

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS AL ESTABILIZARLOS  
CON CEMENTO**

**CARLOS ALBERTO GALVIS RUEDA  
JULIAN FELIPE MERCHAN MEJIA**

**DIRECTOR**

**Ing. MSc. Luz Marina Torrado Gómez**

**VISTO BUENO DIRECTOR\_\_\_\_\_**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
FLORIDABLANCA**

**2015**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS AL ESTABILIZARLOS  
CON CEMENTO**

**JULIAN FELIPE MERCHAN MEJIA  
CARLOS ALBERTO GALVIS RUEDA**

**Tesis de grado como requisito para recibir título de ingeniero civil**

**DIRECTOR**

**Ing. MSc. Luz Marina Torrado Gómez**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
FLORIDABLANCA**

**2015**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

**Bucaramanga, Septiembre 2015**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este gran triunfo a Dios por haberme dado la salud y la oportunidad de realizar este pregrado con éxito, también a nuestras familias quienes con su esmero, la confianza depositada en nosotros y su apoyo incondicional nos han brindado todo lo necesario para cumplir esta etapa de nuestras vidas.

Carlos Alberto Galvis Rueda

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Pontificia Bolivariana y sus docentes a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza, por su preparación y formación para un futuro competitivo y formándonos como personas integrales con sentido humano.

A la ingeniera Luz Marina Torrado, quien con su entrega, esmero y gracias a sus amplios conocimientos fue nuestra guía y pieza fundamental en el desarrollo del proyecto.

A todas las demás personas que aportaron su conocimiento el cual fue muy valioso y de gran importancia contribuyendo en la elaboración de este proyecto que hoy culminamos exitosamente.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
2.1	Objetivos generales.....	20
2.2	Objetivos específicos.....	20
<b>3</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
3.1	Suelo .....	21
3.2	Clasificación de los Suelos .....	21
3.2.1	Clasificación general de Casagrande.....	21
3.2.2	Sistema Unificado de clasificación de Suelos .....	22
3.3	Estabilización de Suelos.....	24
3.3.1	Estabilización Física.....	26
3.3.2	Estabilización Química.....	27
3.3.3	Estabilización Mecánica.....	27
3.4	Cemento .....	28
3.5	Tipos de cemento portland .....	28
3.5.1	Tipo 1 .....	28
3.5.2	Tipo 2 .....	28
3.5.3	Tipo 3 .....	28
3.5.4	Tipo 4 .....	29
3.5.5	Tipo 5.....	29
3.6	Estabilización con Cemento Portland .....	29
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
4.1	PREPARACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA MUESTRA .....	32
4.1.1	Obtención de la muestra .....	32

4.1.2	Preparación de la muestra para ensayos.....	33
4.1.3	Cuarteo de muestras.....	33
4.2	CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO .....	34
4.2.1	Granulometría .....	34
4.2.2	Límites de Atterberg.....	36
4.3	Ensayos Realizados al Suelo .....	38
4.3.1	Límite de Contracción .....	38
4.3.2	Proctor Modificado .....	39
4.3.3	Compresión Simple.....	41
4.3.4	Corte Directo.....	42
4.4	ENSAYOS AL SUELO CON 5% DE CEMENTO .....	44
4.4.1	Límites de Atterberg.....	44
4.4.2	Límite de contracción .....	45
4.4.3	Proctor Modificado .....	45
4.4.4	Ensayo compresión simple .....	46
4.4.5	Corte Directo.....	47
4.5	ENSAYOS AL SUELO CON 10% DE CEMENTO .....	47
4.5.1	Límites de Atterberg.....	47
4.5.2	Límite de Contracción .....	49
4.5.3	Proctor Modificado .....	50
4.5.4	Compresión Simple.....	51
4.5.5	Corte Directo.....	52
4.6	ENSAYOS DEL SUELO CON 15% DE CEMENTO .....	53
4.6.1	Límites de Atterberg.....	53

4.6.2	Limite contracción .....	54
4.6.3	Proctor modificado .....	55
4.6.4	Compresión simple .....	55
4.6.5	Corte directo.....	56
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
5.1	RESULTADOS SUELO NATURAL.....	58
5.1.1	Granulometría del suelo.....	58
5.1.2	Límites de Atterberg.....	65
5.1.3	Límite de contracción .....	75
5.1.4	Proctor modificado al suelo.....	76
5.1.5	Compresión simple suelo.....	80
5.1.6	Corte directo.....	93
5.2	Resultados suelo estabilizado con 5% cemento.....	97
5.2.1	Límites de Aterberg.....	97
5.2.2	Límite de contracción .....	104
5.2.3	Proctor modificado .....	105
5.2.4	Compresión simple .....	110
5.2.5	Corte directo.....	113
5.3	Resultados suelo con 10% cemento.....	117
5.3.1	Límites de Atterberg.....	117
5.3.2	Límite de contracción .....	123
5.3.3	Proctor modificado .....	124
5.3.4	Compresión simple .....	129
5.3.5	Corte directo.....	133

5.4	Resultados suelo con 15% cemento.....	137
5.4.1	Límites de Atterberg.....	137
5.4.2	Limite contracción .....	143
5.4.3	Proctor modificado .....	144
5.4.4	Compresión simple .....	148
5.4.5	Corte directo.....	153
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>156</b>
6.1	Limite líquido.....	156
6.2	Limite plástico .....	157
6.3	Limite contracción.....	158
6.4	Proctor modificado.....	158
6.5	Compresión simple .....	159
6.6	Corte directo.....	161
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>162</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>164</b>

## TABLA DE FIGURAS

FIGURA No. 1 Carta de Plasticidad.....	22
FIGURA No. 2 Disposición de la Muestra.....	32
FIGURA No. 3 Preparación de la Muestra.....	33
FIGURA No. 4 Cuarteo de la Muestra .....	34
FIGURA No. 5 Lavado Tamiz # 200 .....	35
FIGURA No. 6 Granulometría.....	36
FIGURA No. 7 Limite Líquido .....	37
FIGURA No. 8 Preparación de la Muestra Limite Liquido	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
FIGURA No. 9 Limite Plástico.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
FIGURA No. 10 Limite de Contracción .....	39
FIGURA No. 11 Proctor Modificado.....	41
FIGURA No. 12 Compresión Simple .....	42
FIGURA No. 13 Corte Directo.....	43
FIGURA No. 14 Equipo de Corte Directo.....	44
FIGURA No. 15 Limite de Contracción 5% Cemento .....	45
FIGURA No. 16 Compresión Simple 5% Cemento.....	46
FIGURA No. 17 Corte Directo 5% Cemento .....	47
FIGURA No. 18 Limite Liquido 10% Cemento.....	48
FIGURA No. 19 Limite Plástico 10% Cemento .....	49
FIGURA No. 20 Limite de Contracción 10% Cemento .....	50
FIGURA No. 21 Proctor Modificado 10% Cemento .....	51
FIGURA No. 22 Compresión Simple 10% Cemento.....	52
FIGURA No. 23 Corte Directo 10% Cemento .....	53
FIGURA No. 24 Limite Plástico 15% Cemento .....	54
FIGURA No. 25 Limite de Contracción 15% Cemento .....	54
FIGURA No. 26 Compresión Simple 15% Cemento.....	56
FIGURA No. 27 Corte Directo 15% Cemento .....	57

FIGURA No. 28 Muestra Cortada 15% Cemento .....	57
FIGURA No. 29 Granulometría Muestra 1 .....	59
FIGURA No. 30 Granulometría Muestra 2 .....	61
FIGURA No. 31 Granulometría Muestra 3 .....	63
FIGURA No. 32 Granulometría Muestra 4 .....	65
FIGURA No. 33 Limite Liquido Muestra 1 .....	66
FIGURA No. 34 Limite Líquido Muestra 2.....	67
FIGURA No. 35 Limite Líquido Muestra 3.....	68
FIGURA No. 36 Limite Líquido Muestra 4.....	69
FIGURA No. 37 Limite Líquido Muestra 5.....	70
FIGURA No. 38 Limite Liquido Muestra 6.....	71
FIGURA No. 39 Carta de Casagrande.....	73
FIGURA No. 40 Tabla SUCS .....	74
FIGURA No. 41 Proctor Modificado Muestra 1 .....	76
FIGURA No. 42 Proctor Modificado Muestra 2 .....	77
FIGURA No. 43 Proctor Modificado Muestra 3 .....	78
FIGURA No. 44 Proctor Modificado Muestra 4 .....	79
FIGURA No. 45 Compresión Simple Muestra 1.....	82
FIGURA No. 46 Compresión Simple Muestra 2.....	83
FIGURA No. 47 Compresión Simple Muestra 3.....	85
FIGURA No. 48 Compresión Simple Muestra 4.....	87
FIGURA No. 49 Compresión Simple Muestra 5.....	89
FIGURA No. 50 Compresión Simple Muestra 6.....	91
FIGURA No. 51 Compresión Simple Muestra 7.....	93
FIGURA No. 52 Corte Directo Muestra 1 .....	94
FIGURA No. 53 Corte Directo Muestra 2.....	95
FIGURA No. 54 Corte Directo Muestra 3.....	96
FIGURA No. 55 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 1 .....	98
FIGURA No. 56 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 2 .....	99
FIGURA No. 57 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 3 .....	100

FIGURA No. 58 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 4 .....	101
FIGURA No. 59 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 5 .....	102
FIGURA No. 60 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 6 .....	103
FIGURA No. 61 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 1 .....	106
FIGURA No. 62 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 2 .....	107
FIGURA No. 63 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 3 .....	108
FIGURA No. 64 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 4 .....	109
FIGURA No. 65 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 1 .....	111
FIGURA No. 66 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 2 .....	112
FIGURA No. 67 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 3 .....	113
FIGURA No. 68 Corte Directo 5% Cemento Muestra 1 .....	114
FIGURA No. 69 Corte Directo 5% Cemento Muestra 2 .....	115
FIGURA No. 70 Corte Directo 5% Cemento Muestra 3 .....	116
FIGURA No. 71 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 1 .....	118
FIGURA No. 72 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 2 .....	119
FIGURA No. 73 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 3 .....	120
FIGURA No. 74 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 4 .....	121
FIGURA No. 75 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 5 .....	122
FIGURA No. 76 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 1 .....	125
FIGURA No. 77 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 2 .....	126
FIGURA No. 78 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 3 .....	127
FIGURA No. 79 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 4 .....	128
FIGURA No. 80 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 1 .....	130
FIGURA No. 81 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 2 .....	131
FIGURA No. 82 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 3 .....	132
FIGURA No. 83 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 4 .....	133
FIGURA No. 84 Corte Directo 10% Cemento Muestra 1 .....	134
FIGURA No. 85 Corte Directo 10% Cemento Muestra 2 .....	135
FIGURA No. 86 Corte Directo 10% Cemento Muestra 3 .....	136
FIGURA No. 87 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 1 .....	137

FIGURA No. 88 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 2 .....	138
FIGURA No. 89 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 3 .....	139
FIGURA No. 90 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 4 .....	140
FIGURA No. 91 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 5 .....	141
FIGURA No. 92 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 1 .....	145
FIGURA No. 93 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 2 .....	146
FIGURA No. 94 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 3 .....	147
FIGURA No. 95 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 4 .....	148
FIGURA No. 96 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 1 .....	149
FIGURA No. 97 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 2 .....	150
FIGURA No. 98 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 3 .....	151
FIGURA No. 99 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 4 .....	152
FIGURA No. 100 Corte Directo 15% Cemento Muestra 1 .....	154
FIGURA No. 101 Corte Directo 15% Cemento Muestra 2 .....	155
FIGURA No. 102 Corte Directo 15% Cemento Muestra 3 .....	156
FIGURA No. 103 Resultados Limite Líquido.....	157
FIGURA No. 104 Resultados Limite Plástico.....	157
FIGURA No. 105 Resultados Límite de Contracción .....	158
FIGURA No. 106 Resultados Proctor Modificado Humedad Optima .....	159
FIGURA No. 107 Resultados Proctor Modificado Densidad.....	159
FIGURA No. 108 Resultados Compresión Simple.....	160
FIGURA No. 109 Resultados Deformación.....	160
FIGURA No. 110 Resultados Corte Directo .....	161
FIGURA No. 111 Resultados Cohesión.....	161

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Clasificación de los Suelos.....	23
Tabla No. 2 Granulometría Muestra 1 .....	58
Tabla No. 3 Granulometría Muestra 2 .....	60
Tabla No. 4 Granulometría Muestra 3 .....	62
Tabla No. 5 Granulometría Muestra 4 .....	64
Tabla No. 6 Limite Líquido Muestra 1 .....	66
Tabla No. 7 Limite Líquido Muestra 2 .....	67
Tabla No. 8 Limite Líquido Muestra 3 .....	68
Tabla No. 9 Limite Líquido Muestra 4 .....	69
Tabla No. 10 Limite Líquido Muestra 5 .....	70
Tabla No. 11 Limite Líquido Muestra 6 .....	71
Tabla No. 12 Limite Plástico Muestra 1 .....	72
Tabla No. 13 Limite Plástico Muestra 2 .....	72
Tabla No. 14 Limite de Contracción.....	75
Tabla No. 15 Proctor Modificado Muestra 1.....	76
Tabla No. 16 Proctor Modificado Muestra 2.....	77
Tabla No. 17 Proctor Modificado Muestra 3.....	78
Tabla No. 18 Proctor Modificado Muestra 4.....	79
Tabla No. 19 Compresión Simple Muestra 1 .....	81
Tabla No. 20 Compresión Simple Muestra 2 .....	83
Tabla No. 21 Compresión Simple Muestra 3 .....	84
Tabla No. 22 Compresión Simple Muestra 4 .....	86
Tabla No. 23 Compresión Simple Muestra 5 .....	88
Tabla No. 24 Compresión Simple Muestra 6 .....	90
Tabla No. 25 Compresión Simple Muestra 7 .....	92
Tabla No. 26 Corte Directo Muestra 1 .....	94
Tabla No. 27 Corte Directo Muestra 2 .....	95
Tabla No. 28 Corte Directo Muestra 3 .....	96

Tabla No. 29 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 1 .....	97
Tabla No. 30 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 2 .....	98
Tabla No. 31 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 3 .....	99
Tabla No. 32 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 4 .....	100
Tabla No. 33 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 5 .....	101
Tabla No. 34 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 6 .....	102
Tabla No. 35 Limite Plástico 5% Cemento .....	104
Tabla No. 36 Limite de Contracción 5% Cemento .....	105
Tabla No. 37 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 1 .....	106
Tabla No. 38 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 2 .....	107
Tabla No. 39 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 3 .....	108
Tabla No. 40 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 4 .....	109
Tabla No. 41 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 1 .....	110
Tabla No. 42 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 2 .....	111
Tabla No. 43 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 3 .....	112
Tabla No. 44 Corte Directo 5% Cemento Muestra 1 .....	114
Tabla No. 45 Corte Directo 5% Cemento Muestra 2 .....	115
Tabla No. 46 Corte Directo 5% Cemento Muestra 3 .....	116
Tabla No. 47 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 1 .....	117
Tabla No. 48 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 2 .....	118
Tabla No. 49 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 3 .....	119
Tabla No. 50 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 4 .....	120
Tabla No. 51 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 5 .....	121
Tabla No. 52 Limite Plástico 10% Cemento .....	123
Tabla No. 53 Limite de Contracción .....	124
Tabla No. 54 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 1 .....	125
Tabla No. 55 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 2 .....	126
Tabla No. 56 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 3 .....	127
Tabla No. 57 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 4 .....	128
Tabla No. 58 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 1 .....	129

Tabla No. 59 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 2.....	130
Tabla No. 60 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 3.....	131
Tabla No. 61 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 4.....	132
Tabla No. 62 Corte Directo 10% Cemento Muestra 1.....	134
Tabla No. 63 Corte Directo 10% Cemento Muestra 2.....	135
Tabla No. 64 Corte Directo 10% Cemento Muestra 3.....	136
Tabla No. 65 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 1.....	137
Tabla No. 66 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 2.....	138
Tabla No. 67 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 3.....	139
Tabla No. 68 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 4.....	140
Tabla No. 69 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 5.....	141
Tabla No. 70 Limite Plástico 15% Cemento.....	142
Tabla No. 71 Limite de Contracción 15% Cemento .....	143
Tabla No. 72 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 1 .....	144
Tabla No. 73 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 2 .....	145
Tabla No. 74 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 3 .....	146
Tabla No. 75 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 4 .....	147
Tabla No. 76 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 1.....	149
Tabla No. 77 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 2.....	150
Tabla No. 78 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 3.....	151
Tabla No. 79 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 4.....	152
Tabla No. 80 Corte Directo 15% Cemento Muestra 1 .....	153
Tabla No. 81 Corte Directo 15% Cemento Muestra 2.....	154
Tabla No. 82 Corte Directo 15% Cemento Muestra 3.....	155

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS AL ESTABILIZARLOS CON CEMENTO

**AUTOR(ES):** JULIAN FELIPE MERCHAN MEJIA  
CARLOS ALBERTO GALVIS RUEDA

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** LUZ MARINA TORRADO

### **RESUMEN**

El presente proyecto de grado presenta una evaluación del comportamiento de los suelos al estabilizarlos o mezclarlo con cemento portland en porcentajes del 5%, 10% y 15%. El suelo que se estabilizó corresponde a una arcilla inorgánica de plasticidad baja a media (CL), éste suelo se mezcló con 3 porcentajes diferentes de cemento portland. Se incluye en este estudio la determinación de algunas propiedades mecánicas del suelo natural como también la de cada suelo mejorado con su porcentaje de cemento por medio de los ensayos de Granulometría, Límites de plasticidad, Límite de contracción, Compactación estándar, Compresión Simple y Corte directo basados en las Normas del Instituto Nacional de Invias (INVIAS), versión 2013. Finalmente estas muestras soportaron la comparación y análisis del comportamiento de este suelo virgen y los suelos modificados con porcentajes de cemento del 5%, 10% 15%. Este estudio permitió observar resultados satisfactorios en cuanto a la resistencia a la compresión y al corte en los tres suelos mejorados con porcentajes de cemento, siendo el porcentaje del 10% el más útil y viable ya que su resistencia mecánica, su durabilidad y estabilidad dimensional mejoraron notoriamente.

### **PALABRAS CLAVES:**

Suelo, cemento, estabilización

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** PERFORMANCE EVALUATION OF THE SOIL STABILIZED WITH CEMENT

**AUTHOR(S):** JULIAN FELIPE MERCHAN MEJIA  
CARLOS ALBERTO GALVIS RUEDA

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** LUZ MARINA TORRADO

### ABSTRACT

This project presents an evaluation grade of soil behavior to stabilize or portland cement mixed with a percentage of 5%. 10% and 15%. The stabilized soil corresponds to a sandy clay, the soil was improved by 3 percentages of cement, is included in this study the characterization of the virgin soil as each ground improved with cement percentage by assays Granulometry , limits of plasticity, shrinkage limit, standard compaction, compression Simple and direct Court based on the Colombian Technical Standards. Finally these samples were served for comparison and analysis of the behavior of this virgin soil and physical-mechanical properties compared to percentages modified cement floors 5% 10% 15%. This study allowed us to observe satisfactory results in terms of resistance to compression and shear in all three improved with cement floors percentages being the percentage of 10% the most useful and viable as mechanical strength, durability and dimensional stability improved noticeably.

### KEYWORDS:

cement, soil, performance

## 1 INTRODUCCIÓN

El medio de la construcción día a día se ve enfrentado a diferentes tipos de suelos con características y propiedades distintas, a medida que se avanza constructivamente se hace necesario de nuevas tecnologías para satisfacción de las necesidades y problemas ingenieriles a los que los profesionales en construcción se ven abocados debiendo plantear soluciones óptimas para el uso de los suelos encontrados en campo.

En el campo de la geotecnia es muy común encontrar suelos que no son aptos para ciertas obras constructivas ya sean viales, estructurales o para cualquier otro ámbito civil, estos suelos en ocasiones no cumplen las especificaciones técnicas requeridas en cuanto a propiedades físicas o mecánicas necesarias para su óptimo desempeño.

En este proyecto se analiza un tipo de suelo de nuestra región con propiedades mecánicas deficientes afín de demostrar una solución para estabilizarlo y mejorar sus propiedades. En el presente proyecto se estabiliza este suelo mezclándolo con diferentes porcentajes de cemento, obteniendo muestras con el 5%, 10% y 15% de cemento para comparar sus propiedades mecánicas con las de un suelo virgen.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos generales**

Evaluar el comportamiento mecánico y las propiedades de los suelos al estabilizarlos con cemento.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades mecánicas y físicas del suelo sin agregarle cemento.
- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades mecánicas y físicas del suelo agregándole diferentes porcentajes de cemento.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos y observar los cambios en las propiedades de los nuevos suelos manipulados con cemento.
- Caracterizar mecánica y físicamente los suelos al ser evaluados en los diferentes ensayos de laboratorio.
- Comparar los resultados del comportamiento mecánico de suelos modificados con cemento.

## **3 MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Suelo**

Es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan.

### **3.2 Clasificación de los Suelos**

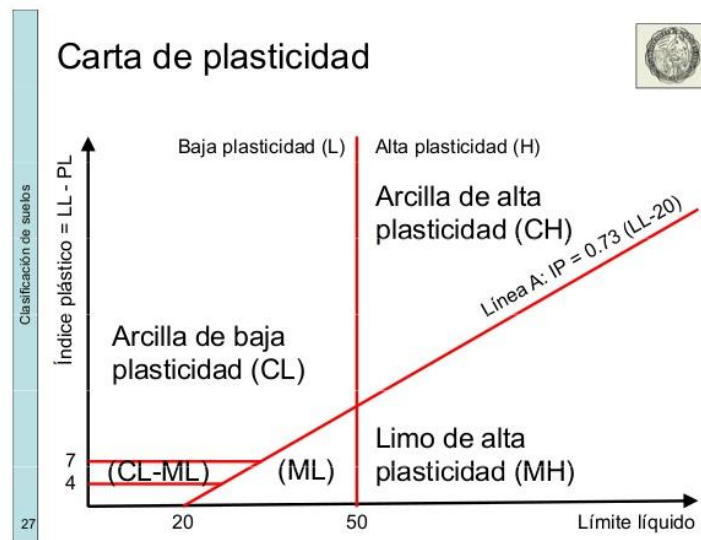
#### **3.2.1 Clasificación general de Casagrande**

El sistema divide a los suelos en dos (2) grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores que la malla No. 200 y menores que la malla de 3" y la fina, formada por las partículas que pasan la malla No. 200.

La fracción fina se subdivide en grupos, tomando en cuenta sus características de plasticidad, específicamente con el valor del límite líquido.

Dichas características de plasticidad llevaron al doctor A. Casagrande a realizar empíricamente lo que se conoce como la Carta de Plasticidad.

FIGURA No. 1 Carta de Plasticidad



El uso principal de la Carta de Plasticidad está en situar en ella un suelo desconocido, por medio del cálculo de los dos parámetros que definen su plasticidad; la colocación del suelo en uno de los grupos definidos indicara que participa del conjunto de propiedades mecánicas e hidráulicas características de ese grupo.

### 3.2.2 Sistema Unificado de clasificación de Suelos

Este sistema está basado en el de Casagrande. El método cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla No. 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas. Y fino, si más de la mitad de sus partículas en peso, son finas.

Dicha clasificación se basa de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

Tabla No. 1 Clasificación de los Suelos

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>PREFIJO</b>	<b>SUBGRUPO</b>	<b>SUFIJO</b>
Grava	G	Bien graduada	W
Arena	S	Pobremente graduada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	H

FUENTE: Propia

### 3.2.2.1 Suelos Gruesos

Denominados Gravas y Arenas. Las gravas y las arenas se separan con la malla No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción es gruesa (retenida en la malla No. 200) no pasa la malla No. 4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W.
- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P.
- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C.

### 3.2.2.2 Suelos Finos

También en este caso el Sistema considera denominar con una letra a cada suelo fino así, Limos inorgánicos, símbolo genérico M, Arcillas inorgánicas, símbolo genérico C y Limos y Arcillas orgánicas, símbolo genérico O.

