Tabla 3. Tabla para clasificación de suelos Método AASHTO.

Clasificación general	Material limo-arcilloso (más del 35% del total pasa No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
				A-7-5(a)
A-7-6(b)				
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa No. 40				
Limite liquido	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Suelos limosos		Suelos arcillosos	



Valoración general del subgrupo	Regular a pobre			
(a) Para A-7-5, IP < LL - 30				
(b) Para A-7-5, IP > LL - 30				

Fuente:Principles of Goetechnical Engineering,Braja M. Das,1998

2.2.3. Arcilla

Roca sedimentaria descompuesta compuesta por un grupo de silicatos de aluminio hidratados debido a la descomposición de rocas con feldespato, ejemplo, el granito. Tiene diferentes colores dependiendo de las impurezas que contenga, desde rojo hasta blanco cuando está puro (García Romero, E., & Suarez Barrios, M. 2008).

2.2.3.1.Estructura de los filosilicatos

Las propiedades de las arcillas son el resultado de las características estructurales. Por ello, para entender las propiedades será necesario identificar la organización de los filosilicatos.

La arcilla, tiene una estructura basada en la superposición de planos de iones oxígeno e hidroxilos. El grupo tetraédrico $(SiO)_4^{4-}$ se fusiona y comparte tres de los cuatro oxígenos con otros grupos vecinos y forma capas que se extienden infinitamente con la fórmula $(Si_2O_5)^{2-}$, formando la unidad de los filosilicatos.

Estas capas tetraédricas están unidas por otras capas octaédricas de gibbsita. Entre estos se encuentran Al^{3+} o Mg^{2+} , los cuales pueden ser reemplazados por Fe^{2+} o Fe^{3+} y en algunas circunstancias por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn.

El nivel del enlace entre las dos capas está formado por oxígenos tetraédricos que no se comparten con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por $(OH)^-$, por lo tanto, un $(OH)^-$ queda en el centro de cada hexágono formado de 6 oxígenos en la parte superior. El resto del $(OH)^-$ se reemplaza por oxígeno tetraédrico (Figura 6).

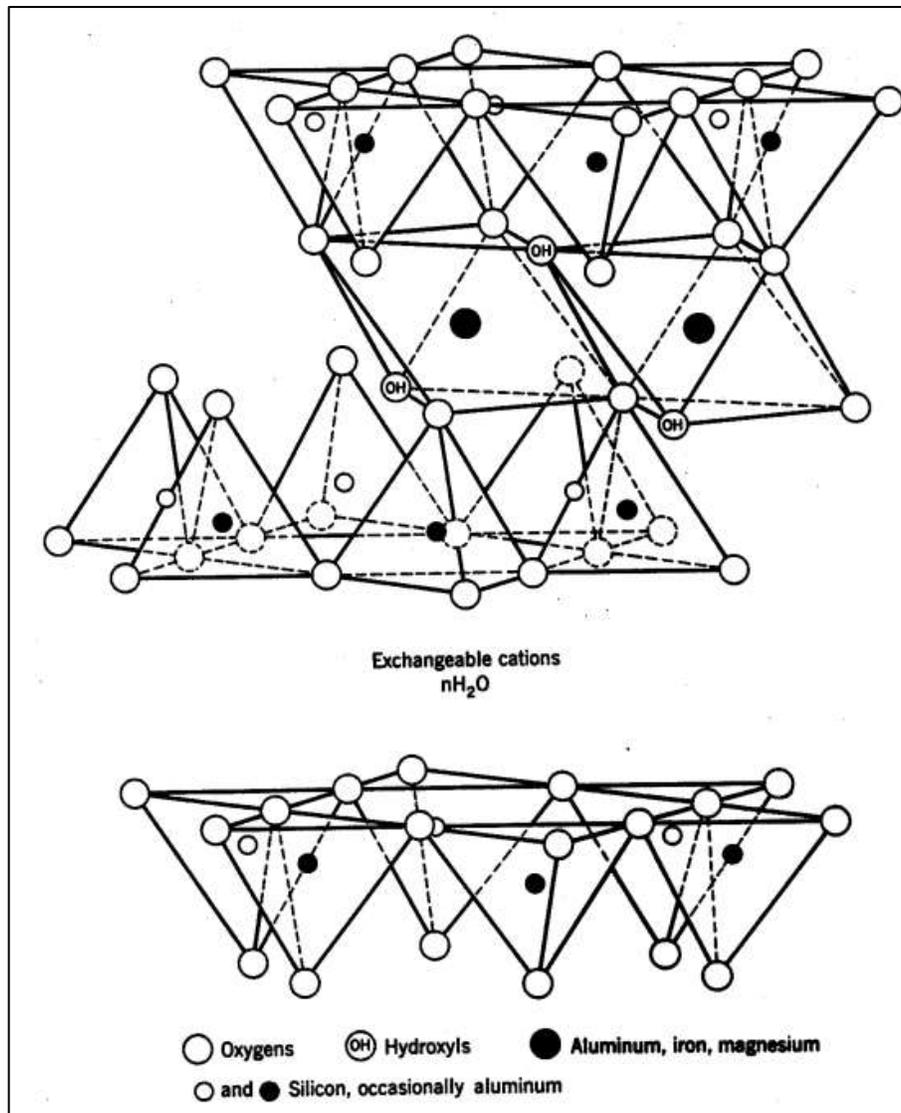


Figura 6. Estructura de los Filossilicatos (tetraedros).

Pueden ocurrir enlaces similares en superficies opuestas de la corteza octaédrica. Así, el filossilicatos se puede formar a partir de dos capas: tetraédrica más octaédrica y denominada belaminar, 1:1, o T:O; o con tres capas: octaédrica y dos tetraédrica, denominada trilaminar, 2:1 o T:O:T. Y las denominadas laminillas son una mezcla de una capa octaédrica más una o dos capas tetraédricas (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

Si todos los espacios octaédricos están llenos, la lámina se considera triédrica (el Mg^{2+} predomina en la corteza octaédrica). Si solo $2/3$ de los sitios octaédricos están ocupados y el $1/3$ restante queda vacante, se dice que es diedro (Al^{3+} es el octaédrico predominante). En algunas placas de silicato (esmectitas, vermiculitas, micas...) las capas son eléctricamente no neutras debido a la sustitución de ciertos cationes por otros de diferente carga.



El equilibrio de carga se mantiene, en el espacio interfacial, o entre dos capas sucesivas, cationes (mica), cationes húmedos (vermiculita y esmectita) o grupos hidroxilo dispuestos en forma octaédrica, como la clorita. Esta es conocida como T:O:T:O o 2:1:1. Los cationes más comunes entre las placas son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca).

Las fuerzas de unión entre diferentes unidades estructurales son más débiles que entre iones de la misma placa, por lo que los filosilicatos tienen una orientación de exfoliación pronunciada, paralela a las placas.

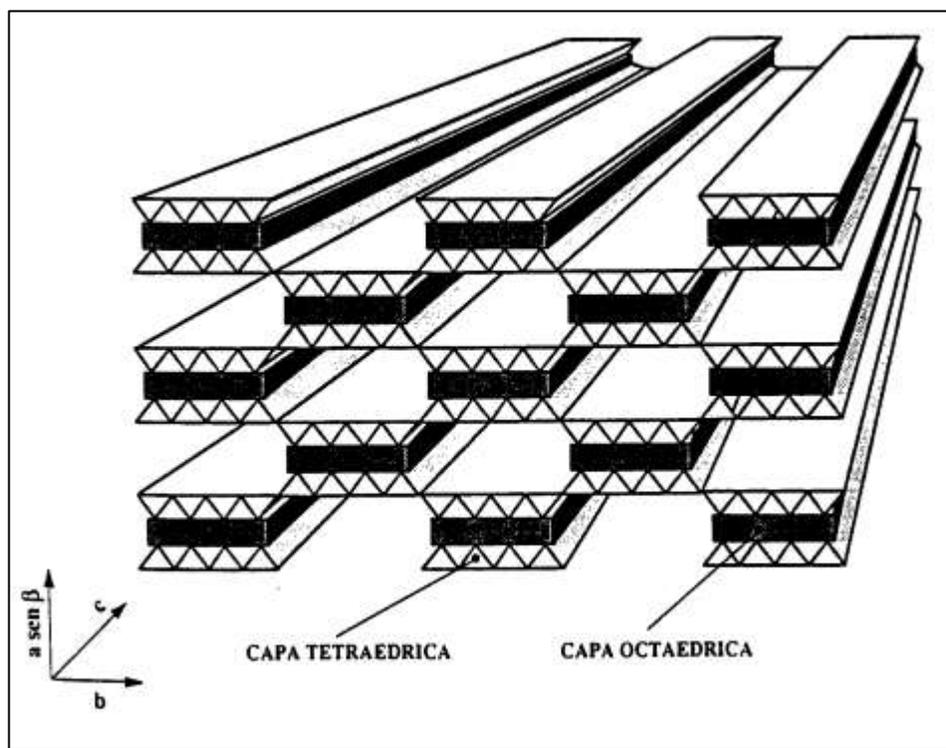


Figura 7. Estructura de los Filosilicatos (láminas).

La sepiolita y la paligorskita también pertenecen a este grupo de minerales, aunque son estructuralmente diferentes a los filosilicatos. Estructuralmente, se compone de láminas discontinuas de mica (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

A diferencia de las placas de silicato que son laminares, los filosilicatos tienen un hábito fibroso (Figura 8), porque la capa básica de oxígeno es continua, pero el oxígeno de arriba sufre una inversión periódica cada 8 sitios octaédricos (Sepiolita) o cada 5 sitios (paligorskitas) (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

2.2.3.2. Grupos Fundamentales de minerales de arcilla:

Según su estructura reticular en forma de placas, los minerales arcillosos se clasifican en tres grupos principales: caolinitas, ilitas, y montmorilonitas.

- Grupo de las Caolinitas. El grupo caolín ($\text{AlO}_2 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) proviene de una modificación del feldespato ortoclasa (potasio), un componente esencial del granito. Está formado por una serie de abrazaderas a partir de dos placas, una de sílice y otra de aluminio altamente aglomerado (yeso). La malla de dos capas tiene un grosor de 0,7 nm ($\text{nm} = 10 \text{ m}$) y la malla de dos capas continúa superponiéndose, formando un grano de unas 100 capas.

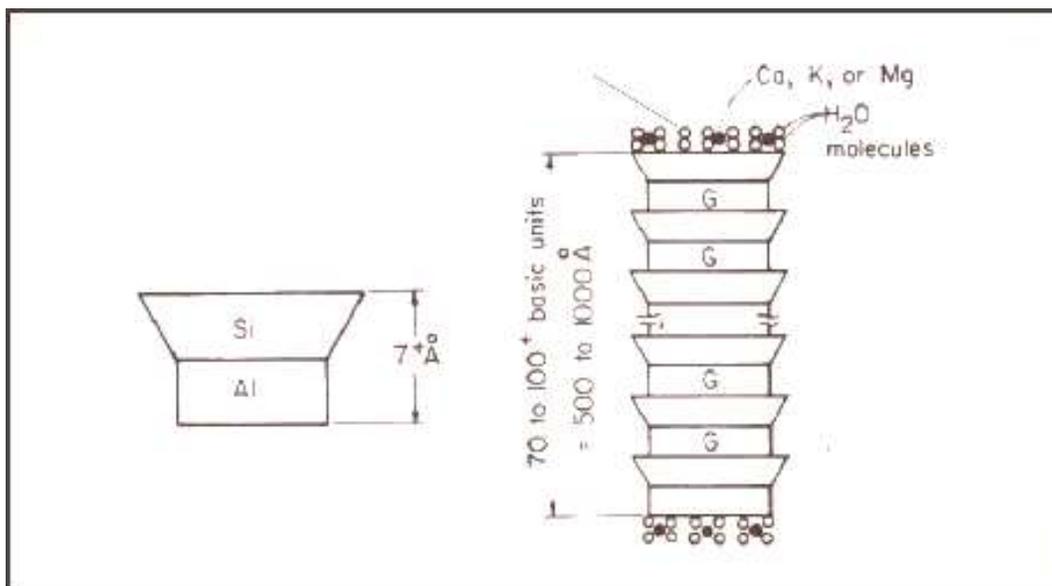


Figura 8. Estructura interna de las Caolinitas.

- El grupo de Iilitas, $((\text{OH})_4 \text{K}_y (\text{Si}_{8-y} \text{Al}_y) (\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_4\text{Mg}_6) \text{O}_{20})$ se deriva de la descomposición de la mica en condiciones marinas y también de la descomposición potasio. Su estructura básica incluye la distribución de tres redes de hojas, presentadas, ya que la categoría K proporciona la relación.

Un octaedro suele ser de gibsita. hay una sustitución de un isómero (aun así, no afecta la forma cristalina) de aluminio por silicio en láminas tetraédricas que producen una carga negativa neta equilibrada igual a los cationes K compartidos entre las redes.

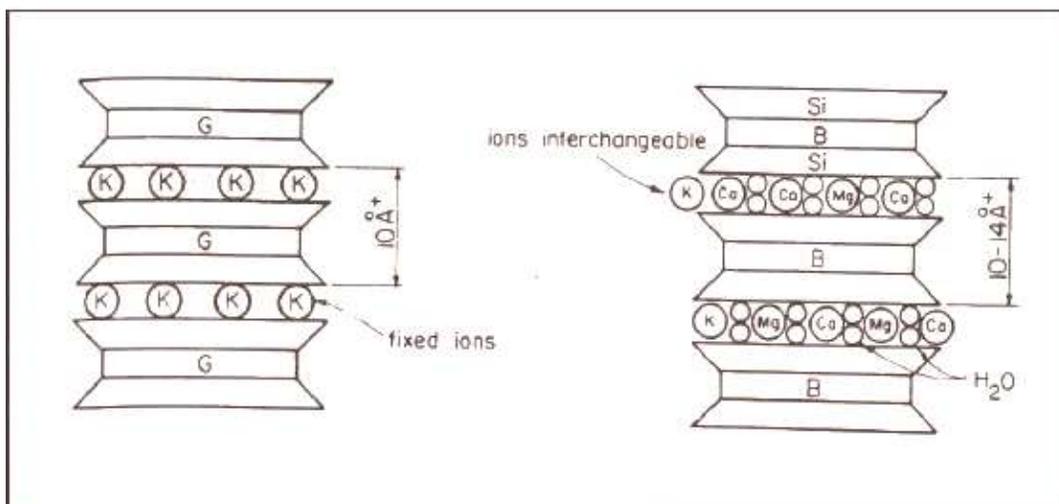


Figura 9. Estructura interna de las Illitas.

- Grupo Montmorillonitas, $((OH)_4Si_8Al_4O_{20} nH_2O)$ es el resultado de la degradación de illita y la descomposición química sódica de conjuntos de cenizas volcánicas, es parte de este grupo la bentonita.
- Su estructura básica consiste en una red de tres capas distribuida, donde la lámina octaédrica es casi siempre yeso, pero con $2+3+$ de átomos de Mg a cambio del Al, lo que da como resultado una carga neta negativa en la red, equilibrada por cationes en una solución como H, Na^+ u otros minerales presentes en el espacio entre cada red.

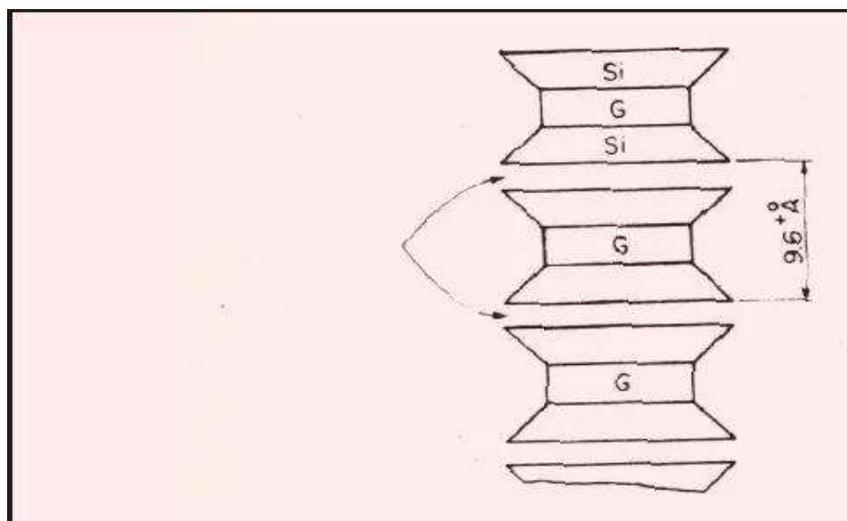


Figura 10. Estructura Interna de las Montmorillonitas.



2.2.3.3. Propiedades Físico Químicas de las arcillas:

Importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales se encuentran en sus propiedades físicas y químicas. Estos rasgos provienen principalmente de:

- Tamaño de partícula extremadamente fino (menos de 2 mm).
- Su forma laminar (filosilicatos).
- Sustitución de propiedades, lo que provoca la aparición de cargas en las placas y la presencia de cationes débilmente enlazados en el espacio de la interlámina.

Del resultado de los factores se obtiene, por un lado, un alto valor superficial y, al mismo tiempo, una superficie activa de gran presencia, con enlaces insaturados.

Por esta razón, puede reaccionar con una variedad de sustancias sobretodo polares, también contiene propiedades plásticas en mezclas de arcilla y agua que tienen una alta relación sólido/líquido y son capaces de hincharse bajo ciertas condiciones.

Por otro lado, la presencia de cargas en las placas es compensada por la entrada en el espacio entre los cationes débilmente enlazados y por el estado de hidratación alterado, el cual puede ser fácilmente reemplazado (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

2.2.3.3.1. Superficie específica

El área de superficie específica de arcillas está definida como la superficie externa más la interna de las partículas constituyentes, por unidad de masa, calculada en m^2/g . La arcilla tiene un área de superficie específica alta, lo que es importante para una serie de usos industriales, ya que la interacción entre sólidos y líquidos depende directamente de esta propiedad (García Romero & Suárez Barrientos, 2008)

Estos son algunos ejemplos de superficies de arcilla específicas:

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta $15 m^2/g$.
- Caolinita de baja cristalinidad hasta $50 m^2/g$.
- Halloisita hasta $60 m^2/g$.
- Illita hasta $50 m^2/g$.
- Montmorillonita $80-300 m^2/g$.
- Sepiolita $100-240 m^2/g$.
- Paligorskita $100-200 m^2/g$.



2.2.3.3.2. Capacidad de Intercambio catiónico

Esta es una propiedad esencial de la esmectita, puesto que tiene la capacidad para reemplazar los iones adheridos a la superficie exterior de su cristal, en el espacio intersticial, o en otros espacios interiores de la estructura, con otros iones presentes en soluciones acuosas envolventes

La capacidad de intercambio catiónico (CEC) calcula la sumatoria de todos los cationes intercambiables que un metal puede absorber a un pH dado. Es equivalente a una medida de la carga negativa total de un metal. Las cuales pueden ser realizadas de tres maneras diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo se denomina carga permanente y representa el 80% de la carga real de la partícula; es independiente de la condición del pH y la actividad iónica. Los últimos tipos difieren según su pH y actividad iónica (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

2.2.3.3.3. Capacidad de absorción

El principal campo de aplicación de la arcilla, es la absorción puesto que es parte de los materiales que pueden absorben agua o partículas como esmectitas, sepiolita y paligorskita. Esta capacidad de absorción está directamente relacionada con la superficie específica y la porosidad. En este sentido, existen dos procesos que rara vez ocurren aisladamente: absorción y adsorción

La adsorción se expresa como porcentaje de adsorbato en relación a la masa y depende de la sustancia de la arcilla, en cambio la absorción de agua de arcillas es superior al 100% en relación con el peso (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

2.2.3.3.4. Hidratación e hinchamiento

La humectación y el secado en el espacio interfacial son característicos de la esmectita y su importancia es crucial en diversas aplicaciones industriales. Aunque la hidratación y la deshidratación se desarrollan independientemente del tipo de cationes intercambiables presentes, el grado de hidratación se correlaciona con la naturaleza del catión interlaminar y la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio entre capas hace que las capas de la película se separen, provocando la hinchazón. El proceso requiere del equilibrio entre la atracción electrostática de la placa catiónica y la energía de hidratación. Cuando se introducen capas de agua y aumenta la



separación entre las placas, la fuerza dominante es la repulsión electrostática entre las placas, lo que contribuye a que el hinchamiento pueda separar por completo unas placas de otras.

Cuando el catión entre placas es sodio, la esmectita es altamente expandible, lo que puede conducir a la disociación completa de los cristales individuales, lo que da como resultado un alto grado de dispersión y desarrollo de características coloidales. Por el contrario, si tuvieran cationes de Ca o Mg reemplazables, su capacidad de hincharse sería mucho menor (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

2.2.3.3.5. Plasticidad

La arcilla está hecha de plástico especial y se debe al hecho de que el agua crea una capa sobre las partículas estratificadas, generando un efecto lubricante que permite el fácil deslizamiento de partículas cuando se ejerce presión. La alta plasticidad proviene de la morfología laminar, el tamaño pequeño de la partícula y su propiedad de hinchamiento.

En general, esta ductilidad se puede medir determinando los índices de Atterberg (límite líquido, plástico y de contracción). Estos a su vez definen una separación aleatoria entre los cuatro estados o modos de acción de los suelos sólidos, semisólidos, plásticos y semilíquidos o viscosos (Jiménez Salas & de Justo Alpañes, 1975).

La relación entre el límite líquido y la plasticidad proporciona una excelente información sobre la composición, la naturaleza y la calidad de los granos de arcilla. Por lo que se presentan discrepancias entre los límites de Atterberg para diferentes minerales arcillosos, dependiendo del intercambio catiónico. Gran parte de esta diferencia se debe al tamaño del grano y el acabado del cristal, es decir si las partículas son pequeñas e imperfectas es más plástico el material (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).

2.2.3.3.6. Tixotropía

Es el fenómeno que consiste en la pérdida de la resistencia durante el mezclado y su posterior recuperación en el tiempo. Cuando la arcilla tixotrópica se mezcla se convierte en líquido. Si se les da un respiro, recuperan su forma sólida. Para que la arcilla tixotrópica presente esta característica, debe tener un contenido de agua cercano a su límite líquido. En cambio, alrededor de sus límites plásticos, no hay posibilidad de fenómenos tixotrópicos (García Romero & Suárez Barrientos, 2008).



2.2.4. Estabilización de Suelos

Es el proceso de mejora de las propiedades físicas del suelo mediante técnicas mecánicas y la combinación de productos químicos, naturales o artificiales. Dicha estabilización se suele realizar en suelos de mala tierra o suelo pobre, en cuyo caso se denomina suelo estabilizado de cemento, limo, cal, suelo asfáltico y otros productos misceláneos. La estabilización implica hacer resistente los suelos a la ingeniería mecánica y el tiempo. Al aplicar técnicas variadas se puede agregar un nuevo suelo hasta incorporar uno o más estabilizadores, para finalmente realizar la compactación (MTC, 2014).

2.2.4.1. Tipos de estabilizaciones:

2.2.4.1.1. Estabilización mecánica

Se forma por el endurecimiento del suelo resultante de procesos de compactación.

Compactación: se realiza periódicamente en los subsuelos, bases y en carpetas asfálticas (Cuchillo Cayturo, 2015).

2.2.4.1.2. Estabilización física

Esto se utiliza para mejorar la tierra haciendo cambios físicos en ella. Hay varios métodos como: Mezcla de suelo: este estabilizador es muy utilizado, pero no puede producir los efectos deseados por sí solo, requiriendo siempre al menos una compactación adicional. Por ejemplo, suelos de grano grueso poseen una alta fricción interna, por lo que son capaces de soportar grandes pesos, pero esta cualidad no los hace lo suficientemente estables para ser duros en el camino, porque sus granos no tienen afinidad. Con el tiempo y el paso de los vehículos puede zafarse e incluso desviarse.

Por otro lado, las arcillas tienen gran tenacidad y poca fricción, lo que las hace inestables en condiciones de alta humedad. La combinación correcta de estos dos suelos puede dar como resultado un material estable en el que la gran fricción interna de uno y las fuerzas cohesivas del otro pueden usarse para mantener unidas las partículas (Cuchillo Cayturo, 2015).

- Geotextiles
- Vibro flotación (Mecánica de Suelos)
- Consolidación Previa

2.2.4.1.3. Estabilización fisicoquímica

Busca modificar las propiedades del suelo mediante la adición de estabilizadores.

2.2.4.1.4. Estabilización Química



Se adaptan a la aplicación de productos químicos, a menudo productos "patentados", como:

- Escoria de vaciado: Se encuentra comúnmente en los aglomerantes asfálticos, proporciona mayor resistencia, resistencia al agua y una vida útil más prolongada.
- Polímeros: Comúnmente utilizados en ligantes asfálticos, brindan mayor resistencia, impermeabilidad y mayor vida útil.
- Caucho de llantas: comúnmente utilizado en ligantes asfálticos, brinda mayor durabilidad, es resistente al agua y dura más.
- Cal: económica para arcilla (reduce plasticidad)
- Cemento Pórtland: para arena fina o grava (mayor resistencia)
- Productos asfálticos: para materiales pulverulentos, no aglutinantes (emulsiones, muy utilizadas)
- Cloruro de sodio y cloruro de calcio: Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Escorias de fundición: Se encuentra comúnmente en los aglomerantes asfálticos, proporciona mayor resistencia al agua y una vida útil más prolongada.
- Polímeros: comúnmente utilizados en carpetas asfálticas, brindan mayor resistencia, impermeabilidad y mayor vida útil
- Hule de neumáticos: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil (Cuchillo Cayturo, 2015).

2.2.5. Cloruro de sodio (NaCl):

Compuesto químico de fórmula NaCl, las sales se distinguen por su enlace iónico, que da como resultado un punto de fusión relativamente alto.

El cloruro de sodio está formado por cristales, es fácilmente soluble en agua, tiene la propiedad de absorber y retener agua en forma de líquido o vapor, y se puede encontrar en el mercado en forma de cristales o polvos finos, esta propiedad significa que el cloruro de sodio puede enlazar partículas (Garnica Anguas, Pérez Salazar, Gómez López, & Obil Veiza, 2002).

El cloruro de sodio (NaCl) se obtiene a través de tres métodos diferentes, el primero utilizando la luz solar, que consiste en colocar agua de mar en lugares donde el sol evapora el agua. El segundo método consiste en explotar los depósitos de sal y el tercer método utiliza un horno industrial que evapora el agua de mar y recoge los desechos que se convierten en sal (Reyes Ortiz, Camacho Tauta, & Troncoso Rivera, 2006).



2.2.6. Sal de Maras

Salineras de Maras se encuentra a 50 kilómetros al noreste de Cusco, a 3200 m.s.n.m. Está ubicado geográficamente en la parte baja de la subcuenca y a la izquierda del río Salineras, para desembocar en el Vilcanota, y es administrado por las comunidades campesinas de Maras y Pichingoto.

Tiene tres vías de acceso: desde San Francisco de Maras, tomando la vía runañan hacia salineras, también por la vía pavimentada desde el pueblo de San Francisco, y cruzando el puente inca Tarabamba. Las salinas consisten en un conjunto de unos 4.500 pozas de sal, situados en forma de terrazas en las laderas del cerro Qaqawiñay, variando sus tamaños entre unos 5 metros lineales y ocupando una superficie total de 1,5 a 2 hectáreas (Silva Guerra, 2006).

Las terrazas están formadas por muros irregulares de piedra contruidos con argamasa de tierra, formando terraplenes que definen cuencas en pequeños depósitos de unos 5 metros cuadrados. El sistema de conducción de agua salina se recoge a través de un canal de riego principal que se ramifica en una serie de pequeños canales que alimentan las cuencas. La conexión y mantenimiento del acueducto de agua salada está relacionada con un camino que, por su diseño y características, se cree que se originó en la época prehispánica. Este proceso es muy parecido a la tecnología de riego en la agricultura prehispánica, que se caracterizaba por la conductividad y distribución equitativa del agua (Silva Gonzales & Loza Garcia, 2007).

2.2.6.1.Historia

Las primeras piscinas de sal poco profundas en Maras probablemente fueron construidas por la civilización Wari entre los años 500 y 1100 d.C. gran parte de estos estanques, contruidos a lo largo de las laderas de la montaña Qoripujio, no tienen más de 5 metros cuadrados de tamaño y 30 centímetros de profundidad.

Durante los siglos XII y mediados del XIV, la minería de Maras pasó a manos del Imperio Inca. Los Incas sazonaban su comida y la conservaban con sal. Aunque es probable que emplearan el mineral para la momificación o ceremonias de índole religioso. La propiedad y administración del lugar se encomendó a familias residían cerca de Maras. Y durante generaciones hasta la actualidad, el proceso de extraer sal de las cuencas se ha mantenido (MARASAL, s.f.).



Figura 11. Pozos de sal, Salineras de Maras – Urubamba – Cusco – Perú

Fuente: <https://saldemaras.pe>

2.2.6.2. Producción

La producción de sal comprende dos etapas, la primera es la fase de producción que está a cargo de 633 personas que vierten salmuera una vez cada tres días en pozos de poca profundidad, seguidamente esperan hasta que el sol y el viento dejen una fina capa de sal cristalizada. Posteriormente, cuando aparece una capa de cristal de 3 a 4 cm de espesor se realiza una extracción mensual, de donde se extrae alrededor de 150 a 200 kg; por último la sal es secada hasta ser entregada en sacos de 50 kg (MARASAL, s.f.).



Figura 12. Extracción de sal de Maras – Urubamba – Cusco – Perú.

Fuente: <https://saldemaras.pe/produccion/>



La segunda etapa es la fabricación para el comercio, según norma técnica el producto debe de cumplir con estándares de calidad. Por lo tanto, requiere de un proceso industrializado de tamizado, selección, molienda, adición de yodo y flúor, para finalmente ser empaquetado y distribuido a los consumidores (MARASAL, s.f.).



Figura 13. Empacado de Sal de Maras – Urubamba – Cusco – Perú.

Fuente: <https://saldemaras.pe/produccion/>

Finalmente se obtiene dos productos sal para consumo (sal rosada fina y gruesa gourmet) y sal industrial que es utilizada para la ganadería, industrias, teniendo un menor costo.

2.2.7. Estabilización de suelos con cloruros

La forma de cloro puede ser molecular (Cl_2) o como un ion de cloruro (Cl^-) de tal manera que pueda combinarse con diversos átomos positivos como el cloruro de sodio o el cloruro de potasio. La mezcla de iones de cloruro con estos cationes forma cloruro de sodio (Na^+), ácido clorhídrico (H^+), cloruro de potasio (K^+) o cloruro de cromo (CR^+), entre otras moléculas importantes.

El cloruro de magnesio es una sal, la composición química es $MgCl_2$ incoloro, soluble en agua, muy soluble en aire húmedo, es decir, absorbe la humedad del aire y la disuelve hasta formar una solución líquida. Posee diversas propiedades físicas, por lo que es útil para emplearlo como estabilizador químico en suelo no pavimentados o afirmados.

El cloruro de calcio que se usa para estabilizar las vías, proviene de la combinación del Cl más H para producir ácido clorhídrico puro, por lo que el cloruro de calcio es una reacción química del



ácido con carbonato de calcio; tiene la capacidad de absorber la humedad del aire y los materiales hasta reducir el punto de evaporación y mejorar el suelo.

La dosis recomendada es de 1%-2% en peso, en base a suelo seco, la compactación y acabado es similar al estabilizador con cloruro de calcio; se suele utilizar disuelto en agua por riego al inicio de la estación seca (MTC, 2013).

2.2.8. Estabilización con cloruro de sodio (NaCl):

La estabilización con NaCl beneficia las características del suelo que es utilizado como base o subbase. Al igual que otros métodos de estabilización, el NaCl requiere un método apropiado de mezcla con suelo estabilizado para reducir los riesgos para la salud de los trabajadores del sitio y obtener mejores resultados (Paz, 2010).

El NaCl (cloruro de sodio), sal de mesa o sal de mesa, conocida en su forma mineral como halita. Se ha utilizado en diversos estudios para determinar su efecto sobre las propiedades mecánicas de bases granulares, sobre todo para evitar evaporación de agua y bajar el punto de congelación, con excelentes resultados favorables porque controla los cambios de humedad en las capas aumentando su resistencia o hacerlos permanentes (Garnica Anguas, Pérez Salazar, Gómez López, & Obil Veiza, 2002).

Al igual que con la mayoría de las aplicaciones de estabilizadores, el NaCl se puede aplicar directamente al suelo tratado y se pueden determinar los porcentajes para estabilizar adecuadamente. Se aplica de las siguientes formas:

- En grano.
- En salmuera.

a) En grano.

Este método de aplicación consiste en aplicar cloruro de sodio de forma directa en el suelo hasta que se homogenice. No es 100% efectivo porque cuando el suelo se mezcla con químicos, algunas áreas tienen un porcentaje más bajo de NaCl que otras. Aunque, no es necesario realizar pruebas de laboratorio, la homogeneización por métodos prácticos es simple, lo que hace que la mezcla de suelo con cloruro de sodio sea correcta, de modo que el cloruro de sodio estará presente en toda la muestra de suelo (Paz, 2010).



Figura 14. Uso de Cloruro de Sodio en grano.

Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII-USAC

b) En salmuera.

De acuerdo con Roldan (2010), la principal propiedad del NaCl es que es fácilmente soluble en agua, por lo que su uso eficiente en las proporciones adecuadas en el suelo es una ventaja dado que facilita la homogeneización del suelo. El agua salada rellena los vacíos existentes en el suelo proporcionando efectividad al agregar humedad. Sin embargo, al hacer salmuera, existe el riesgo de dañar el equipo utilizado para hacer la salmuera, puesto que el material es altamente oxidante.



Figura 15. Control de polvo y estabilización de caminos con cloruros.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=kr99E6NkwV4>.

2.2.8.1. Ventajas y desventajas de cloruro de sodio (NaCl)

- **Ventajas**

- Es un estabilizador natural.
- Mejora la resistencia y cohesión de los suelos
- Bajo punto de congelamiento.
- Tránsito más seguro, mejor visibilidad, superficie de rodada más suave.
- Caminos tratados con sal demandan mantención mínima, y su reparación es sencilla y económica en comparación con otros caminos estabilizados con productos no salinos.
- Bajo costo y la facilidad de su aplicación

- **Desventajas**

- Tiene mejores resultados en climas fríos con problemas de congelamiento.
- Su eficacia decrece ante la presencia de material orgánico

Fuente: (Library, s.f.)

2.2.9. Cal:

Es el término para todas las formas de materia en las que pueden estar presentes el óxido de calcio (CaO) y el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 . La estabilización conseguida a partir de la arcilla con cal



en la construcción se remonta a más de 5000 años. Las pirámides de Shersi en el Tíbet se construyeron a partir de una mezcla prensada de arcilla y cal, en China y la India, la cal estabilizada se utilizó de diversas formas a lo largo de la historia. Y aunque hubo un descenso de calidad por los procesos preparatorios como la cocción, la mezcla y la cremación. Luego, al introducir la madera como componente de la estructura, se utiliza cal para tratarla; evitando así la infestación de polillas y la propagación de termitas, una plaga común de la madera a su vez con la sal, es resistente al agua y al sol (Ruiz de Torres Moustaka, 2013).

2.2.10. Tipos de cal

La cal de construcción según norma europea UNE_EN 459-1 estipula los siguientes tipos según composición química:

- Cal viva: incluye óxidos de calcio y magnesio. Obtenido después de calentar piedra caliza o dolomita.
- Cal hidratada: Elaborada calentando cal viva, compuesta por hidróxido.
- Cal hidráulica: cal compuesta principalmente por hidróxido de calcio, silicato y aluminatos de calcio. Tiene tendencia a solidificarse y endurecerse cuando se mezcla con agua y/o bajo el agua. La reacción con el dióxido de carbono atmosférico es parte del proceso de curado.

2.2.11. Estabilización con cal

La cal se puede utilizar para la agricultura en diversos grados o en cantidades variables, según el uso previsto. Para el secado temporal y la mejora del suelo, se utiliza una cantidad mínima de cal. Tal procesamiento crea un lugar de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de limpieza, respaldado por métodos apropiados de investigación, diseño y construcción, conduce a una estabilidad permanente (Alvarez & Echeverri, 1999).

La introducción de cal en la arcilla cambia las propiedades físicas que caracterizan su comportamiento original. Si bien se ha mencionado que dependiendo de la mineralidad del suelo, tasa y forma de encalado se produce en mayor o menor medida un proceso u otro, es posible resumir y discutir los efectos más generales de mejora:

- Reduce la humedad natural del suelo
- Modificar la medición de partículas
- Mayor permeabilidad



- Gran capacidad de trabajo
- Índice de plasticidad reducido
- Capacidad reducida para cambiar el volumen
- Cambiar las características de compactación
- Incremente instantáneamente la consistencia
- Mayor resiliencia a medio y largo plazo (Bauza Castello, 2003)

2.2.12. Ensayos de Laboratorio:

- **Análisis granulométrico de suelos por tamizado:**

Cuantificación de la distribución granulométrica del suelo.

- **Determinación del contenido de humedad de un suelo:**

La humedad del suelo es la relación entre la masa de agua en una determinada masa de suelo y la masa de partículas sólidas, expresada como porcentaje.

- **Determinación del límite líquido de los suelos:**

El contenido de humedad, indicado por el porcentaje se encuentra en el borde entre las condiciones líquidas y plásticas.

- **Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (i.p.):**

El LP es la humedad más baja en el que se pueden formar grumos de tierra de aproximadamente 3,2 mm (1/8 de pulgada) de diámetro haciendo rodar la tierra entre la mano y una superficie lisa (vidrio), sin que las barras colapsen.

- **Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado):**

Esta prueba cubre los procedimientos de compactación utilizados en el laboratorio para determinar la relación entre el contenido de agua y la unidad de masa seca del suelo (curva de compresión) compactado en un molde de 101,6 de diámetro o 152,4 mm (4 o 6 pulgadas) con una fuerza de 44,5 N (10 lbf) a una caída de 457 mm (18") produce energía de compresión (2700 kN-m/m³ (56 000 ft-lb-f/ft³)).

Nota 1. Los suelos, mezclas o agregados se consideran suelos de grano fino, grueso o como grava, limo o roca triturada.

Nota 2. El equipo y procesos fueron también propuestos por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1945. La prueba de tensión ajustada a veces se denomina prueba de compactación de máquina modificada.



- **CBR de suelos (laboratorio):**

Este método de prueba se utiliza para evaluar la durabilidad del subrasante, subbase y base, incluidos los materiales reciclados para su uso en la pavimentación de carreteras y aeropuertos. El valor CBR obtenido de esta prueba es una parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos plásticos (MTC, 2016).

2.3. Definición de términos básicos:

- **Análisis Mecánico:** Sirve para determinar la granulometría en un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.
- **CAL – Oxido de calcio CaO:** Adopta la denominación de cal rápida e hidratada, según su proceso de producción.
- **Contracción (factores):** Parámetros relativos a cambios de volumen de un suelo.
- **Relaciones humedad/densidad (Proctor):** Humedad vs. P.U. de suelos compactados. (MTC, 2014)

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La adición de NaCl (Sal de Maras) y CaO (Cal) , cada uno con sus respectivos porcentajes de adición, mejorara las propiedades físico mecánicas de un suelo arcilloso para la subrasante de la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

2.4.2. Sub hipótesis

Sub hipótesis N°1

El contenido de humedad que presenta un suelo arcilloso estabilizado con oxido de calcio (cal) al 10% presenta una mayor reducción con respecto al contenido de humedad del suelo arcilloso estabilizado con NaCl (Sal) al 14% para subrasante de la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

Sub hipótesis N°2



El índice de plasticidad que presenta un suelo arcilloso estabilizado con óxido de calcio (cal) al 10% disminuye con respecto al suelo estabilizado con Cloruro de Sodio al 14% para subrasante de la Vía Urbana Colectora Programada para subrasante en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

Sub hipótesis N°3

La Densidad Seca Máxima aumentará su valor para un suelo adicionado con Cloruro de Sodio al 14% con respecto al suelo adicionado con Óxido de Calcio (Cal) al 10 % para subrasante de la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

Sub hipótesis N°4

El valor de CBR al 100 % del suelo con adición de Óxido de Calcio (Cal) al 10 % obtendrá un mayor valor que el suelo adicionado con Cloruro de Sodio al 14% para subrasante de la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo – Cusco.

2.5. Variables e indicadores

2.5.1. Identificación de variables

2.5.1.1. Variables Dependientes:

- Contenido de humedad.
- Índice de Plasticidad.
- Densidad Seca Máxima.
- CBR.

2.5.1.2. Variables Independientes:

- % del NaCl de Maras en peso con respecto al peso seco del material.
- % del CaO en peso con respecto al peso seco del material.

2.5.1.3. Variables Intervinientes:

- Tipo de suelo.

2.5.2. Cuadro de Operacionalización de Variables:



Tabla 4. Cuadro de Operacionalización de Variables dependientes.

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
CONTENIDO DE HUMEDAD	La humedad del suelo es la relación entre el peso del agua en una parte del suelo y el peso de las partículas sólidas, expresada en porcentaje.	Peso húmedo del material y peso seco del material.	% Humedad	Hoja de Laboratorio
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	Atterberg definió el índice de plasticidad para describir el rango de humedad presente en suelos con plásticos.	Limite Plástico y Limite Líquido.	% Humedad	Hoja de Laboratorio
DENSIDAD SECA MÁXIMA	Esto corresponde a la mayor densidad que el suelo puede alcanzar después de la compactación con una humedad óptima.	Peso del suelo, volumen del suelo y contenido de humedad óptimo de la muestra.	gr/cm ³	Hoja de Laboratorio
VALOR DE CBR	El índice CBR es el porcentaje de presión ejercida por el pistón sobre la superficie para una determinada penetración respecto a la presión correspondiente a la misma penetración en la muestra de referencia.	Densidad seca máxima, contenido de humedad óptimo, carga aplicada y deformación de la muestra.	% CBR	Hoja de Laboratorio



Capítulo III: Método.

3.1. Metodología de la investigación-Alcance de estudio

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación fue determinada por la naturaleza del objeto de investigación, en este sentido es cuantitativa. Ya que se recogerá y procesará los datos numéricos de las muestras obtenidos del laboratorio. Según (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

El nivel de estudio que se utilizará será Descriptivo-Correlacional (Según Sampieri), pues lo que se buscará en la presente tesis de investigación es determinar, a raíz de ensayos, una correlación entre porcentajes de adición de Cloruro de Sodio (Sal de Maras), Oxido de Calcio (Cal) y los efectos que la combinación de estos compuestos causan en un suelo arcilloso; y también determinar con cuál de las combinaciones el suelo a estudiar ofrece una mejora en su comportamiento físico mecánico frente a un suelo sin adición de estos.

3.1.3. Método de la investigación

Según Sampieri, este estudio utiliza el método experimental porque comienza con una hipótesis que se pretende probar a través de una serie de pasos, como los resultados de pruebas de laboratorio que permitieron inferir y averiguar relaciones entre variables para probar hipótesis y compararlos con experiencia.

3.2. Diseño de la investigación

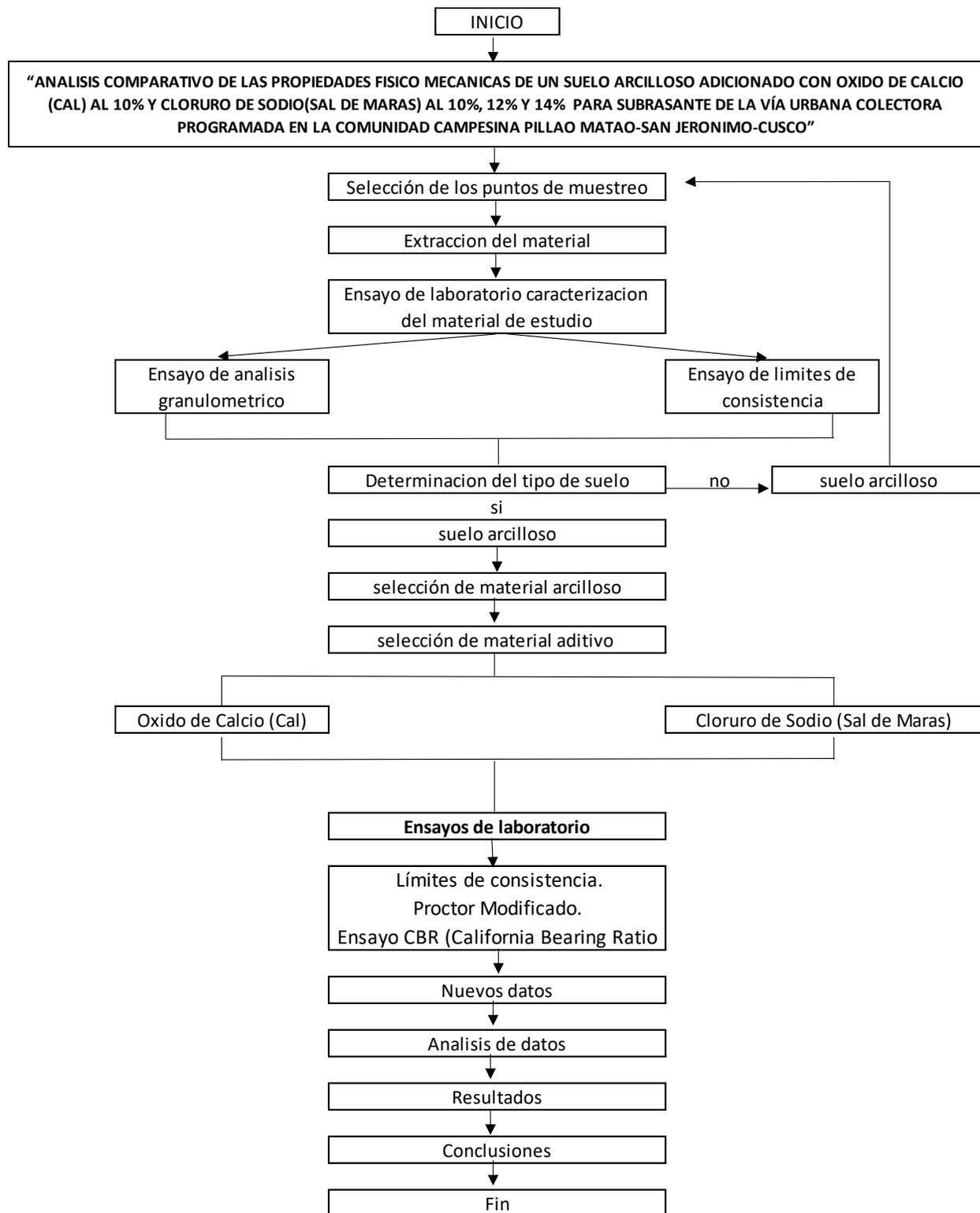
3.2.1. Diseño metodológico

Este es un estudio experimental. (según Sampieri), que consiste en realizar pruebas de laboratorio donde se adiciona Cloruro de Sodio (Sal de Maras) y Oxido de Calcio (Cal) a diferentes cantidades a un suelo arcilloso que producirá cambios en las propiedades físicas, mecánicas y químicas.



3.2.2. Diseño de ingeniería

Tabla 5. Diseño de la ingeniería del presente Proyecto de Investigación.





3.3.Población

3.3.1. Descripción de la población

Según Hernández Sampieri, la población es la suma total de todos los casos que obedecen a un conjunto de especificaciones. La población de la presente investigación estuvo conformada por el suelo de la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao.

3.3.2. Cuantificación de la población

Según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos indica el número de calicatas según el tipo de carretera en la siguiente tabla:

Tabla 6. Número de Calicatas par Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	-Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido. -Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido -Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	-Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido -Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido -Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000- 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	3 calicatas x km	



Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	1 calicata x km	

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

Para efectos de este estudio se realizó 4 calicatas siendo una carretera de bajo volumen de tránsito y teniendo una longitud de 1600 m.

La población se cuantifica como el estrato geológico o los tipos de suelos que se encontró en la Vía Urbana Colectora Programada en la comunidad campesina Pillao Matao donde se realizaron 4 calicata C-01, C-02, C-03 y C-04, con una profundidad de 1.50 m.

Tabla 7. Número de calicatas realizadas.

N.º de Calicata	Progresivas
C-01	0 + 200
C-02	0 + 600
C-03	1 + 000
C-04	1 + 400

Fuente: Elaboración Propia



Figura 16. Plano de ubicación calicatas.

3.4.Muestra

3.4.1. Descripción de la muestra

Una muestra es esencialmente un subconjunto de una población (Sampieri). La muestra de la presente investigación está compuesta el suelo arcilloso de la comunidad Pillao-Matao que se clasifico según el método SUCS Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media (CL) y según la clasificación AASHTO A-6 (3).

3.4.2. Cuantificación de la muestra

La muestra se cuantifica en 03 muestras por cada calicata que fue clasificada mediante el ensayo el ensayo de Análisis Granulométrico teniendo un total de 12 muestras ,muestras que nos ayudaran a tener mejores resultados generando tendencia en los graficos..

Tabla 8. Número de ensayos granulométricos por calicata.



Ensayos de Laboratorio	C-01	C-02	C-03	C-04
Análisis Granulométrico	N.º de muestra	N.º de muestra	N.º de muestra	N.º de muestra
	03	03	03	03
Total	12			

Fuente: Elaboración Propia

ESCALA GRAFICA	UBICACIÓN:	C.C. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO			
	PROFUNDIDAD: -1.50 m			CALICATA N° 01	
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
PROF. (m)	MUESTRA N°	GRUPO SUCS	SIMBOLO SUCS	NOMBRE	DESCRIPCION
0.00	M-1, M-2, M-3.	CL	/	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA INORGANICA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA.
-0.50					
-1.00					
-1.50					
-1.50					

Figura 17. Estratigrafía calicata N° 01



ESCALA GRAFICA	UBICACIÓN: C.C. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO				
	PROFUNDIDAD: -1.50 m		CALICATA N° 02		
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
PROF. (m)	MUESTRA N°	GRUPO SUCS	SIMBOLO SUCS	NOMBRE	DESCRIPCION
0.00	M-4, M-5, M-6.	CL	/	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA INORGANICA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA.
-0.50					
-1.00					
-1.50					

Figura 18. Estratigrafía calicata N° 02.

ESCALA GRAFICA	UBICACIÓN: C.C. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO				
	PROFUNDIDAD: -1.50 m		CALICATA N° 03		
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
PROF. (m)	MUESTRA N°	GRUPO SUCS	SIMBOLO SUCS	NOMBRE	DESCRIPCION
0.00	M-7, M-8, M-9.	CL	/	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA INORGANICA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA.
-0.50					
-1.00					
-1.50					

Figura 19. Estratigrafía calicata N° 03



ESCALA GRAFICA	UBICACIÓN: C.C. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO				
	PROFUNDIDAD: -1.50 m			CALICATA N° 04	
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
PROF. (m)	MUESTRA N°	GRUPO SUCS	SIMBOLO SUCS	NOMBRE	DESCRIPCION
0.00	M-10, M-11, M-12.	CL	/	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA INORGANICA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA.
-0.50					
-1.00					
-1.50					

Figura 20. Estratigrafía calicata N° 04

3.4.3. Método de muestreo

El método es no probabilístico porque la selección de ítems no depende de la probabilidad, sino de razones relacionadas con las características o objetivos del investigador (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.4.4. Criterios de evaluación de la muestra

Teniendo seleccionada la muestra se evaluaron por medio de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico (MTC E 107), se realizó primero el ensayo de granulometría para clasificar nuestro suelo natural.
- Límite líquido (MTC E 110)
- Límite plástico (MTC E 111)
- Proctor Modificado (MTC E 115) evaluación de resultados del suelo natural y suelo adicionado con oxido de calcio (cal) y cloruro de sodio (sal de maras).
- CBR (MTC E 132) evaluación de resultados del suelo natural y suelo adicionado con oxido de calcio (cal) y cloruro de sodio (sal de maras).