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si este es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L.

Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt.

***El suelo obtenido en el proyecto de grado y con el cual se desarrollaron los ensayos mejorándolo con porcentajes de cemento es el denominado CL.***

En este grupo se encasillan las arcillas inorgánicas y comprende a la zona sobre la Línea A que separa los suelos compuestos por materiales finos en diferentes grupos de propiedades afines. Este grupo está definido por un límite líquido menor a 50% e índice plástico superior a 6%. Se refiere a un suelo impermeable en estado compactado con resistencia al corte no muy buena y con compresibilidad media, lo cual nos indica que el suelo no presenta muy buenas propiedades mecánicas y se requiere estabilizarlo o mejorarlo mezclándolo con diferentes porcentajes de cemento. (Badillo, 2005)

### **3.3 Estabilización de Suelos**

Cuando un suelo presenta resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes inadmisibles por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales en la localidad, se dice que el suelo es estable.

El suelo natural posee a veces la composición granulométrica y la plasticidad así como el grado de humedad necesario para que, una vez apisonado, presente las características mecánicas que lo hacen utilizable.

Los métodos empleados en la antigüedad para utilizar los suelos en la construcción eran empíricos y, como las demás actividades artesanas, se transmitían de generación en generación. Los conocimientos en la actualidad sobre este campo se basan principalmente en estudios sistemáticos con fundamento científico corroborado mediante la experimentación.

En general puede decirse que todos los suelos pueden ser estabilizados, pero si la estabilización ha de lograrse por aportaciones de otros suelos o por medios de otros elementos (por ejemplo cemento, cal, cloruro de sodio) el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de corregir no posee determinadas condiciones. Entre las aplicaciones de un suelo modificado o estabilizado se encuentran la mejora de los suelos granulares susceptibles a las heladas y el tratamiento de los suelos limosos y/o arcillosos para reducir los cambios de volumen.

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

También se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

Las propiedades más importantes que se deben mejorar con la estabilización son: (Sherwood, 1992):

**Resistencia:** El incremento de resistencia aumenta la estabilidad y la capacidad de carga.

**Estabilidad del volumen:** Proporciona el control de los procesos de hinchamiento-colapso causados por los cambios de humedad.

**Durabilidad:** Una mayor durabilidad aumenta la resistencia a la erosión, responde de manera más eficaz a los cambios climáticos y al uso del tráfico.

Permeabilidad: La reducción de la permeabilidad y por lo tanto de la circulación de agua, mejora la estabilidad.

Existen tres formas de lograr la estabilización de un suelo:

### **3.3.1 Estabilización Física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesiéndose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

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

### **3.3.2 Estabilización Química**

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

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Productos Asfálticos: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

### **3.3.3 Estabilización Mecánica**

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

Compactación: este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

### **3.4 Cemento**

Es un material muy fino que posee propiedades de adherencia y cohesión, actuando como un material aglutinante y al ser mezclado con otros materiales pétreos y agua se obtiene compuestos muy resistentes.

El cemento se fabrica empleando proporciones definidas de materiales calcáreos, que se calcinan en un horno para forma Clinker. El Clinker pulverizado hasta un alto grado de finura, constituye el cemento. En otras palabras se produce al combinar principalmente piedras calizas con arcillas y someterlas a temperaturas altas. El cemento portland, adquiere este nombre, por su semejanza con una piedra de la isla Portland (Gran Bretaña), que es utilizada en la construcción. (EVERARD N.J., 1966)

### **3.5 Tipos de cemento portland**

#### **3.5.1 Tipo 1**

Muy común de la industria, destinado a obras de concreto donde no se especifique otro tipo. Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.

#### **3.5.2 Tipo 2**

Este cemento es utilizado en obras expuestas a sulfatos y donde se requiera moderado calor de hidratación. Es más resistente que el tipo 1.

#### **3.5.3 Tipo 3**

Se utiliza cuando es necesario obtener una resistencia alta inicial y un rápido endurecimiento, permitiendo un desencofrado rápido.

#### **3.5.4 Tipo 4**

Es común cuando se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado. Su secado es lento y no requiere una resistencia alta inicial.

#### **3.5.5 Tipo 5**

Es usual en estructuras como canales, obras portuarias, alcantarillas, estructuras hidráulicas donde se requiera una resistencia alta a los sulfatos. (ARGOS)

### **3.6 Estabilización con Cemento Portland**

El cemento mezclado con el suelo mejora las propiedades de éste desde el punto de vista mecánico. Siendo los suelos por lo general un conjunto de partículas inertes granulares con otras activas de diversos grados de plasticidad, la acción que en ellos produce el cemento es doble. Por una parte actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos desempeñando el mismo papel que en el hormigón. Por otra parte, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su gran afinidad con el agua roban algunas de las moléculas de ésta interpuestas entre cada dos laminillas de arcilla. (IECA, 2013)

El resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y de la plasticidad así como un aumento en la resistencia y en la durabilidad. Se pueden utilizar todos los tipos de cementos, pero en general se emplean los de fraguado y endurecimiento normales. En algunos casos, para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables los cementos de alta resistencia y si las temperaturas son bajas se puede recurrir a cementos de fraguado rápido o al cloruro de calcio como aditivo. Este tipo de estabilización es de uso cada vez más frecuente y consiste comúnmente en agregar cemento Portland en proporción de

un 7% a un 16% por volumen de mezcla. Al mejorar un material con cemento Pórtland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%.

Casi todos los tipos de suelo que encontramos pueden estabilizarse con cemento con excepción de los que contienen altos porcentajes de materia orgánica. Por otra parte, los suelos de arcilla o limo requerirán un mayor porcentaje de cemento para lograr los resultados esperados. Por lo general, la capa que se estabiliza tiene un espesor de 10 a 15cms. y podrá coronarse con una capa de rodadura de poco espesor (ya sea para tránsito ligero o medio); también podrá servir de apoyo a un pavimento rígido o flexible de alta calidad.

Para la utilización del cemento, lo que tiene verdadera importancia es que el suelo no contenga materias que perjudiquen el fraguado o la resistencia. Interesa también para la economía de la obra limitar el porcentaje de cemento necesario y prever el comportamiento de las arcillas. En este orden hay que tomar en cuenta las aptitudes intrínsecas del suelo para la estabilización como son la Granulometría, lo que implica que los suelos a mejorarse no deben contener piedras de tamaño superior a 60mm (es decir, que el porcentaje que pasa por el tamiz #200 sea menor del 50%); y la Plasticidad, lo que determinará la calidad de las arcillas, estableciendo un Límite Líquido menor de 50% (<40%) y un Índice de Plasticidad menor de 25% (<18%). El éxito de la estabilización con cemento depende de tres factores:

Contenido apropiado de cemento  
Contenido apropiado de humedad  
Adecuada compactación

Por estos las mezclas deben ser sometidas a diversos ensayos como son el de compactación, durabilidad y compresión que aparte de su objeto específico servirán para dosificar el cemento que se empleará en la mezcla.

## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 PREPARACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

#### 4.1.1 Obtención de la muestra

Para el estudio se extrajeron 4 m<sup>3</sup> de suelo húmedo extraído de la fuente natural ubicada en zona rural del municipio de Girón. El suelo utilizado para el estudio, es usado en las ladrilleras del sector y fue transportado en una volqueta hasta las instalaciones de la universidad.

FIGURA No. 2 Disposición de la Muestra



FUENTE: Propia

#### **4.1.2 Preparación de la muestra para ensayos**

El suelo de estudio fue secado en su totalidad a temperatura ambiente y posteriormente con el pisón fue disgregado para obtener una muestra de tamaño pasa No 4 y de ahí fue depositado en recipientes para la realización de los ensayos planteados en este proyecto.

FIGURA No. 3 Preparación de la Muestra



FUENTE: Propia

#### **4.1.3 Cuarteo de muestras**

El cuarteo de muestras se realizó cada vez que se iba a realizar un ensayo siguiendo las especificaciones e indicaciones de la norma

FIGURA No. 4 Cuarteo de la Muestra



FUENTE: Propia

## **4.2 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

### **4.2.1 Granulometría**

Para el ensayo de granulometría se extrajeron 2000 gr de suelo se cuarteo según lo indica la norma y se llevó a cabo la granulometría por vía húmeda, lavado el suelo y que este pasara por el tamiz No 200 y luego llevándolo al horno, y así realizar la granulometría del suelo

FIGURA No. 5 Lavado Tamiz # 200



FUENTE: Propia

Para el ensayo de granulometría, Se pesó una cantidad de suelo se llevó al horno para sacarle toda su humedad de ahí se pasó a realizarle un lavado por el tamiz No 200 y posteriormente se llevó el material retenido por el tamiz No 200 al horno. Una vez el material seco al horno se dispuso a pasarlo por los diferentes tamices tales como: No 3/8, No 4, No 20, No 40, No 60, No 100, No 200 como lo indica la norma, en este proceso se tuvo en cuenta el suelo lavado que paso por el tamiz No 200 (pasa 200).

FIGURA No. 6 Granulometría



FUENTE: Propia

## 4.2.2 Límites de Atterberg

### 4.2.2.1 *Limite Líquido*

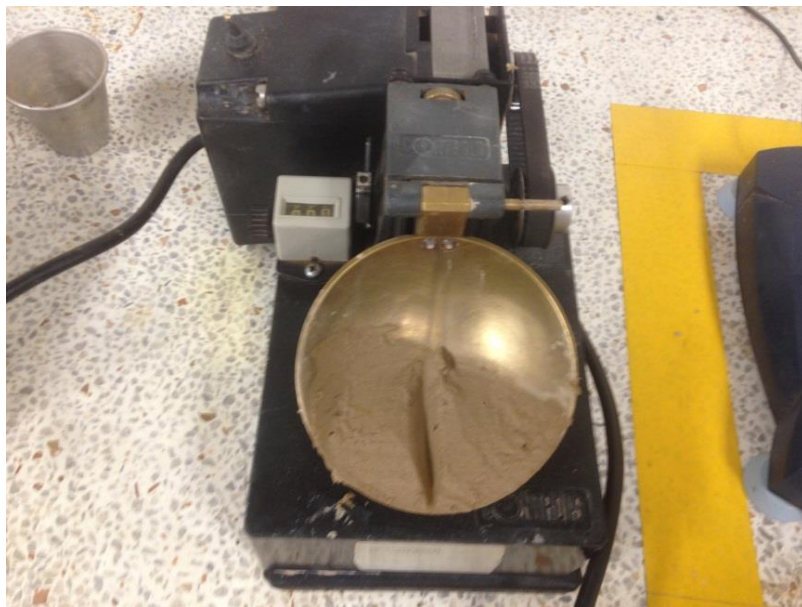
Se mezcló 150 gr de suelo seco el cual fue secado previamente a temperatura ambiente y luego triturado con un pisón y pasado por el tamiz No 4, luego se llevó a una saturación completa del suelo y luego de 24 horas por decantación se fue sacando el agua restante de la vasija, de ahí se el material se secó a temperatura ambiente hasta que en la cuchara Casagrande nos diera un aproximado de 50 o menos golpes, Cuando nos dio este resultado se dispuso a realizar el ensayo de límites con la cuchara Casagrande para las diferentes humedades

Cuando ya teníamos lista la muestra para el ensayo el paso siguiente fue agregarle un poco de agua a la muestra mezclarla bien e introducir un poco en la cuchara casa grande y luego hacerle una ranura a la muestra y contar el número de golpes para que la muestra se mezcle 1 cm aproximadamente, teniendo ya

este resultado se dispuso a tomar obtener un poco de muestra y se llevó al horno para conocer la humedad.

Así se hizo con diferentes humedades el objetivo era obtener como mínimo dos valores por encima de 25 golpes y dos por debajo, teniendo ya los valores de humedad y numero de golpes se realizó una gráfica en la cual se graficó humedad vs número de golpes y ha esta grafica se le hizo una regresión lineal, teniendo ya todos los valores descritos anteriormente se ubicó en el valor de 25 golpes en la gráfica y el valor de humedad correspondiente a 25 golpes este valor fue el límite liquido siguiendo todas la indicaciones y procedimientos teniendo como base la norma I.N.V.E 125 de 2013

FIGURA No. 7 Limite Líquido



FUENTE: Propia

#### **4.2.2.2 Limite plástico**

Para el limite plástico se utilizó un porcentaje del suelo utilizado en el límite líquido y en el mesón con papel periódico y con las manos se le saco suficiente humedad al suelo para así realizar lo rollos de 3 mm de diámetro hasta que se fisuren para obtener el limite plástico todo este procedimiento se realizó como lo indica la norma, teniendo ya las muestras se llevaron al horno para obtener la humedad de la muestra, en este ensayo se promediaron las humedades y estos resultados nos dan el limite plástico de nuestro suelo, todo el procedimiento se hizo teniendo en cuenta la metodología y las pautas de la norma I.N.V.E 126 de 2013

Para clasificar un suelo necesitábamos principalmente saber los límites de atterberg y la granulometría del material, estos valores ya los teníamos lo que se hizo fue en la tabla de la SUSC teniendo como datos el limite líquido y en índice de plasticidad.

### **4.3 Ensayos Realizados al Suelo**

#### **4.3.1 Límite de Contracción**

En el ensayo de limite contracción el objeto es observar a que porcentaje de humedad el suelo no cambia de volumen, para este ensayo es necesario una cantidad de suelo no menor de 150 gr.

Esta cantidad de suelo se satura completamente, la humedad debe ser igual o mayor a la del límite líquido, con el suelo ya saturado se introduce en unas pequeños moldes metálicos y se golpean sobre una superficie rígida para que el suelo se nivele y llene todos los espacios del molde, estos moldes se humectan con vaselina o algún material aceitoso.

Cuando los moldes ya están con el suelo se dejan secar a temperatura ambiente hasta que el suelo cambie de color, de ahí se introducen al horno para su secado.

Con las muestras de suelo ya secas se pesan y se anotan los valores, luego con mercurio se llena completamente el molde utilizado para el suelo y se anota el resultado pues con el peso y densidad del mercurio se obtiene el volumen del molde.

Luego en un molde de vidrio se llena completamente de mercurio y se introduce cada pastilla de suelo y se sumerge y se enrasa, la cantidad de mercurio que rebosa del molde es el volumen de la pastilla.

Con los valores de humedad del suelo y los volúmenes de suelo y molde se obtiene el límite de contracción, todo este procedimiento y observaciones del ensayo se siguieron de la norma I.N.V.E 127 de 2013

FIGURA No. 8 Limite de Contracción



FUENTE: Propia

#### **4.3.2 Proctor Modificado**

El ensayo de proctor modificado consiste en saber el valor de la máxima densidad en una humedad óptima, para este ensayo es necesario preparar varias muestras de suelo con humedades diferentes.

La primera parte del ensayo consistió en saber el porcentaje de humedad que tenía nuestro suelo seco, por esto se preparó una pequeña muestra del suelo y se llevó al horno para conocer la humedad

El ensayo de proctor modificado nos recomienda como mínimo 4 puntos como mínimo para poder realizar correctamente el ensayo, cuando ya teníamos los parámetros y conocíamos la norma se realizó la preparación de la muestra, en unas bolsas herméticas se introdujo el suelo ya con la humedad de cada porcentaje, en el primer ensayo no conocíamos la humedad optima se hicieron 5 puntos diferente de humedad.

En los ensayos siguientes se hicieron con 4 porcentajes de humedad, cuando el material ya estaba mezclado con el agua se introdujo en las bolsas herméticas selladas y se dejaron 24 horas de curado, una vez ya curado el material se continuo con la segunda parte del ensayo que correspondía en llevar el suelo a unos moldes de acero y con un martillo se realizó unos golpes al suelo, la norma describe que se deben hacer 5 capas de 56 golpes cada una de las capas.

Una vez ya compactado el suelo se pesa y se obtiene una densidad con el volumen del molde, luego se desarmo el molde y se llevó una muestra al horno donde se obtuvo una humedad y así se continuó con los siguientes porcentajes de humedad hasta que la densidad del suelo disminuyo cuando disminuyo el ensayo termino.

Cuando ya se tuvo los valores de humedad y densidad se realizó una gráfica en la cual se llevaron los resultados densidad vs humedad y en el valor mayor de densidad se miró la humedad y estos fueron los valores finales del ensayo

El ensayo se repitió 10 veces para el suelo teniendo como guía la norma I.N.V.E 142 de 2013

FIGURA No. 9 Proctor Modificado



FUENTE: Propia

### 4.3.3 Compresión Simple

En este ensayo se analizó el esfuerzo máxima que resiste el suelo respecto a una muestra.

Para este ensayo fue necesario tener con anticipación la humedad óptima del suelo, pues dentro de los parámetros del ensayo esta que la muestra debe estar con la humedad óptima, una vez conocida la humedad óptima del suelo se realizó un ensayo de proctor modificado, para obtener las briquetas del suelo, las briquetas del suelo se obtuvieron utilizando un saca muestras y un gato hidráulico.

Una vez las muestras ya sacadas de los moldes lo que se hizo fue con el moldeador de muestras darle forma a la briqueita, con las briquetas ya listas se almacenan en una recipiente que mantenga su humedad óptima hasta el ensayo de falla. Para realizar la parte final del ensayo se ubicó la briqueita en la máquina de compresión simple y teniendo en cuenta parámetros como tiempo, deformación y carga se realizó el ensayo hasta la falla de este, por último se graficó esfuerzo

versus deformación todo el procedimiento se basó y se tuvo en cuenta todos los parámetros que indica la norma I.N.V.E 152 de 2013

FIGURA No. 10 Compresión Simple



FUENTE: Propia

#### **4.3.4 Corte Directo**

El ensayo de corte directo es uno de los que ayuda a determinar parámetros muy importantes para el estudio de un suelo como la cohesión (C) y en Angulo de fricción ( $\phi$ ), estos parámetros son importantes pues son necesarios para el diseño de muros de contención, taludes y cimentaciones.

Para realizar este ensayo fue necesario realizar ensayos de proctor modificado, para cada corte fue necesario sacar 3 muestras de suelo , para obtener las muestras del suelo, una vez obtenidas las muestras de los suelos en los moldes de 6cmx6cm , se pesó cada muestra y se tomó sus dimensiones de ahí se trasladó la muestra a la caja metálica la cual está dividida en dos partes , una vez

ahí la muestras se apretaron unos torillos metálicos y se procedió aplicarle el esfuerzo  $\sigma_1$ , una vez aplicado el esfuerzo que actúa sobre la pastilla o muestra, se introduce el agua para que consolide la muestra.

Una vez pasado 24 horas de la muestra consolidándose se drenó el agua y se empezó a realizar el corte teniendo en cuenta parámetros como las unidades, la velocidad de corte, la carga de corte, deformación vertical y deformación horizontal.

FIGURA No. 11 Corte Directo



FUENTE: Propia

Este procedimiento se repitió para cada ensayo con tres esfuerzos diferentes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ .

Para el análisis de resultados el punto a tener en cuenta fue obtener la cohesión ( $c$ ) y el Angulo de fricción ( $\phi$ ), para obtener esos parámetros fue necesario realizar una gráfica de esfuerzos, estos esfuerzos son el esfuerzo que actúa sobre la pastilla  $\sigma$  (kg/cm<sup>2</sup>) versus el esfuerzo máximo a la hora de la falla de la muestra ( $\tau$ ) (kg/cm<sup>2</sup>). En esta grafica se obtuvo una tendencia lineal de la forma  $y = mx + b$ , donde  $b$  es valor de la cohesión ( $c$ ) (kg/cm<sup>2</sup>) y arco tangente de  $m$  es el valor del

Angulo de fricción todo el procedimiento se hizo con la metodología y los parámetros que indica la norma I.N.V.E 154 de 2013

FIGURA No. 12 Equipo de Corte Directo



FUENTE: Propia

#### **4.4 ENSAYOS AL SUELO CON 5% DE CEMENTO**

##### **4.4.1 Límites de Atterberg**

En el límite líquido para mejoramiento con 5% de cemento se realizó el mismo procedimiento realizado para el ensayo con solo suelo el único factor a tener en cuenta fue que en el momento de obtener la muestra de suelo se mezcló con 5% de cemento se cuarteo y mezclo homogéneamente una vez realizado este paso se saturó completamente la muestra por 24 horas y por decantación se extrajo el agua hasta que la mezcla de suelo con cemento quedara húmeda hasta el punto de límite líquido.

En el límite plástico mejorado con 5% de cemento se realizó el proceso normalmente, una vez realizado el límite líquido mejorado con 5% cemento se utilizó una muestra de suelo restante y se realizó el ensayo.

#### **4.4.2 Límite de contracción**

Para límite de contracción suelo adicionado con 5% de cemento el procedimiento fue el mismo que se realizó para el suelo limpio, se tuvo en cuenta antes de adicionar el agua la cantidad de cemento a agregar y que esta mezcla estuviera bien mezclada.

FIGURA No. 13 Límite de Contracción 5% Cemento



FUENTE: Propia

#### **4.4.3 Proctor Modificado**

Para el ensayo de proctor modificado mejorado con 5% de cemento el procedimiento se hizo como lo indica la norma teniendo en cuenta todos los parámetros que esta nos indica, pero en el momento que se realizó la mezcla de

suelo y agua se mezcló el 5% de cemento y se llevó a las bolsas herméticas y se dejó curar por 24 horas antes de realizar el ensayo.

#### **4.4.4 Ensayo compresión simple**

El ensayo de compresión simple con mejoramiento de 5 % de cemento se realizó con los parámetros de la norma. Se realizó el proctor modificado, para este proctor se mezcló el suelo con el 5% de cemento y se dejó curar por 24 horas una vez curado el suelo mejorado con cemento se realizó el proctor y se obtuvieron las muestras de compresión simple estas muestras se re moldearon y se llevaron a un recipiente donde no perdieran su humedad hasta el ensayo.

FIGURA No. 14 Compresión Simple 5% Cemento



FUENTE: Propia

#### 4.4.5 Corte Directo

En el ensayo de corte directo mejorado con 5% de cemento, el procedimiento que se siguió fue en que indica la norma, se realizó un proctor modificado con 5% de cemento y se obtuvieron las muestras del corte un total de 3 muestras por ensayo, para cada esfuerzo  $\sigma$  es necesaria una muestra diferente. El procedimiento del análisis de los datos es el mismo que se realizó para el corte directo sin mejoramiento con cemento.

FIGURA No. 15 Corte Directo 5% Cemento



FUENTE: Propia

### 4.5 ENSAYOS AL SUELO CON 10% DE CEMENTO

#### 4.5.1 Límites de Atterberg

En el ensayo de limite liquido del suelo mejorado con 10% de cemento el procedimiento realizado fue el mismo que se le hizo al suelo con 5% de cemento y

al suelo sin cemento, los únicos detalles a tener en cuenta fueron la proporción del suelo-cemento, saturación del suelo y que la decantación del suelo fuera la correcta.

En el límite plástico se realizó el mismo procedimiento que se realiza normalmente y que indica la norma, se obtuvo una muestra de suelo de límite líquido con 10% de cemento y se realizó el ensayo como lo describe la norma. I.N.V.E 126 2013

FIGURA No. 16 Limite Liquido 10% Cemento



FUENTE: Propia

FIGURA No. 17 Limite Plástico 10% Cemento



FUENTE: Propia

#### **4.5.2 Límite de Contracción**

Para limite contracción suelo adicionado con 10% de cemento el procedimiento fue el mismo que se realizó para el suelo limpio , se tuvo en cuenta antes de adicionar el agua la cantidad de cemento a agregar y que estas mezcla estuviera bien mezclada.

FIGURA No. 18 Limite de Contracción 10% Cemento



FUENTE: Propia

#### 4.5.3 Proctor Modificado

El ensayo proctor modificado con 10 % de cemento se realizó como todos los ensayos de proctor modificado que hicimos siguiendo parámetros como cantidad de agua la cantidad de cemento y el tiempo de curado de suelo, en el análisis de datos sucedió lo mismo se realizó una gráfica de humedad versus densidad para observar cómo se comportó el suelo.