3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

3.5.1 Técnicas de recolección de datos:

Lo datos necesarios para dicho estudio fueron obtenidos a raíz de ensayos de laboratorio, los cuales fueron:

3.5.1.1. Exploración y toma de muestras

a) Instrumentos utilizados

Para dicha toma de datos fue necesario utilizar:

- Equipos de excavación (Pico, pala)
- Equipos de medición (wincha)
- Equipos de protección (guantes de seguridad, zapatos de seguridad, casco y chaleco)
- Sacos, baldes y bolsas plásticas para el transporte del material hacia el laboratorio.

b) Procedimiento

Una vez identificada la zona del estudio, procedimos a hacer una visita a campo para poder determinar de manera preliminar las zonas más idóneas para poder extraer el material necesario y así realizar los ensayos pertinentes.

Teniendo una longitud de 1600 m, elegimos hacer 4 calicatas cada 400 m y así tener muestras representativas de nuestra zona de estudio.



Figura 21. Zona de estudio



Después de definir el área, se procede a la selección de puntos de reconocimiento para empezar con la excavación y extraer material para seguidamente llevar al laboratorio para los estudios de suelos.



Figura 22. Excavación de suelos

3.5.1.2. Ensayo de determinación del contenido de humedad de un suelo

a) Equipo

Para dicho ensayo de laboratorio se utilizaron los siguientes equipos y/o herramientas:

- Estufa de secado para el material.
- Balanza de precisión.
- Bowl o depósitos.
- Combos de goma.
- Bandejas metálicas.

b) Procedimiento

- El primer ensayo realizado al material extraído es el de determinación del contenido de humedad de éste. Para dicho cometido nos disponemos a obtener una muestra representativa con ayuda de combos de goma y bandejas de metal.



- En cuanto se obtuvo la muestra representativa nos dispusimos a hacer el uso de bowl de metal y la balanza de precisión para poder obtener el peso húmedo del material.
- Luego de hacer uso de la estufa para hacer el secado del material, procedemos a hacer enfriar el recipiente con el material secado, para después pesarlo y poder obtener así el peso seco del material.
- Al final de este proceso, se efectúan los cálculos apropiados para obtener datos acerca de la humedad en la muestra.

c) Datos obtenidos

- Muestra 1

Tabla 9. Datos del suelo arcilloso natural.

Nº TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	51.08	50.67	45.23
TARRO + SUELO SECO	47.75	48.14	42.36
AGUA	3.33	2.53	2.87
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	31.05	24.74	26.36
% DE HUMEDAD	10.72	10.23	10.89

Tabla 10. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.

Nº TARRO	7	8	9
TARRO + SUELO HÚMEDO	56.35	52.56	48.64
TARRO + SUELO SECO	54.25	50.98	46.87
AGUA	2.10	1.58	1.77
PESO DEL TARRO	15.40	22.50	14.00
PESO DEL SUELO SECO	38.85	28.48	32.87
% DE HUMEDAD	5.41	5.55	5.38

Tabla 11. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.

Nº TARRO	10	11	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	68.54	55.36	59.79
TARRO + SUELO SECO	63.78	51.78	55.85
AGUA	4.76	3.58	3.90
PESO DEL TARRO	12.40	14.50	15.40
PESO DEL SUELO SECO	51.38	37.28	40.49
% DE HUMEDAD	9.26	9.60	9.63

Tabla 12. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.



Nº TARRO	13	14	15
TARRO + SUELO HÚMEDO	56.23	61.38	60.78
TARRO + SUELO SECO	53.24	57.98	57.50
AGUA	2.99	3.40	3.28
PESO DEL TARRO	15.30	16.10	15.50
PESO DEL SUELO SECO	37.94	41.88	42.00
% DE HUMEDAD	7.88	8.12	7.81

Tabla 13. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.

Nº TARRO	16	17	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	65.25	58.54	56.28
TARRO + SUELO SECO	61.87	55.65	53.62
AGUA	3.38	2.89	2.66
PESO DEL TARRO	14.20	14.69	15.30
PESO DEL SUELO SECO	47.67	40.96	38.32
% DE HUMEDAD	7.09	7.06	6.94

- Muestra 2

Tabla 14. Datos del suelo arcilloso natural.

Nº TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	52.18	49.65	43.23
TARRO + SUELO SECO	48.65	47.05	40.52
AGUA	3.53	2.60	2.71
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	31.95	23.65	24.52
% DE HUMEDAD	11.05	10.99	11.05

Tabla 15. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.

Nº TARRO	7	8	9
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.26	48.25	42.25
TARRO + SUELO SECO	53.13	46.87	40.75
AGUA	2.13	1.38	1.50
PESO DEL TARRO	15.40	22.50	14.00
PESO DEL SUELO SECO	37.73	24.37	26.75
% DE HUMEDAD	5.65	5.66	5.61

Tabla 16. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.

Nº TARRO	10	11	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	65.25	54.78	55.48
TARRO + SUELO SECO	60.56	51.23	51.91
AGUA	4.69	3.55	3.57
PESO DEL TARRO	12.40	14.50	15.40
PESO DEL SUELO SECO	48.16	36.73	36.51
% DE HUMEDAD	9.74	9.67	9.78

Tabla 17. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.

Nº TARRO	13	14	15
TARRO + SUELO HÚMEDO	45.25	49.78	46.52
TARRO + SUELO SECO	43.01	47.28	44.21
AGUA	2.24	2.50	2.31
PESO DEL TARRO	15.30	16.10	15.50
PESO DEL SUELO SECO	27.71	31.18	28.71
% DE HUMEDAD	8.08	8.02	8.05

Tabla 18. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.



N° TARRO	16	17	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	60.25	59.45	57.37
TARRO + SUELO SECO	57.21	56.48	54.61
AGUA	3.04	2.97	2.76
PESO DEL TARRO	14.20	14.69	15.30
PESO DEL SUELO SECO	43.01	41.79	39.31
% DE HUMEDAD	7.07	7.11	7.02

- Muestra 3

Tabla 19. Datos del suelo arcilloso natural.

N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.26	48.78	50.69
TARRO + SUELO SECO	51.56	46.32	47.39
AGUA	3.70	2.46	3.30
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	34.86	22.92	31.39
% DE HUMEDAD	10.61	10.73	10.51

Tabla 20. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.

N° TARRO	7	8	9
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.23	50.27	41.58
TARRO + SUELO SECO	48.46	48.85	40.18
AGUA	1.77	1.42	1.40
PESO DEL TARRO	15.40	22.50	14.00
PESO DEL SUELO SECO	33.06	26.35	26.18
% DE HUMEDAD	5.35	5.39	5.35

Tabla 21. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.

N° TARRO	10	11	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	54.25	69.57	53.67
TARRO + SUELO SECO	50.64	64.79	50.52
AGUA	3.61	4.78	3.35
PESO DEL TARRO	12.40	14.50	15.40
PESO DEL SUELO SECO	38.24	50.29	35.12
% DE HUMEDAD	9.44	9.50	9.54

Tabla 22. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.

N° TARRO	13	14	15
TARRO + SUELO HÚMEDO	53.87	52.48	51.79
TARRO + SUELO SECO	51.02	49.78	49.12
AGUA	2.85	2.70	2.67
PESO DEL TARRO	15.30	16.10	15.50
PESO DEL SUELO SECO	35.72	33.68	33.62
% DE HUMEDAD	7.98	8.02	7.94

Tabla 23. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.

N° TARRO	16	17	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	57.13	52.46	59.73
TARRO + SUELO SECO	54.39	50.02	56.62
AGUA	2.74	2.44	2.91
PESO DEL TARRO	14.20	14.69	15.30
PESO DEL SUELO SECO	40.19	35.33	41.52
% DE HUMEDAD	6.82	6.91	7.01



- Muestra 4

Tabla 24. Datos del suelo arcilloso natural.

N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.26	51.25	52.58
TARRO + SUELO SECO	46.95	48.52	48.99
AGUA	3.31	2.73	3.59
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	30.25	25.12	32.99
% DE HUMEDAD	10.94	10.87	10.88

Tabla 25. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.

N° TARRO	7	8	9
TARRO + SUELO HÚMEDO	52.56	45.25	40.89
TARRO + SUELO SECO	50.56	44.03	39.45
AGUA	2.00	1.22	1.44
PESO DEL TARRO	15.40	22.50	14.00
PESO DEL SUELO SECO	35.16	21.53	25.45
% DE HUMEDAD	5.69	5.67	5.66

Tabla 26. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.

N° TARRO	10	11	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	48.89	52.58	50.12
TARRO + SUELO SECO	45.52	49.23	47.08
AGUA	3.17	3.35	3.04
PESO DEL TARRO	12.40	14.50	15.40
PESO DEL SUELO SECO	33.12	34.73	31.68
% DE HUMEDAD	9.57	9.65	9.60

Tabla 27. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.

N° TARRO	13	14	15
TARRO + SUELO HÚMEDO	60.15	61.58	60.46
TARRO + SUELO SECO	56.84	58.24	57.13
AGUA	3.31	3.34	3.33
PESO DEL TARRO	15.30	18.10	15.50
PESO DEL SUELO SECO	41.54	42.14	41.63
% DE HUMEDAD	7.97	7.93	8.00

Tabla 28. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.

N° TARRO	16	17	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	49.65	43.79	49.43
TARRO + SUELO SECO	47.35	41.89	47.25
AGUA	2.30	1.90	2.18
PESO DEL TARRO	14.20	14.69	15.30
PESO DEL SUELO SECO	33.15	27.20	31.95
% DE HUMEDAD	6.94	6.99	6.82

- Muestra 5

Tabla 29. Datos del suelo arcilloso natural.

N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	45.25	55.54	48.25
TARRO + SUELO SECO	42.54	52.45	45.15
AGUA	2.71	3.09	3.10
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	25.84	29.05	29.15
% DE HUMEDAD	10.49	10.64	10.63



Tabla 30. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.

N° TARRO	7	8	9
TARRO + SUELO HÚMEDO	47.25	50.69	51.87
TARRO + SUELO SECO	45.52	49.19	49.82
AGUA	1.73	1.50	2.05
PESO DEL TARRO	15.40	22.50	14.00
PESO DEL SUELO SECO	30.12	26.69	35.82
% DE HUMEDAD	5.74	5.62	5.72

Tabla 31. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.

N° TARRO	10	11	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.25	59.25	49.78
TARRO + SUELO SECO	46.87	55.26	46.74
AGUA	3.38	3.99	3.04
PESO DEL TARRO	12.40	14.50	15.40
PESO DEL SUELO SECO	34.47	40.76	31.34
% DE HUMEDAD	9.81	9.79	9.70

Tabla 32. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.

N° TARRO	13	14	15
TARRO + SUELO HÚMEDO	45.25	46.78	44.79
TARRO + SUELO SECO	43.01	44.50	42.61
AGUA	2.24	2.28	2.18
PESO DEL TARRO	15.30	16.10	15.50
PESO DEL SUELO SECO	27.71	28.40	27.11
% DE HUMEDAD	8.08	8.03	8.04

Tabla 33. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.

N° TARRO	16	17	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	51.25	52.29	56.15
TARRO + SUELO SECO	48.79	49.78	53.41
AGUA	2.46	2.51	2.74
PESO DEL TARRO	14.20	14.69	15.30
PESO DEL SUELO SECO	34.59	35.09	38.11
% DE HUMEDAD	7.11	7.15	7.19

- Muestra 6

Tabla 34. Datos del suelo arcilloso natural.

N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.25	57.52	56.25
TARRO + SUELO SECO	37.94	54.22	52.32
AGUA	2.31	3.30	3.93
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	21.24	30.82	36.32
% DE HUMEDAD	10.88	10.71	10.82

Tabla 35. Datos del suelo arcilloso natural + 10% cal.

N° TARRO	7	8	9
TARRO + SUELO HÚMEDO	48.79	51.73	46.82
TARRO + SUELO SECO	46.98	50.14	45.02
AGUA	1.81	1.59	1.80
PESO DEL TARRO	15.40	22.50	14.00
PESO DEL SUELO SECO	31.58	27.64	31.02
% DE HUMEDAD	5.73	5.75	5.80

Tabla 36. Datos del suelo arcilloso natural + 10% de cloruro de sodio.



N° TARRO	10	11	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.25	48.98	50.97
TARRO + SUELO SECO	43.25	45.96	47.82
AGUA	3.00	3.02	3.15
PESO DEL TARRO	12.40	14.50	15.40
PESO DEL SUELO SECO	30.85	31.46	32.42
% DE HUMEDAD	9.72	9.60	9.72

Tabla 37. Datos del suelo arcilloso natural + 12% de cloruro de sodio.

N° TARRO	13	14	15
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.19	47.83	49.48
TARRO + SUELO SECO	43.87	45.46	46.91
AGUA	2.32	2.37	2.57
PESO DEL TARRO	15.30	16.10	15.50
PESO DEL SUELO SECO	28.57	29.36	31.41
% DE HUMEDAD	8.12	8.07	8.18

Tabla 38. Datos del suelo arcilloso natural + 14% de cloruro de sodio.

N° TARRO	16	17	18
TARRO + SUELO HÚMEDO	55.26	58.48	59.25
TARRO + SUELO SECO	52.58	55.62	56.35
AGUA	2.68	2.86	2.90
PESO DEL TARRO	14.20	14.69	15.30
PESO DEL SUELO SECO	38.38	40.93	41.05
% DE HUMEDAD	6.98	6.99	7.06

3.5.1.3. Ensayo de granulometría

a) Equipo

Para dicho ensayo de laboratorio se utilizaron los siguientes equipos y/o herramientas.

- Tamiz 200 para lavado, balde y manguera.
- Serie de Tamices: 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200, fondo y tapa.
- Balanza digital.
- Tamizadora mecánica.
- Bandejas, bowl, cucharón, brocha, escobilla metálica, martillo de goma, bandejas.

b) Procedimiento

Una vez teniendo el material en laboratorio se procedió a obtener una muestra representativa del mismo, luego de esto con ayuda de un martillo de goma se comenzó a triturar la muestra a fin de deshacernos de la presencia terrones de material que teníamos en nuestra muestra de suelo, culminado esto procedimos a lavar la muestra de suelo con ayuda de la malla 200, una manguera y un balde.



Figura 23. Trituración y lavado del material

Una vez culminado el proceso de lavado se procedió a hacer el secado del material para su posterior ensayo granulométrico.

Luego de secar y dejar enfriar el material nos dispusimos a escoger los tamices correspondientes para nuestro ensayo, dicho ensayo se realizó con ayuda de una maquina tamizadora, la cual tamizó el material por un espacio de 5 minutos.

Una vez que se completa el tamizado, comienza el pesaje del material restante en cada tamiz, con cuidado se fueron retirando uno a uno cada tamiz y vaciando su contenido en un bowl previamente pesado y tarado en la balanza electrónica, ayudándonos con una escobilla metálica o una brocha (dependiendo la delicadeza del tamiz utilizado) para sacar todo el material retenido.



Figura 24. Tamizado del material

Repitiendo este proceso con cada tamiz y anotando los pesos retenidos se procede a realizar el procesamiento de los datos obtenidos como el grafico de la curva granulométrica. Este procedimiento se repite para cada muestra que se tiene de las calicatas.



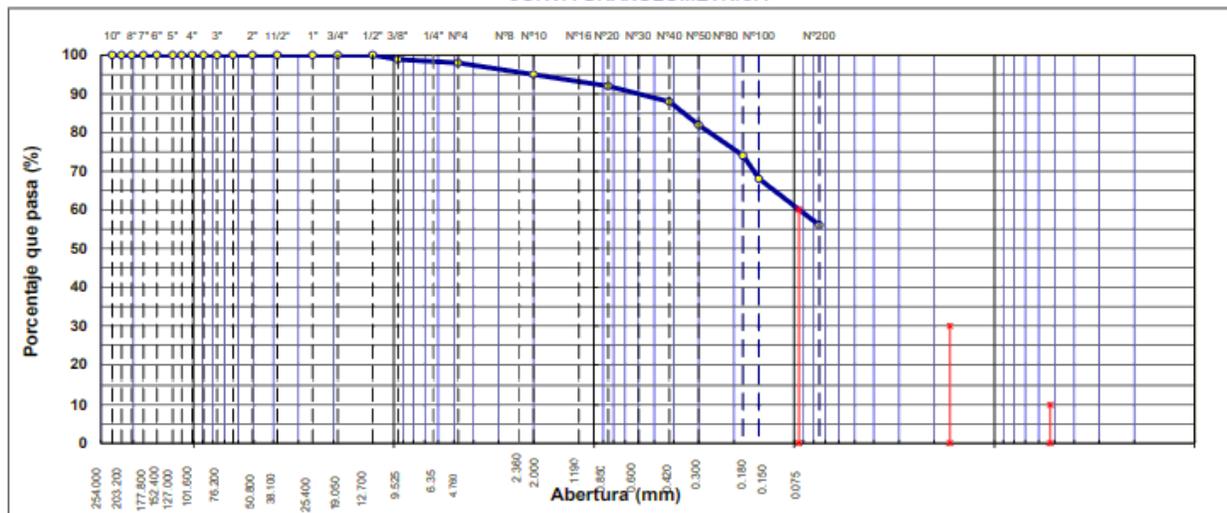
c) Datos obtenidos

- *Calicata C-01*

Tabla 39. Muestra 1 de C-01

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
TESIS : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	
10"	254.000					PESO TOTAL = 1.725.0 gr PESO DE GRAVA = 35.0 gr PESO DE ARENA = 1690.0 gr PESO FINO = 764.7 gr LIMITE LIQUIDO = 27.40 % LIMITE PLÁSTICO = 16.10 % INDICE PLÁSTICO = 11.30 % CLASF. AASHTO = A-6 (5) CLASF. SUCCS = CL MAX. DENS. SECA = (gr/cm3) OPT. CONT. HUM. = % Observaciones : Arcilla inorganica de plasticidad baja a media
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525	19.0	1.1	1.1	98.9	
1/4"	6.350					
# 4	4.760	16.0	0.9	2.0	98.0	
# 8	3.350					
# 10	2.000	25.6	3.0	5.0	95.0	
# 20						
# 40	0.420	31.9	4.0	12.0	88.0	
# 50	0.300					
# 80	0.180	60.9	8.0	26.0	74.0	
# 100						
# 200	0.075	92.3	12.0	44.0	56.0	
< # 200	FONDO	438.1	56.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = - Índice de Consistencia
TOTAL		1.725.0				Coef. Curvatura = - 1.7
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión = Bajo Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA



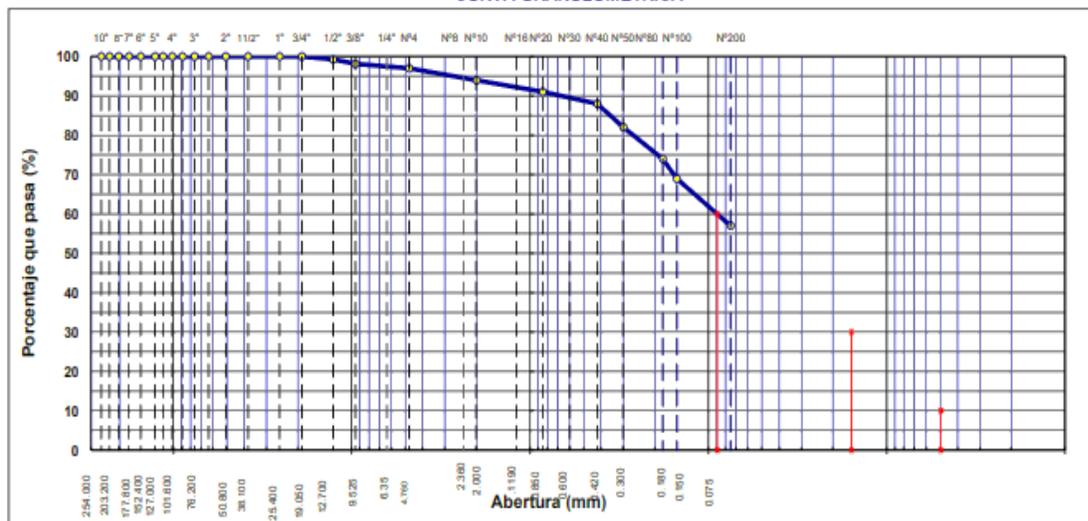
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 40. Muestra 2 de C-01

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
TESIS : CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de Setiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	%Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	10.0	0.7	0.7	99.3	
3/8"	9.525	17.0	1.2	1.9	98.1	
1/4"	6.350					
# 4	4.750	15.0	1.1	3.0	97.0	
# 8	2.360					
# 10	2.000	27.0	3.0	6.0	94.0	
# 20	0.850	22.9	3.0	9.0	91.0	
# 40	0.420	25.7	3.0	12.0	88.0	
# 50	0.300	46.8	6.0	18.0	82.0	
# 80	0.180	61.2	6.0	25.0	74.0	
# 100	0.150	37.2	5.0	31.0	69.0	
# 200	0.075	91.1	12.0	43.0	57.0	
< # 200	FONDO	452.8	57.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = -
TOTAL		1,388.0				Coef. Curvatura = -
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión = Bajo
						Indice de Consistencia = 1.9
						Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA



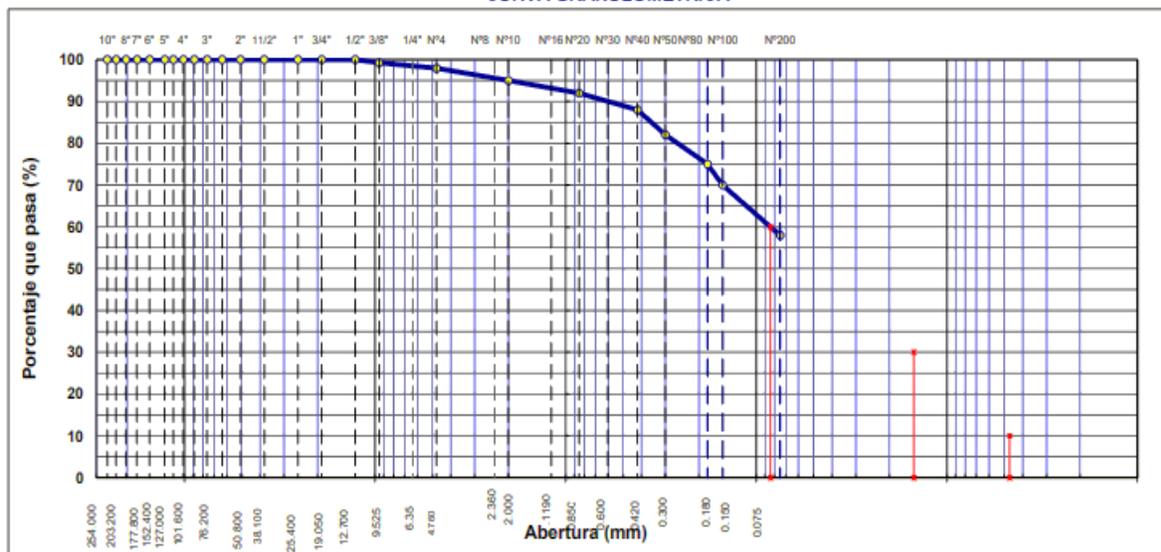
Fuente: Elaboración Propri



Tabla 41. Muestra 3 de C-01

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
TESIS : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de Setiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA PESO TOTAL = 1,475.0 gr PESO DE GRAVA = 30.0 gr PESO DE ARENA = 1445.0 gr PESO FINO = 764.7 gr LIMITE LIQUIDO = 29.59 % LIMITE PLÁSTICO = 18.33 % INDICE PLÁSTICO = 11.26 % CLASF. AASHTO = A-6 (5) CLASF. SUCCS = CL MAX. DENS. SECA = (gr/cm3) OPT. CONT. HUM. = % % Grava = 2.0 % % Arena = 40.0 % % Fino = 58.0 % % HUMEDAD : P.S.H. = 2566.0 P.S.S = 2362.0 % Humedad = 8.6% Observaciones : Arcilla inorganica de plasticidad baja a media
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525	11.0	0.7	0.7	99.3	
1/4"	6.350					
# 4	4.760	19.0	1.3	2.0	98.0	
# 8	2.360					
# 10	2.000	26.3	3.0	5.0	95.0	
# 20	0.850	24.8	3.0	8.0	92.0	
# 40	0.420	28.7	4.0	12.0	88.0	
# 50	0.300	44.6	6.0	18.0	82.0	
# 80	0.180	56.8	7.0	25.0	75.0	
# 100	0.150	42.3	5.0	30.0	70.0	
# 200	0.075	89.9	12.0	42.0	58.0	
< # 200	FONDO	451.3	58.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = - Coef. Curvatura = - Pot. de Expansión = Bajo
TOTAL		1,475.0				Indica de Consistencia = 1.9 Estable
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						