FIGURA No. 19 Proctor Modificado 10% Cemento



FUENTE: Propia

#### 4.5.4 Compresión Simple

El ensayo de compresión simple del suelo mejorado con 10% de cemento se realizó teniendo como guía los ensayos realizados anteriormente, la norma y todas las indicaciones y parámetros que esta nos dio, el procedimiento fue el mismo que se hizo en los anteriores ensayos de compresión simple.

Se realizó un proctor modificado, se obtuvieron las muestras con el saca muestras se guardaron en bolsas herméticas y se realizó el ensayo normalmente, en el análisis de resultados se realizó la gráfica de esfuerzo versus deformación para observar cómo se comportaba el suelo mejorado con 10 % de cemento.

FIGURA No. 20 Compresión Simple 10% Cemento



FUENTE: Propia

#### **4.5.5 Corte Directo**

El ensayo de corte directo de suelo mejorado con 10% de cemento se realizó teniendo como base y guía los anteriores ensayos de cortes directo realizados y los parámetros que tiene la norma. Estos parámetros nos ayudaron a realizar un mejor ensayo pues nos dan soluciones a posibles problemas durante el ensayo.

Para la preparación de la muestra se realizó el mismo procedimiento realizado en los anteriores ensayos de corte directo, se realizó un proctor modificado se obtuvieron y almacenaron las muestras y se realizó el ensayo teniendo en cuenta todos los parámetros de este.

FIGURA No. 21 Corte Directo 10% Cemento



FUENTE: Propia

## **4.6 ENSAYOS DEL SUELO CON 15% DE CEMENTO**

### **4.6.1 Límites de Atterberg**

En el ensayo de límites mejorados con un 15% de cemento, el procedimiento realizado fue el mismo que se hizo en todos los ensayos de límites del proyecto, se pesó la muestras inicial de suelo y se mezcló con el 15 % de cemento y se saturo completamente, luego de 24 se inició el proceso de decantación para eliminar la cantidad de agua sobrante y así poder dejar el suelo listo para realizar el ensayo.

Para el límite plástico el procedimiento realizado fue el mismo, con una cantidad de muestra de suelo húmeda se realizó el proceso de mirar la plasticidad como lo indica la norma. I.N.V.E 126 de 2013

FIGURA No. 22 Limite Plástico 15% Cemento



FUENTE: Propia

#### 4.6.2 Limite contracción

Para limite contracción suelo adicionado con 5% de cemento el procedimiento fue el mismo que se realizó para el suelo limpio, se tuvo en cuenta antes de adicionar el agua la cantidad de cemento a agregar.

FIGURA No. 23 Limite de Contracción 15% Cemento



FUENTE: Propia

#### **4.6.3 Proctor modificado**

En el ensayo de proctor modificado del suelo mejorado con 15 % de cemento se realizó el mismo procedimiento que se le hizo a los demás ensayos de proctor, se preparó la muestra de suelo con 15% de cemento se le agregó la cantidad de agua diferentes para obtener 4 puntos de referencia para el ensayo y se dejaron curar las bolsas herméticas con el suelo.

#### **4.6.4 Compresión simple**

En el ensayo de compresión simple mejorado con 15 % de cemento fue necesario realizar muestras de proctor modificado con la humedad óptima del suelo mejorado, una vez realizado este proctor se extrajeron las muestras (briquetas) con un saca muestras y en la máquina de ensayo de compresión simple se realizó el ensayo teniendo como datos a tomar la carga y deformación todo este procedimiento se basó con guía en la norma. I.N.V.E 152 de 2013.

FIGURA No. 24 Compresión Simple 15% Cemento



FUENTE: Propia

#### 4.6.5 Corte directo

En el ensayo de corte directo con suelo mejorado con 15% de cemento se tuvo como guía los ensayos anteriores de corte directo el único dato a tener en cuenta fue la cantidad de cemento agregada en las muestras de suelo pues estos ensayos se hicieron con mejoramiento del 15% de cemento, el procedimiento fue el mismo realizado con los otros tipos de suelo, se aplicaron tres esfuerzos  $\sigma_1$   $\sigma_2$   $\sigma_3$  a tres muestras diferentes y se realizó una gráfica de esfuerzo ( $\tau$  vs  $\sigma$ ) y con esta grafica se obtuvo los datos de cohesión (C) y ángulo de fricción  $\phi$ .

FIGURA No. 25 Corte Directo 15% Cemento



FUENTE: Propia

FIGURA No. 26 Muestra Cortada 15% Cemento



FUENTE: Propia

## 5 RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS SUELO NATURAL

#### 5.1.1 Granulometría del suelo

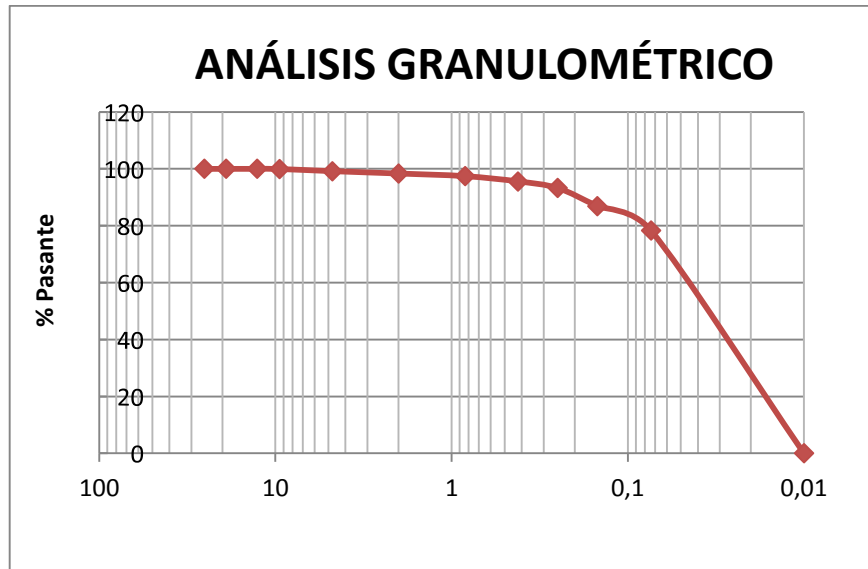
En el ensayo de granulometría se hicieron 5 ensayos los cuales se muestran a continuación en las siguientes tablas y graficas

- Muestra 1

Tabla No. 2 Granulometría Muestra 1

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS</b>					
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g)</b>					<b>2003,4</b>
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUÉS DE LAVADA Y SECADA (g)</b>					<b>453,86</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO TOTAL</b>	<b>% PASA TOTAL</b>
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,1	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,5	1	0,050	0,050	99,95008
N°4	4,76	15,3	0,764	0,814	99,18638
N°10	2	16,4	0,819	1,632	98,36777
N°20	0,84	18,56	0,926	2,559	97,44135
N°40	0,42	36,95	1,844	4,403	95,59699
N°60	0,25	46,86	2,339	6,742	93,25796
N°100	0,149	126,86	6,332	13,074	86,92573
N°200	0,074	171,3	8,550	21,625	78,37526
FONDO	0,01	1570,17	78,375	100,000	0
<b>TOTAL</b>		2003,4			-

FIGURA No. 27 Granulometría Muestra 1



FUENTE: Propia

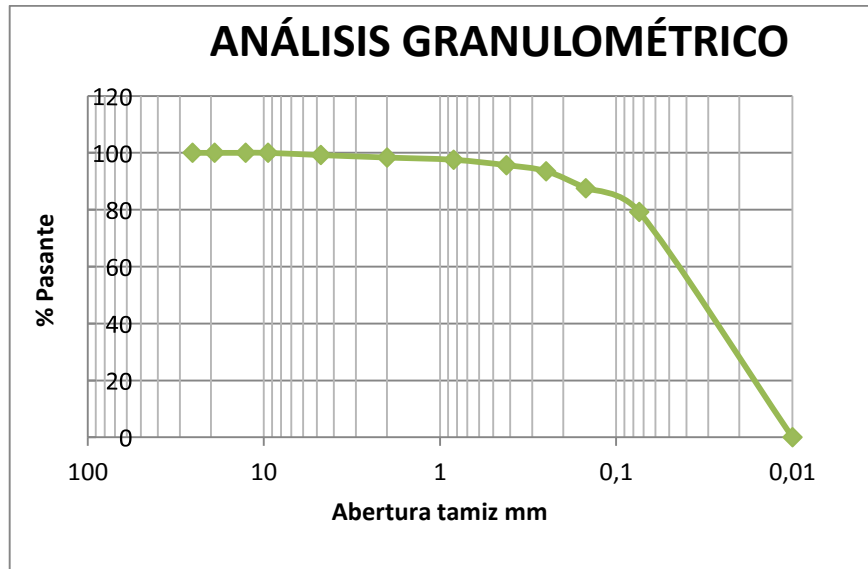
- *Gravas*= 0,05%
- *Arenas*= 21,574%
- *Finos*= 78,375%

➤ Muestra N0 2

Tabla No. 3 Granulometría Muestra 2

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS</b>					<b>No 2</b>
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g)</b>					<b>2350,84</b>
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (g)</b>					<b>488,49</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO TOTAL</b>	<b>% PASA TOTAL</b>
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,1	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0,000	0,000	100
N°4	4,76	18,5	0,787	0,787	99,21305
N°10	2	20,3	0,864	1,650	98,34953
N°20	0,84	18,56	0,790	2,440	97,56002
N°40	0,42	44,56	1,895	4,335	95,66453
N°60	0,25	49,56	2,108	6,444	93,55635
N°100	0,149	139,78	5,946	12,390	87,61039
N°200	0,074	197,23	8,390	20,779	79,22062
<b>FONDO</b>	0,01	1862,35	79,221	100,000	0
<b>TOTAL</b>		2350,84	100		-

FIGURA No. 28 Granulometría Muestra 2



FUENTE: Propia

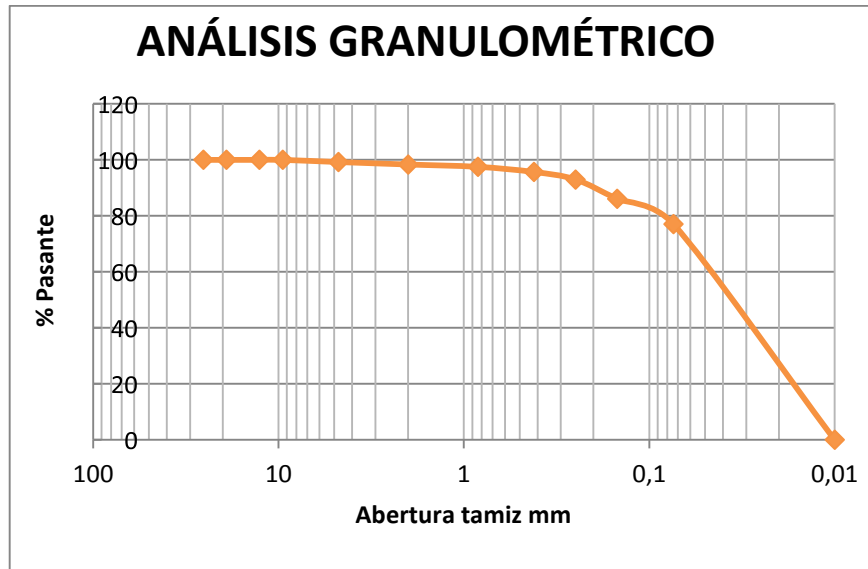
- *Gravas*= 0%
- *Arenas*= 20,78%
- *Finos*= 79,22%

➤ Muestra No 3

Tabla No. 4 Granulometría Muestra 3

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS No 3</b>					
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g)</b>					<b>1995,96</b>
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUÉS DE LAVADA Y SECADA (g)</b>					<b>458,51</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO TOTAL</b>	<b>% PASA TOTAL</b>
<b>1"</b>	25,4	0	0	0	100
<b>3/4"</b>	19,1	0	0	0	100
<b>1/2"</b>	12,7	0	0	0	100
<b>3/8"</b>	9,5	0	0,000	0,000	100
<b>N°4</b>	4,76	15,4	0,772	0,772	99,22844
<b>N°10</b>	2	17,5	0,877	1,648	98,35167
<b>N°20</b>	0,84	16,7	0,837	2,485	97,51498
<b>N°40</b>	0,42	36,56	1,832	4,317	95,68328
<b>N°60</b>	0,25	53,34	2,672	6,989	93,01088
<b>N°100</b>	0,149	138,78	6,953	13,942	86,05784
<b>N°200</b>	0,074	180,23	9,030	22,972	77,0281
<b>FONDO</b>	0,01	1537,45	77,028	100,000	0
<b>TOTAL</b>		1995,96	100		-

FIGURA No. 29 Granulometría Muestra 3



FUENTE: Propia

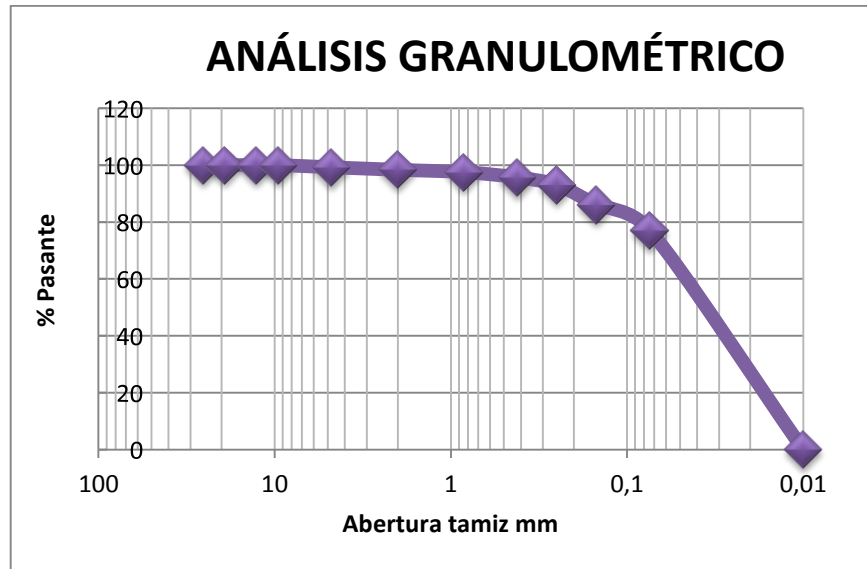
- *Gravas= 0%*
- *Arenas= 22,97%*
- *Finos= 77,03%*

➤ Muestra No 4

Tabla No. 5 Granulometría Muestra 4

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS</b>					<b>No 4</b>
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA (g)</b>					<b>2245,45</b>
<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (g)</b>					<b>519,08</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO TOTAL</b>	<b>% PASA TOTAL</b>
<b>1"</b>	25,4	0	0	0	100
<b>3/4"</b>	19,1	0	0	0	100
<b>1/2"</b>	12,7	0	0	0	100
<b>3/8"</b>	9,5	20,5	0,912957	0,913	99,08704
<b>N°4</b>	4,76	20,4	0,908504	1,821	98,17854
<b>N°10</b>	2	25,4	1,131176	2,953	97,04736
<b>N°20</b>	0,84	22,22	0,989557	3,942	96,05781
<b>N°40</b>	0,42	36,58	1,629072	5,571	94,42873
<b>N°60</b>	0,25	55,97	2,492596	8,064	91,93614
<b>N°100</b>	0,149	138,78	6,180498	14,244	85,75564
<b>N°200</b>	0,074	199,23	8,872609	23,117	76,88303
<b>FONDO</b>	0,01	1726,37	76,88303	100,000	0
<b>TOTAL</b>		2245,45	100		-

FIGURA No. 30 Granulometría Muestra 4



FUENTE: Propia

- *Gravas*= 0,91%
- *Arenas*= 22,20%
- *Finos*= 76,68%

## 5.1.2 Límites de Atterberg

### 5.1.2.1 *Limite líquido*

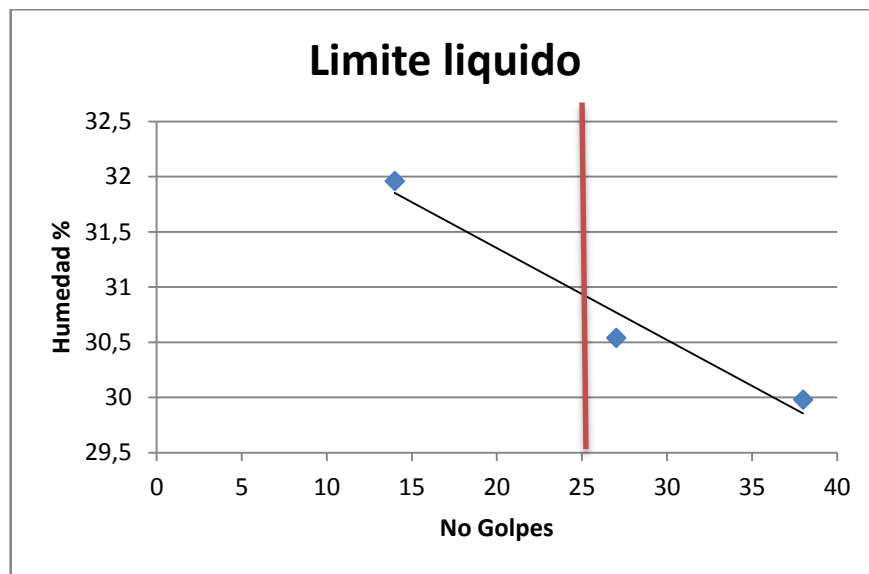
Para los resultados de límite líquido se realizaron 6 ensayos los cuales se analizaron y se ingresaron a las siguientes tablas con sus respectivos resultados.

➤ Muestra No 1

Tabla No. 6 Limite Liquido Muestra 1

LIMITE LIQUIDO			
TARA	22	25	13
No GOLPES	36	27	15
PESO TARA	6,62	6,93	6,62
PESO TARA + SUELO HUMEDO	12,68	12,7	13,81
PESO TARA + SUELO SECO	11,32	11,34	12,04
PESO SUELO HUMEDO	6,06	5,77	7,19
PESO SUELO SECO	4,7	4,41	5,42
% HUMEDAD	29,98	30,54	31,96
No GOLPES	38	27	14

FIGURA No. 31 Limite Liquido Muestra 1



- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

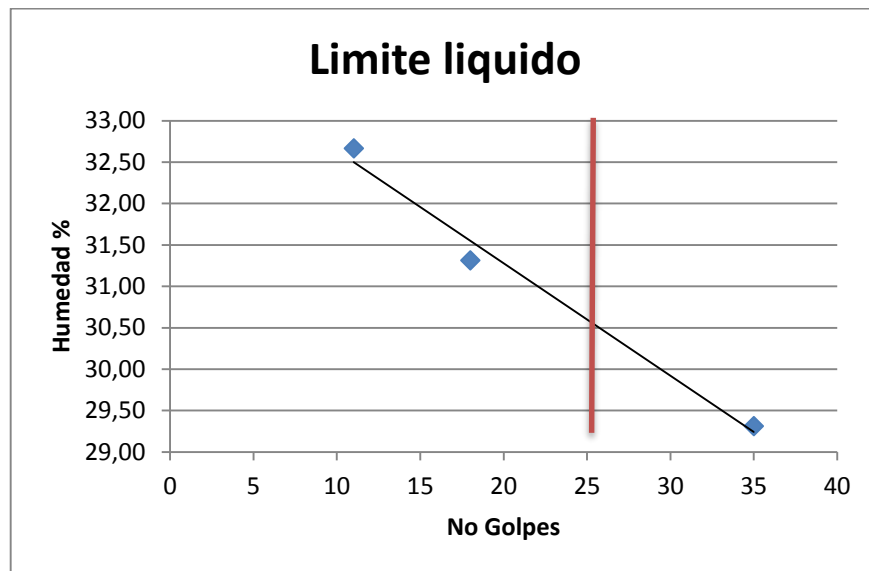
$$LL=31,3\%$$

➤ Muestra No 2

Tabla No. 7 Limite Líquido Muestra 2

LIMITE LIQUIDO		No 2	
TARA	116	10	178
No GOLPES	35	18	11
PESO TARA	6,53	7,04	8,37
PESO TARA + SUELO HUMEDO	10,28	10,94	12,35
PESO TARA + SUELO SECO	9,43	10,01	11,37
PESO SUELO HUMEDO	3,75	3,9	3,98
PESO SUELO SECO	2,9	2,97	3
% HUMEDAD	29,31	31,31	32,67
No GOLPES	35	18	11

FIGURA No. 32 Limite Líquido Muestra 2



FUENTE: Propia

- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

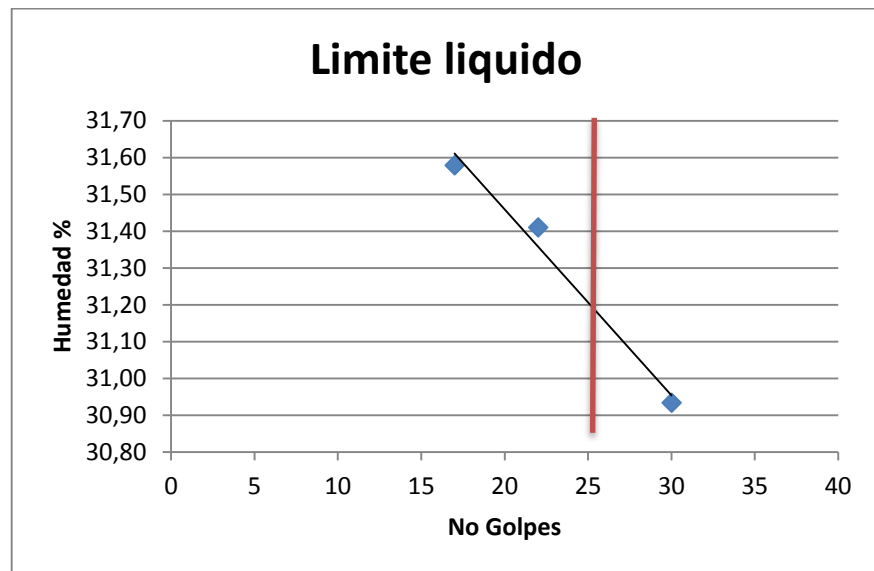
$$LL = 30,5\%$$

➤ *Muestra No 3*

Tabla No. 8 Limite Líquido Muestra 3

LIMITE LIQUIDO		No 3	
TARA	120	25	13
No GOLPES	30	22	17
PESO TARA	8,87	6,95	6,65
PESO TARA + SUELO HUMEDO	15,6	13,1	12,9
PESO TARA + SUELO SECO	14,01	11,63	11,4
PESO SUELO HUMEDO	6,73	6,15	6,25
PESO SUELO SECO	5,14	4,68	4,75
% HUMEDAD	30,93	31,41	31,58
No GOLPES	30	22	17