CURVA GRANULOMETRICA



Fuente: Elaboración Propia

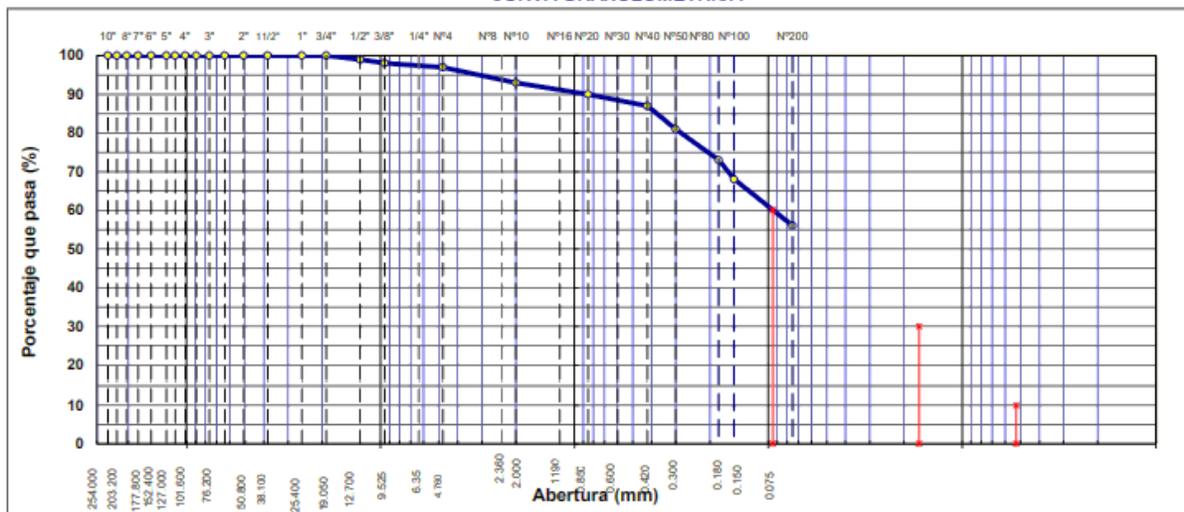


• Calicata C-02

Tabla 42. Muestra 4 de C-02

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
TESIS : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA PESO TOTAL = 1400.0 gr PESO DE GRAVA = 42.0 gr PESO DE ARENA = 1358.0 gr PESO FINO = 764.7 gr LIMITE PLÁSTICO = 17.50 % ÍNDICE PLÁSTICO = 28.36 % CLASF. AASHTO = A-6 (S) CLASF. SUCCS = CL MAX. DENS. SECA = (gr/cm3) OPT. CONT. HUM. = % % Grava = 3.0 % % Arena = 41.0 % % Fino = 56.0 % % HUMEDAD = P.S.H. = 2368.0 P.S.S. = 2187.0 % Humedad = 8.3% Observaciones : Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	14.0	1.0	1.0	99.0	
3/8"	9.525	13.0	0.9	1.9	98.1	
1/4"	6.350					
# 4	4.760	15.0	1.1	3.0	97.0	
# 8	2.360					
# 10	2.000	32.0	4.0	7.0	93.0	
# 20	0.850	22.9	3.0	10.0	90.0	
# 40	0.420	24.3	3.0	13.0	87.0	
# 50	0.300	48.0	6.0	19.0	81.0	
# 60	0.180	51.2	8.0	27.0	73.0	
# 100	0.150	38.4	5.0	32.0	68.0	
# 200		93.8	12.0	44.0	56.0	
< # 200	FONDO	444.1	56.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = - Índice de Consistencia
TOTAL		1,400.0				Coef. Curvatura = - 1.8
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión = Bajo Estable

CURVA GRANULOMETRICA



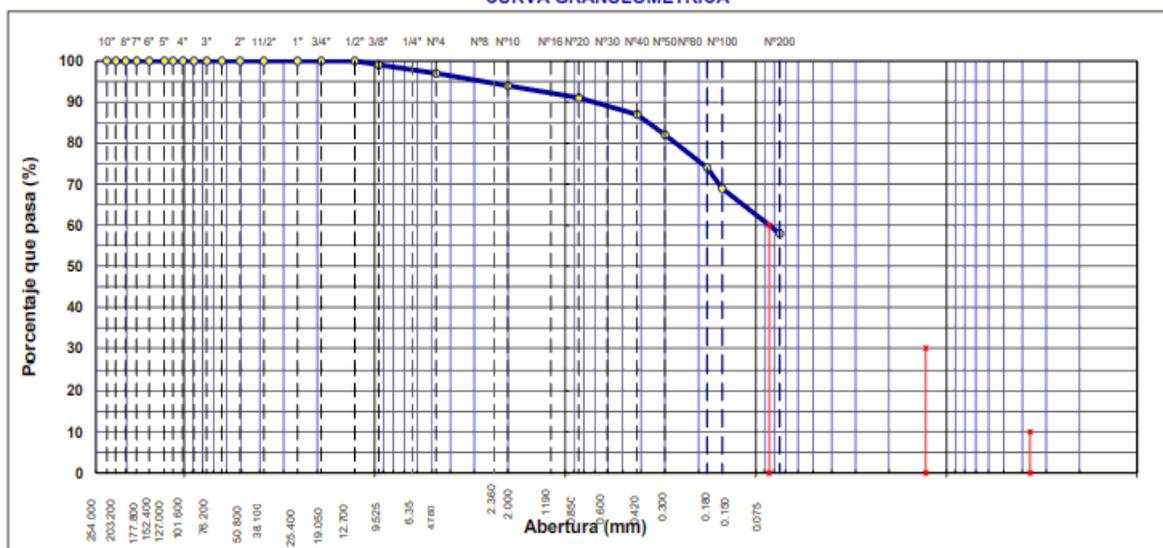
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 43. Muestra 5 de C-02

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
TESIS : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de Setiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					PESO TOTAL = 1.647.0 gr
4 1/2"	114.300					PESO DE GRAVA = 49.0 gr
4"	101.600					PESO DE ARENA = 1598.0 gr
3 1/2"	88.900					PESO FINO = 764.7 gr
3"	76.200					LÍMITE LÍQUIDO = 29.59 %
2 1/2"	63.500					LÍMITE PLÁSTICO = 18.33 %
2"	50.800					ÍNDICE PLÁSTICO = 11.26 %
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	CLASF. AASHTO = A-6 (S)
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	CLASF. SUCCS = CL
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	MAX. DENS. SECA = (gr/cm3)
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	OPT. CONT. HUM. = %
3/8"	9.525	14.0	0.9	0.9	99.1	
1/4"	6.350					
# 4	4.750	35.0	2.1	3.0	97.0	
# 8	2.360					% Grava = 3.0 %
# 10	2.000	22.8	3.0	6.0	94.0	% Arena = 39.0 %
# 20	0.850	22.7	3.0	9.0	91.0	% Fines = 58.0 %
# 40	0.420	30.9	4.0	13.0	87.0	% HUMEDAD
# 50	0.300	40.7	5.0	18.0	82.0	P.S.H. P.S.S % Humedad
# 80	0.180	61.2	8.0	26.0	74.0	2455.0 2278.0 7.8%
# 100	0.150	40.5	5.0	31.0	69.0	Observaciones : Arcilla inorganica de plasticidad baja a media
# 200	0.075	88.7	11.0	42.0	58.0	
< # 200	FONDO	457.2	58.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad - Índice de Consistencia
TOTAL		1.647.0				Coef. Curvatura - 1.9
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión - Bajo Estable

CURVA GRANULOMETRICA



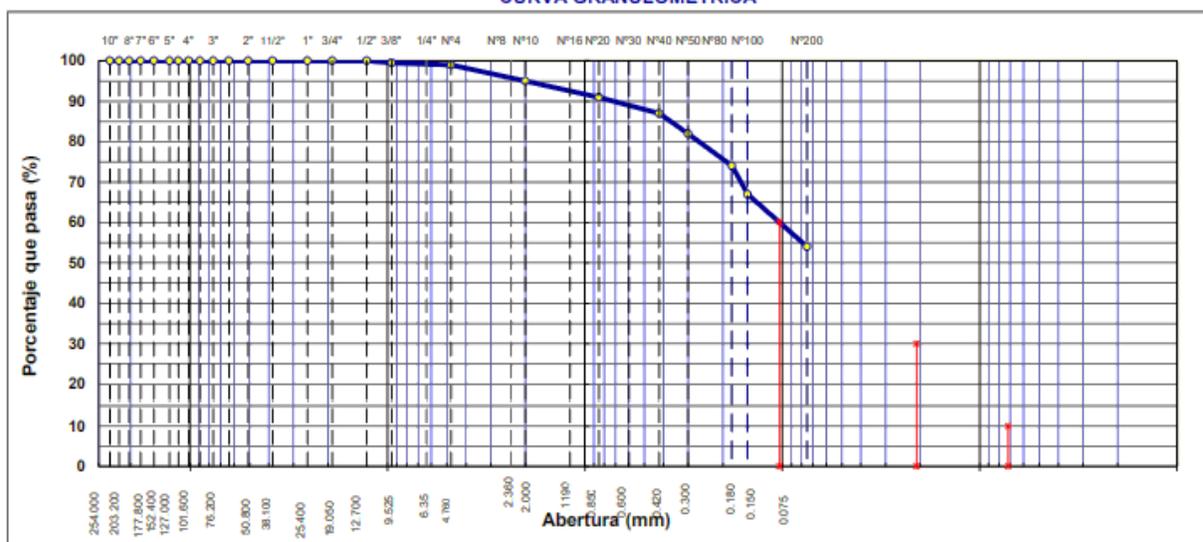
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 44. Muestra 6 de C-02

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525	9.0	0.5	0.5	99.5	
1/4"	6.350	2.350	1.0	1.0	99.0	
# 4	4.760	8.0	0.5	1.0	99.0	
# 8	2.360	32.0	4.0	5.0	95.0	
# 10	2.000	29.6	4.0	9.0	91.0	
# 20	0.850	29.6	4.0	9.0	91.0	
# 40	0.420	33.7	4.0	13.0	87.0	
# 50	0.300	37.9	5.0	18.0	82.0	
# 80	0.180	63.1	8.0	26.0	74.0	
# 100	0.150	52.6	7.0	33.0	67.0	
# 200	0.075	98.2	13.0	46.0	54.0	
< # 200	FONDO	417.6	54.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = -
TOTAL		1,723.0				Coef. Curvatura = -
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión = Bajo
						Indice de Consistencia = Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: Elaboración Propia

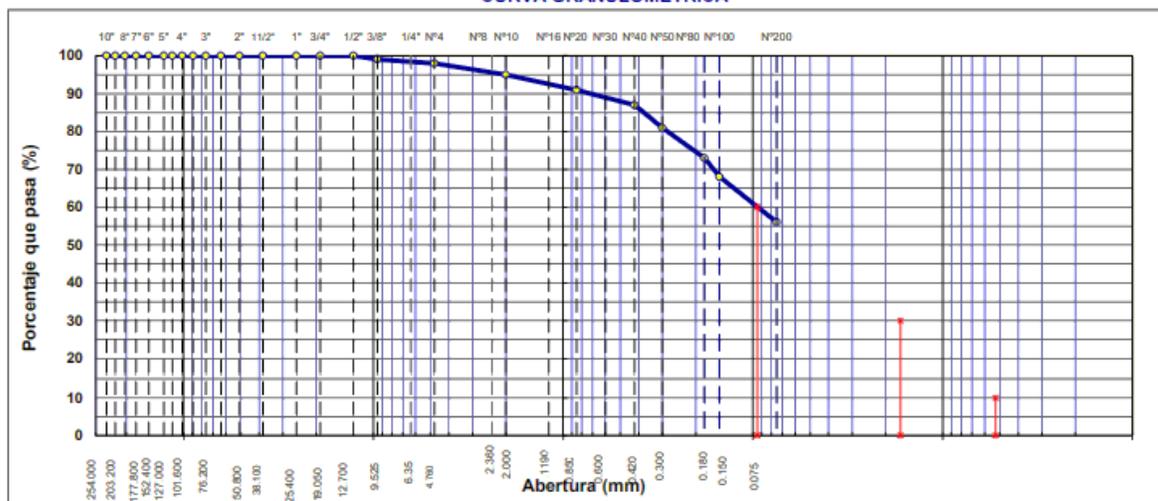


• Calicata C-03

Tabla 45. Muestra 7 de C-03

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88							
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO							
TESIS : CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO							
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco							
PROPORCIÓN : 0.0%							
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021							
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
10"	254.000						
9"	228.600						
8"	203.200						
7"	177.800						
6"	152.400						
5"	127.000						
4 1/2"	114.300						
4"	101.600						
3 1/2"	88.900						
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.525	15.0	0.9	0.9	99.1		
1/4"	4.760	18.0	1.1	2.0	98.0		
# 4	2.360						
# 10	2.000	25.3	3.0	5.0	95.0		
# 20	0.850	32.1	4.0	9.0	91.0		
# 40	0.420	28.1	4.0	13.0	87.0		
# 50	0.300	45.6	6.0	19.0	81.0		
# 80					27.0		
# 100	0.150	38.4	5.0	32.0	68.0		
# 200					44.0		
< # 200	FONDO	439.9	56.0	100.0	0.0		
FRACCIÓN TOTAL		1,680.0					
DESCRIPCIÓN SUELO:		Arcilla arenosa de baja plasticidad					
Coef. Uniformidad		-		Índice de Consistencia			
Coef. Curvatura		-		1.7			
Pot. de Expansión		Bajo		Estable			

CURVA GRANULOMÉTRICA



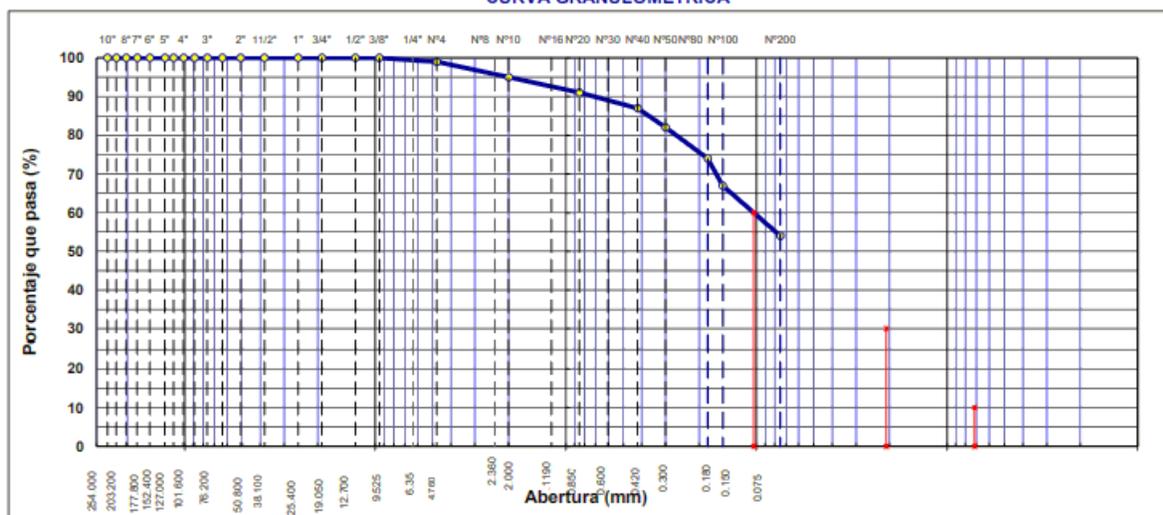
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 46. Muestra 8 de C-03

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO									
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88									
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO									
TESIS : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco									
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco									
PROPORCIÓN : 0.0%									
FECHA : jueves, 23 de Setiembre de 2021									
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
10"	254.000					PESO TOTAL = 1.702.0 gr			
9"	228.600					PESO DE GRAVA = 17.0 gr			
8"	203.200					PESO DE ARENA = 1685.0 gr			
7"	177.800					PESO FINO = 764.7 gr			
6"	152.400					LÍMITE LÍQUIDO = 29.59 %			
5"	127.000					LÍMITE PLÁSTICO = 18.33 %			
4 1/2"	114.300					ÍNDICE PLÁSTICO = 11.26 %			
4"	101.600					CLASF. AASHTO = A-6 (4)			
3 1/2"	88.900					CLASF. SUCCS = CL			
3"	76.200					MAX. DENS. SECA = (gr/cm3)			
2 1/2"	63.500					OPT. CONT. HUM. = %			
2"	50.800								
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0				
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0				
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0				
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0				
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	100.0				
1/4"	6.350								
# 4	4.750	17.0	1.0	1.0	99.0				
# 8	2.360					% Grava = 1.0 %			
# 10	2.000	31.2	4.0	5.0	95.0	% Arena = 45.0 %			
# 20	0.850	28.9	4.0	9.0	91.0	% Fino = 54.0 %			
# 40	0.420	32.5	4.0	13.0	87.0	% HUMEDAD : P.S.H. P.S.S. % Humedad			
# 50	0.300	38.9	5.0	18.0	82.0	3265.0 2997.0 8.9%			
# 80	0.180	62.4	8.0	26.0	74.0	Observaciones : Arcilla inorganica de plasticidad baja a media			
# 100	0.150	51.3	7.0	33.0	67.0				
# 200	0.075	99.8	13.0	46.0	54.0				
< # 200	FONDO	419.7	54.0	100.0	0.0				
FRACCIÓN	764.7					Coef. Uniformidad	-	Índice de Consistencia	
TOTAL	1.702.0					Coef. Curvatura	-	1.8	
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión	Bajo	Estable	

CURVA GRANULOMÉTRICA



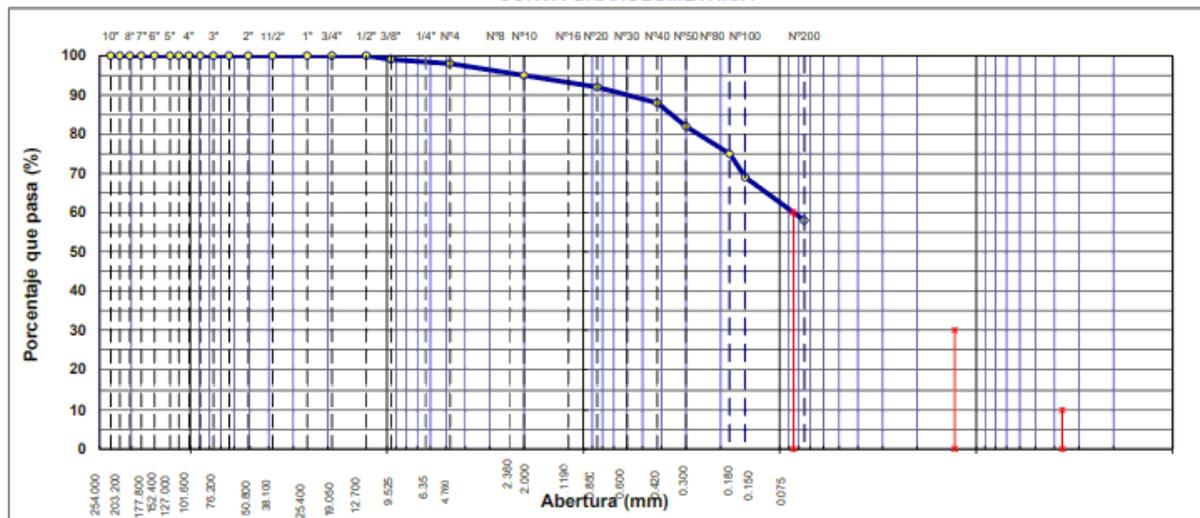
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 47. Muestra 9 de C-03

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
TESIS : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525	14.9	0.9	0.9	99.1	
1/4"	6.350	16.0	1.1	2.0	98.0	
# 4	4.750	16.0	1.1	2.0	98.0	
# 8	2.360	25.3	3.0	5.0	95.0	
# 20	0.850	22.6	3.0	8.0	92.0	
# 40	0.420	31.0	4.0	12.0	88.0	
# 50	0.300	44.2	6.0	18.0	82.0	
# 80	0.180	56.8	7.0	25.0	75.0	
# 100	0.150	45.3	6.0	31.0	69.0	
# 200	0.075	88.2	11.0	42.0	58.0	
< # 200	FONDO	451.3	58.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = -
TOTAL		1,480.0				Indice de Consistencia = 1.7
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión = Bajo
						Estable

CURVA GRANULOMETRICA



Fuente: Elaboración Propia

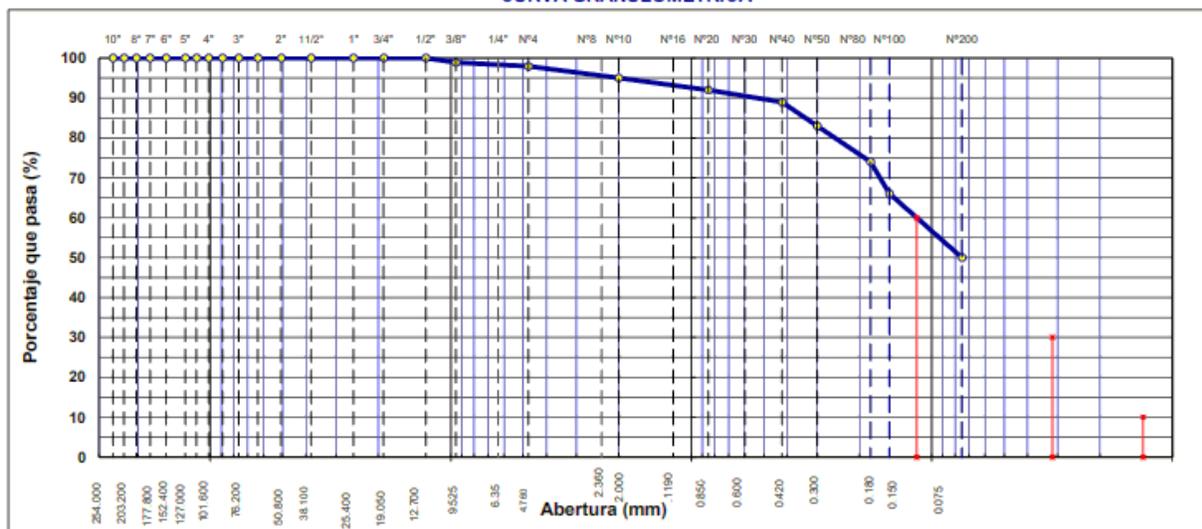


• Calicata C-04

Tabla 48. Muestra 10 de C-04

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88							
TESIS : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON OXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO							
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco							
PROPORCIÓN : 0.0%							
FECHA : jueves, 23 de Setiembre de 2021							
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA PESO TOTAL = 1.406.0 gr PESO DE GRAVA = 29.0 gr PESO DE ARENA = 1377.0 gr PESO FINO = 764.7 gr LÍMITE LÍQUIDO = 29.59 % LÍMITE PLÁSTICO = 18.33 % ÍNDICE PLÁSTICO = 11.26 % CLASF. AASHTO = A-6 (3) CLASF. SUCCS = CL MAX. DENS. SECA = (gr/cm3) OPT. CONT. HUM. = % % Grava = 2.0 % % Arena = 48.0 % % Fino = 50.0 % % HUMEDAD : P.S.H. = 2368.0, P.S.S. = 2217.0, % Humedad = 6.8% Observaciones : Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media	
10"	254.000						
9"	228.600						
8"	203.200						
7"	177.800						
6"	152.400						
5"	127.000						
4 1/2"	114.300						
4"	101.600						
3 1/2"	88.900						
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0		
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.525	16.0	1.1	1.1	98.9		
1/4"	6.350						
# 4	4.760	13.0	0.9	2.0	98.0		
# 8	2.360						
# 10	2.000	25.0	3.0	5.0	95.0		
# 20	0.850	23.0	3.0	8.0	92.0		
# 40	0.420	25.0	3.0	11.0	89.0		
# 50	0.300	45.5	6.0	17.0	83.0		
# 80	0.180	67.0	9.0	26.0	74.0		
# 100	0.150	61.0	8.0	34.0	66.0		
# 200	0.075	128.0	16.0	50.0	50.0		
< # 200	FONDO	390.2	50.0	100.0	0.0		
FRACCIÓN		764.7					
TOTAL		1.406.0					
Descripción suelo:		Arcilla arenosa de baja plasticidad				Coef. Uniformidad = - Coef. Curvatura = - Pot. de Expansión = Bajo	Índice de Consistencia = 2.0 Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA



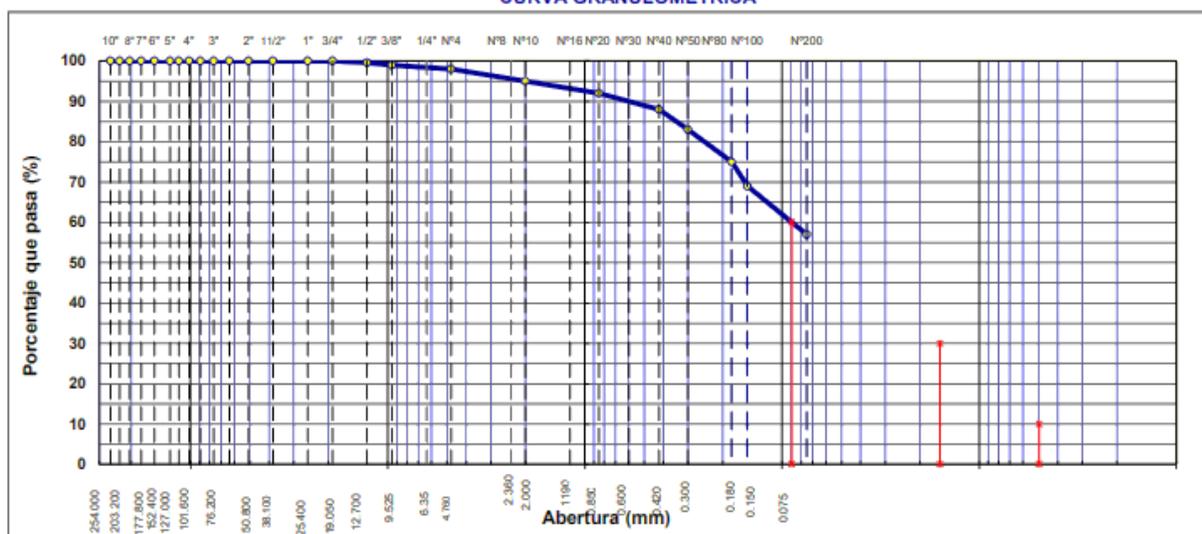
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 49. Muestra 11 de C-04

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000					
9"	228.600					
8"	203.200					
7"	177.800					
6"	152.400					
5"	127.000					
4 1/2"	114.300					
4"	101.600					
3 1/2"	88.900					
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL = 1,750.0 gr
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO DE GRAVA = 35.0 gr
1/2"	12.700	7.0	0.4	0.4	99.6	PESO DE ARENA = 1715.0 gr
3/8"	9.525	10.0	0.6	1.0	99.0	PESO FINO = 764.7 gr
1/4"	6.350					LIMITE LIQUIDO = 28.30 %
# 4	4.760	18.0	1.0	2.0	98.0	LIMITE PLÁSTICO = 16.96 %
# 8	2.360					INDICE PLÁSTICO = 11.34 %
# 10	2.000	24.6	3.0	5.0	95.0	CLASF. AASHTO = A-6 (5)
# 20	0.850	24.3	3.0	8.0	92.0	MAX. DENS. SECA = (gr/cm3)
# 40	0.420	31.9	4.0	12.0	88.0	OPT. CONT. HUM. = %
# 50	0.300	41.1	5.0	17.0	83.0	% HUMEDAD = 2455.0 P.S.H. 2278.0 % Humedad 8.1%
# 80	0.180	60.5	8.0	25.0	75.0	Observaciones : Arcilla inorganica de plasticidad baja a media
# 100	0.150	45.2	6.0	31.0	69.0	
# 200	0.075	95.0	12.0	43.0	57.0	
< # 200	FONDO	442.1	57.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = - Índice de Consistencia
TOTAL		1,750.0				Coef. Curvatura = - 1.8
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Pot. de Expansión = Bajo Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA



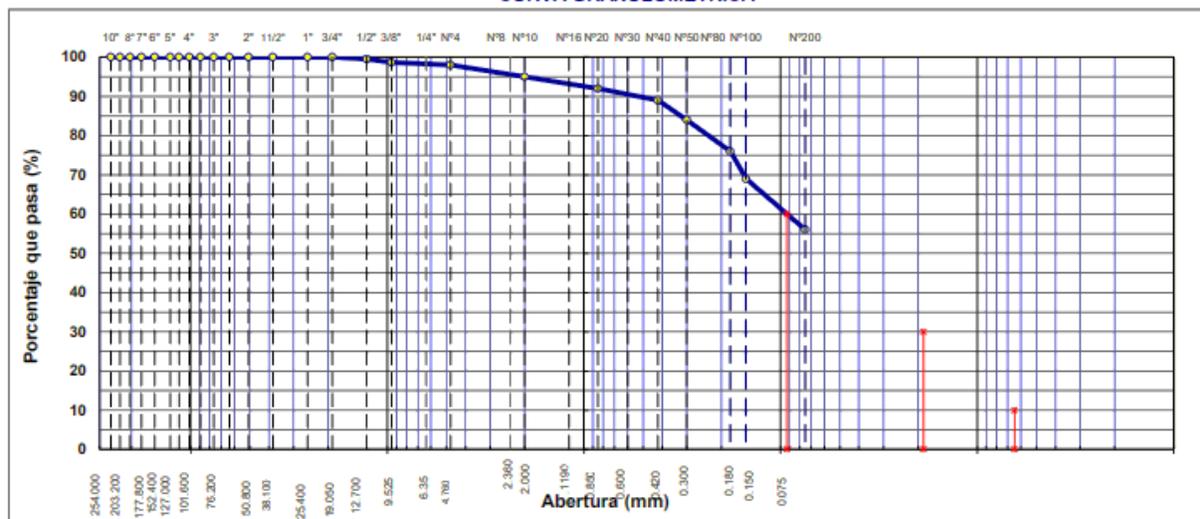
Fuente: Elaboración Propia



Tabla 50. Muestra 12 de C-04

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO ADICIONADO CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL) AL 10% Y CLORURO DE SODIO (SAL DE MARA) AL 10%, 12% Y 14% PARA SUBRASANTE DE LA VÍA URBANA COLECTORA PROGRAMADA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA PILLAO MATAO - SAN JERÓNIMO - CUSCO						
UBICACIÓN : Material de pillao matao Dist. de San Jeronimo, Prov. Cusco, Dpto Cusco						
PROPORCIÓN : 0.0%						
FECHA : jueves, 23 de septiembre de 2021						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254,000					
9"	228,600					
8"	203,200					
7"	177,800					
6"	152,400					
5"	127,000					PESO TOTAL = 1,568.0 gr
4 1/2"	114,300					PESO DE GRAVA = 32.0 gr
4"	101,600					PESO DE ARENA = 1,536.0 gr
3 1/2"	88,900					PESO FINO = 764.7 gr
3"	76,200					LÍMITE LÍQUIDO = 29.31 %
2 1/2"	63,500					LÍMITE PLÁSTICO = 17.97 %
2"	50,800					ÍNDICE PLÁSTICO = 11.34 %
1 1/2"	38,100		0.0	0.0	100.0	CLASIF. AASHTO = A-6 (S)
1"	25,400	0.0	0.0	0.0	100.0	CLASIF. SUCCS = CL
3/4"	19,050	0.0	0.0	0.0	100.0	MAX. DENS. SECA = (gr/cm3)
1/2"	12,700	8.0	0.5	0.5	99.5	OPT. CONT. HUM. = %
3/8"	9,525	13.0	0.8	1.3	98.7	
1/4"	6,350					
# 4	4,760	11.0	0.7	2.0	98.0	
# 8	2,360					% Grava = 2.0 %
# 10	2,000	26.4	3.0	5.0	95.0	% Arena = 42.0 %
# 20	0,850	20.9	3.0	8.0	92.0	% Fino = 56.0 %
# 40	0,420	22.5	3.0	11.0	89.0	% HUMEDAD = P.S.H. P.S.S % Humedad
# 50	0,300	42.3	5.0	16.0	84.0	
# 80	0,180	63.1	8.0	24.0	76.0	Observaciones : Arcilla inorganica de plasticidad baja a media
# 100	0,150	52.6	7.0	31.0	69.0	
# 200	0,075	100.6	13.0	44.0	56.0	
<# 200	FONDO	436.3	56.0	100.0	0.0	
FRACCIÓN		764.7				Coef. Uniformidad = - Índice de Consistencia
TOTAL		1,568.0				Coef. Curvatura = - 1.8
Descripción suelo:		Arcilla arenosa de baja plasticidad				Pot. de Expansión = Bajo Estable

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: Elaboración Propia



3.5.1.4. Límites de consistencia

a) Equipos

- Copa Casagrande.
- Ranurador.
- Espátula Casagrande.
- Vidrio Esmerilado
- Malla N.º 40, fondo y tapa.
- Taras.
- Balanza de precisión
- Cucharas, bandejas, bowl.
- Bolsas plásticas.

b) Procedimiento

Para determinar los límites de consistencia de nuestras muestras primero utilizamos el tamiz N.º 40 para poder obtener el material necesario para realizar el ensayo correspondiente.

Para las muestras que necesitaron ser mezcladas con los aditivos (Oxido de Calcio y Cloruro de Sodio) se escogió por mezclar el material con el aditivo correspondiente antes de que este pase por el tamiz.





Figura 25. Tamizado del material

Una vez teniendo el material necesario para realizar los ensayos se dispuso a saturar dicho material por 12 horas (un día antes).

3.5.1.4.1. Limite Liquido.

La primera prueba a realizar es determinar el límite líquido, el cual se halla con ayuda de la Copa Casagrande, en este caso será necesario entre 150 a 200 gr de muestra, además para dicho ensayo se necesita usar la espátula Casagrande para poder enrazar el material para ensayo en la Copa Casagrande y luego de esto con ayuda del ranurador se procede a hacer una abertura al centro, el ensayo consiste en hacer caer la copa Casagrande y contar en cuantos golpes la ranura antes hecha se llega a juntar, del mencionado proceso se tomarán 3 muestras para hallar su respectivo contenido de humedad, uno que cierre entre los 25 a 35 golpes, otro entre los 20 a 30 golpes y el ultimo entre los 15 a 25 golpes



Figura 26. Equipos para ensayo de Limite Liquido

Al terminar dicho proceso se hará uso de taras metálicas de peso conocido y de una balanza de precisión para determinar la masa inicial de la muestra, después de secar la muestra, y por ultimo determinar el contenido de humedad de las tres probetas.

Estos datos serán utilizados para poder hallar el límite líquido con ayuda de una gráfica.



Figura 27. Ensayo de Limite Liquido del suelos adicionado con los diferentes porcentajes de Oxido de Calcio y Cloruro de Sodio

3.5.1.4.2. Limite Plástico

Para dicho ensayo será necesario utilizar una muestra de 20 gr y una superficie en la cual se pueda manipular el material de tal manera que se lleguen a formas cilindros, el ensayo consiste en realizar cilindros del material y que dichos cilindros se agrieten justo cuando este tenga un diámetro de 3.2



mm (1/8"). Si no se alcanza dicho cilindro se agrega o quita agua según sea el caso hasta lograr el objetivo trazado anteriormente.

El proceso se repite dos veces y se utilizan taras metalizas de pesos conocidos para poder hallar el contenido de humedad de la muestra en dicho momento y así determinar el límite plástico de la muestra ensayada.

Este proceso se repite con la muestra patrón y con la muestra mezclada con los diferentes aditivos a estudiar en la presente tesis (Oxido de Calcio y Cloruro de Sodio).

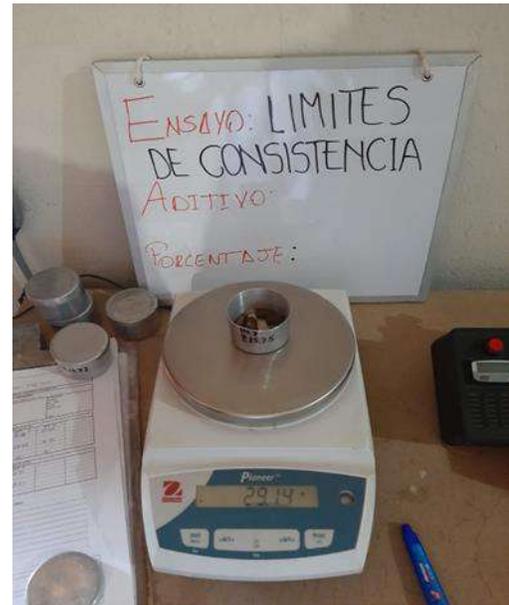


Figura 28. *Ensayo de Limite Liquito del suelos adicionado con los diferentes porcentajes de Oxido de Calcio y Cloruro de Sodio*



c) **Datos obtenidos**

Datos obtenidos de 06 muestras

- **Muestra 1**

Tabla 51. Datos del suelo arcilloso natural

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.54	50.87	49.05
TARRO + SUELO SECO	40.01	44.57	41.07
AGUA	6.53	6.30	7.98
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	15.98
PESO DEL SUELO SECO	23.36	21.19	25.09
% DE HUMEDAD	27.95	29.73	31.81
N° DE GOLPES	33	26	16
LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.22	23.04	
TARRO + SUELO SECO	22.77	21.98	
AGUA	1.45	1.06	
PESO DEL TARRO	14.67	16.33	
PESO DEL SUELO SECO	8.10	5.65	
% DE HUMEDAD	17.90	18.76	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 52. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23
TARRO + SUELO SECO	44.15	45.65	39.74
AGUA	5.93	5.02	5.49
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	27.45	22.25	23.74
% DE HUMEDAD	21.60	22.56	23.13
N° DE GOLPES	30	22	15
LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	25.56	31.30	
TARRO + SUELO SECO	23.95	29.05	
AGUA	1.61	2.25	
PESO DEL TARRO	14.72	16.52	
PESO DEL SUELO SECO	9.23	12.53	
% DE HUMEDAD	17.44	17.96	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23
TARRO + SUELO SECO	44.05	45.35	39.14
AGUA	6.03	5.32	6.09
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	27.35	21.95	23.14
% DE HUMEDAD	22.05	24.24	26.32
N° DE GOLPES	34	24	15
LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.30	25.56	
TARRO + SUELO SECO	29.05	23.95	
AGUA	2.25	1.61	
PESO DEL TARRO	16.52	14.72	
PESO DEL SUELO SECO	12.53	9.23	
% DE HUMEDAD	17.96	17.44	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 54. Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.82	40.19	43.79
TARRO + SUELO SECO	36.37	35.49	38.24
AGUA	4.45	4.70	5.55
PESO DEL TARRO	15.73	15.80	16.15
PESO DEL SUELO SECO	20.64	19.69	22.09
% DE HUMEDAD	21.56	23.87	25.12
N° DE GOLPES	33	23	16
LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.24	24.41	
TARRO + SUELO SECO	22.91	23.17	
AGUA	1.33	1.24	
PESO DEL TARRO	15.99	16.72	
PESO DEL SUELO SECO	6.92	6.45	
% DE HUMEDAD	19.22	19.22	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55. Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	53.14	52.40
TARRO + SUELO SECO	44.02	47.35	45.06
AGUA	6.06	5.79	7.34
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	16.98
PESO DEL SUELO SECO	27.37	23.97	28.08
% DE HUMEDAD	22.14	24.16	26.14
N° DE GOLPES	33	24	17
LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.38	31.77	
TARRO + SUELO SECO	26.55	29.19	
AGUA	1.83	2.58	
PESO DEL TARRO	16.50	14.68	
PESO DEL SUELO SECO	10.05	14.51	
% DE HUMEDAD	18.21	17.78	

Fuente: Elaboración Propia

- **Muestra 2**



Tabla 56. Datos del suelo arcilloso natural

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.54	50.87	49.05
TARRO + SUELO SECO	39.81	44.17	40.81
AGUA	6.73	6.70	8.24
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	15.98
PESO DEL SUELO SECO	23.16	20.79	24.83
% DE HUMEDAD	29.06	32.23	33.19
N° DE GOLPES	33	26	16

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.22	23.04	
TARRO + SUELO SECO	22.77	21.98	
AGUA	1.45	1.06	
PESO DEL TARRO	14.67	16.33	
PESO DEL SUELO SECO	8.10	5.65	
% DE HUMEDAD	17.90	18.76	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.87	45.23
TARRO + SUELO SECO	43.15	44.65	38.39
AGUA	6.93	6.02	6.84
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	26.45	21.25	22.39
% DE HUMEDAD	26.20	28.33	30.55
N° DE GOLPES	30	22	15

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	25.56	31.30	
TARRO + SUELO SECO	23.75	28.75	
AGUA	1.81	2.55	
PESO DEL TARRO	14.72	16.52	
PESO DEL SUELO SECO	9.03	12.23	
% DE HUMEDAD	20.04	20.85	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal



LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23
TARRO + SUELO SECO	43.45	44.85	38.64
AGUA	6.63	5.82	6.59
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	26.75	21.45	22.64
% DE HUMEDAD	24.79	27.13	29.11
N° DE GOLPES	34	24	15

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.30	25.56	
TARRO + SUELO SECO	28.93	23.84	
AGUA	2.37	1.72	
PESO DEL TARRO	16.52	14.72	
PESO DEL SUELO SECO	12.41	9.12	
% DE HUMEDAD	19.10	18.86	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59. Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.82	40.19	43.79
TARRO + SUELO SECO	36.17	35.29	38.04
AGUA	4.65	4.90	5.75
PESO DEL TARRO	15.73	15.80	16.15
PESO DEL SUELO SECO	20.44	19.49	21.89
% DE HUMEDAD	22.75	25.14	26.27
N° DE GOLPES	33	23	16

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.24	24.41	
TARRO + SUELO SECO	22.90	23.16	
AGUA	1.34	1.25	
PESO DEL TARRO	15.99	16.72	
PESO DEL SUELO SECO	6.91	6.44	
% DE HUMEDAD	19.39	19.41	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 60. Datos del suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	53.14	52.40
TARRO + SUELO SECO	43.82	47.35	45.02
AGUA	6.26	5.79	7.38
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	16.98
PESO DEL SUELO SECO	27.17	23.97	28.04
% DE HUMEDAD	23.04	24.16	26.32
N° DE GOLPES	33	24	17

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	33.55	31.77	
TARRO + SUELO SECO	30.84	29.07	
AGUA	2.71	2.70	
PESO DEL TARRO	16.50	14.68	
PESO DEL SUELO SECO	14.34	14.39	
% DE HUMEDAD	18.90	18.76	

Fuente: Elaboración Propia

- Muestra 3

Tabla 61. Datos del suelo arcilloso natural

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.54	50.87	49.05
TARRO + SUELO SECO	40.11	44.47	41.17
AGUA	6.43	6.40	7.88
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	15.98
PESO DEL SUELO SECO	23.46	21.09	25.19
% DE HUMEDAD	27.41	30.35	31.28
N° DE GOLPES	33	26	16

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.22	23.04	
TARRO + SUELO SECO	22.77	21.98	
AGUA	1.45	1.06	
PESO DEL TARRO	14.67	16.33	
PESO DEL SUELO SECO	8.10	5.65	
% DE HUMEDAD	17.90	18.76	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 62. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23	
TARRO + SUELO SECO	43.65	44.95	38.49	
AGUA	6.43	5.72	6.74	
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00	
PESO DEL SUELO SECO	26.95	21.55	22.49	
% DE HUMEDAD	23.86	26.54	29.97	
N° DE GOLPES	30	22	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	25.56	31.30		
TARRO + SUELO SECO	23.75	28.75		
AGUA	1.81	2.55		
PESO DEL TARRO	14.72	16.52		
PESO DEL SUELO SECO	9.03	12.23		
% DE HUMEDAD	20.04	20.85		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 63. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23	
TARRO + SUELO SECO	43.75	45.15	38.84	
AGUA	6.33	5.52	6.39	
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00	
PESO DEL SUELO SECO	27.05	21.75	22.84	
% DE HUMEDAD	23.40	25.38	27.98	
N° DE GOLPES	34	24	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.30	25.56		
TARRO + SUELO SECO	28.95	23.85		
AGUA	2.35	1.71		
PESO DEL TARRO	16.52	14.72		
PESO DEL SUELO SECO	12.43	9.13		
% DE HUMEDAD	18.91	18.73		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 64. Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.82	40.19	43.79	
TARRO + SUELO SECO	36.27	35.39	38.14	
AGUA	4.55	4.80	5.65	
PESO DEL TARRO	15.73	15.80	16.15	
PESO DEL SUELO SECO	20.54	19.59	21.99	
% DE HUMEDAD	22.15	24.50	25.69	
N° DE GOLPES	33	23	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.24	24.41		
TARRO + SUELO SECO	22.91	23.17		
AGUA	1.33	1.24		
PESO DEL TARRO	15.99	16.72		
PESO DEL SUELO SECO	6.92	6.45		
% DE HUMEDAD	19.22	19.22		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65. Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	53.14	52.40	
TARRO + SUELO SECO	43.82	47.15	44.86	
AGUA	6.28	5.99	7.54	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	16.98	
PESO DEL SUELO SECO	27.17	23.77	27.88	
% DE HUMEDAD	23.04	25.20	27.04	
N° DE GOLPES	33	24	17	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.38	31.77		
TARRO + SUELO SECO	26.45	29.09		
AGUA	1.93	2.88		
PESO DEL TARRO	16.50	14.68		
PESO DEL SUELO SECO	9.95	14.41		
% DE HUMEDAD	19.40	18.60		

Fuente: Elaboración Propia



• Muestra 4

Tabla 66. Datos del suelo arcilloso natural

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.54	50.87	49.05	
TARRO + SUELO SECO	40.11	44.47	41.17	
AGUA	6.43	6.40	7.88	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	15.98	
PESO DEL SUELO SECO	23.46	21.09	25.19	
% DE HUMEDAD	27.41	30.35	31.28	
N° DE GOLPES	33	26	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.22	23.04		
TARRO + SUELO SECO	22.76	21.97		
AGUA	1.46	1.07		
PESO DEL TARRO	14.67	16.33		
PESO DEL SUELO SECO	8.09	5.64		
% DE HUMEDAD	18.05	18.97		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23	
TARRO + SUELO SECO	43.65	44.95	38.49	
AGUA	6.43	5.72	6.74	
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00	
PESO DEL SUELO SECO	26.95	21.55	22.49	
% DE HUMEDAD	23.86	26.54	29.97	
N° DE GOLPES	30	22	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	25.56	31.30		
TARRO + SUELO SECO	23.74	28.76		
AGUA	1.82	2.54		
PESO DEL TARRO	14.72	16.52		
PESO DEL SUELO SECO	9.02	12.24		
% DE HUMEDAD	20.18	20.75		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 68. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23	
TARRO + SUELO SECO	43.75	45.15	38.84	
AGUA	6.33	5.52	6.39	
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00	
PESO DEL SUELO SECO	27.05	21.75	22.84	
% DE HUMEDAD	23.40	25.38	27.98	
N° DE GOLPES	34	24	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.30	25.56		
TARRO + SUELO SECO	28.94	23.84		
AGUA	2.36	1.72		
PESO DEL TARRO	16.52	14.72		
PESO DEL SUELO SECO	12.42	9.12		
% DE HUMEDAD	19.00	18.86		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69. Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.82	40.19	43.79	
TARRO + SUELO SECO	36.27	35.39	38.14	
AGUA	4.55	4.80	5.65	
PESO DEL TARRO	15.73	15.80	16.15	
PESO DEL SUELO SECO	20.54	19.59	21.99	
% DE HUMEDAD	22.15	24.50	25.69	
N° DE GOLPES	33	23	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.24	24.41		
TARRO + SUELO SECO	22.94	23.16		
AGUA	1.30	1.25		
PESO DEL TARRO	15.99	16.72		
PESO DEL SUELO SECO	6.95	6.44		
% DE HUMEDAD	18.71	19.41		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 70. Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	53.14	52.40	
TARRO + SUELO SECO	43.82	47.15	44.86	
AGUA	6.26	5.99	7.54	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	16.98	
PESO DEL SUELO SECO	27.17	23.77	27.88	
% DE HUMEDAD	23.04	25.20	27.04	
N° DE GOLPES	33	24	17	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.38	31.77		
TARRO + SUELO SECO	26.46	29.10		
AGUA	1.92	2.67		
PESO DEL TARRO	16.50	14.68		
PESO DEL SUELO SECO	9.96	14.42		
% DE HUMEDAD	19.28	18.52		

Fuente: Elaboración Propia

- Muestra 5

Tabla 71. Datos del suelo arcilloso natural

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.54	50.87	49.05	
TARRO + SUELO SECO	40.01	44.37	41.07	
AGUA	6.53	6.50	7.98	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	15.98	
PESO DEL SUELO SECO	23.36	20.99	25.09	
% DE HUMEDAD	27.95	30.97	31.81	
N° DE GOLPES	33	26	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.22	23.04		
TARRO + SUELO SECO	22.77	21.98		
AGUA	1.45	1.06		
PESO DEL TARRO	14.67	16.33		
PESO DEL SUELO SECO	8.10	5.65		
% DE HUMEDAD	17.90	18.76		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 72. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23
TARRO + SUELO SECO	43.55	44.85	38.39
AGUA	6.53	5.82	6.84
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	26.85	21.45	22.39
% DE HUMEDAD	24.32	27.13	30.55
N° DE GOLPES	30	22	15

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	25.56	31.30	
TARRO + SUELO SECO	23.75	28.75	
AGUA	1.81	2.55	
PESO DEL TARRO	14.72	16.52	
PESO DEL SUELO SECO	9.03	12.23	
% DE HUMEDAD	20.04	20.85	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 73. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	7	11	13
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23
TARRO + SUELO SECO	43.65	45.05	38.74
AGUA	6.43	5.62	6.49
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00
PESO DEL SUELO SECO	26.95	21.65	22.74
% DE HUMEDAD	23.86	25.96	28.54
N° DE GOLPES	34	24	15

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	2	10	
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.30	25.56	
TARRO + SUELO SECO	28.95	23.85	
AGUA	2.35	1.71	
PESO DEL TARRO	16.52	14.72	
PESO DEL SUELO SECO	12.43	9.13	
% DE HUMEDAD	18.91	18.73	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 74. Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal



LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.82	40.19	43.79	
TARRO + SUELO SECO	36.17	35.29	38.04	
AGUA	4.65	4.90	5.75	
PESO DEL TARRO	15.73	15.80	16.15	
PESO DEL SUELO SECO	20.44	19.49	21.89	
% DE HUMEDAD	22.75	25.14	26.27	
N° DE GOLPES	33	23	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.24	24.41		
TARRO + SUELO SECO	22.91	23.17		
AGUA	1.33	1.24		
PESO DEL TARRO	15.99	16.72		
PESO DEL SUELO SECO	6.92	6.45		
% DE HUMEDAD	19.22	19.22		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 75. Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	53.14	52.40	
TARRO + SUELO SECO	43.72	47.05	44.76	
AGUA	6.36	6.09	7.64	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	16.98	
PESO DEL SUELO SECO	27.07	23.67	27.78	
% DE HUMEDAD	23.49	25.73	27.50	
N° DE GOLPES	33	24	17	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.38	31.77		
TARRO + SUELO SECO	26.44	29.08		
AGUA	1.94	2.69		
PESO DEL TARRO	16.50	14.68		
PESO DEL SUELO SECO	9.94	14.40		
% DE HUMEDAD	19.52	18.68		

Fuente: Elaboración Propia



- Muestra 6

Tabla 76. Datos del suelo arcilloso natural

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.54	50.87	49.05	
TARRO + SUELO SECO	40.01	44.37	41.07	
AGUA	6.53	6.50	7.98	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	15.98	
PESO DEL SUELO SECO	23.36	20.99	25.09	
% DE HUMEDAD	27.95	30.97	31.81	
N° DE GOLPES	33	26	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.22	23.04		
TARRO + SUELO SECO	22.74	21.93		
AGUA	1.48	1.11		
PESO DEL TARRO	14.67	16.33		
PESO DEL SUELO SECO	8.07	5.60		
% DE HUMEDAD	18.34	19.82		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 77. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23	
TARRO + SUELO SECO	43.65	44.95	38.48	
AGUA	6.43	5.72	6.75	
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00	
PESO DEL SUELO SECO	26.95	21.55	22.48	
% DE HUMEDAD	23.86	26.54	30.03	
N° DE GOLPES	30	22	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	25.56	31.30		
TARRO + SUELO SECO	23.72	28.72		
AGUA	1.84	2.58		
PESO DEL TARRO	14.72	16.52		
PESO DEL SUELO SECO	9.00	12.20		
% DE HUMEDAD	20.44	21.15		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 78. Datos del suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	50.67	45.23	
TARRO + SUELO SECO	43.65	45.05	38.74	
AGUA	6.43	5.62	6.49	
PESO DEL TARRO	16.70	23.40	16.00	
PESO DEL SUELO SECO	26.95	21.65	22.74	
% DE HUMEDAD	23.86	25.96	28.54	
N° DE GOLPES	34	24	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	31.30	25.56		
TARRO + SUELO SECO	28.93	23.83		
AGUA	2.37	1.73		
PESO DEL TARRO	16.52	14.72		
PESO DEL SUELO SECO	12.41	9.11		
% DE HUMEDAD	19.10	18.99		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 79. Datos del suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	40.82	40.19	43.79	
TARRO + SUELO SECO	36.17	35.29	38.04	
AGUA	4.65	4.90	5.75	
PESO DEL TARRO	15.73	15.80	16.15	
PESO DEL SUELO SECO	20.44	19.49	21.89	
% DE HUMEDAD	22.75	25.14	26.27	
N° DE GOLPES	33	23	16	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	24.24	24.41		
TARRO + SUELO SECO	22.81	23.06		
AGUA	1.43	1.35		
PESO DEL TARRO	15.99	16.72		
PESO DEL SUELO SECO	6.82	6.34		
% DE HUMEDAD	20.97	21.29		

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 80. Datos de suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	7	11	13	
TARRO + SUELO HÚMEDO	50.08	53.14	52.40	
TARRO + SUELO SECO	43.72	47.10	44.82	
AGUA	6.36	6.04	7.58	
PESO DEL TARRO	16.65	23.38	16.98	
PESO DEL SUELO SECO	27.07	23.72	27.84	
% DE HUMEDAD	23.49	25.46	27.23	
N° DE GOLPES	33	24	17	

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)				
N° TARRO	2	10		
TARRO + SUELO HÚMEDO	28.38	31.77		
TARRO + SUELO SECO	26.40	29.01		
AGUA	1.98	2.76		
PESO DEL TARRO	16.50	14.68		
PESO DEL SUELO SECO	9.90	14.33		
% DE HUMEDAD	20.00	19.26		

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.5. Proctor modificado

a) Equipos

- Molde Proctor de 6“+ collarín.
- Pisón o martillo Proctor Modificado.
- Enrasador de metal.
- Martillo de goma.
- Balanza.
- Bandejas.
- Bowl.
- Malla N°4.
- Probeta plástica.
- Cucharón.
- Brocha.