FIGURA No. 33 Limite Líquido Muestra 3



FUENTE: Propia

- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

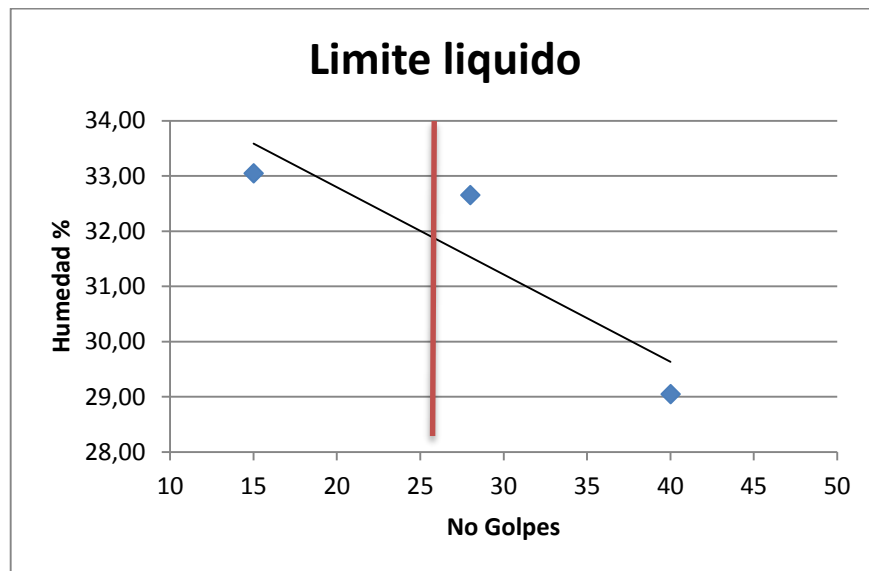
$$LL=31,2\%$$

➤ *Muestra No 4*

Tabla No. 9 Limite Líquido Muestra 4

LIMITE LIQUIDO		No 4	
TARA	23	45	66
No GOLPES	40	28	15
PESO TARA	16,8	15,3	18,5
PESO TARA + SUELO HUMEDO	35,77	34,15	30,94
PESO TARA + SUELO SECO	31,5	29,51	27,85
PESO SUELO HUMEDO	18,97	18,85	12,44
PESO SUELO SECO	14,7	14,21	9,35
% HUMEDAD	29,05	32,65	33,05
No GOLPES	40	28	15

FIGURA No. 34 Limite Líquido Muestra 4



FUENTE: Propia

- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

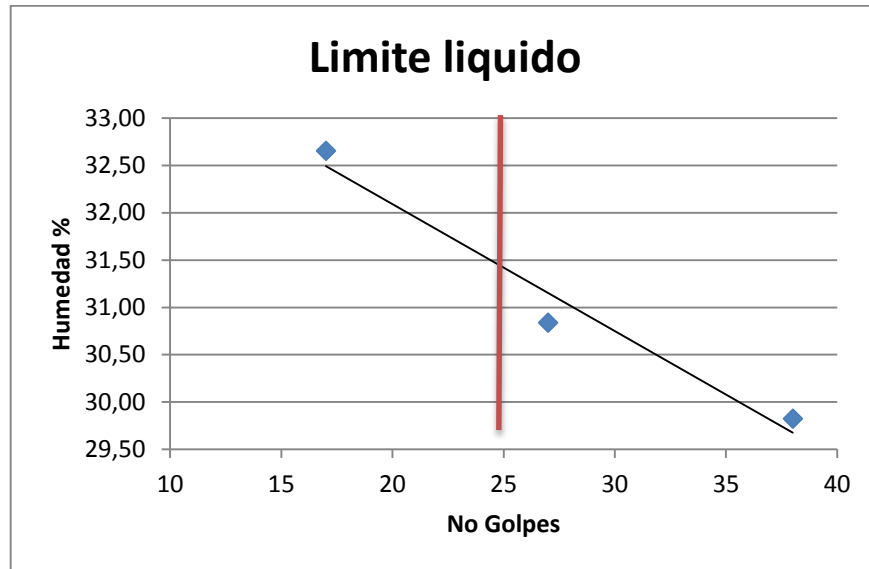
$$LL = 32\%$$

➤ *Muestra No 5*

Tabla No. 10 Limite Líquido Muestra 5

LIMITE LIQUIDO		No 5	
TARA	120	37	45
No GOLPES	38	27	17
PESO TARA	6,76	6,93	6,62
PESO TARA + SUELO HUMEDO	12,68	12,7	13,81
PESO TARA + SUELO SECO	11,32	11,34	12,04
PESO SUELO HUMEDO	5,92	5,77	7,19
PESO SUELO SECO	4,56	4,41	5,42
% HUMEDAD	29,82	30,84	32,66
No GOLPES	38	27	17

FIGURA No. 35 Limite Líquido Muestra 5



FUENTE: Propia

- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

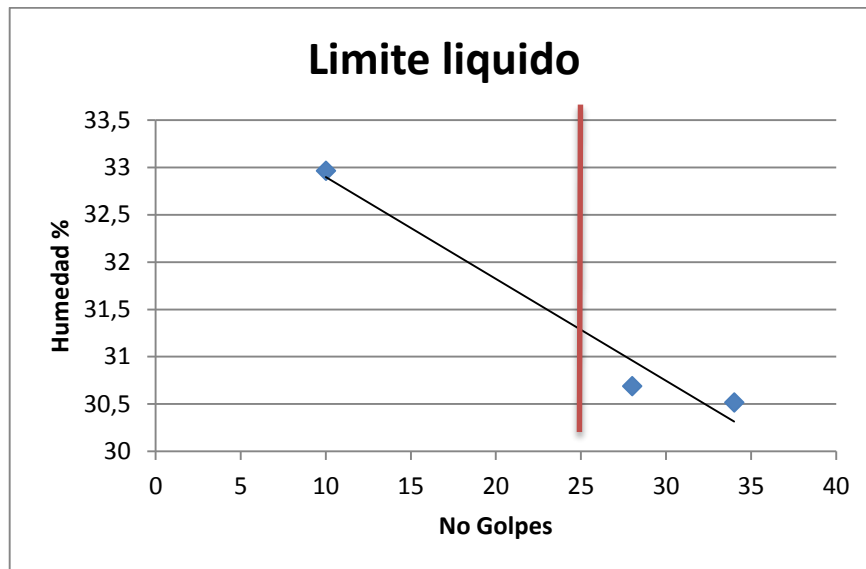
$$LL=31,4\%$$

➤ *Muestra No 6*

Tabla No. 11 Limite Líquido Muestra 6

LIMITE LIQUIDO		No 6	
TARA	28	25	13
No GOLPES	34	28	10
PESO TARA	7,16	10,65	6,55
PESO TARA + SUELO HUMEDO	12,72	23,51	13,81
PESO TARA + SUELO SECO	11,42	20,49	12,01
PESO SUELO HUMEDO	5,56	12,86	7,26
PESO SUELO SECO	4,26	9,84	5,46
% HUMEDAD	30,5164319	30,6910569	32,967033
No GOLPES	34	28	10

FIGURA No. 36 Limite Liquido Muestra 6



FUENTE: Propia

- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

$$LL = 31,3$$

- Los resultados de los ensayos se promediaron y el resultado fue.

$$LL=31,22$$

### 5.1.2.2 Limite Plástico

Para límite plástico el valor a destacar era la humedad, se realizaron 10 ensayos y con los datos obtenidos se ingresaron en las siguientes tablas con sus respectivos resultados.

Tabla No. 12 Limite Plástico Muestra 1

LIMITE PLASTICO				
No Tara	22	3	32	60
PESO TARA (gr)	6,77	20,82	20,78	18,89
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	9,66	25,77	24,85	21,26
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	9,32	25,17	24,34	20,97
PESO SUELO HUMEDO (gr)	2,89	4,95	4,07	2,37
PESO SUELO SECO (gr)	2,55	4,35	3,56	2,08
% HUMEDAD	13,33	13,79	14,33	13,94
Prom Humedad		13,85		

Tabla No. 13 Limite Plástico Muestra 2

LIMITE PLASTICO				
No Tara	28	25	13	37
PESO TARA (gr)	7,16	10,65	6,55	6,93
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	19,86	25,89	16,56	23,56
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	18,32	24,17	15,34	21,4
PESO SUELO HUMEDO (gr)	12,7	15,24	10,01	16,63
PESO SUELO SECO (gr)	11,16	13,52	8,79	14,47
% HUMEDAD	13,80	12,72	13,88	14,93
Prom Humedad		13,83		

- De la misma forma que en el límite líquido se realizó un promedio con todos los ensayos para buscar una mayor aproximación.

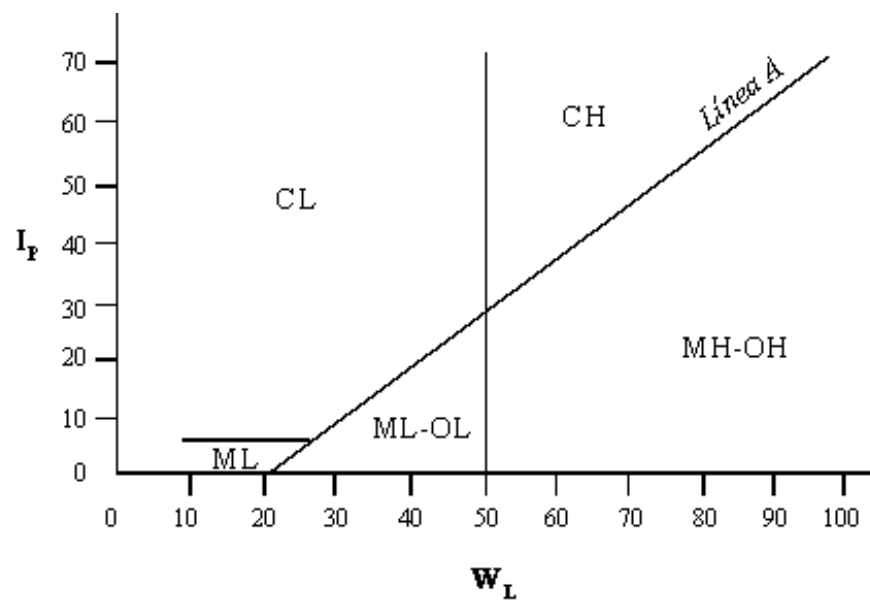
$$LP=13,85.$$

- Es necesario para la clasificación del suelo buscar el índice de plasticidad el cual se obtiene de la formula.

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 31,22 - 13,85 = \mathbf{17,38}$$

FIGURA No. 37 Carta de Casagrande

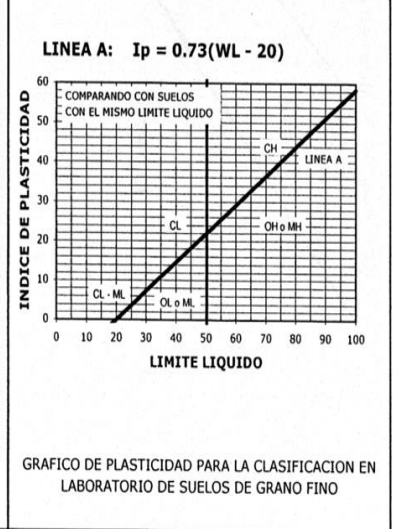


FUENTE: <https://mecanicadesuelos.files.wordpress.com/2011/03/clasif1.png>

FIGURA No. 38 Tabla SUCS

Sistema USCS de Clasificación de Suelos

IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GW</b>	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA DE LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200. LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:  GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES  MENOS DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_r = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$ ENTRE 1 Y 3  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW  LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON $I_p$ ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES  $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_r = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$ ENTRE 1 Y 3  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW  LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON $I_p$ ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES  LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O $I_p$ MAYOR QUE 7 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON $I_p$ ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES
		GRAVAS CON POCOS FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	<b>GP</b>	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
	ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GM</b>	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO			
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GC</b>	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA			
	ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SW</b>	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SP</b>	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TEHACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	<b>ML</b>	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD	
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA			
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	<b>CL</b>	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS	
		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	<b>OL</b>	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD	
		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	<b>MH</b>	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS	
	ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	<b>CH</b>	ARCILLAS INORGANICAS DE PALSTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS		
	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	<b>OH</b>	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA		
	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLO, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			<b>Pt</b>	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	



FUENTE: <https://mecanicadesuelos.files.wordpress.com/2011/03/clasif1.png>

- Con los datos obtenidos en los primeros ensayos del suelo límite líquido, límite plástico, y granulometría se pudo obtener el tipo de suelo al cual le íbamos hacer la investigación.
- En la anterior tabla y grafica con los datos de límite líquido y índice de plasticidad se pudo clasificar el suelo.

*Tipo de suelo*

**CL**

- **CL** es un suelo que se compone de arcilla inorgánica de plasticidad baja o media

**5.1.3 Límite de contracción**

En el ensayo de límite de contracción se realizó una tabla con los valores promedios y sus resultados obtenidos.

Tabla No. 14 Limite de Contracción

LIMITE DE CONTRACCIÓN				
Molde #	5	40	15	2
P Molde (gr)	19,88	19,43	19,16	24,3
P Molde + S (gr)	55,63	46,88	47,16	50,68
P Molde +SS (GR)	49,21	40,1	40,21	44,26
Masa Mercurio + Mo	215	223,8	219,35	216,47
Masa Mercurio (gr)	195,12	204,37	200,19	192,17
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen Húmedo	14,40	15,08	14,77	14,18
Masa Mercurio + Mo	150,30	160,92	150,02	143,34
Masa mercurio (gr)	130,42	141,49	130,86	119,04
Desidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen seco	9,62509225	10,4420664	9,65756458	8,78523985
Masa Humedad suelo	35,75	27,45	28	26,38
Masa Seca Suelo	29,33	20,67	21,05	19,96
Humedad	21,888851	32,8011611	33,0166271	32,1643287
Lc	5,60890641	10,3503125	8,70971418	5,12501017
	5,60890641	10,3503125	8,70971418	5,12501017
		7,45		

- En la anterior tabla se puede observar el resultado del ensayo límite de contracción, que como resultado nos dio un valor de

$$LC = 7,45$$

#### 5.1.4 Proctor modificado al suelo.

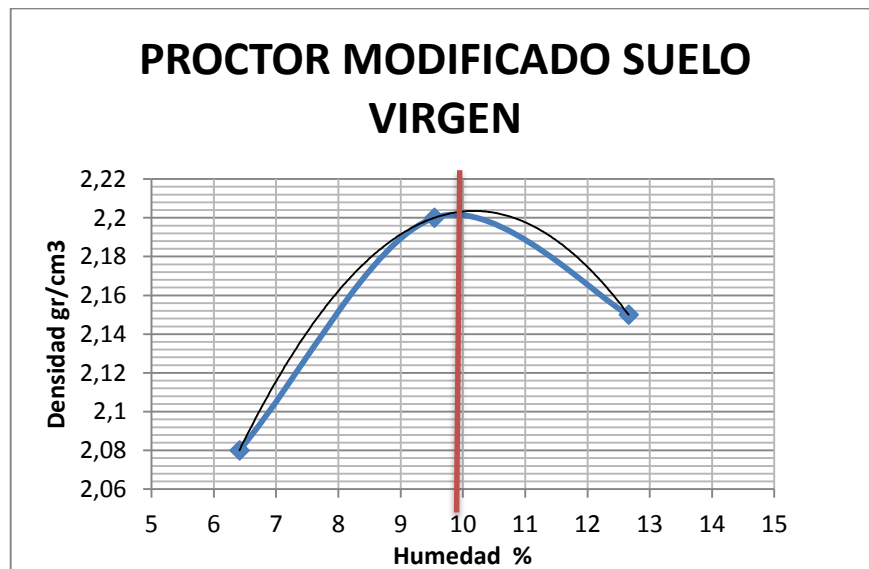
Para el ensayo de proctor modificado se realizó una tabla con los valores como densidad y humedad y estos se graficaron.

- Muestra No 1

Tabla No. 15 Proctor Modificado Muestra 1

PROCTOR MODIFICADO SUELO VIRGEN			
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	10160	10410	10300
PESO SUELO (gr)	4460	4710	4600
TARA #	50	210	156
PESO TARA (gr)	10,24	6,65	6,94
SUELO HUMEDO + TARA (gr)	31,78	39,34	44,22
SUELO HUMEDO (gr)	21,54	32,69	37,28
SUELO SECO + TARA (gr)	30,4	36,22	39,5
SUELO SECO (gr)	20,16	29,57	32,56
PESO AGUA (gr)	1,38	3,12	4,72
HUMEDAD %	6,41	9,54	12,66
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	2,08	2,2	2,15

FIGURA No. 39 Proctor Modificado Muestra 1



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 10,1$$

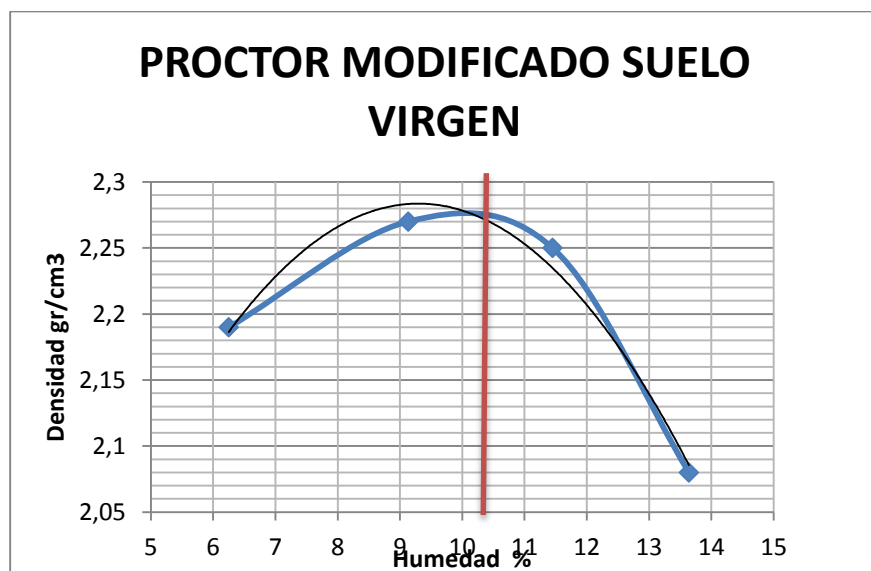
$$\text{Densidad máxima} = 2,22 \text{ gr/cm}^3$$

- Muestra No 2

Tabla No. 16 Proctor Modificado Muestra 2

PROCTOR MODIFICADO SUELO VIRGEN				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	10390	10565,9	10513,4	10150
PESO SUELO (gr)	4690	4865,88	4813,44	4450
TARA #	8	201	19	132
PESO TARA (gr)	27	25	21	7
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	43	36	60	29
SUELO HÚMEDO (gr)	16	11	39	22
SUELO SECO + TARA (gr)	42	35	56	26
SUELO SECO (gr)	15	10	35	19
PESO AGUA (gr)	1	1	4	3
HUMEDAD %	6,25	9,13	11,45	13,64
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	2,19	2,27	2,25	2,08

FIGURA No. 40 Proctor Modificado Muestra 2



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

*Humedad óptima = 10,3 %*

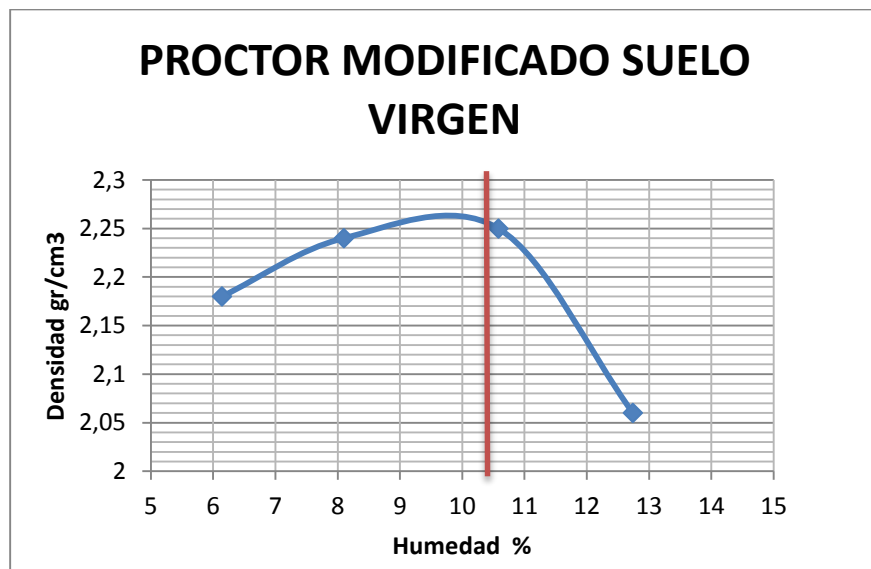
*Densidad máxima = 2,27 gr/cm<sup>3</sup>*

- Muestra No 3

Tabla No. 17 Proctor Modificado Muestra 3

PROCTOR MODIFICADO SUELO VIRGEN				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	10378	10491,8	10510	10110
PESO SUELO (gr)	4678	4791,8	4810	4410
TARA #	210	10	50	156
PESO TARA (gr)	6,65	6,7	10,24	6,94
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	43,15	43,2	58,34	28,6
SUELO HÚMEDO (gr)	36,5	36,5	48,1	21,66
SUELO SECO + TARA (gr)	40,91	40,2	53,25	25,84
SUELO SECO (gr)	34,26	33,5	43,01	18,9
PESO AGUA (gr)	2,24	3,0	5,09	2,76
HUMEDAD %	6,14	8,1	10,58	12,74
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	2,18	2,2	2,25	2,06

FIGURA No. 41 Proctor Modificado Muestra 3



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

*Humedad óptima = 10,5%*

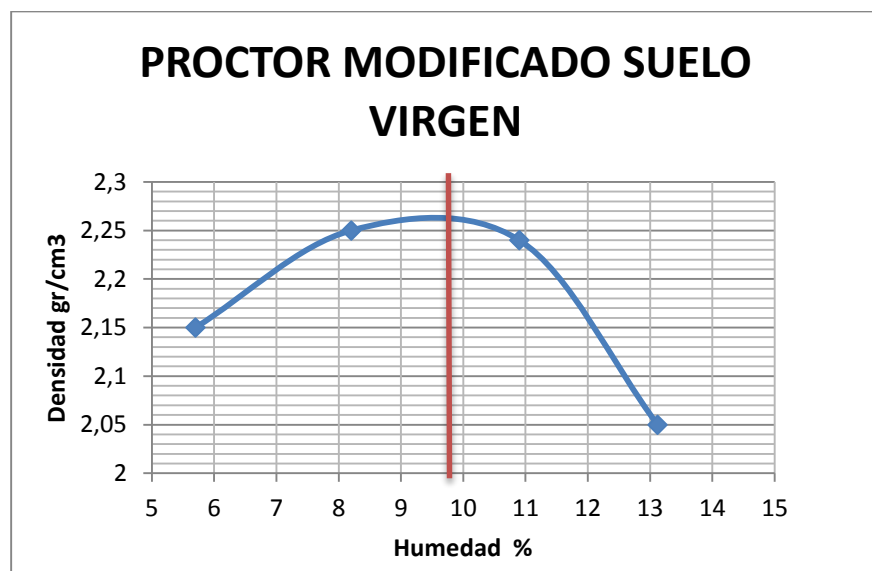
*Densidad máxima = 2,26 gr/cm<sup>3</sup>*

- Muestra No 4

Tabla No. 18 Proctor Modificado Muestra 4

PROCTOR MODIFICADO SUELO VIRGEN				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	10310	10518,4	10490	10080
PESO SULEO (gr)	4610	4818,4	4790	4380
TARA #	19	245	210	156
PESO TARA (gr)	7,1	22,54	6,64	6,94
SUELO HUMEDO + TARA (gr)	32,29	32,6817	28,56	32,39
SUELO HUMEDO (gr)	25,19	10,1417	21,92	25,45
SUELO SECO + TARA (gr)	30,85	31,85	26,17	29,05
SUELO SECO (gr)	23,75	9,31	19,53	22,11
PESO AGUA (gr)	1,44	0,83174	2,39	3,34
HUMEDAD %	5,7	8,2	10,9	C
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	2,15	2,25	2,24	2,05

FIGURA No. 42 Proctor Modificado Muestra 4



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 9,7\%$$

$$\text{Densidad máxima} = 2,26 \text{ gr/cm}^3$$

- Con todos los resultados obtenidos en cada ensayo se realizó un promedio de humedad y densidad para obtener un valor real.
  - *Humedad óptima* = 10,37%
  - *Densidad máxima* = 2,25 gr/cm<sup>3</sup>

#### **5.1.5 Compresión simple suelo**

Para el ensayo de compresión simple, para los resultados eran necesarios datos de carga y deformación y dimensiones de la muestra, y esfuerzo para obtener la siguiente tabla para cada muestra

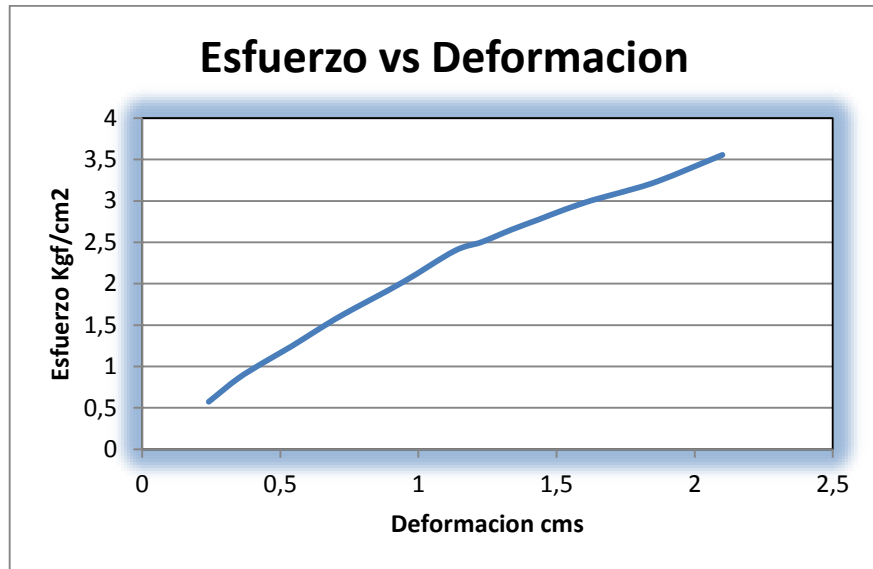
➤ Muestra No 1

Tabla No. 19 Compresión Simple Muestra 1

TABLA COMPRESION SIMPLE			
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	5,684	0,241	0,574
2	8,428	0,345	0,851
3	10,374	0,439	1,048
4	12,315	0,541	1,244
5	14,220	0,632	1,436
6	16,180	0,732	1,634
7	19,954	0,942	2,016
8	23,710	1,130	2,395
9	24,780	1,229	2,503
10	26,245	1,336	2,651
11	27,497	1,438	2,777
12	28,627	1,527	2,892
13	29,765	1,628	3,007
14	30,704	1,732	3,101
15	32,083	1,869	3,241
16	35,195	2,101	3,455

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación.