Figura 29. Equipos para ensayo de Proctor Modificado

b) Procedimiento:

Para el presente ensayo se necesitó alrededor de 6 kg de material por cada molde usar. Una vez pesada la muestra se procedió a triturarla con ayuda del martillo de goma.



Figura 30. Trituración del material

Para este ensayo se agrega agua de manera progresiva, comenzando con el 2% o el 4% de agua con respecto al peso de la muestra a ensayar, luego de esto se separa la muestra en 5 partes

iguales dentro de la bandeja y se toma una muestra representativa para determinar el contenido de humedad exacto en ese momento.



Figura 31. *Mezcla del material con el agua a diferentes porcentajes*

Los moldes a usar y el pisón o martillo deben estar debidamente limpios y untados con petróleo a fin de hacer más fácil retirar la muestra compactada del molde, una vez teniendo preparados los equipos procedemos a echar una de las 5 partes del material separado dentro del molde proctor y comenzamos a dar golpes con el martillo dejándolo caer 56 veces de manera horaria y luego anti horaria dentro del molde proctor. Se repite el procedimiento por 5 veces y al finalizar quitamos el collarín y enrazamos la muestra en el molde con ayuda del enrazador metálico, en caso faltase material para enrazar se utiliza el material excedente en el collarín pasado previamente por el tamiz N°4. Al finalizar pesamos dicho molde con la muestra compactada y la base del molde, cabe mencionar que también debemos tener pesado el molde y la base del mismo para los cálculos correspondientes.

Este proceso se realiza hasta notar una disminución del peso de material compactado, esto puede ser, de acuerdo a la experiencia notada en laboratorio, luego de 4 a 6 veces de haber realizado el ensayo.



Figura 32. Compactado del molde Proctor

El proceso descrito se sigue exactamente igual para las muestras con aditivo con la ligera diferencia de que antes de agregar el agua procedemos a adicionar el Óxido de Calcio (Ca) o el Cloruro de Sodio (Sal de Maras) según sea el caso con la dosificación adecuada con referencia al peso del material (arcilla) a usar.



Figura 33. Mezcla del material con los aditivos a diferentes porcentajes



Figura 34. Mezcla del material con los aditivos a diferentes porcentajes

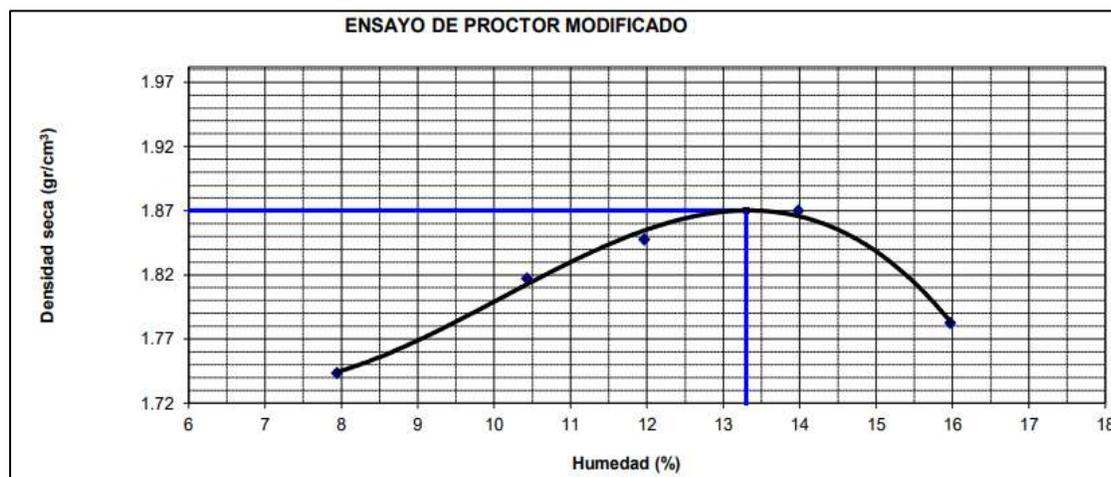


c) Datos obtenidos

• Muestra 1

Tabla 81. Suelo arcilloso natural

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10742	11008	11140	11274	11069
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	4019	4285	4417	4551	4346
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2100
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.884	2.009	2.071	2.134	2.070
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	403.00	337.00	366.00	422.00	438.00
Tara + suelo seco (gr.)	381.00	315.00	338.00	383.00	392.00
Peso de agua (gr.)	22.00	22.00	28.00	39.00	46.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	277.00	211.00	234.00	279.00	288.00
Humedad (%)	7.9	10.4	12.0	14.0	16.0
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.746	1.819	1.849	1.872	1.784



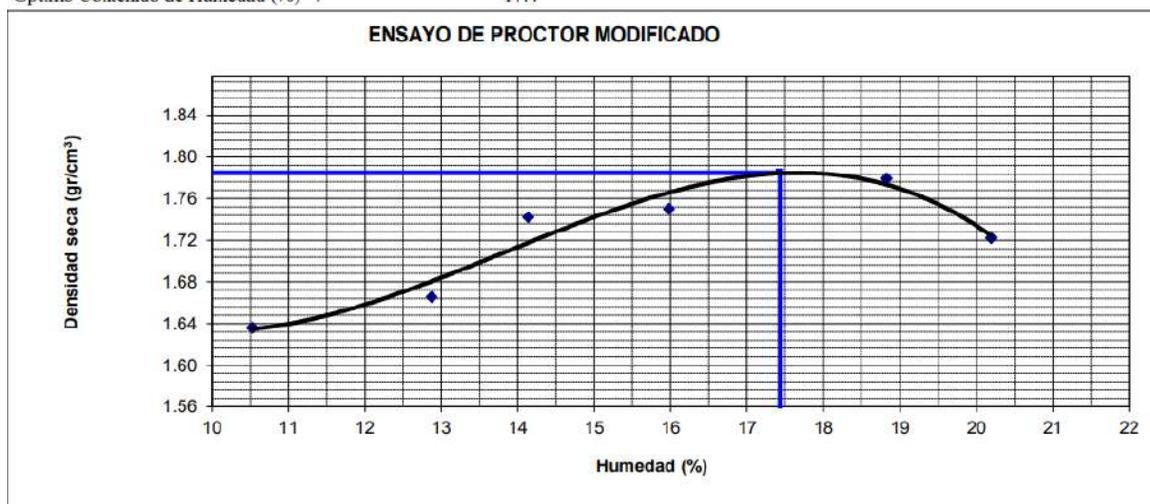
Fuente: Elaboración propia



Tabla 82. Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

Compactación						
Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Número de capas	5	5	5	5		
Número de golpes	56	56	56	56		
Peso suelo + molde (gr.)	10590	10743	10974	11063	11244	11149
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3867	4020	4251	4340	4521	4426
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.813	1.885	1.993	2.035	2.120	2.075
Humedad (%)						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo húmedo (gr.)	392.00	368.00	358.00	365.00	424.00	390.00
Tara + suelo seco (gr.)	368.00	342.00	331.00	334.00	379.00	348.00
Peso de agua (gr.)	24.00	26.00	27.00	31.00	45.00	42.00
Peso de tara (gr.)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
Peso de suelo seco (gr.)	228.00	202.00	191.00	194.00	239.00	208.00
Humedad (%)	10.5	12.9	14.1	16.0	18.8	20.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.640	1.670	1.746	1.754	1.784	1.726

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.789
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 17.4



Fuente: Elaboración propia



Tabla 83. Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10510	10648	10943	10715
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4131	4269	4564	4336
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.946	2.011	2.150	2.042
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	334.00	362.00	430.00	435.00
Tara + suelo seco (gr.)	316.00	341.00	397.00	395.00
Peso de agua (gr.)	18.00	21.00	33.00	40.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	212.00	237.00	293.00	291.00
Humedad (%)	8.5	8.9	11.3	13.7
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.794	1.847	1.932	1.796
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.944			
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	10.8			

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

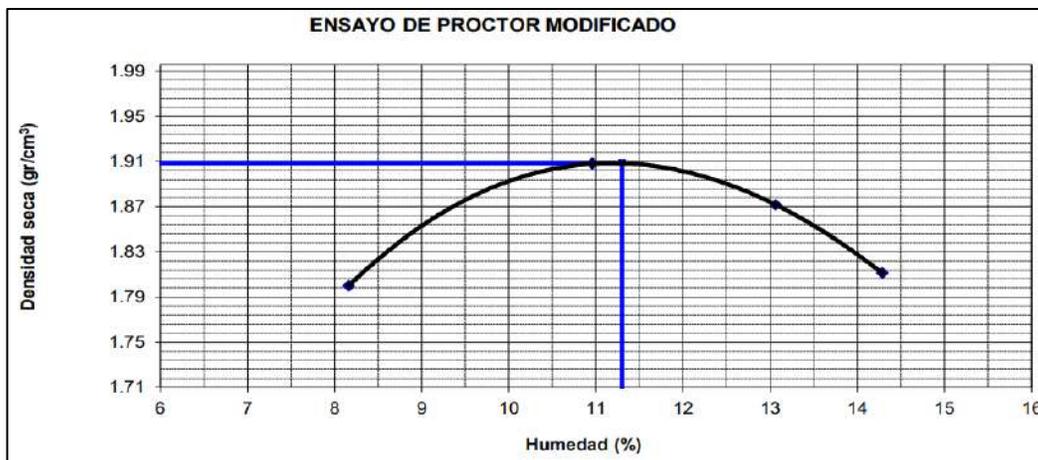
Densidad seca (gr/cm³)

Humedad (%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

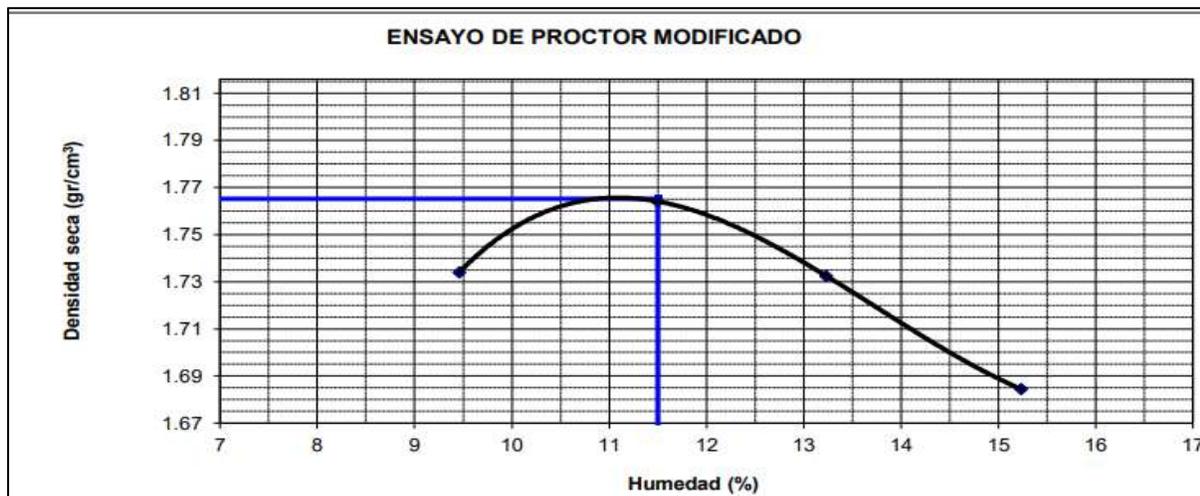
Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10509	10870	10868	10770
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4130	4491	4489	4391
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.945	2.115	2.114	2.068
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	316.00	347.00	355.00	376.00
Tara + suelo seco (gr.)	300.00	323.00	326.00	342.00
Peso de agua (gr.)	16.00	24.00	29.00	34.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	196.00	219.00	222.00	238.00
Humedad (%)	8.2	11.0	13.1	14.3
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.799	1.906	1.870	1.810
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.907			
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	11.3			



Fuente: Elaboración propia

Tabla 85. Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	
Peso suelo + molde (gr.)	10748	10894	10883	10839	
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	
Peso suelo compactado (gr.)	4025	4171	4160	4116	
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.896	1.965	1.959	1.939	
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	347.00	395.00	395.00	520.00	
Tara + suelo seco (gr.)	326.00	365.00	361.00	465.00	
Peso de agua (gr.)	21.00	30.00	34.00	55.00	
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	
Peso de suelo seco (gr.)	222.00	261.00	257.00	361.00	
Humedad (%)	9.5	11.5	13.2	15.2	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.732	1.762	1.731	1.682	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.763				
Optimo Contenido de Humedad (%) :	11.5				



Fuente: Elaboración propia



- Muestra 2

Tabla 86. Suelo arcilloso natural

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10747	11102	11385	11269	11058
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	4024	4379	4662	4546	4335
Volumen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2100
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.887	2.053	2.186	2.131	2.064
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	403.00	337.00	366.00	422.00	438.00
Tara + suelo seco (gr.)	381.00	315.00	338.00	383.00	392.00
Peso de agua (gr.)	22.00	22.00	28.00	39.00	46.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	277.00	211.00	234.00	279.00	288.00
Humedad (%)	7.9	10.4	12.0	14.0	16.0
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.748	1.859	1.952	1.870	1.780
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.918				
Optimo Contenido de Humedad (%) :	12.60				

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

The graph plots Dry Density (gr/cm³) on the y-axis (ranging from 1.72 to 1.97) against Moisture Content (%) on the x-axis (ranging from 6 to 18). A smooth curve is drawn through the data points, with a vertical line indicating the maximum dry density at 12.60% moisture content.

Moisture Content (%)	Dry Density (gr/cm ³)
7.9	1.748
10.4	1.859
12.0	1.952
14.0	1.870
16.0	1.780



Tabla 87. Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	
Peso suelo + molde (gr.)	10292	10711	10997	11393	11115
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3569	3988	4274	4670	4392
Volumen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.673	1.870	2.004	2.189	2.059
Humedad (%)					
Tara N°	1	2	3	4	5
Tara + suelo húmedo (gr.)	392.00	368.00	358.00	365.00	424.00
Tara + suelo seco (gr.)	368.00	342.00	331.00	334.00	379.00
Peso de agua (gr.)	24.00	26.00	27.00	31.00	45.00
Peso de tara (gr.)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
Peso de suelo seco (gr.)	228.00	202.00	191.00	194.00	239.00
Humedad (%)	10.5	12.9	14.1	16.0	18.8
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.514	1.656	1.756	1.888	1.733

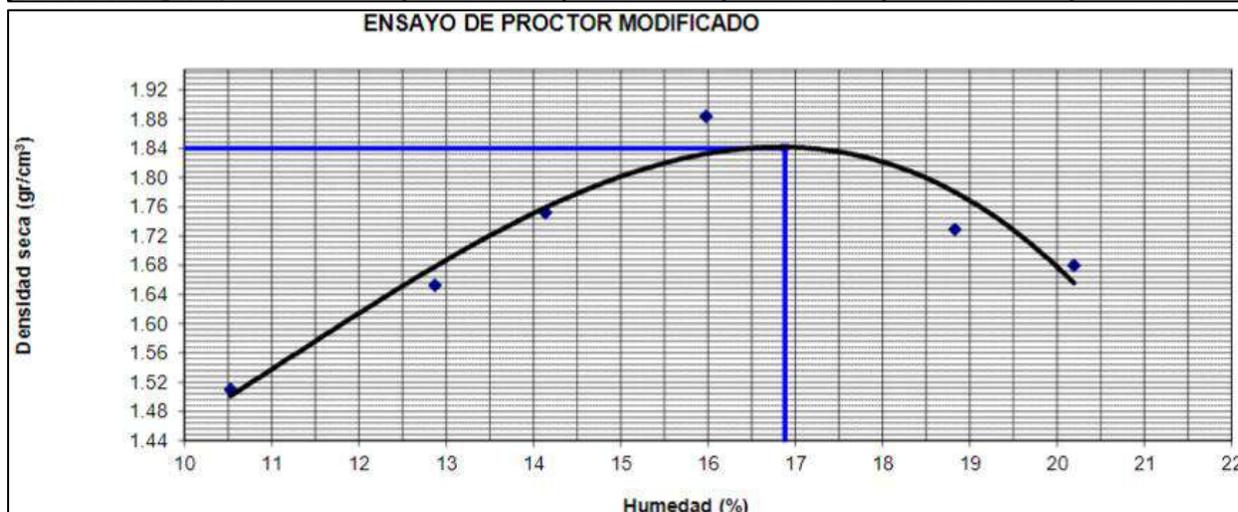




Tabla 88. Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10410	10578	11072	10600
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4031	4199	4693	4221
Volumen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.899	1.978	2.211	1.988
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	334.00	362.00	430.00	435.00
Tara + suelo seco (gr.)	316.00	341.00	397.00	395.00
Peso de agua (gr.)	18.00	21.00	33.00	40.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	212.00	237.00	293.00	291.00
Humedad (%)	8.5	8.9	11.3	13.7
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.750	1.817	1.987	1.748

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.989
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.2

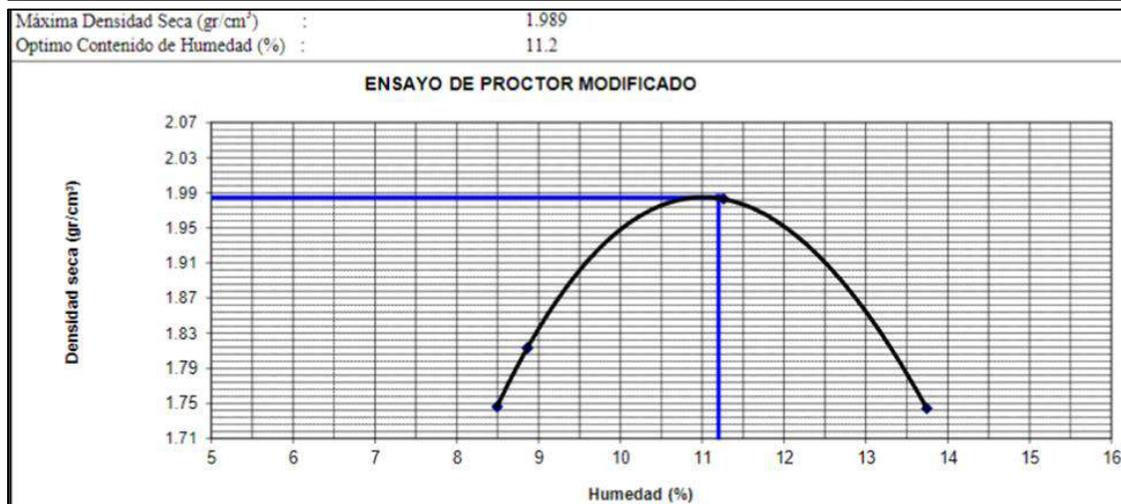




Tabla 89. Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10429	10998	11002	10803
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4050	4619	4623	4424
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.908	2.176	2.178	2.084

Humedad (%)

Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	316.00	347.00	355.00	376.00
Tara + suelo seco (gr.)	300.00	323.00	326.00	341.00
Peso de agua (gr.)	16.00	24.00	29.00	35.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	196.00	219.00	222.00	237.00
Humedad (%)	8.2	11.0	13.1	14.8
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.764	1.961	1.926	1.816

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.964

Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.4

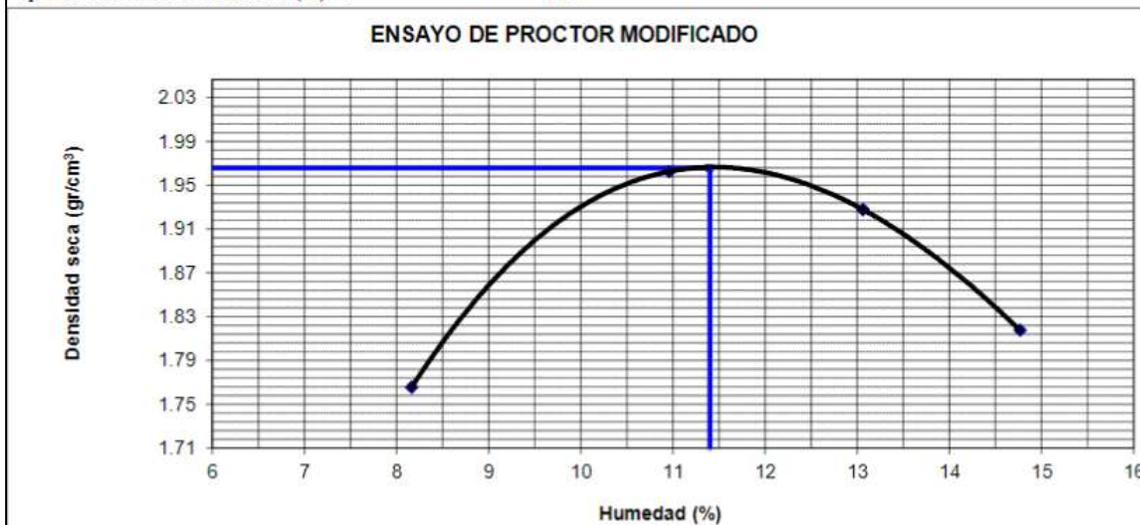




Tabla 90. Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

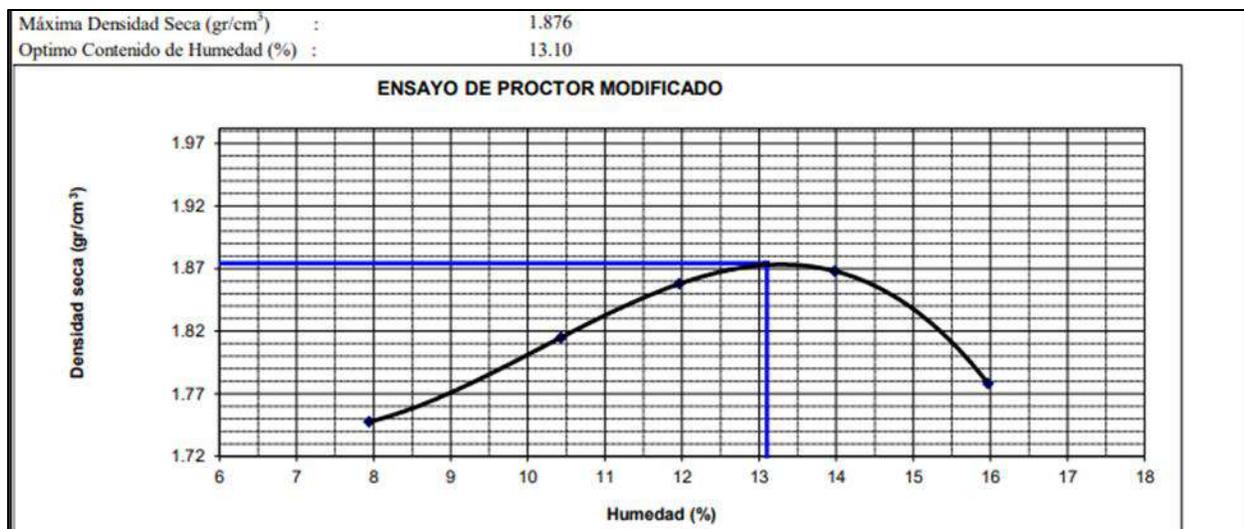
Prueba N°	1	2	3	4											
Número de capas	5	5	5	5											
Número de golpes	56	56	56	56											
Peso suelo + molde (gr.)	10621	10894	10989	10802											
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723											
Peso suelo compactado (gr.)	3898	4171	4266	4079											
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123											
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.836	1.965	2.009	1.921											
Humedad (%)															
Tara N°															
Tara + suelo húmedo (gr.)	347.00	395.00	395.00	520.00											
Tara + suelo seco (gr.)	326.00	365.00	361.00	464.00											
Peso de agua (gr.)	21.00	30.00	34.00	56.00											
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00											
Peso de suelo seco (gr.)	222.00	261.00	257.00	360.00											
Humedad (%)	9.5	11.5	13.2	15.6											
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.677	1.762	1.775	1.663											
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.778														
Optimo Contenido de Humedad (%) :	12.9														
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO															
<p>The graph shows the relationship between dry density and moisture content for a clayey soil with 14% salt. The x-axis represents moisture content (%) from 7 to 17, and the y-axis represents dry density (gr/cm³) from 1.66 to 1.80. A smooth curve is plotted through four data points. A vertical blue line marks the optimum moisture content at 12.9%, and a horizontal blue line marks the maximum dry density at 1.778 gr/cm³.</p> <table border="1"> <caption>Data points from the Modified Proctor test graph</caption> <thead> <tr> <th>Humedad (%)</th> <th>Densidad seca (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.5</td> <td>1.677</td> </tr> <tr> <td>11.5</td> <td>1.762</td> </tr> <tr> <td>12.9</td> <td>1.778</td> </tr> <tr> <td>15.6</td> <td>1.663</td> </tr> </tbody> </table>						Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)	9.5	1.677	11.5	1.762	12.9	1.778	15.6	1.663
Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)														
9.5	1.677														
11.5	1.762														
12.9	1.778														
15.6	1.663														