FIGURA No. 43 Compresión Simple Muestra 1



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo  
 $q_u = 3,455 \text{ Kg/cm}^2$   
 $C_u = 1,755 \text{ Kg/cm}^2$

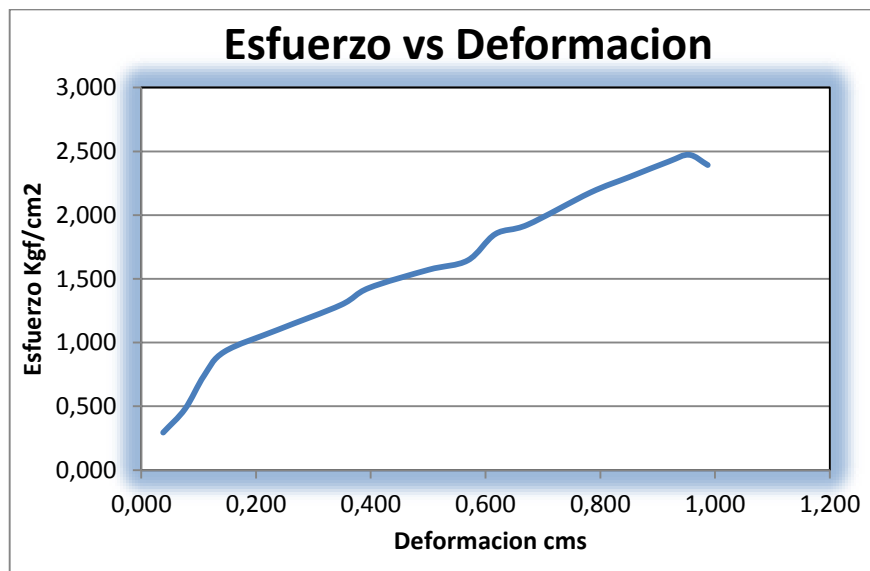
➤ Muestra No 2

Tabla No. 20 Compresión Simple Muestra 2

TABLA COMPRESION SIMPLE		No 2	
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	2,926	0,038	0,294
2	4,770	0,076	0,479
3	7,357	0,109	0,739
4	9,237	0,145	0,928
5	10,963	0,239	1,102
6	12,888	0,348	1,295
7	14,202	0,396	1,427
8	15,629	0,500	1,571
9	16,362	0,569	1,644
10	18,424	0,617	1,852
11	19,144	0,673	1,924
12	21,649	0,782	2,176
13	22,872	0,851	2,299
14	24,081	0,919	2,420
15	24,602	0,955	2,473
16	23,806	0,987	2,393

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación.

FIGURA No. 44 Compresión Simple Muestra 2



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo.

$$q_u = 2,473 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 1,236$$

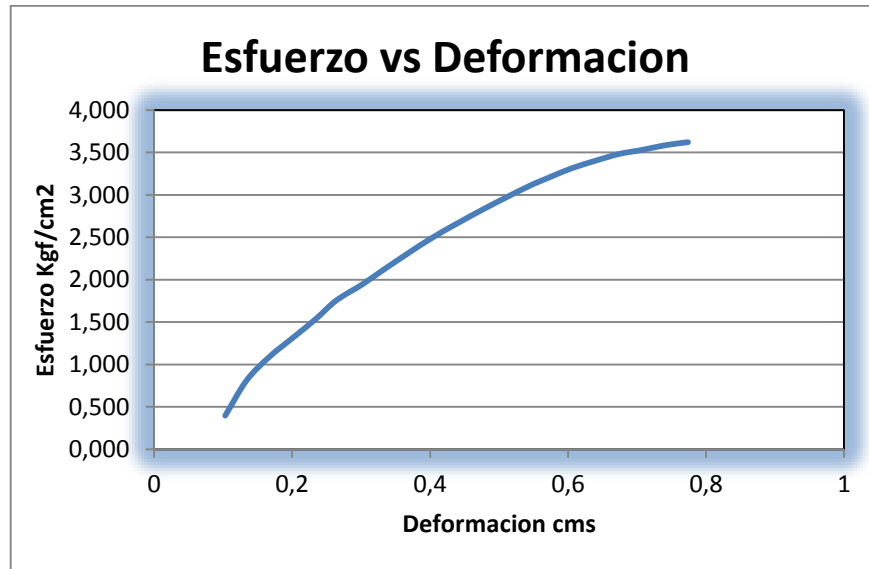
➤ Muestra No 3

Tabla No. 21 Compresión Simple Muestra 3

TABLA COMPRESION SIMPLE		No 3	
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,950	0,103	0,397
2	8,077	0,134	0,812
3	10,840	0,167	1,089
4	13,209	0,203	1,328
5	15,334	0,235	1,541
6	17,459	0,264	1,755
7	19,411	0,303	1,951
8	21,314	0,337	2,142
9	24,811	0,403	2,494
10	28,027	0,474	2,817
11	30,745	0,54	3,090
12	31,900	0,573	3,206
13	32,960	0,605	3,313
14	33,884	0,641	3,405
15	34,650	0,674	3,482
16	35,130	0,708	3,531
17	35,66016	0,74	3,584
18	36,03615	0,774	3,622

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación.

FIGURA No. 45 Compresión Simple Muestra 3



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo.

$$q_u = 3,622 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 1,81 \text{ Kg/cm}^2$$

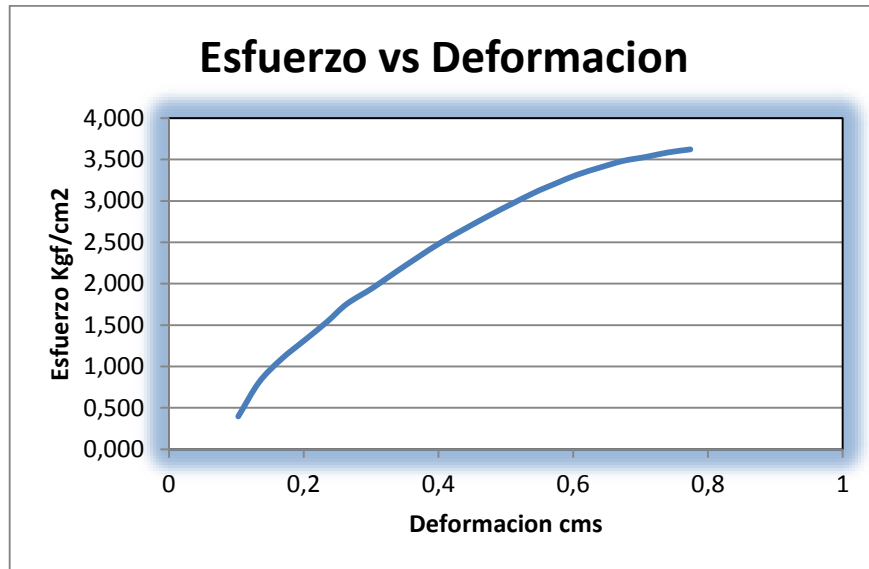
➤ Muestra No 4

Tabla No. 22 Compresión Simple Muestra 4

TABLA COMPRESION SIMPLE		No 4	
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	4,236	0,103	0,426
2	9,160	0,134	0,921
3	11,021	0,167	1,108
4	15,905	0,203	1,598
5	18,926	0,235	1,902
6	20,852	0,264	2,096
7	23,257	0,303	2,337
8	27,284	0,337	2,742
9	29,749	0,403	2,990
10	31,153	0,474	3,131
11	32,272	0,54	3,243
12	33,187	0,573	3,335
13	34,935	0,605	3,511
14	35,869	0,641	3,605
15	34,600	0,674	3,477
16	33,721	0,708	3,389

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación.

FIGURA No. 46 Compresión Simple Muestra 4



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo.

$$q_u = 3,605 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 1,802 \text{ Kg/cm}^2$$

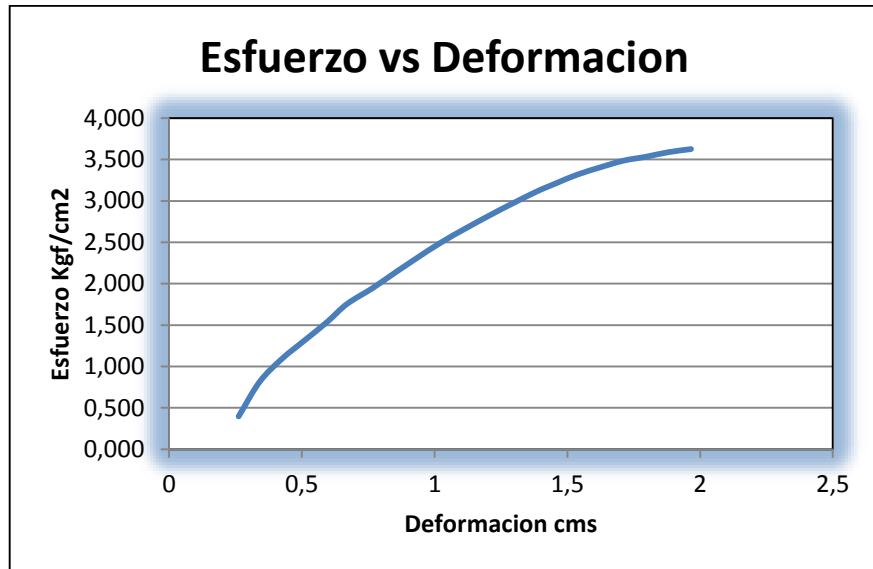
➤ Muestra 5

Tabla No. 23 Compresión Simple Muestra 5

TABLA COMPRESION SIMPLE		No 5	
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,950	0,26162	0,397
2	8,077	0,34036	0,813
3	10,840	0,42418	1,091
4	13,209	0,51562	1,329
5	15,334	0,5969	1,543
6	17,459	0,67056	1,756
7	19,411	0,76962	1,953
8	21,314	0,85598	2,144
9	24,811	1,02362	2,496
10	28,027	1,20396	2,820
11	30,745	1,3716	3,093
12	31,900	1,45542	3,209
13	32,960	1,5367	3,316
14	33,884	1,62814	3,409
15	34,650	1,71196	3,486
16	35,130	1,79832	3,534
17	35,66016	1,8796	3,588
18	36,03615	1,96596	3,625

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación

FIGURA No. 47 Compresión Simple Muestra 5



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo.

$$q_u = 3,625 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 1,812 \text{ Kg/cm}^2$$

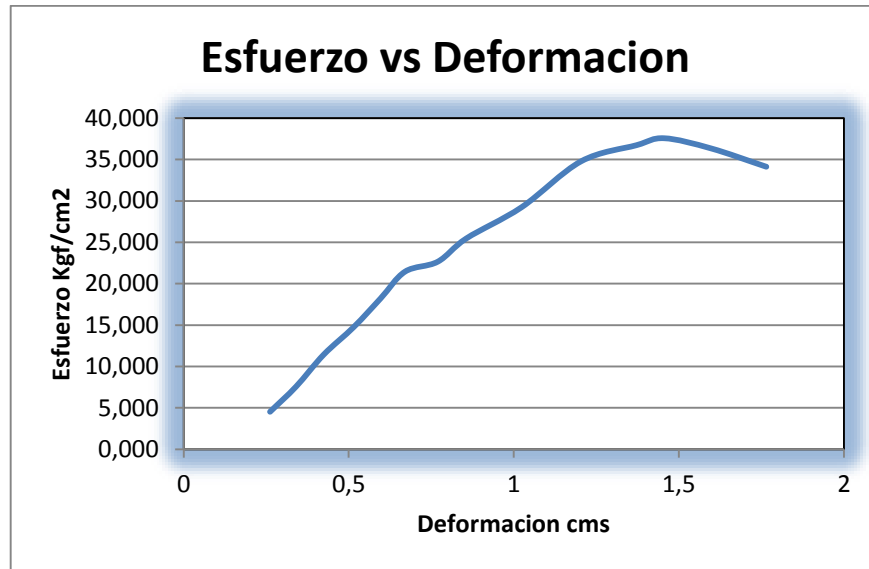
➤ Muestra No 6

Tabla No. 24 Compresión Simple Muestra 6

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 6
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	4,533	0,26162	0,456
2	7,567	0,34036	0,761
3	11,433	0,42418	1,150
4	14,777	0,51562	1,487
5	18,233	0,5969	1,834
6	21,453	0,67056	2,158
7	22,654	0,76962	2,279
8	25,457	0,85598	2,561
9	29,231	1,02362	2,941
10	34,778	1,20396	3,499
11	36,723	1,3716	3,694
12	37,566	1,45542	3,779
13	36,332	1,598	3,655
14	35,551	1,765	3,611

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación

FIGURA No. 48 Compresión Simple Muestra 6



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo.

$$q_u = 3,779 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 1,889 \text{ Kgf/cm}^2$$

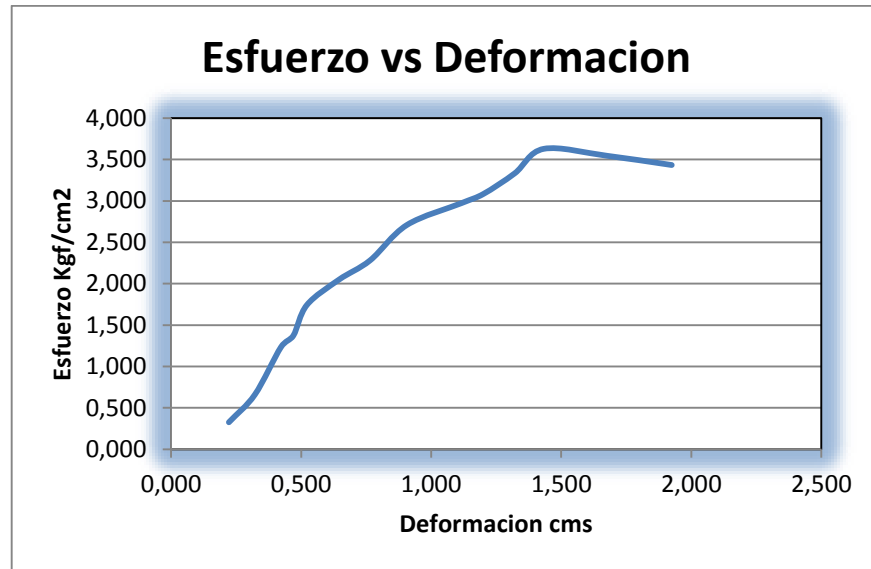
➤ Muestra No 7

Tabla No. 25 Compresión Simple Muestra 7

TABLA COMPRESION SIMPLE			No 7
	Carga Kgf	Defor Cm	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,243	0,222	0,326
2	6,567	0,322	0,661
3	12,254	0,422	1,233
4	13,654	0,470	1,374
5	17,323	0,522	1,743
6	20,354	0,645	2,048
7	22,678	0,765	2,281
8	26,917	0,906	2,708
9	29,531	1,115	2,971
10	30,655	1,201	3,084
11	33,125	1,321	3,332
12	36,067	1,433	3,628
13	35,234	1,676	3,545
14	34,121	1,925	3,433

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación

FIGURA No. 49 Compresión Simple Muestra 7



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo.

$$q_u = 3,628 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 1,814 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Los resultados de estos ensayos se promediaron y el resultado fue el siguiente.

- $q_u = 3,490 \text{ Kg/cm}^2$

- $C_u = 1,754 \text{ Kgf/cm}^2$

### 5.1.6 Corte directo

En los ensayos de corte directo se tuvieron en cuenta datos como carga máxima, esfuerzos máximos y se realizaron las siguientes tablas, con sus respectivas gráficas para analizar y obtener los resultados del ensayo.

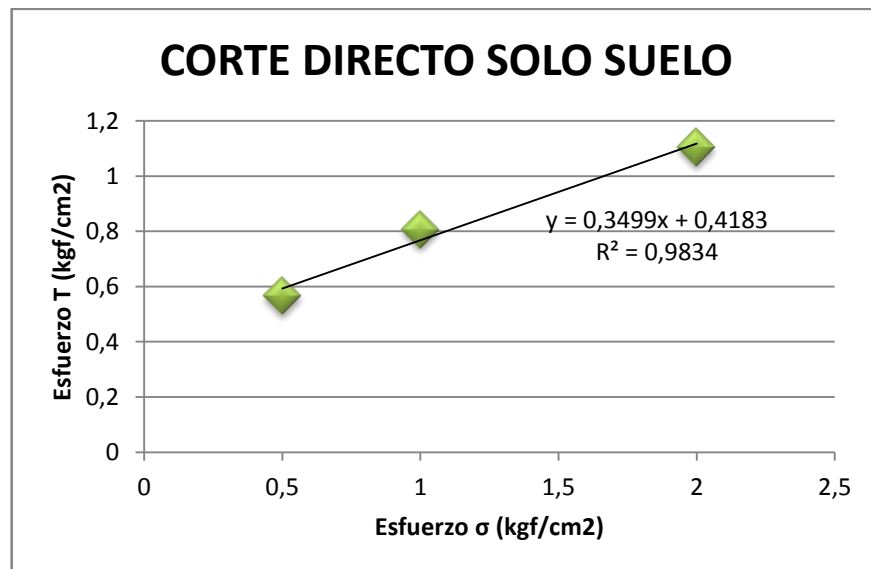
- Muestra No 1

Tabla No. 26 Corte Directo Muestra 1

CORTE DIRECTO SOLO SUELO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
20,412	0,567	0,5
29,07	0,8075	1
39,78	1,105	2

- Con los datos obtenidos en esta tabla se realizó la siguiente gráfica.

FIGURA No. 50 Corte Directo Muestra 1



- Con la ecuación de la gráfica obtenemos, en ángulo de fricción y la cohesión del suelo

$$\phi = 19,28$$

$$C = 0,4183 \text{ kgf/cm}^2$$

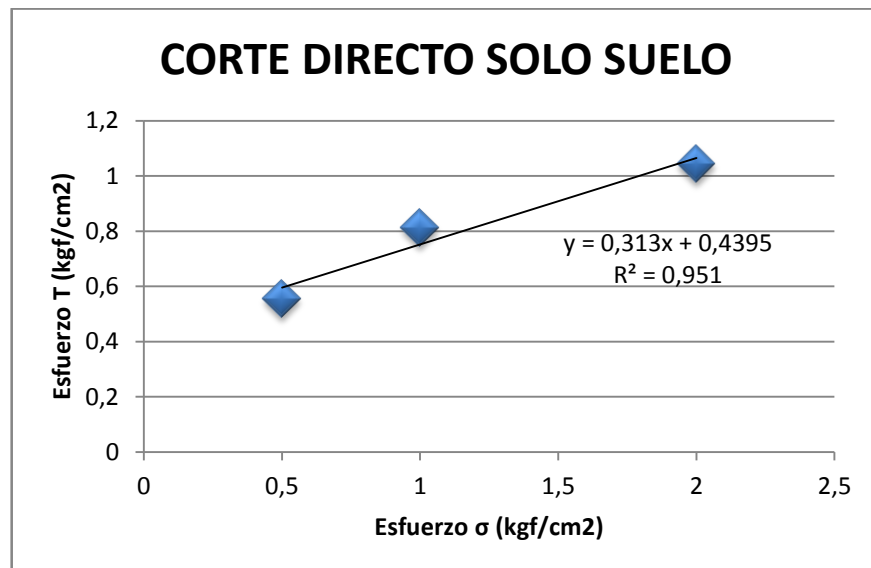
- Muestra No2

Tabla No. 27 Corte Directo Muestra 2

CORTE DIRECTO SOLO SUELO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm2	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm2)
19,98	0,555	0,5
29,304	0,814	1
37,62	1,045	2

- Con los datos obtenidos en esta tabla se realizó la siguiente gráfica.

FIGURA No. 51 Corte Directo Muestra 2



- Con la ecuación de la gráfica obtenemos, en ángulo de fricción y la cohesión del suelo

$$\phi = 17,4$$

$$C = 0,4395 \text{ kgf/cm}^2$$

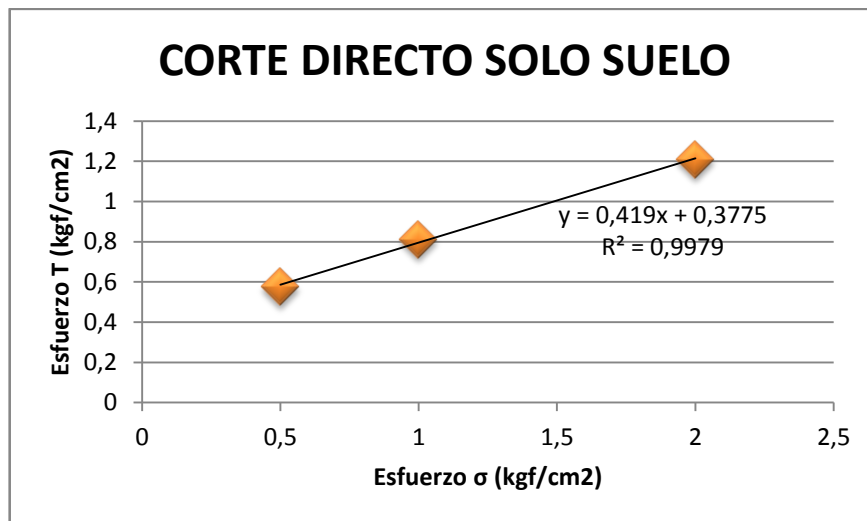
- Muestra No 3

Tabla No. 28 Corte Directo Muestra 3

CORTE DIRECTO SOLO SUELO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
20,736	0,576	0,5
29,268	0,813	1
43,56	1,21	2

- Con los datos obtenidos en esta tabla se realizó la siguiente gráfica.

FIGURA No. 52 Corte Directo Muestra 3



- Con la ecuación de la gráfica obtenemos, en ángulo de fricción y la cohesión del suelo

$$\phi = 22,74$$

$$C = 0,3775 \text{ kgf/cm}^2$$

- Con los resultados obtenidos los ensayos, se promediaron para obtener un resultado más cercano al real

$$\phi = 19,81$$

$$C = 0,412 \text{ kgf/cm}^2$$

## 5.2 Resultados suelo estabilizado con 5% cemento

### 5.2.1 Límites de Aterberg

#### 5.2.1.1 Limite líquido

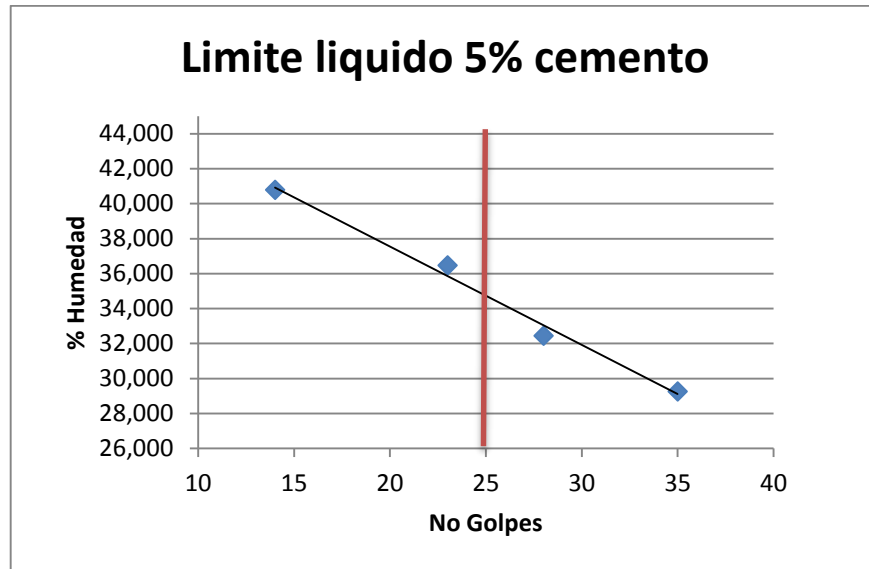
- Para los resultados de límite líquido se realizaron 6 ensayos los cuales se analizaron y se ingresaron a las siguientes tablas con sus respectivos resultados.

#### ➤ Muestra No 1

Tabla No. 29 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 1

LIMITE LIQUIDO				No 1
TARA	62	19	44	107
No GOLPES	36	32	23	19
PESO TARA	21,1	7,1	6,91	6,93
PESO TARA + SUELO HUMEDO	31,7	11,55	13,01	13,73
PESO TARA + SUELO SECO	29,3	10,46	11,38	11,76
PESO SUELO HUMEDO	10,6	4,45	6,1	6,8
PESO SUELO SECO	8,2	3,36	4,47	4,83
% HUMEDAD	29,268	32,440	36,465	40,787
No GOLPES	35	28	23	14

FIGURA No. 53 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 1



- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

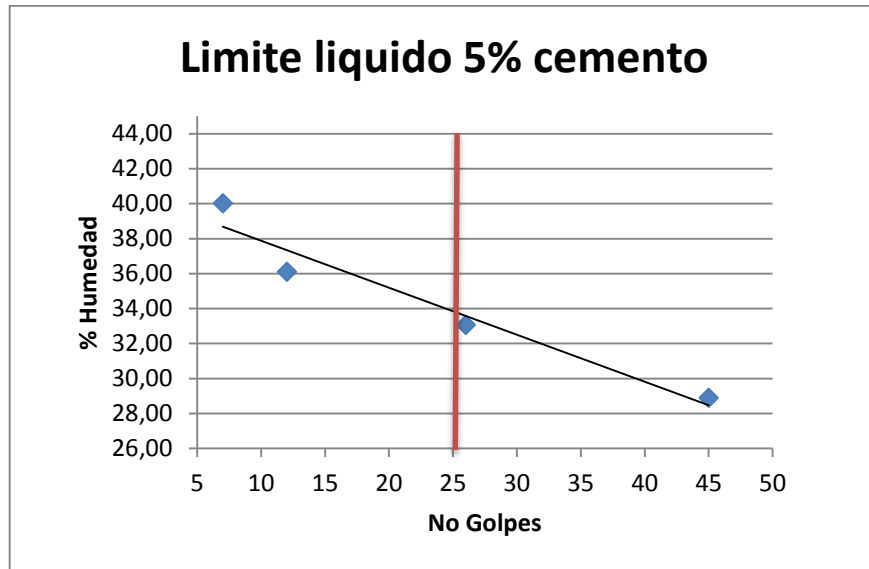
$$LL=34,6\%$$

➤ Muestra No 2

Tabla No. 30 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 2

LIMITE LIQUIDO			No 2	
TARA	139	60	20	19
No GOLPES	45	26	12	7
PESO TARA	20,02	27,32	15,5	6,73
PESO TARA + SUELO HUMEDO	35,41	39,27	32,35	15,65
PESO TARA + SUELO SECO	31,96	36,3	27,88	13,1
PESO SUELO HUMEDO	15,39	11,95	16,85	8,92
PESO SUELO SECO	11,94	8,98	12,38	6,37
% HUMEDAD	28,89	33,07	36,11	40,0313972
No GOLPES	45	26	12	7

FIGURA No. 54 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 2



- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

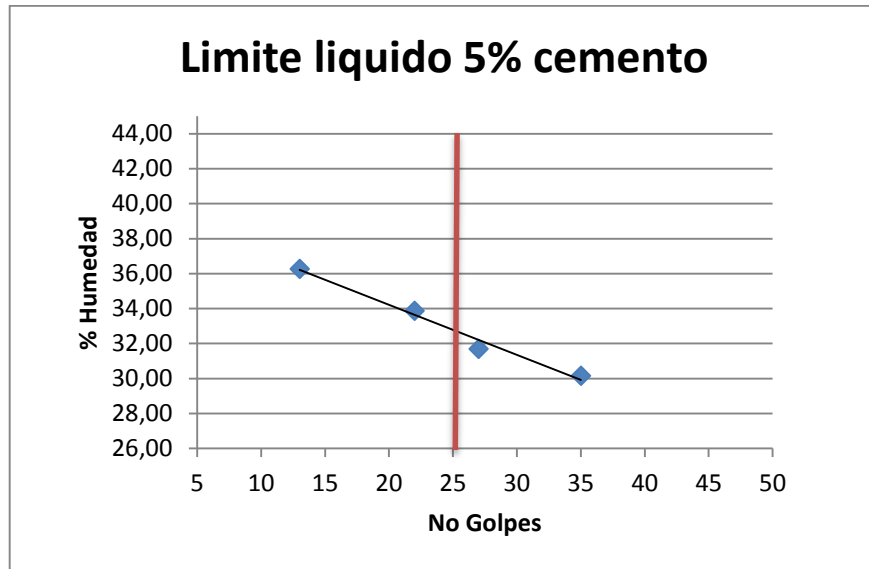
$$LL=33,7\%$$

➤ Muestra No 3

Tabla No. 31 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 3

LIMITE LIQUIDO				No 3
TARA	120	37	45	99
No GOLPES	35	27	22	13
PESO TARA	6,76	6,93	6,62	7,77
PESO TARA + SUELO HUMEDO	25,1	19,27	42,11	19,23
PESO TARA + SUELO SECO	20,85	16,3	33,13	16,18
PESO SUELO HUMEDO	18,34	12,34	35,49	11,46
PESO SUELO SECO	14,09	9,37	26,51	8,41
% HUMEDAD	30,16	31,70	33,87	36,27
No GOLPES	35	27	22	13

FIGURA No. 55 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 3



- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

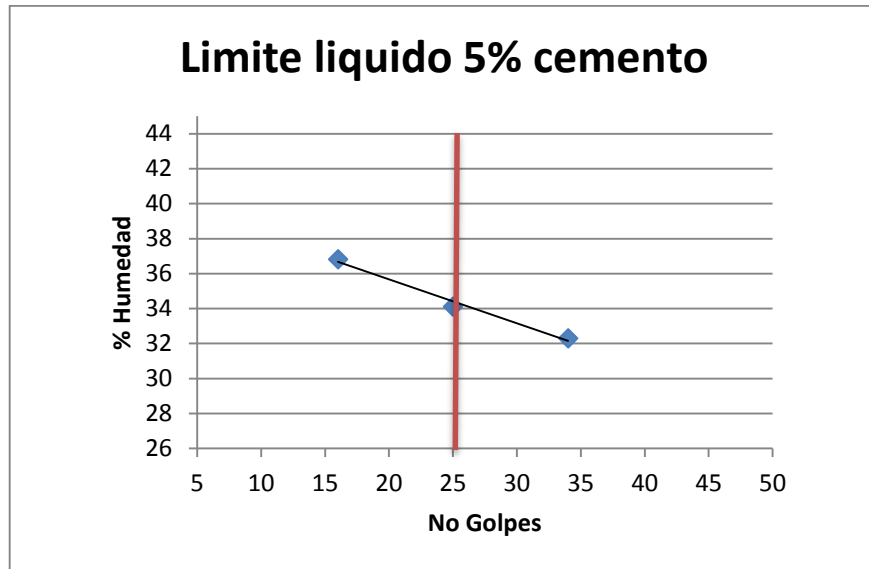
$$LL=33,05\%$$

➤ Muestra No 4

Tabla No. 32 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 4

LIMITE LIQUIDO			No 4
TARA	28	25	13
No GOLPES	34	25	16
PESO TARA	7,16	10,65	6,55
PESO TARA + SUELO HUMEDO	18,75	23,15	17,25
PESO TARA + SUELO SECO	15,92	19,97	14,37
PESO SUELO HUMEDO	11,59	12,5	10,7
PESO SUELO SECO	8,76	9,32	7,82
% HUMEDAD	32,31	34,12	36,83
No GOLPES	34	25	16

FIGURA No. 56 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 4



- En la anterior tabla encontramos como dato principal límite líquido.

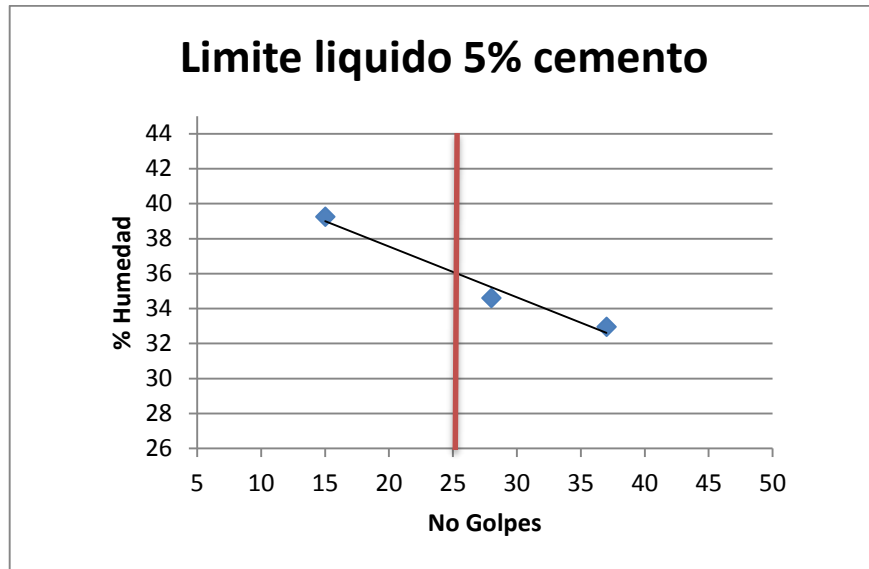
$$LL=34,4\%$$

➤ Muestra No 5

Tabla No. 33 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 5

LIMITE LIQUIDO		No 5	
TARA	120	60	44
No GOLPES	37	28	15
PESO TARA	6,76	27,32	6,91
PESO TARA + SUELO HUMEDO	22,33	42,76	16,17
PESO TARA + SUELO SECO	18,47	38,79	13,56
PESO SUELO HUMEDO	15,57	15,44	9,26
PESO SUELO SECO	11,71	11,47	6,65
% HUMEDAD	32,9632792	34,6120314	39,2481203
No GOLPES	37	28	15

FIGURA No. 57 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 5



- En la anterior tabla encontramos como dato principal límite líquido.

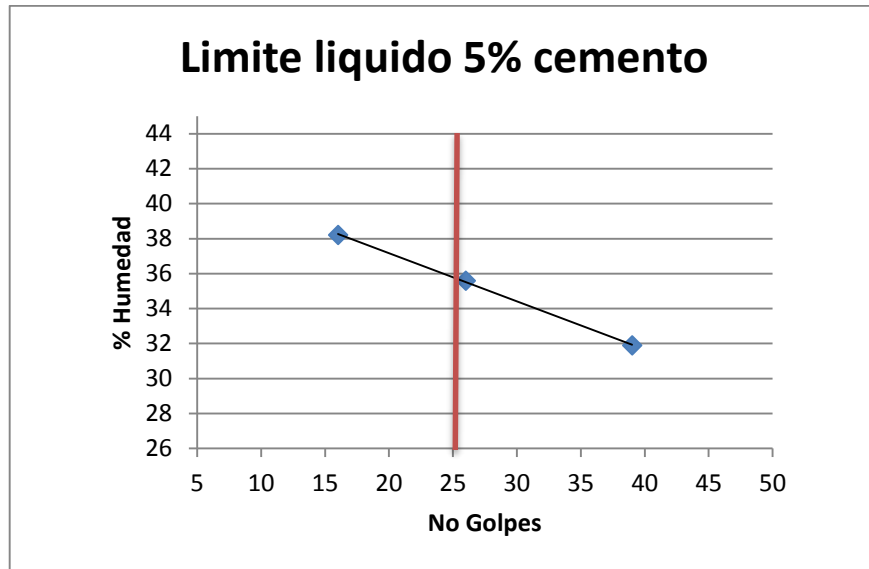
$$LL=35,7\%$$

➤ Muestra No 6

Tabla No. 34 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 6

LIMITE LIQUIDO		No 6	
TARA	60	139	19
No GOLPES	39	26	16
PESO TARA	27,32	20,02	6,73
PESO TARA + SUELO HUMEDO	32,53	25,81	16,17
PESO TARA + SUELO SECO	31,27	24,29	13,56
PESO SUELO HUMEDO	5,21	5,79	9,44
PESO SUELO SECO	3,95	4,27	6,83
% HUMEDAD	31,8987342	35,5971897	38,2137628
No GOLPES	39	26	16

FIGURA No. 58 Limite Liquido 5% Cemento Muestra 6



- En la anterior tabla encontramos como dato principal límite líquido.

$$LL=35,6\%$$

- Los resultados de los ensayos se promediaron y el resultado fue.

$$LL=34,5$$

#### 5.2.1.2 Límite plástico

- En el ensayo límite plástico el valor a destacar era la humedad y con los resultados se realizó la siguiente tabla

Tabla No. 35 Limite Plástico 5% Cemento

LIMITE PLÁSTICO					
TARA	128	24	28	45	42
PESO TARA	7,02	6,86	7,16	10,49	10,77
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	10,29	10,87	22,54	17,87	15,8
PESO TARA + SUELO SECO	9,72	10,12	19,76	16,54	14,79
PESO SUELO HÚMEDO	3,27	4,01	15,38	7,38	5,03
PESO SUELO SECO	2,7	3,26	12,6	6,05	4,02
% HUMEDAD	21,11	23,01	22,06	21,98	25,12
PROMEDIO		22,66			

- La anterior tabla nos da el valor de la humedad promedio y con este valor obtenemos el límite plástico.

$$LP=22,66\%$$

- El índice de plasticidad nos dio el siguiente resultado

$$IP=LL-LP$$

$$IP=34,5-22,65= 11,84\%$$

$$IP= 11,84\%$$

### 5.2.2 Límite de contracción

- En el ensayo de límite de contracción se realizó una tabla con los valores promedios y sus resultados obtenidos.

Tabla No. 36 Limite de Contracción 5% Cemento

LIMITE DE CONTRACCIÓN 5% CEMENTO				
Molde #	2	13	3	40
P Molde	24,3	19,12	21,21	19,15
P Molde + S	48,28	45,26	46,07	45,3
P Molde +SS	40,72	37,14	38,26	36,99
Masa Mercurio + Mo	216,32	220,81	222,86	220,56
Masa Mercurio	192,02	201,69	201,65	201,41
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen Húmedo	14,17	14,88	14,88	14,86
Masa Mercurio + Mo	157,62	162,10	162,8	147,9
Masa mercurio	133,32	142,98	141,59	128,75
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen seco	9,83911439	10,5520295	10,4494465	9,50184502
Masa Húmeda suelo	23,98	26,14	24,86	26,15
Masa Seca Suelo	16,42	18,02	17,05	17,84
Humedad	46,0414129	45,0610433	45,8064516	46,5807175
Lc	19,6583233	21,0164188	19,8095465	16,5226366
	19,6583233	21,0164188	19,8095465	16,5226366
		19,25		

- n la anterior tabla se puede observar el resultado del ensayo límite de contracción, que como resultado nos dio un valor de

$$LC= 19,25$$

### 5.2.3 Proctor modificado

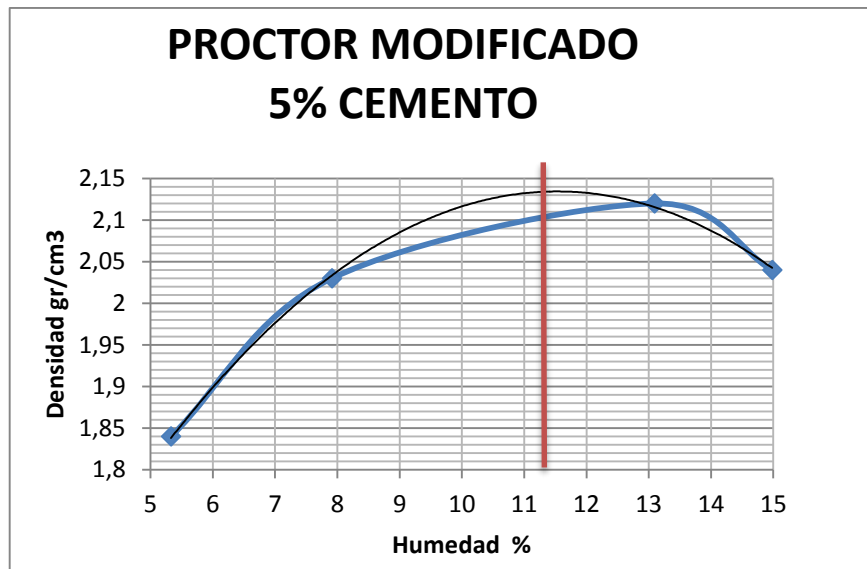
Para ensayo de proctor modificado se realizó una tabla con el valor de las densidades y humedades en un ensayo y una gráfica de esta para cada ensayo.

- Muestra No 1

Tabla No. 37 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 1

PROCTOR MODIFICADO CON 5% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9630	10050	10250	10070
PESO SUELO (gr)	3930	4350	4550	4370
TARA #	19	110	115	125
PESO TARA (gr)	20,65	21,01	21,28	21,08
SUELO HUMEDO + TARA (gr)	48,62	59,05	38,24	64
SUELO HUMEDO (gr)	27,97	38,04	16,96	42,92
SUELO SECO + TARA (gr)	47,13	56,04	36,02	57,57
SUELO SECO (gr)	26,48	35,03	14,74	36,49
PESO AGUA (gr)	1,49	3,01	2,22	6,43
HUMEDAD %	5,33	7,91	13,09	14,98
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,84	2,03	2,12	2,04

FIGURA No. 59 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 1



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 11,4\%$$

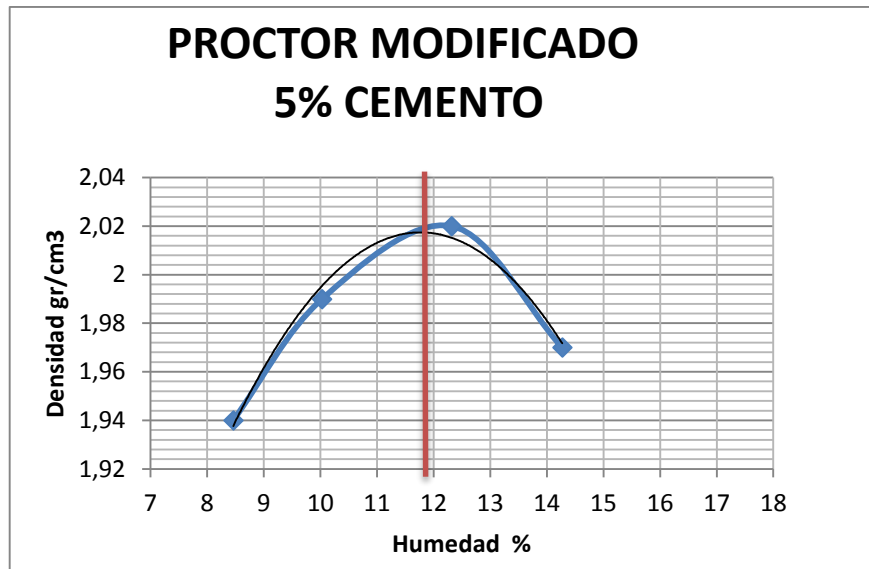
$$\text{Densidad máxima} = 2,15 \text{ gr/cm}^3$$

- Muestra No 2

Tabla No. 38 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 2

PROCTOR MODIFICADO CON 5% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9860	9968,92	10018,8	9919,8
PESO SUELO (gr)	4160	4268,92	4318,8	4219,8
TARA #	21	49	11	48
PESO TARA (gr)	21,27	11,43	18,5	10,39
SUELO HUMEDO + TARA (gr)	47,97	27,7475	32,39	36,39
SUELO HUMEDO (gr)	26,7	16,3175	13,89	26
SUELO SECO + TARA (gr)	45,71	26,11	30,6788	32,6807
SUELO SECO (gr)	24,44	14,68	12,1788	22,2907
PESO AGUA (gr)	2,26	1,63745	1,71118	3,70934
HUMEDAD %	8,46	10,03	12,32	14,27
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,94	1,99	2,02	1,97

FIGURA No. 60 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 2



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

*Humedad óptima = 11,9%*

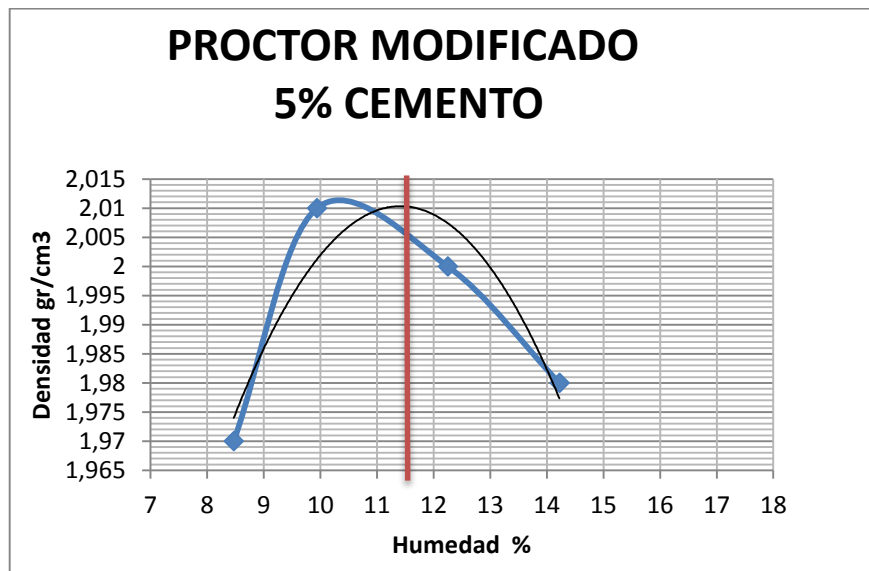
*Densidad máxima = 2,01 gr/cm<sup>3</sup>*

- Muestra No 3

Tabla No. 39 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 3

PROCTOR MODIFICADO CON 5% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9920	10009,8	9987,6	9934,93
PESO SULEO (gr)	4220	4309,8	4287,6	4234,93
TARA #	115	125	110	19
PESO TARA (gr)	21,28	21,08	21,01	20,65
SUELO HUMEDO + TARA (gr)	47,97	32,45	35,5625	31,7719
SUELO HUMEDO (gr)	26,69	11,37	14,5525	11,1219
SUELO SECO + TARA (gr)	45,71	31,32	33,78	30,19
SUELO SECO (gr)	24,43	10,24	12,77	9,54
PESO AGUA (gr)	2,26	1,13	1,78247	1,58188
HUMEDAD %	8,47	9,94	12,25	14,22
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,97	2,01	2	1,98

FIGURA No. 61 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 3



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 11,7\%$$

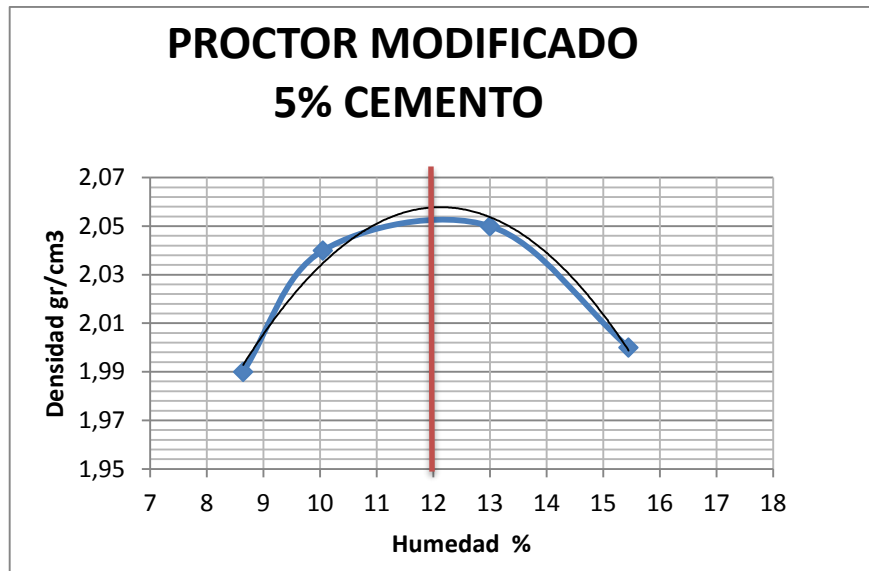
$$\text{Densidad máxima} = 2,01 \text{ gr/cm}^3$$

- Muestra No 4

Tabla No. 40 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 4

PROCTOR MODIFICADO CON 5% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9960	10069,4	10089,3	9990
PESO SUELO (gr)	4260	4369,4	4389,3	4290
TARA #	21	49	11	48
PESO TARA (gr)	21,27	11,43	18,5	10,39
SUELO HUMEDO + TARA (gr)	42,34	29,93	34,7	27,4329
SUELO HUMEDO (gr)	21,07	18,5	16,2	17,0429
SUELO SECO + TARA (gr)	40,52	28,07	32,5947	24,8
SUELO SECO (gr)	19,25	16,64	14,0947	14,41
PESO AGUA (gr)	1,82	1,86	2,10526	2,63288
HUMEDAD %	8,64	10,05	13	15,45
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,99	2,04	2,05	2

FIGURA No. 62 Proctor Modificado 5% Cemento Muestra 4



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

*Humedad óptima = 12%*

*Densidad máxima = 2,05 gr/cm<sup>3</sup>*

- Con todos los resultados obtenidos en cada ensayo se realizó un promedio de humedad y densidad para obtener un valor real.