- Muestra 3

Tabla 91. Suelo arcilloso natural

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10751	11002	11165	11269	11058
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	4028	4279	4442	4546	4335
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2100
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.888	2.006	2.083	2.131	2.064
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	403.00	337.00	366.00	422.00	438.00
Tara + suelo seco (gr.)	381.00	315.00	338.00	383.00	392.00
Peso de agua (gr.)	22.00	22.00	28.00	39.00	46.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	277.00	211.00	234.00	279.00	288.00
Humedad (%)	7.9	10.4	12.0	14.0	16.0
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.749	1.817	1.860	1.870	1.780

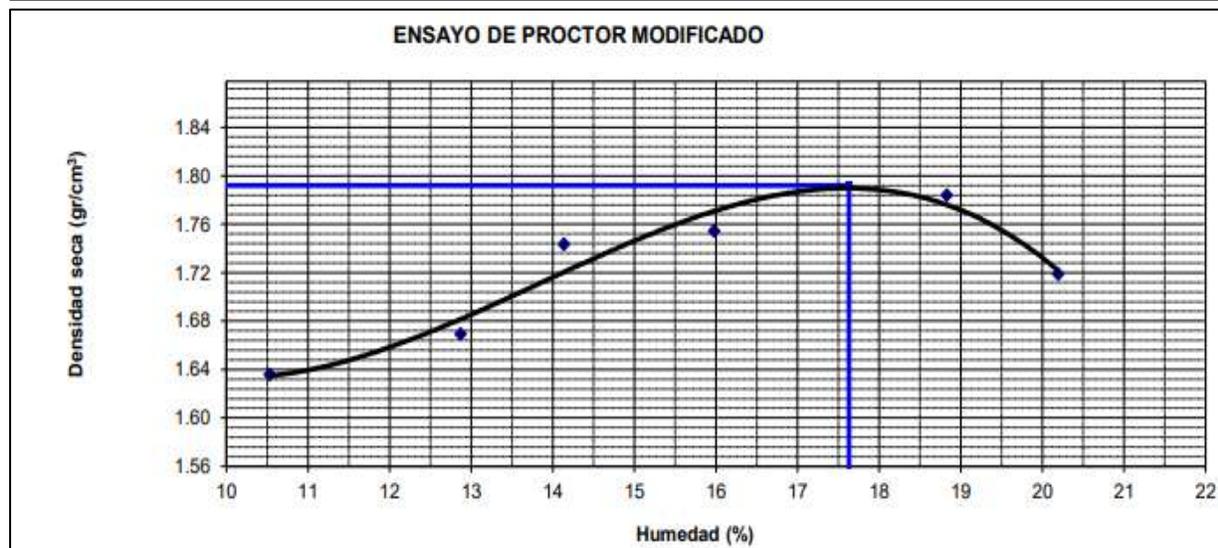


Fuente: Elaboración propia



Tabla 92. Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Número de capas	5	5	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10589	10751	10977	11073	11255	11139
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3866	4028	4254	4350	4532	4416
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.812	1.888	1.994	2.039	2.125	2.070
Humedad (%)						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo húmedo (gr.)	392.00	368.00	358.00	365.00	424.00	390.00
Tara + suelo seco (gr.)	368.00	342.00	331.00	334.00	379.00	348.00
Peso de agua (gr.)	24.00	26.00	27.00	31.00	45.00	42.00
Peso de tara (gr.)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
Peso de suelo seco (gr.)	228.00	202.00	191.00	194.00	239.00	208.00
Humedad (%)	10.5	12.9	14.1	16.0	18.8	20.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.640	1.673	1.747	1.758	1.788	1.723



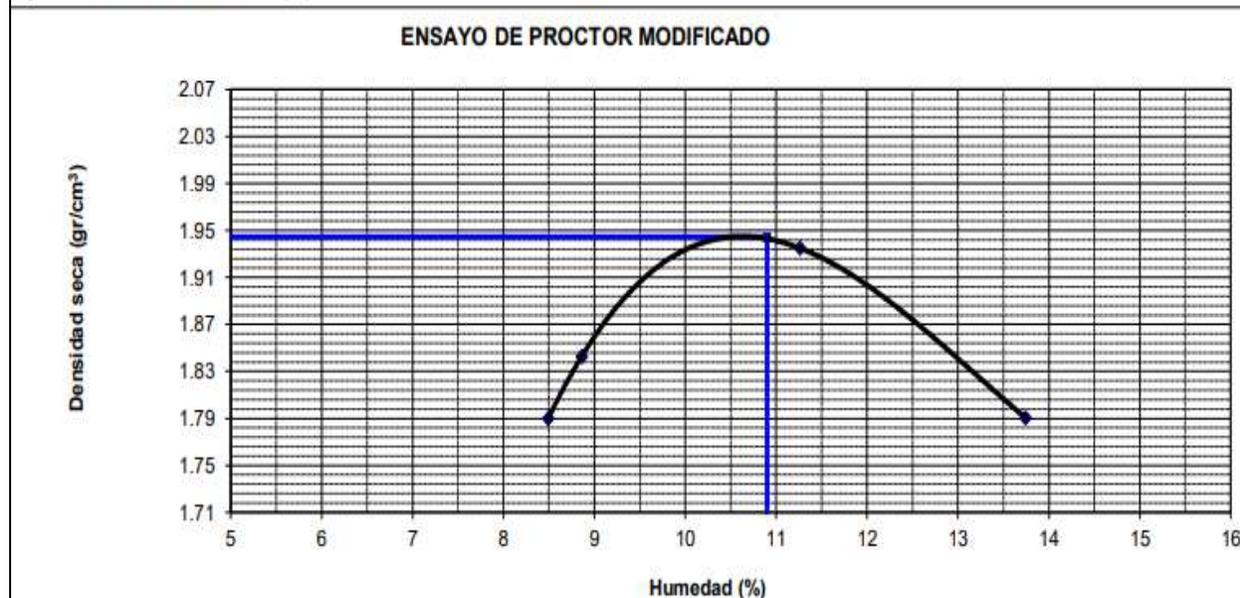
Fuente: Elaboración propia



Tabla 93. Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10510	10647	10959	10712
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4131	4268	4580	4333
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.946	2.010	2.157	2.041
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	334.00	362.00	430.00	435.00
Tara + suelo seco (gr.)	316.00	341.00	397.00	395.00
Peso de agua (gr.)	18.00	21.00	33.00	40.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	212.00	237.00	293.00	291.00
Humedad (%)	8.5	8.9	11.3	13.7
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.794	1.847	1.939	1.794

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.949
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 10.9

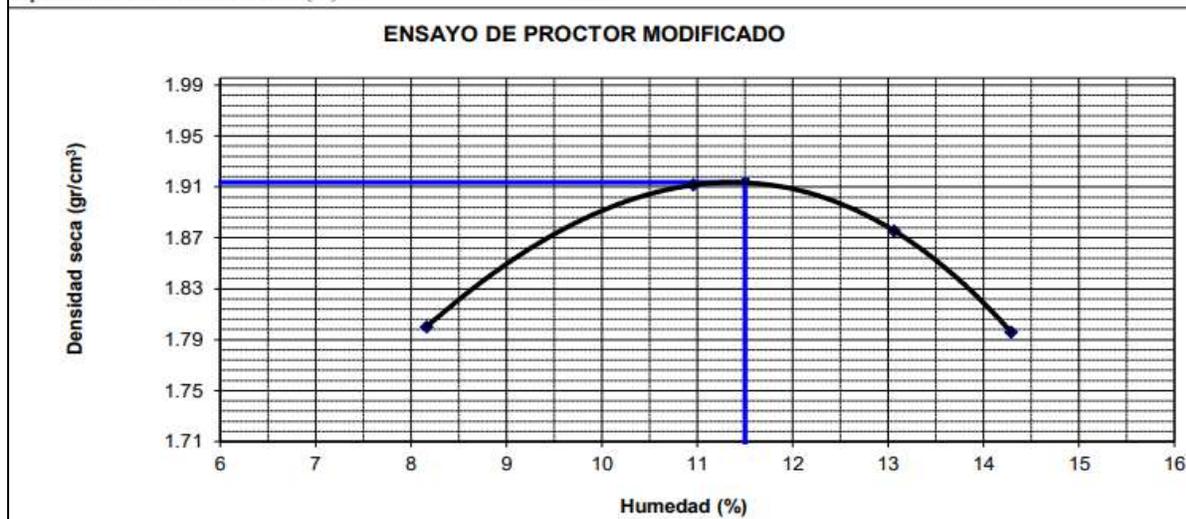


Fuente: Elaboración propia



Tabla 94. Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10509	10878	10877	10733
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4130	4499	4498	4354
Volumen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.945	2.119	2.119	2.051
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	316.00	347.00	355.00	376.00
Tara + suelo seco (gr.)	300.00	323.00	326.00	342.00
Peso de agua (gr.)	16.00	24.00	29.00	34.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	196.00	219.00	222.00	238.00
Humedad (%)	8.2	11.0	13.1	14.3
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.799	1.910	1.874	1.795
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.912			
Optimo Contenido de Humedad (%) :	11.5			



Fuente: Elaboración propia

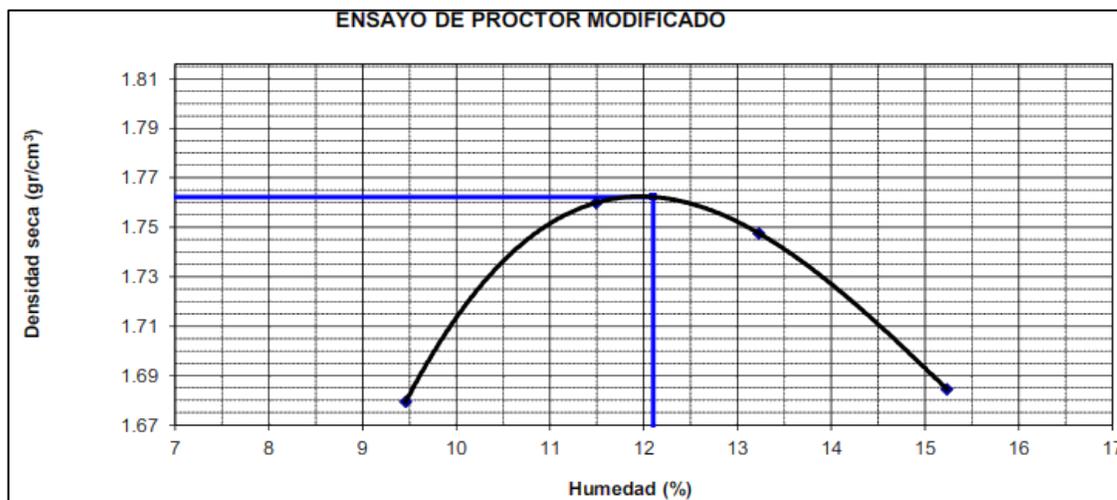


Tabla 95. Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10621	10884	10919	10839
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3898	4161	4196	4116
Volumen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.836	1.960	1.976	1.939

Humedad (%)

Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	347.00	395.00	395.00	520.00
Tara + suelo seco (gr.)	326.00	365.00	361.00	465.00
Peso de agua (gr.)	21.00	30.00	34.00	55.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	222.00	261.00	257.00	361.00
Humedad (%)	9.5	11.5	13.2	15.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.677	1.758	1.746	1.682



Fuente: Elaboración propia

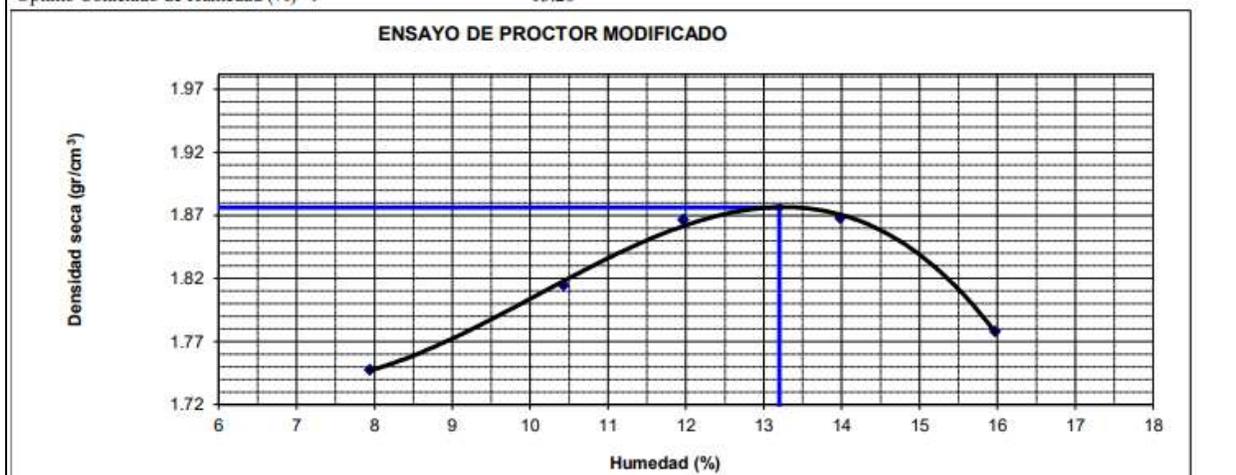


• Muestra 4

Tabla 96. Suelo arcilloso natural

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10751	11002	11185	11269	11058
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	4028	4279	4462	4546	4335
Volumen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2100
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.888	2.006	2.092	2.131	2.064
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	403.00	337.00	366.00	422.00	438.00
Tara + suelo seco (gr.)	381.00	315.00	338.00	383.00	392.00
Peso de agua (gr.)	22.00	22.00	28.00	39.00	46.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	277.00	211.00	234.00	279.00	288.00
Humedad (%)	7.9	10.4	12.0	14.0	16.0
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.749	1.817	1.868	1.870	1.780

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.878
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 13.20



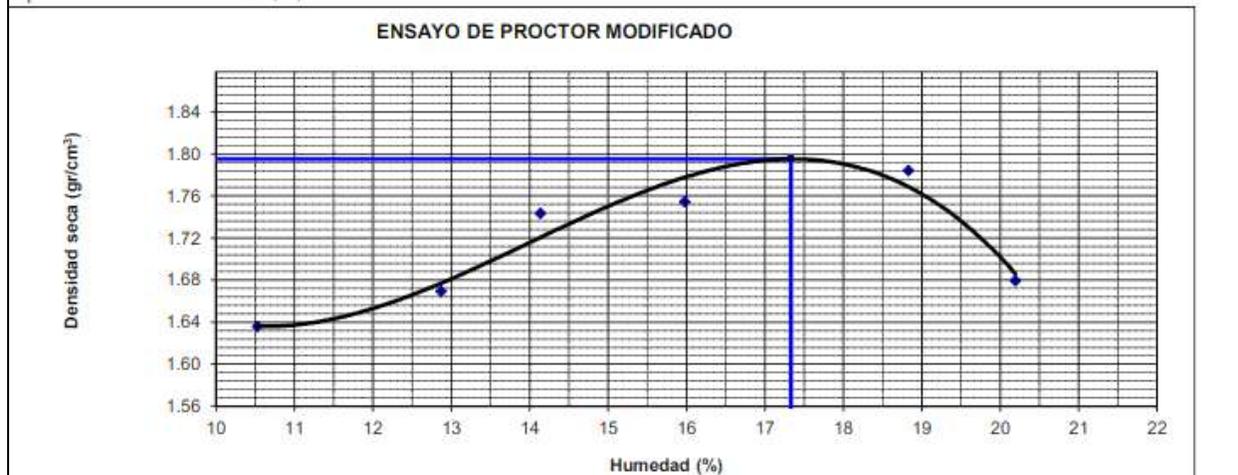
Fuente: Elaboración propia



Tabla 97. Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Número de capas	5	5	5	5		
Número de golpes	56	56	56	56		
Peso suelo + molde (gr.)	10589	10751	10977	11073	11255	11039
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3866	4028	4254	4350	4532	4316
Volumen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.812	1.888	1.994	2.039	2.125	2.023
Humedad (%)						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo húmedo (gr.)	392.00	368.00	358.00	365.00	424.00	390.00
Tara + suelo seco (gr.)	368.00	342.00	331.00	334.00	379.00	348.00
Peso de agua (gr.)	24.00	26.00	27.00	31.00	45.00	42.00
Peso de tara (gr.)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
Peso de suelo seco (gr.)	228.00	202.00	191.00	194.00	239.00	208.00
Humedad (%)	10.5	12.9	14.1	16.0	18.8	20.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.640	1.673	1.747	1.758	1.788	1.684

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.799
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 17.3

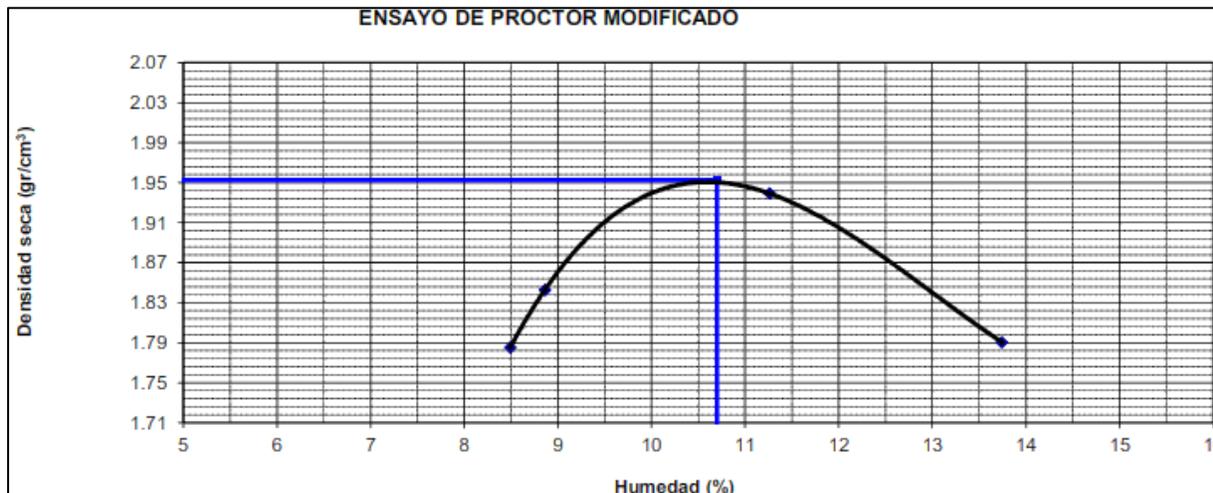


Fuente: Elaboración propia



Tabla 98. Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10500	10647	10969	10712
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4121	4268	4590	4333
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.941	2.010	2.162	2.041
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	334.00	362.00	430.00	435.00
Tara + suelo seco (gr.)	316.00	341.00	397.00	395.00
Peso de agua (gr.)	18.00	21.00	33.00	40.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	212.00	237.00	293.00	291.00
Humedad (%)	8.5	8.9	11.3	13.7
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.789	1.847	1.943	1.794
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.957			
Optimo Contenido de Humedad (%) :	10.7			



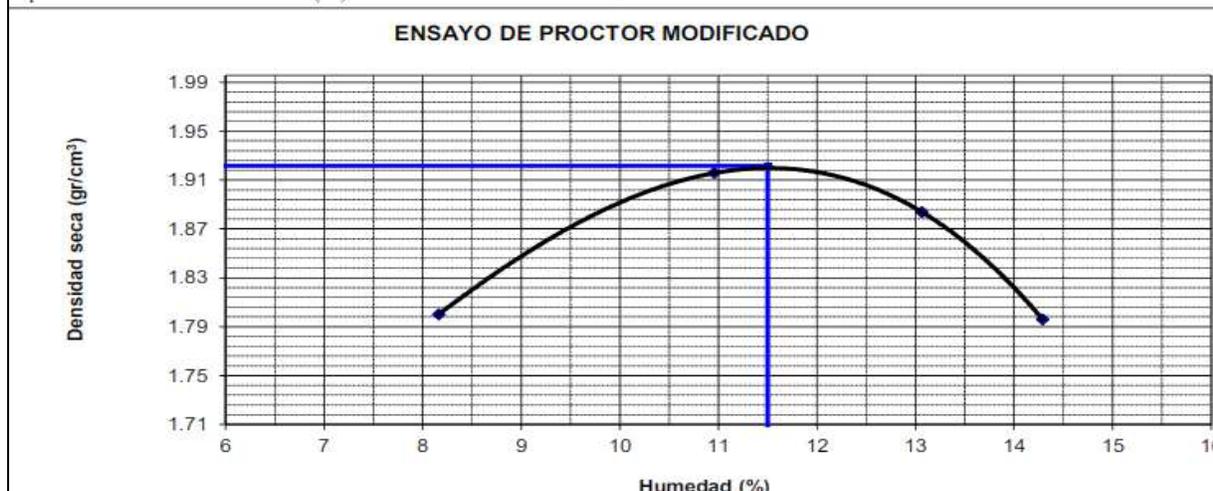
Fuente: Elaboración propia



Tabla 99. Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

Prueba N°		1	2	3	4
Número de capas		5	5	5	5
Número de golpes		56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)		10509	10888	10897	10733
Peso molde (gr.)		6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)		4130	4509	4518	4354
Volúmen del molde (cm ³)		2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)		1.945	2.124	2.128	2.051
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)		316.00	347.00	355.00	376.00
Tara + suelo seco (gr.)		300.00	323.00	326.00	342.00
Peso de agua (gr.)		16.00	24.00	29.00	34.00
Peso de tara (gr.)		104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)		196.00	219.00	222.00	238.00
Humedad (%)		8.2	11.0	13.1	14.3
Densidad Seca (gr/cm ³)		1.799	1.914	1.882	1.795

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.920
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.5



Fuente: Elaboración propia



Tabla 100. Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	
Peso suelo + molde (gr.)	10621	10884	10939	10839	
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	
Peso suelo compactado (gr.)	3898	4161	4216	4116	
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.836	1.960	1.986	1.939	
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	347.00	395.00	395.00	520.00	
Tara + suelo seco (gr.)	326.00	365.00	361.00	465.00	
Peso de agua (gr.)	21.00	30.00	34.00	55.00	
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	
Peso de suelo seco (gr.)	222.00	261.00	257.00	361.00	
Humedad (%)	9.5	11.5	13.2	15.2	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.677	1.758	1.754	1.682	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :			1.764		
Optimo Contenido de Humedad (%) :			12.3		
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
<p>Densidad seca (gr/cm³)</p> <p>Humedad (%)</p>					

Fuente: Elaboración propia



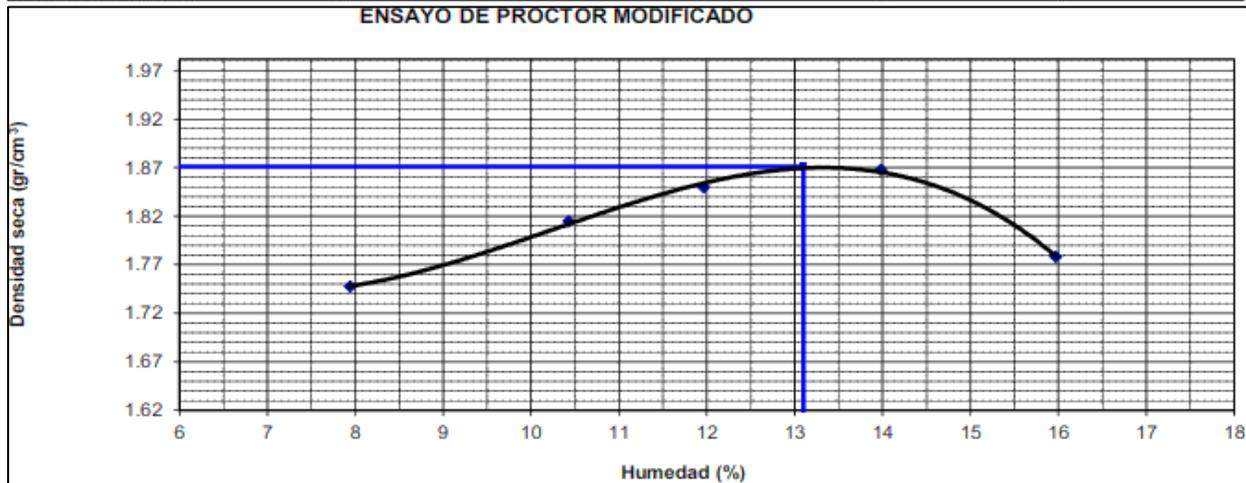
- Muestra 5

Tabla 101. Suelo arcilloso natural

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10751	11002	11145	11269	11058
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	4028	4279	4422	4546	4335
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2100
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.888	2.006	2.073	2.131	2.064

Humedad (%)

Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	403.00	337.00	366.00	422.00	438.00
Tara + suelo seco (gr.)	381.00	315.00	338.00	383.00	392.00
Peso de agua (gr.)	22.00	22.00	28.00	39.00	46.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	277.00	211.00	234.00	279.00	288.00
Humedad (%)	7.9	10.4	12.0	14.0	16.0
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.749	1.817	1.852	1.870	1.780