*Humedad optima = 11,75%*

*Densidad máxima = 2,05 gr/cm<sup>3</sup>*

#### 5.2.4 Compresión simple

Para el ensayo de compresión simple, para los resultados eran necesarios datos de carga y deformación y dimensiones de la muestra, en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos con sus respectivas gráficas.

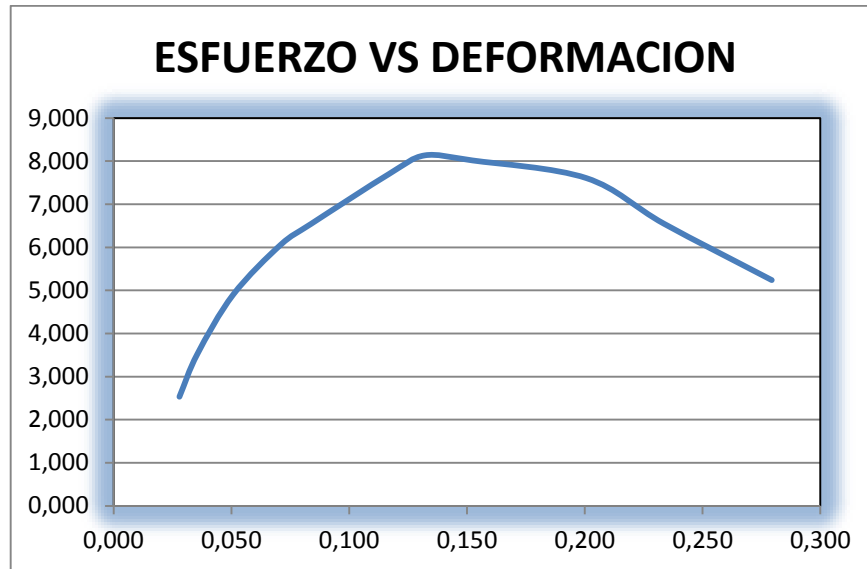
➤ Muestra No 1

Tabla No. 41 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 1

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	24,6441	0,028	2,532
2	34,2922	0,036	3,524
3	47,7278	0,051	4,905
4	59,0587	0,071	6,069
5	63,6764	0,084	6,543
6	74,9256	0,117	7,699
7	79,1532	0,132	8,134
8	78,0101	0,152	8,016
9	74,0275	0,201	7,607
10	63,7081	0,234	6,547
11	50,9846	0,279	5,239

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación.

FIGURA No. 63 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 1



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo y una deformación en esfuerzo máximo.

$$q_u = 8,1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 4,05 \text{ Kg/cm}^2$$

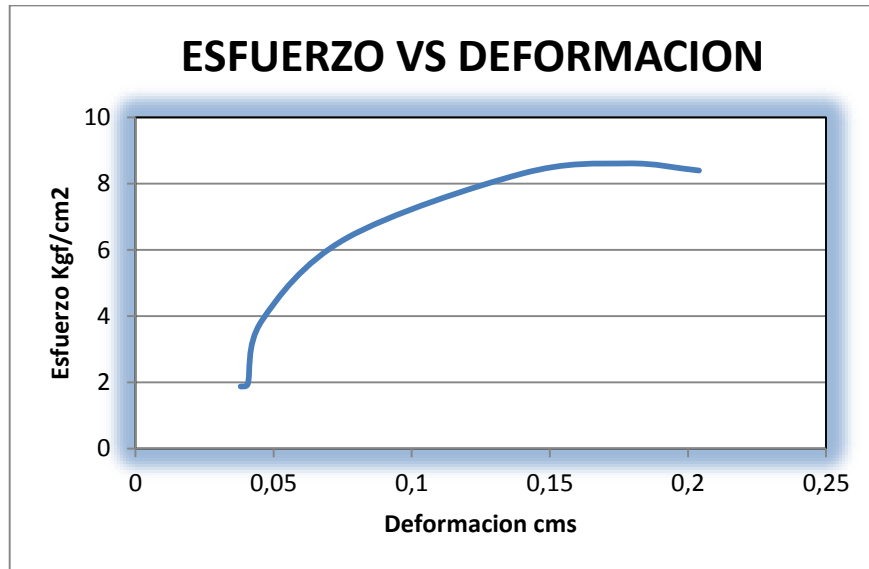
➤ Muestra No 2

Tabla No. 42 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 2

TABLA COMPRESION SIMPLE			No 2
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	18,69984	0,0381	1,8793809
2	19,42917	0,04064	1,9526804
3	38,4144	0,04572	3,86074372
4	63,1482	0,0762	6,34655276
5	82,5819	0,1397	8,29968844
6	85,7076	0,1778	8,61382915
7	83,567	0,204	8,39869347

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación

FIGURA No. 64 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 2



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo y una deformación en esfuerzo máximo.

$$q_u = 8,614 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 4,30 \text{ Kg/cm}^2$$

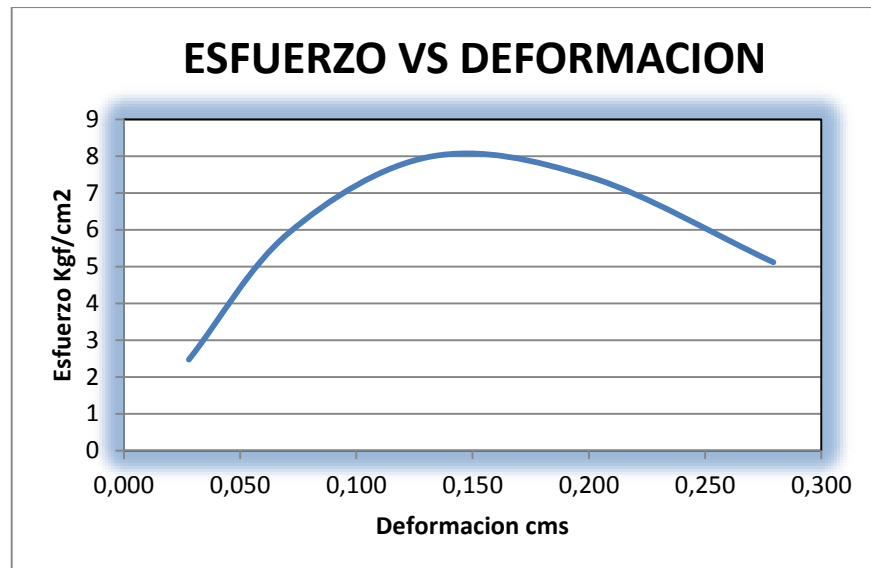
➤ Muestra No 3

Tabla No. 43 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 3

TABLA COMPRESION SIMPLE			No 3
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	24,61149	0,028	2,47351658
2	58,9806	0,071	5,92769849
3	79,5015	0,132	7,9901005
4	73,9296	0,201	7,43011055
5	50,9172	0,279	5,11730653

- Con estos valores de la tabla se hizo una gráfica de esfuerzo vs deformación

FIGURA No. 65 Compresión Simple 5% Cemento Muestra 3



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo y una deformación en esfuerzo máximo.

$$q_u = 7,990 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 3,995 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Con los resultados obtenidos en cada ensayo, se realizó un promedio con los datos para obtener un mayor aproximación al valor real.

$$q_u = 8,23 \text{ kgf/cm}^2$$

$$C_u = 4,12 \text{ Kgf/cm}^2$$

### 5.2.5 Corte directo

- En los ensayos de corte directo se tuvieron en cuenta datos como carga máxima, esfuerzos máximos y se realizaron las siguientes tablas, con sus respectivas gráficas para analizar y obtener los resultados del ensayo.

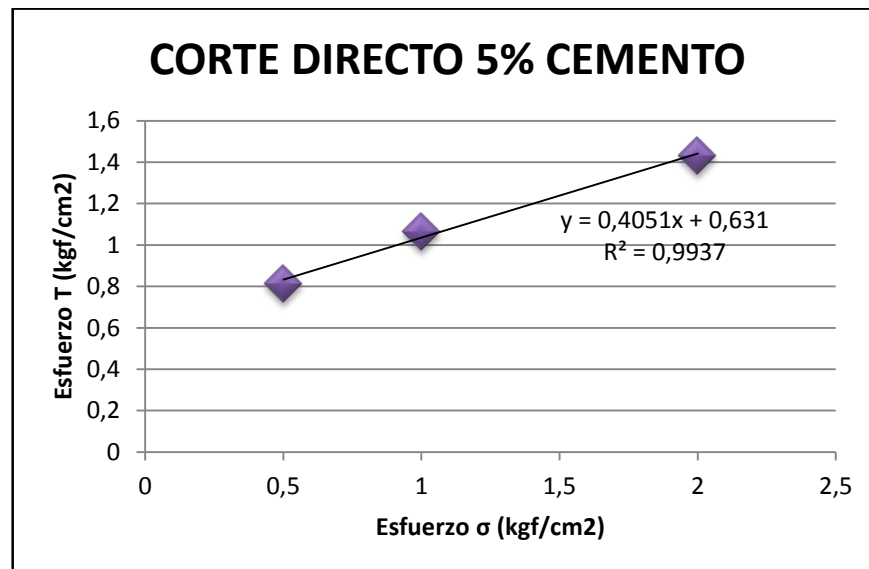
- Muestra No 1

Tabla No. 44 Corte Directo 5% Cemento Muestra 1

CORTE DIRECTO 5% CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm2	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm2)
29,34	0,815	0,5
38,304	1,064	1
51,552	1,432	2

- Con los datos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica

FIGURA No. 66 Corte Directo 5% Cemento Muestra 1



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\phi = 22,05$$

$$C = 0,631 \text{ kgf/cm}^2$$

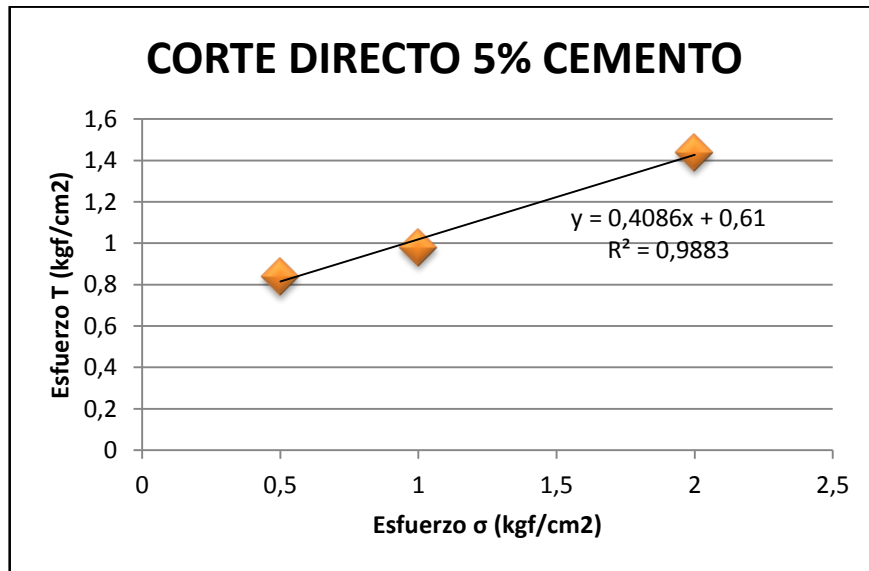
➤ Muestra No 2

Tabla No. 45 Corte Directo 5% Cemento Muestra 2

CORTE DIRECTO 5 % CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm2	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm2)
30,24	0,84	0,5
35,28	0,98	1
51,84	1,44	2

- Con los datos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica

FIGURA No. 67 Corte Directo 5% Cemento Muestra 2



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\phi = 22,23$$

$$C = 0,61 \text{ kgf/cm}^2$$

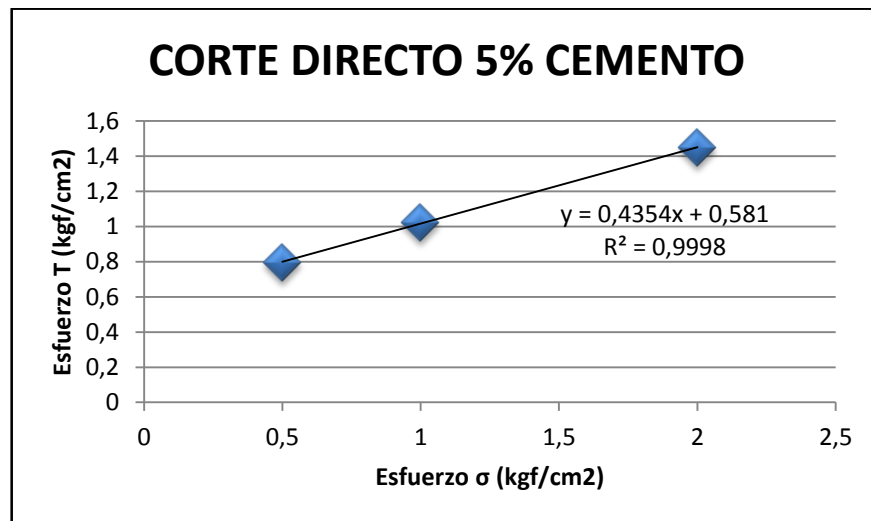
➤ Muestra No 3

Tabla No. 46 Corte Directo 5% Cemento Muestra 3

CORTE DIRECTO 5% CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
28,62	0,795	0,5
36,792	1,022	1
52,2	1,45	2

- Con los datos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica

FIGURA No. 68 Corte Directo 5% Cemento Muestra 3



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\Phi = 23,52$$

$$C = 0,581$$

- Con los datos obtenidos en los ensayos se promediaron para obtener un valor más real

- $\Phi = 22,60$

- $C = 0,61 \text{ kgf/cm}^2$

### 5.3 Resultados suelo con 10% cemento

#### 5.3.1 Límites de Atterberg

##### 5.3.1.1 Limite líquido

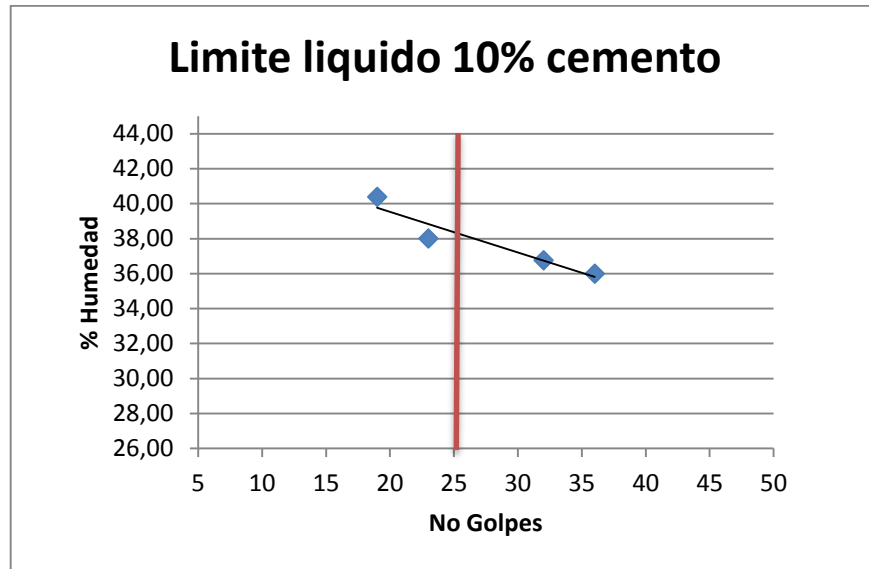
Para los resultados de límite líquido se realizaron 5 ensayos los cuales se analizaron y se ingresaron a las siguientes tablas con sus respectivos resultados resultados.

➤ Muestra No 1

Tabla No. 47 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 1

LIMITE LIQUIDO 10 %				No 1
TARA	62	19	44	107
No GOLPES	36	32	23	19
PESO TARA (gr)	21,1	7,1	6,91	6,73
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	31,83	11,49	13,01	14,03
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	28,99	10,31	11,33	11,93
PESO SUELO HUMEDO (gr)	10,73	4,39	6,1	7,3
PESO SUELO SECO (gr)	7,89	3,21	4,42	5,2
% HUMEDAD	35,99	36,76	38,01	40,38
No GOLPES	36	32	23	19

FIGURA No. 69 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 1



- En la anterior tabla encontramos como dato principal limite líquido.

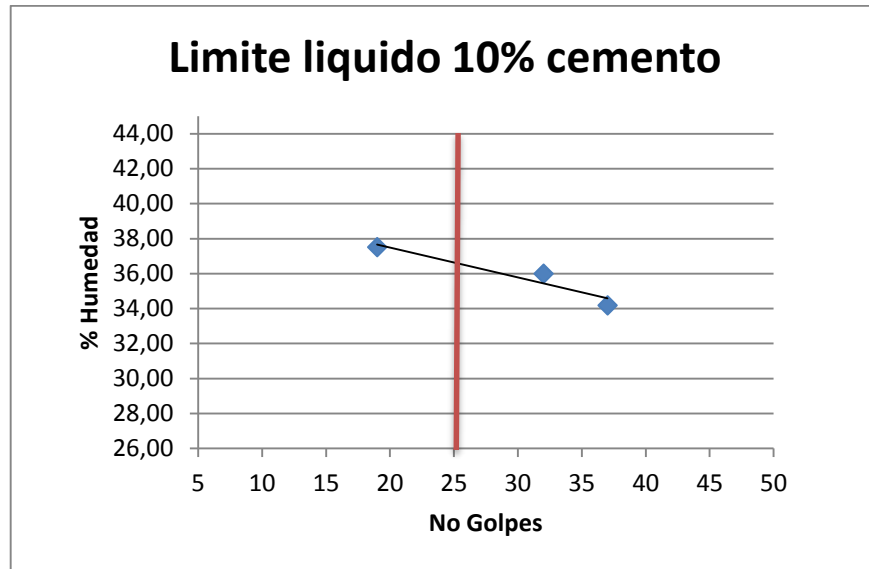
$$LL=38,2\%$$

➤ Muestra No2

Tabla No. 48 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 2

LIMITE LIQUIDO 10 %		No 2	
TARA	7	24	51
No GOLPES	37	32	19
PESO TARA (gr)	14,4	11,23	34,6
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	31,83	22,79	54,03
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	27,39	19,73	48,73
PESO SUELO HUMEDO (gr)	17,43	11,56	19,43
PESO SUELO SECO (gr)	12,99	8,5	14,13
% HUMEDAD	34,18	36,00	37,51
No GOLPES	37	32	19

FIGURA No. 70 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 2



- En la anterior tabla encontramos como dato principal límite líquido.