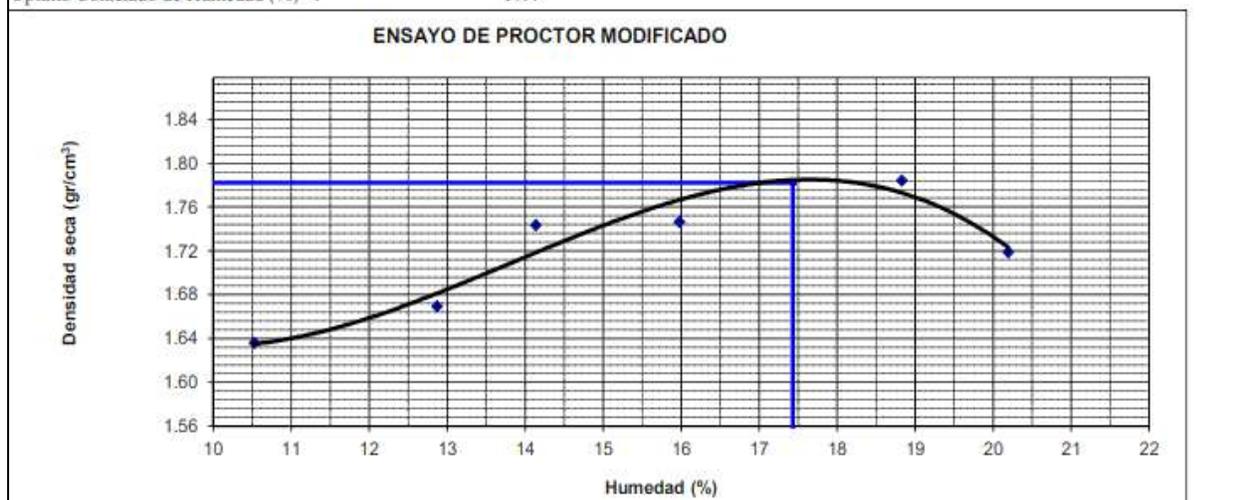
Fuente: Elaboración propia



Tabla 102. Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Número de capas	5	5	5	5		
Número de golpes	56	56	56	56		
Peso suelo + molde (gr.)	10589	10751	10977	11053	11255	11139
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3866	4028	4254	4330	4532	4416
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.812	1.888	1.994	2.030	2.125	2.070
Humedad (%)						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo húmedo (gr.)	392.00	368.00	358.00	365.00	424.00	390.00
Tara + suelo seco (gr.)	368.00	342.00	331.00	334.00	379.00	348.00
Peso de agua (gr.)	24.00	26.00	27.00	31.00	45.00	42.00
Peso de tara (gr.)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
Peso de suelo seco (gr.)	228.00	202.00	191.00	194.00	239.00	208.00
Humedad (%)	10.5	12.9	14.1	16.0	18.8	20.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.640	1.673	1.747	1.750	1.788	1.723

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.786
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 17.4

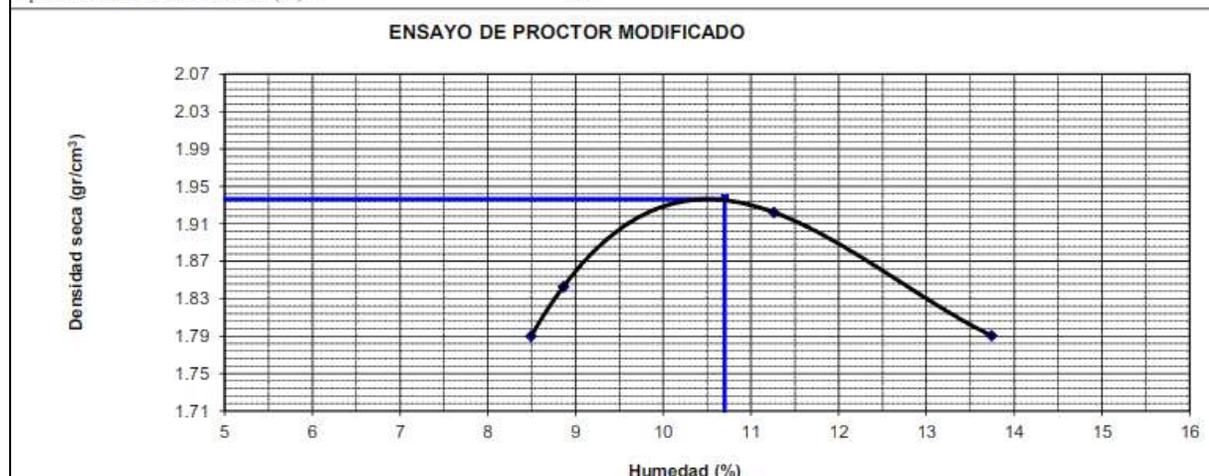


Fuente: Elaboración propia



Tabla 103. Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10510	10647	10929	10712
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4131	4268	4550	4333
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.946	2.010	2.143	2.041
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	334.00	362.00	430.00	435.00
Tara + suelo seco (gr.)	316.00	341.00	397.00	395.00
Peso de agua (gr.)	18.00	21.00	33.00	40.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	212.00	237.00	293.00	291.00
Humedad (%)	8.5	8.9	11.3	13.7
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.794	1.847	1.926	1.794
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.941			
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	10.7			



Fuente: Elaboración propia

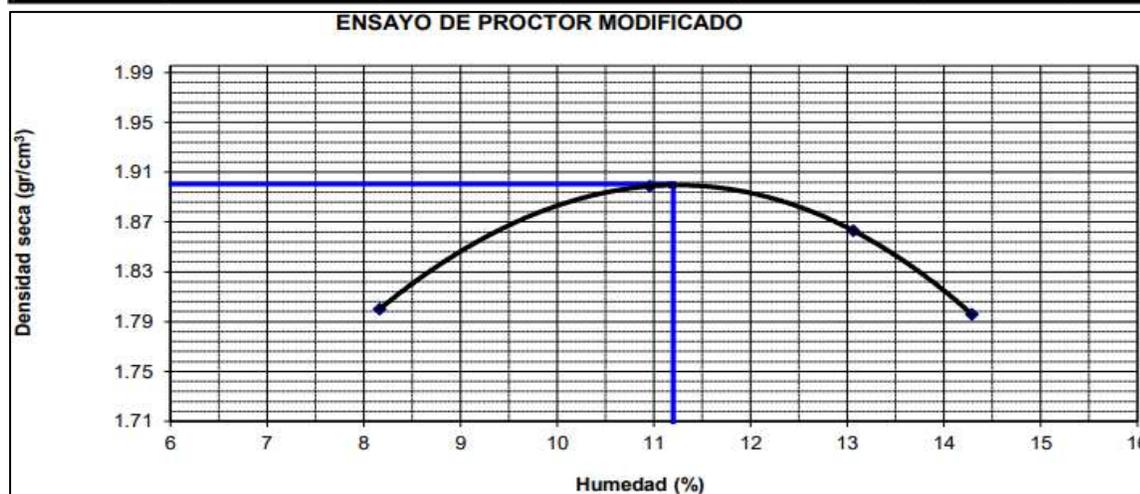


Tabla 104. Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10509	10848	10847	10733
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4130	4469	4468	4354
Volumen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.945	2.105	2.105	2.051

Humedad (%)

Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	316.00	347.00	355.00	376.00
Tara + suelo seco (gr.)	300.00	323.00	326.00	342.00
Peso de agua (gr.)	16.00	24.00	29.00	34.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	196.00	219.00	222.00	238.00
Humedad (%)	8.2	11.0	13.1	14.3
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.799	1.897	1.861	1.795

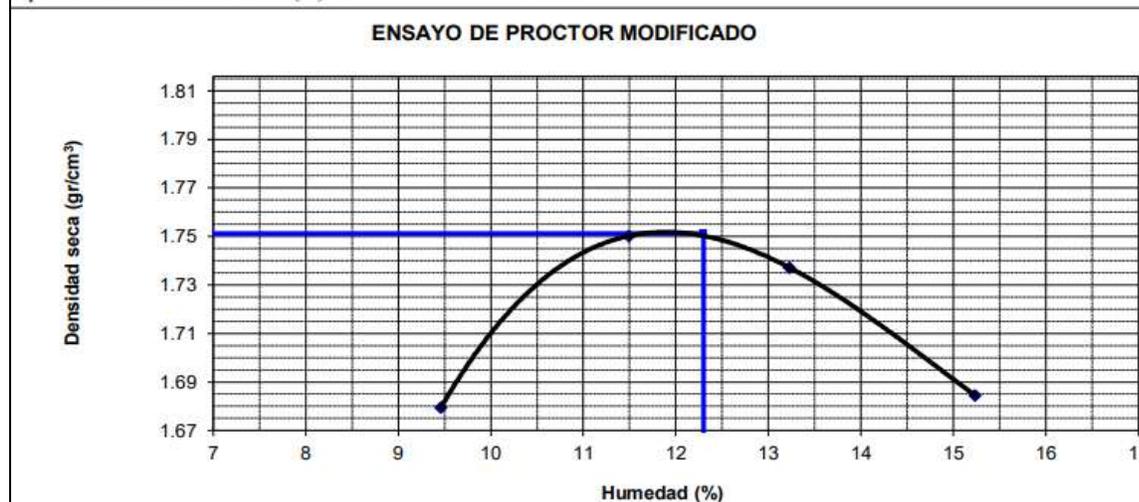


Fuente: Elaboración propia



Tabla 105. Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	
Peso suelo + molde (gr.)	10621	10861	10894	10839	
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	
Peso suelo compactado (gr.)	3898	4138	4171	4116	
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.836	1.949	1.965	1.939	
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	347.00	395.00	395.00	520.00	
Tara + suelo seco (gr.)	326.00	365.00	361.00	465.00	
Peso de agua (gr.)	21.00	30.00	34.00	55.00	
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	
Peso de suelo seco (gr.)	222.00	261.00	257.00	361.00	
Humedad (%)	9.5	11.5	13.2	15.2	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.677	1.748	1.735	1.682	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.749				
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	12.3				



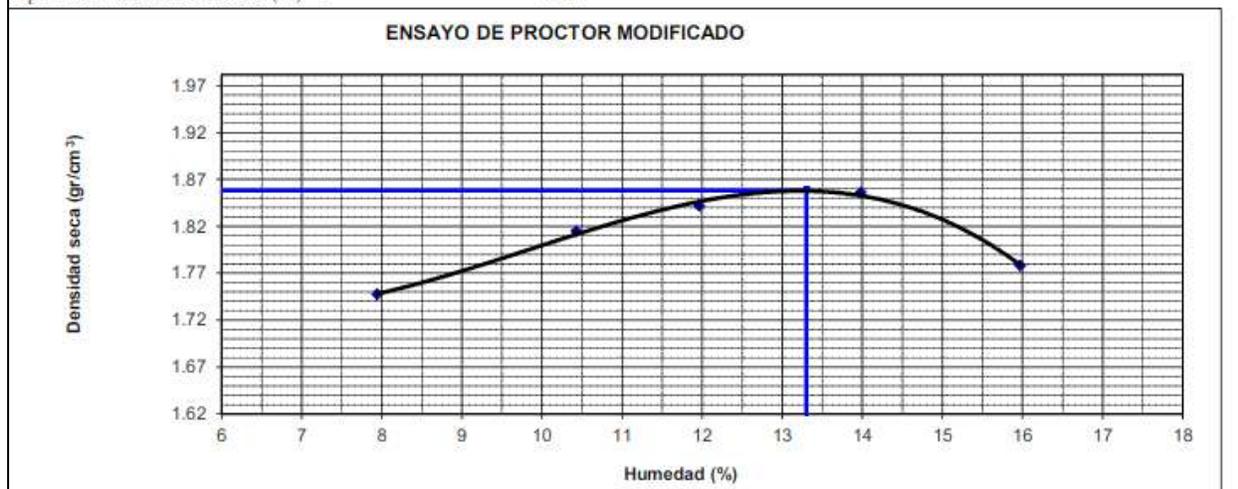
Fuente: Elaboración propia



• Muestra 6

Tabla 106. Suelo arcilloso natural

Prueba N°	1	2	3	4	
Número de capas	5	5	5	5	
Número de golpes	56	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10751	11002	11125	11239	11058
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	4028	4279	4402	4516	4335
Volúmen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2100
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.888	2.006	2.064	2.117	2.064
Humedad (%)					
Tara N°					
Tara + suelo húmedo (gr.)	403.00	337.00	366.00	422.00	438.00
Tara + suelo seco (gr.)	381.00	315.00	338.00	383.00	392.00
Peso de agua (gr.)	22.00	22.00	28.00	39.00	46.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	277.00	211.00	234.00	279.00	288.00
Humedad (%)	7.9	10.4	12.0	14.0	16.0
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.749	1.817	1.843	1.858	1.780
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.860				
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	13.30				

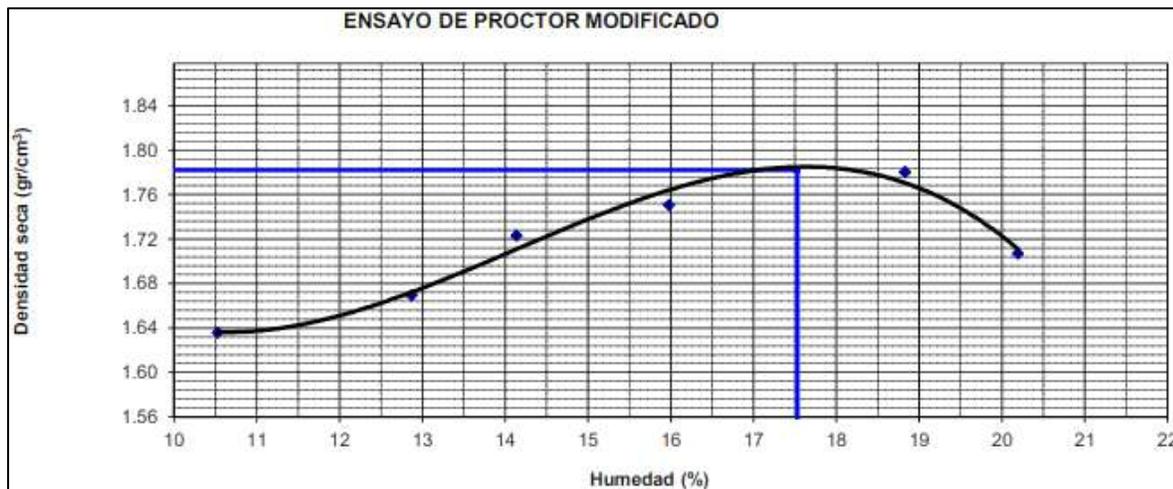


Fuente: Elaboración propia



Tabla 107. Suelo arcilloso adicionado con 10% de cal

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Número de capas	5	5	5	5		
Número de golpes	56	56	56	56		
Peso suelo + molde (gr.)	10589	10751	10927	11063	11245	11109
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3866	4028	4204	4340	4522	4386
Volumen del molde (cm ³)	2133	2133	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.812	1.888	1.971	2.035	2.120	2.056
Humedad (%)						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + suelo húmedo (gr.)	392.00	368.00	358.00	365.00	424.00	390.00
Tara + suelo seco (gr.)	368.00	342.00	331.00	334.00	379.00	348.00
Peso de agua (gr.)	24.00	26.00	27.00	31.00	45.00	42.00
Peso de tara (gr.)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
Peso de suelo seco (gr.)	228.00	202.00	191.00	194.00	239.00	208.00
Humedad (%)	10.5	12.9	14.1	16.0	18.8	20.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.640	1.673	1.727	1.754	1.784	1.711



Fuente: Elaboración propia

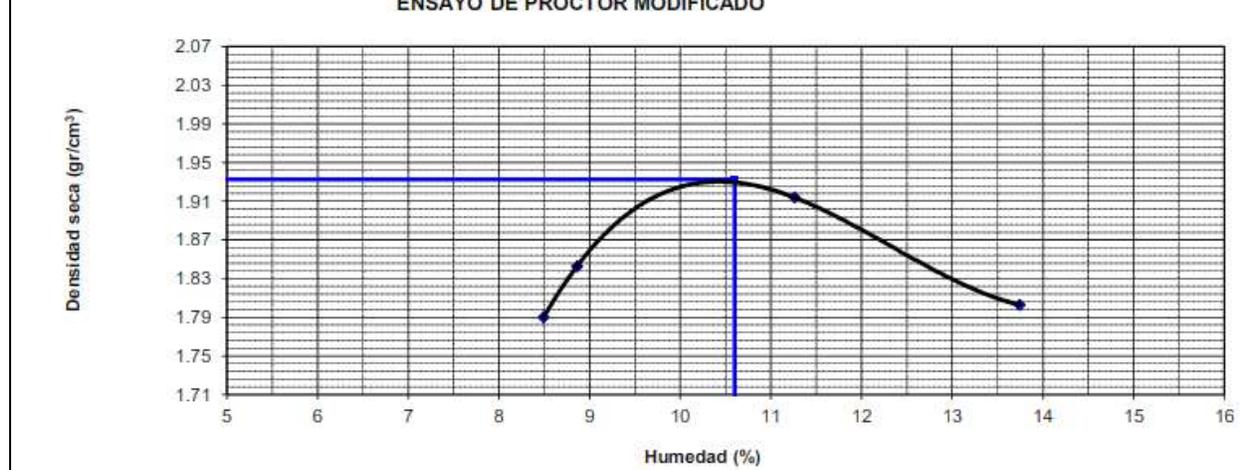


Tabla 108. Suelo arcilloso adicionado con 10% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10510	10647	10909	10742
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4131	4268	4530	4363
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.946	2.010	2.134	2.055

Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	334.00	362.00	430.00	435.00
Tara + suelo seco (gr.)	316.00	341.00	397.00	395.00
Peso de agua (gr.)	18.00	21.00	33.00	40.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	212.00	237.00	293.00	291.00
Humedad (%)	8.5	8.9	11.3	13.7
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.794	1.847	1.918	1.807

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.937
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 10.6



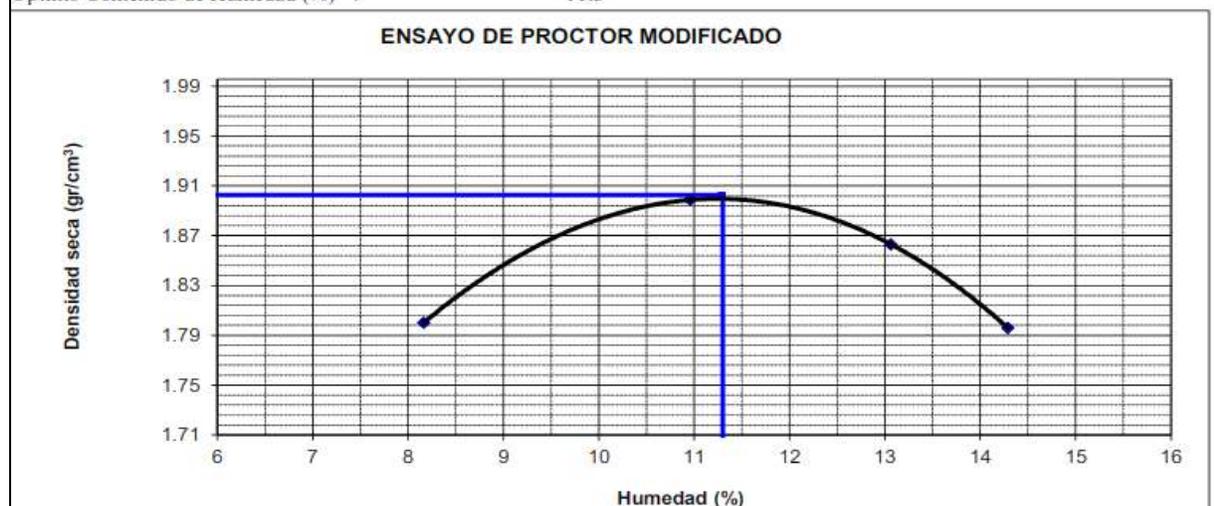
Fuente: Elaboración propia



Tabla 109. Suelo arcilloso adicionado con 12% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10509	10848	10847	10733
Peso molde (gr.)	6379	6379	6379	6379
Peso suelo compactado (gr.)	4130	4469	4468	4354
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.945	2.105	2.105	2.051
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	316.00	347.00	355.00	376.00
Tara + suelo seco (gr.)	300.00	323.00	326.00	342.00
Peso de agua (gr.)	16.00	24.00	29.00	34.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	196.00	219.00	222.00	238.00
Humedad (%)	8.2	11.0	13.1	14.3
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.799	1.897	1.861	1.795

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.901
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.3



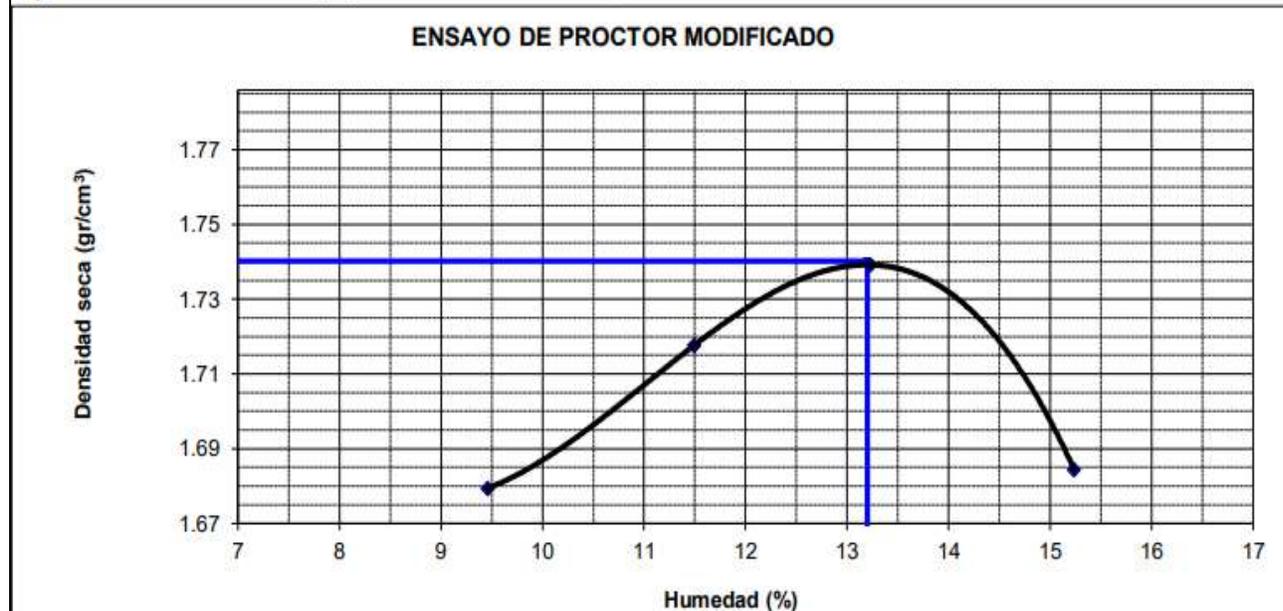
Fuente: Elaboración propia



Tabla 110. Suelo arcilloso adicionado con 14% de sal

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10621	10784	10899	10839
Peso molde (gr.)	6723	6723	6723	6723
Peso suelo compactado (gr.)	3898	4061	4176	4116
Volúmen del molde (cm ³)	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.836	1.913	1.967	1.939
Humedad (%)				
Tara N°				
Tara + suelo húmedo (gr.)	347.00	395.00	395.00	520.00
Tara + suelo seco (gr.)	326.00	365.00	361.00	465.00
Peso de agua (gr.)	21.00	30.00	34.00	55.00
Peso de tara (gr.)	104.00	104.00	104.00	104.00
Peso de suelo seco (gr.)	222.00	261.00	257.00	361.00
Humedad (%)	9.5	11.5	13.2	15.2
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.677	1.716	1.737	1.682

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.738
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 13.2



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.6.CBR (California Bearing Ratio)

a) Equipos

- Molde CBR + collarín.
- Pisón o martillo CBR.
- Disco espaciador, vástago, pesas metálicas.
- Recipientes con agua con capacidad para mantener los moldes CBR completamente sumergidos.



- Dial con trípode para medir expansión.
- Pistón de penetración.
- Enrasador de metal.
- Martillo de goma.
- Balanza.
- Bandejas.
- Bowl.
- Malla N°4.
- Probeta plástica.
- Cucharón.

b) Procedimiento

Para este ensayo comenzamos pesando y separando el material necesario (6kg por molde). Una vez hecho esto pasamos a triturar el material con ayuda de un martillo de goma y bandejas de metal. Al terminar esto el siguiente paso fue mezclar la muestra con el aditivo a usar y con la dosificación escogida previamente en la presente tesis.



Figura 35. Trituración y mezclado del material



La cantidad de agua a utilizar fue tomada del contenido de humedad optimo hallado en el ensayo de Proctor modificado, en ese sentido para poder tener un suelo con la cantidad de agua necesaria procedimos a determinar la humedad del suelo en ese momento, tomando una muestra del mismo y llevándola a secar en una estufa para posteriormente poder determinar su humedad, una vez teniendo este dato pasamos a restar el contenido de humedad optimo y la humedad hallada en ese momento para saber cuánta agua agregar a la muestra de suelo que nos dispondremos a ensayar.

Al tener la muestra lista comenzamos a separarla en 5 partes iguales para compactarla en el molde, se compacto la muestra en 5 capas, haciendo caer el martillo 12, 26 y 56 veces por capa (o sea que se hicieron 3 moldes por muestra). Al culminar este proceso nos disponemos a retirar el collarín del molde y a enrazar la muestra con ayuda de una regla metálica y la malla N°4, terminando esto retiramos el disco espaciador que yacía en la base del molde, volteamos el molde sobre su misma base y lo aseguramos a la misma nuevamente para poder pesarlo.



Figura 36. *Compactado y enraizado de la muestra*



Figura 37. Peso de la muestra compactada y el molde

Después de pesar la muestra compactada más el molde y la base colocamos el vástago y las pesas dentro del molde y encima de la muestra compactada para después sumergirla dentro de un recipiente lo suficientemente grande para mantenerla completamente sumergida bajo el agua durante 96 horas o 4 días. En este punto procedemos a nivelar el molde con ayuda de un nivel de mano y después de esto se tomó una lectura inicial con la ayuda del trípode y el dial, para luego medir la variación de la expansión del suelo ensayado.



Figura 38. Moldes compactados y sumergidos en agua



Figura 39. Moldes sumergidos con diferentes porcentajes de aditivos

Al terminar el periodo de 96 horas o 4 días procedemos a sacar los moldes del agua y hacemos que el agua que estaba dentro del mismo salga inclinando el molde para dicho cometido. Al pasar unos minutos retiramos el vástago con las pesas del molde y pesamos la muestra compactada, el molde y la base nuevamente.



Figura 40. Moldes húmedos después de 96 horas sumergidos en agua

Culminado el anterior proceso nos disponemos a penetrar la muestra con un pistón de penetración teniendo en cuenta la deformación de la muestra versus el tiempo transcurrido, esto con ayuda de un dial de deformación y un cronómetro. La carga aplicada se va anotando



para luego realizar la gráfica correspondiente y así determinar el CBR del suelo ensayado en gabinete.



Figura 41. Penetración de moldes CBR