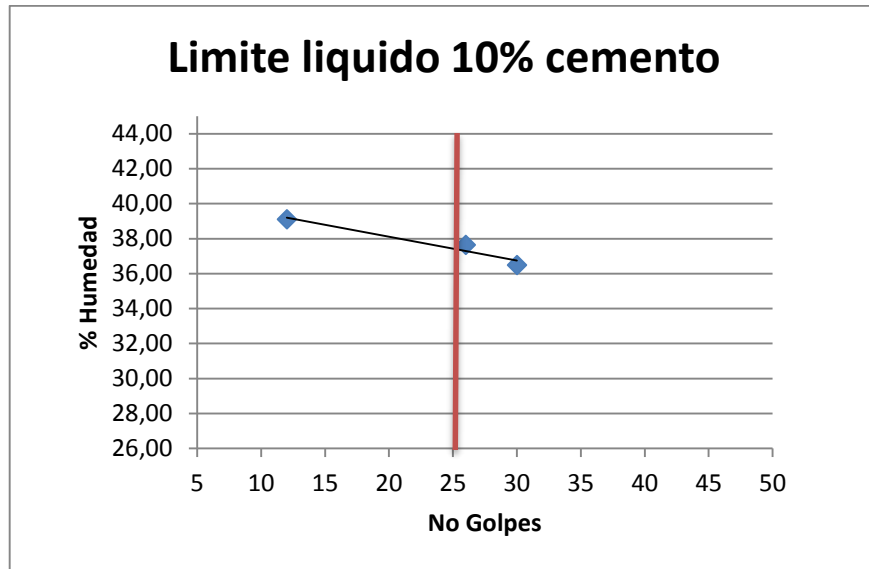
$$LL=36,5\%$$

➤ Muestra No 3

Tabla No. 49 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 3

LIMITE LIQUIDO 10 %		No 3	
TARA	19	44	60
No GOLPES	36	32	19
PESO TARA (gr)	6,73	6,91	27,32
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	31,83	11,59	37,1
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	25,12	10,31	34,35
PESO SUELO HUMEDO (gr)	25,1	4,68	9,78
PESO SUELO SECO (gr)	18,39	3,4	7,03
% HUMEDAD	36,49	37,65	39,12
No GOLPES	30	26	12

FIGURA No. 71 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 3



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

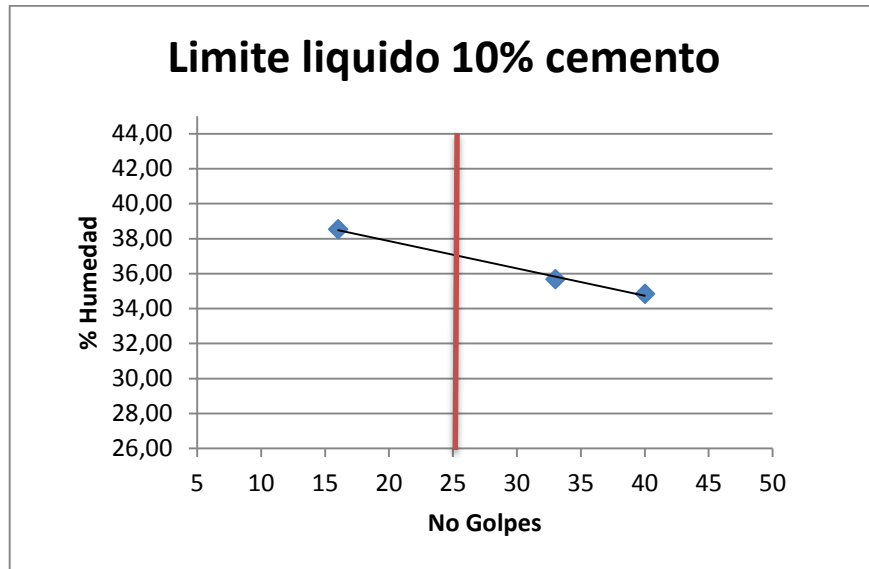
$$LL = 37,6\%$$

➤ Muestra No 4

Tabla No. 50 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 4

LIMITE LIQUIDO 10 %		No 4	
TARA	150	139	145
No GOLPES	40	33	16
PESO TARA (gr)	34,2	27,43	28,56
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	61,83	38,19	44,45
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	54,69	35,36	40,03
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	27,63	10,76	15,89
PESO SUELO SECO (gr)	20,49	7,93	11,47
% HUMEDAD	34,85	35,69	38,54
No GOLPES	40	33	16

FIGURA No. 72 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 4



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

$$LL = 37,1\%$$

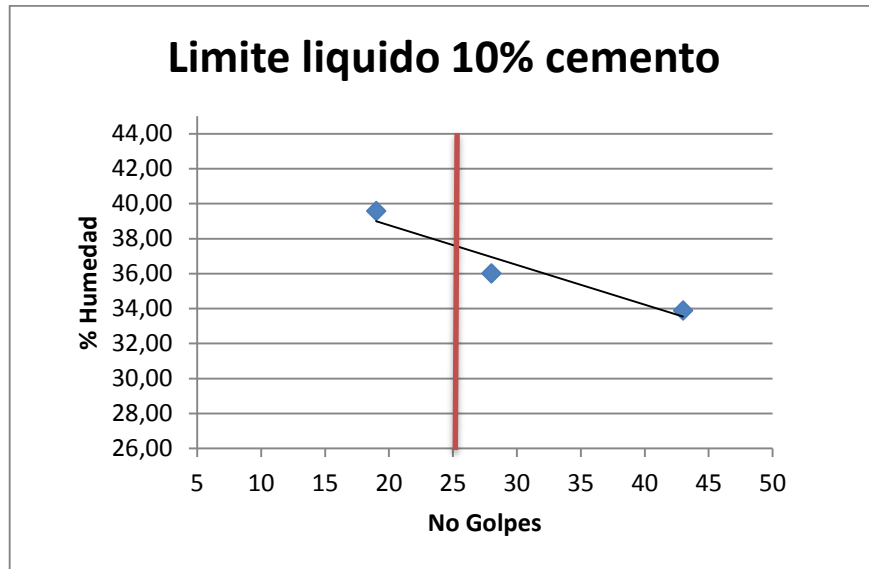
- Muestra No 5

Tabla No. 51 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 5

LIMITE LIQUIDO 10 %		No 5	
TARA	3	170	4
No GOLPES	43	28	19
PESO TARA (gr)	5,95	16,94	7,03
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	20,17	30,31	14,54
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	16,57	26,77	12,41
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	14,22	13,37	7,51
PESO SUELO SECO (gr)	10,62	9,83	5,38
% HUMEDAD	33,90	36,01	39,59
No GOLPES	43	28	19

FUENTE: Propia

FIGURA No. 73 Limite Liquido 10% Cemento Muestra 5



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite liquido el cual fue.

$$LL= 37,7\%$$

- Los resultados de los ensayos se promediaron para obtener un valor más cercano al real y el resultado fue.

$$LL=37,42$$

### 5.3.1.2 Limite plástico

- En el ensayo límite plástico el valor a destacar era la humedad y con los resultados obtenidos se realizó la siguiente tabla para cada ensayo.

Tabla No. 52 Limite Plástico 10% Cemento

LIMITE PLÁSTICO 10% CEMENTO				
TARA	128	24	45	42
PESO TARA (gr)	7,02	6,86	10,49	10,77
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	10,69	10,87	17,87	15,8
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	9,92	10	16,3	14,74
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3,67	4,01	7,38	5,03
PESO SUELO SECO (gr)	2,9	3,14	5,81	3,97
% HUMEDAD	26,55	27,71	27,02	26,70
PROMEDIO		27,00		

- De la misma forma que en el límite líquido se realizó un promedio con todos los ensayos para buscar una mayor aproximación.

$$LP=27,0 \%$$

- El índice de plasticidad nos dio el siguiente resultado

$$IP=LL-LP$$

$$IP=37,42-27,0= 10,42\%$$

$$IP= 10,42\%$$

### 5.3.2 Límite de contracción

- En el ensayo de límite de contracción se realizó una tabla con los valores promedios y sus resultados obtenidos.

Tabla No. 53 Limite de Contracción

LIMITE DE CONTRACCIÓN 10% CEMENTO				
Molde #	10	15	14	4
P Molde	32	19,15	19,37	23,3
P Molde + S	55,33	43,73	44,88	46,78
P Molde +SS	47,2	35,17	35,96	38,57
Masa Mercurio + Mo	214,87	218,94	221,06	215,98
Masa Mercurio	182,87	199,79	201,69	192,68
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen Húmedo	13,50	14,74	14,88	14,22
Masa Mercurio + Mo	158,91	167,64	165,3	162,36
Masa mercurio	126,91	148,49	145,93	139,06
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen seco	9,36605166	10,9586716	10,7697417	10,2627306
Masa Húmeda suelo	23,33	24,58	25,51	23,48
Masa Seca Suelo	15,2	16,02	16,59	15,27
Humedad	53,4868421	53,4332085	53,7673297	53,7655534
Lc	26,3165178	29,8003879	28,9624524	27,8507166
	26,3165178	29,8003879	28,9624524	27,8507166
		28,23		

- En la anterior tabla se puede observar el resultado del ensayo límite de contracción, que como resultado nos dio un valor de

$$LC = 28,3$$

### 5.3.3 Proctor modificado

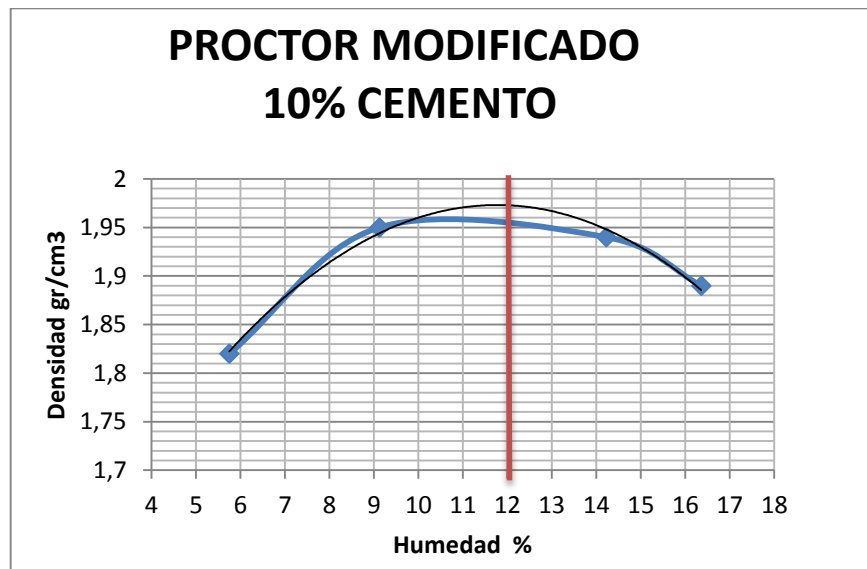
- Para ensayo de proctor modificado se realizó una tabla con el valor de las densidades y humedades en un ensayo y una gráfica de esta para cada ensayo.

➤ Muestra No 1

Tabla No. 54 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 1

PROCTOR MODIFICADO CON 10% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9600,27	9880	9843,466	9736,49
PESO SUELO (gr)	3900,27	4180	4143,466	4036,49
TARA #	19	110	115	125
PESO TARA (gr)	20,65	21,01	21,28	21,08
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	48,5	59,4465	38,74	64,3
SUELO HÚMEDO (gr)	27,85	38,4365	17,46	43,22
SUELO SECO + TARA (gr)	46,9	55,94	36,26	57,23
SUELO SECO (gr)	26,25	34,93	14,98	36,15
PESO AGUA (gr)	1,6	3,50648	2,48	7,07
HUMEDAD %	5,75	9,12	14,22	16,36
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,82	1,95	1,94	1,89

FIGURA No. 74 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 1



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

*Humedad óptima = 12,1%*

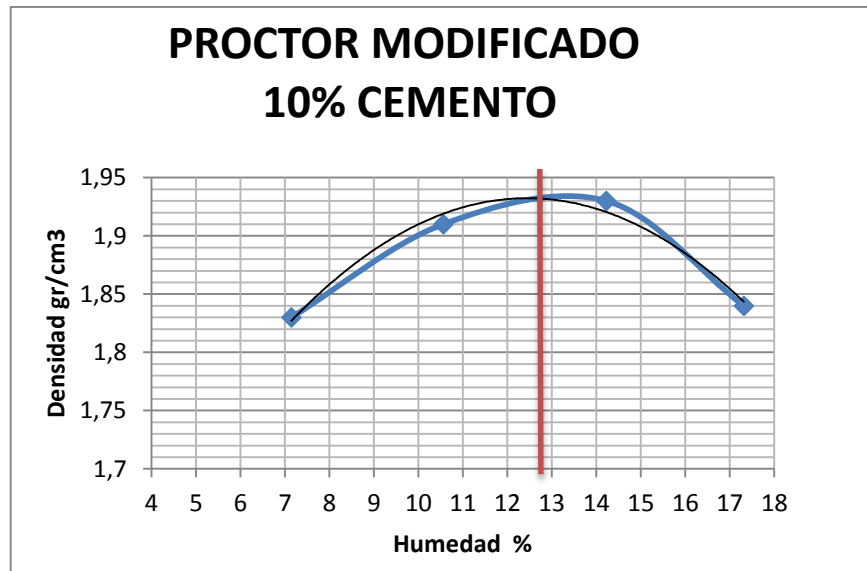
*Densidad máxima = 1,97 gr/cm<sup>3</sup>*

➤ Muestra No 2

Tabla No. 55 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 2

PROCTOR MODIFICADO CON 10% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9612,9	9791,08	9823,88	9629,2
PESO SUELO (gr)	3912,9	4091,08	4123,88	3929,2
TARA #	19	110	115	125
PESO TARA (gr)	20,65	21,01	21,28	21,08
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	48,75	48,84	38,28	64,79
SUELO HÚMEDO (gr)	28,1	27,83	17,00	43,71
SUELO SECO + TARA (gr)	46,74	45,9	36,02	57,57
SUELO SECO (gr)	26,09	24,89	14,58	36,14
PESO AGUA (gr)	2,01	2,94	2,42	7,57
HUMEDAD %	7,14	10,56	14,22	17,31
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,83	1,91	1,93	1,84

FIGURA No. 75 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 2



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

*Humedad óptima = 12,8%*

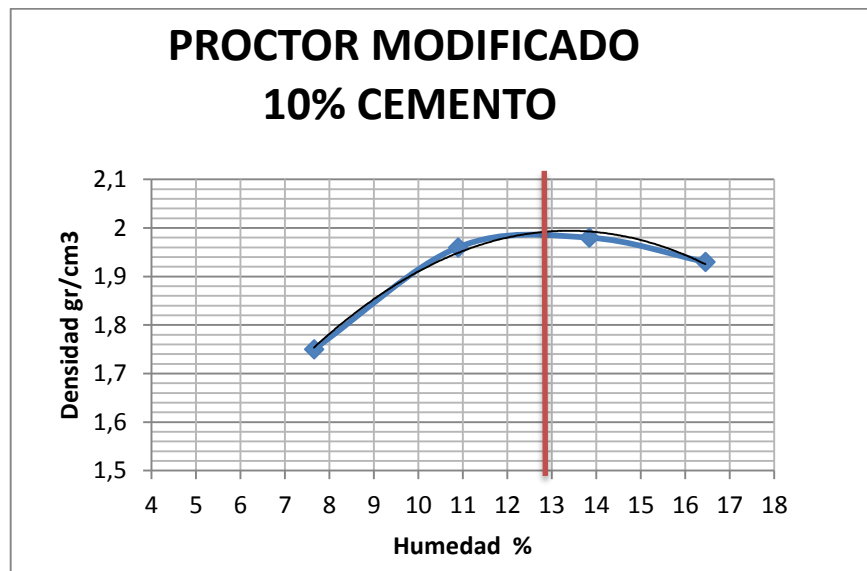
*Densidad máxima = 1,94 gr/cm<sup>3</sup>*

➤ Muestra No 3

Tabla No. 56 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 3

PROCTOR MODIFICADO CON 10% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9449,375	9890	9948,74	9840
PESO SUELO (gr)	3749,375	4190	4248,74	4140
TARA #	210	132	50	156
PESO TARA (gr)	6,65	7	6,92	6,94
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	27,407291	19,35	28,3	33,28
SUELO HÚMEDO (gr)	20,757291	12,35	21,38	26,34
SUELO SECO + TARA (gr)	25,82	18,0	25,34	28,95
SUELO SECO (gr)	19,17	11,0	18,42	22,01
PESO AGUA (gr)	1,58729105	1,35	2,96	4,33
HUMEDAD %	7,65	10,89	13,84	16,45
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,75	1,96	1,98	1,93

FIGURA No. 76 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 3



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron
- 

*Humedad óptima = 12,93%*

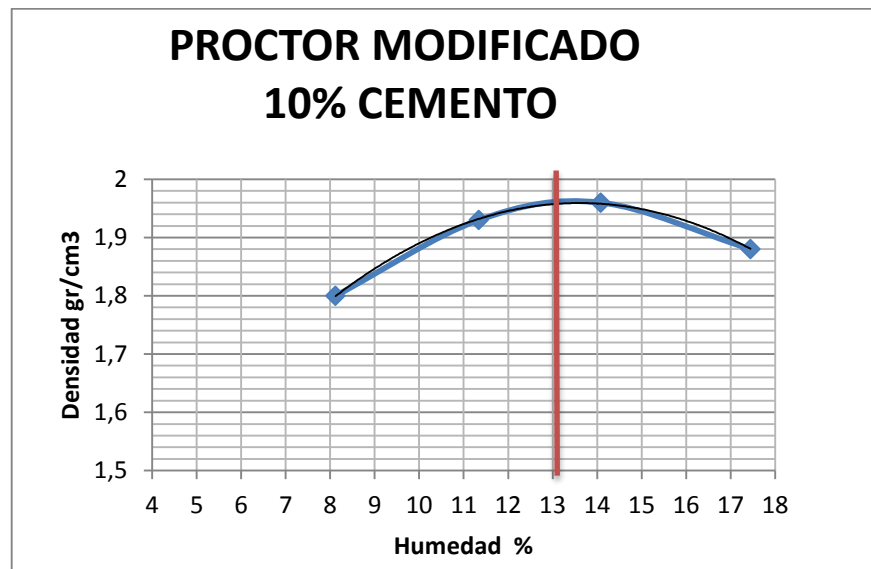
*Densidad máxima = 1,96 gr/cm<sup>3</sup>*

- Muestra No 4

Tabla No. 57 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 4

PROCTOR MODIFICADO CON 10% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9552	9831	9894	9729
PESO SUELO (gr)	3852	4131	4194	4029
TARA #	62	116	19	190
PESO TARA (gr)	21	6	9	7
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	38,85	25,89	25,12	27,84
SUELO HÚMEDO (gr)	17,85	19,89	16,12	20,84
SUELO SECO + TARA (gr)	37,40	23,63	22,85	24,49
SUELO SECO (gr)	16,40	17,63	13,85	17,49
PESO AGUA (gr)	1,45	2,26	2,27	3,35
HUMEDAD %	8,12	11,34	14,08	16,07
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,8	1,93	1,96	1,88

FIGURA No. 77 Proctor Modificado 10% Cemento Muestra 4



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 13,2\%$$

$$\text{Densidad máxima} = 1,95 \text{ gr/cm}^3$$

- Con todos los resultados obtenidos en cada ensayo se realizó un promedio de humedad y densidad para obtener un valor real.

$$\text{Humedad óptima} = 12,76\%$$

$$\text{Densidad máxima} = 1,96 \text{ gr/cm}^3$$

### 5.3.4 Compresión simple

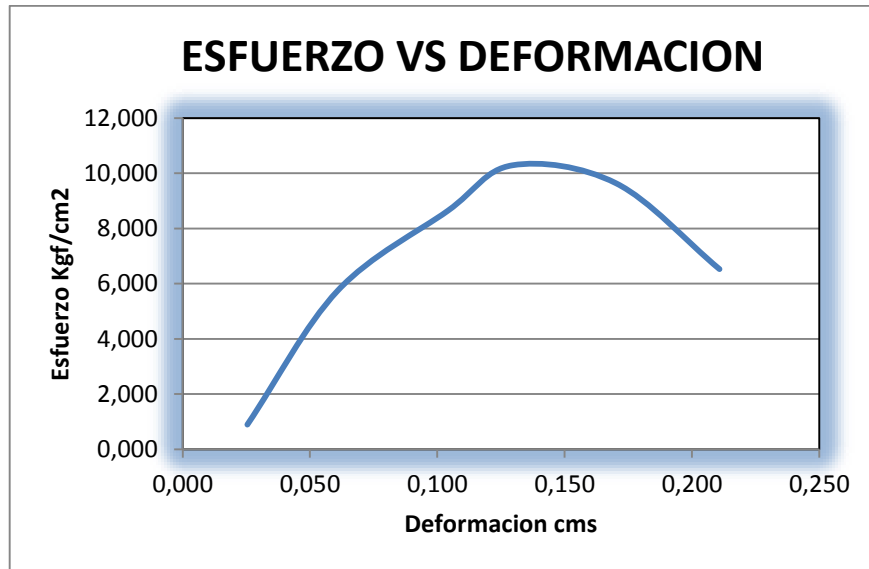
Para el ensayo de compresión simple, para los resultados eran necesarios datos de carga y deformación y dimensiones de la muestra, en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos con sus respectivas gráficas.

➤ Muestra No 1

Tabla No. 58 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 1

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 1
	Carga (Kgf)	Deformación (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	8,834	0,025	0,895
2	56,806	0,061	5,755
3	85,300	0,104	8,642
4	101,563	0,130	10,290
5	95,130	0,170	9,638
6	64,417	0,211	6,527

FIGURA No. 78 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 1



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo

$$q_u = 10,290 \text{ Kg/cm}^2$$

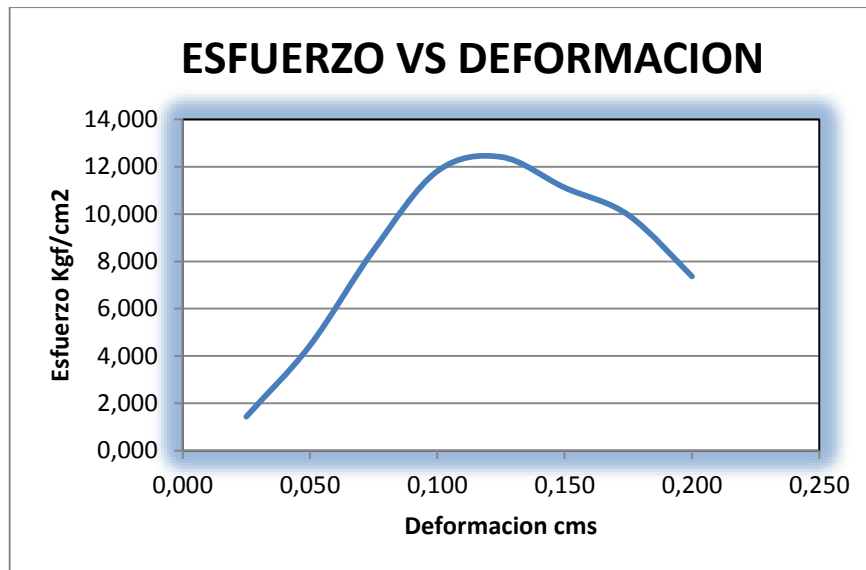
$$C_u = 5,145 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ Muestra No 2

Tabla No. 59 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 2

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 2
	Carga (Kgf)	Deformación (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	14,043	0,025	1,436
2	43,488	0,050	4,447
3	82,899	0,075	8,476
4	115,515	0,100	11,811
5	121,404	0,125	12,413
6	108,720	0,150	11,117
7	97,395	0,175	9,959
8	72,027	0,2	7,365

FIGURA No. 79 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 2



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo

$$q_u = 12,413 \text{ Kg/cm}^2$$

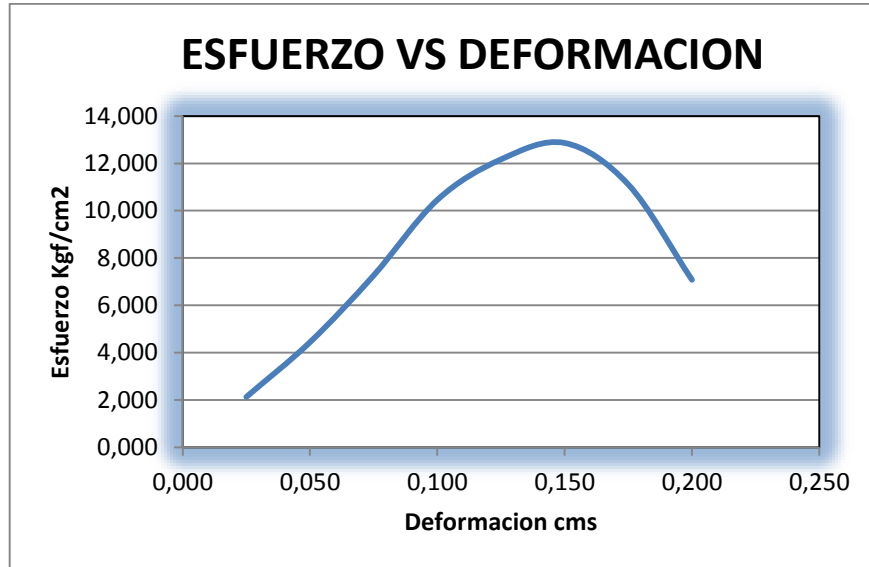
$$C_u = 6,207 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ Muestra No 3

Tabla No. 60 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 3

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 3
	Carga (Kgf)	Deformación(Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	20,838	0,025	2,128
2	43,488	0,050	4,442
3	71,121	0,075	7,265
4	102,378	0,100	10,457
5	119,139	0,125	12,169
6	125,934	0,150	12,864
7	108,72	0,175	11,105
8	69,309	0,2	7,080

FIGURA No. 80 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 3



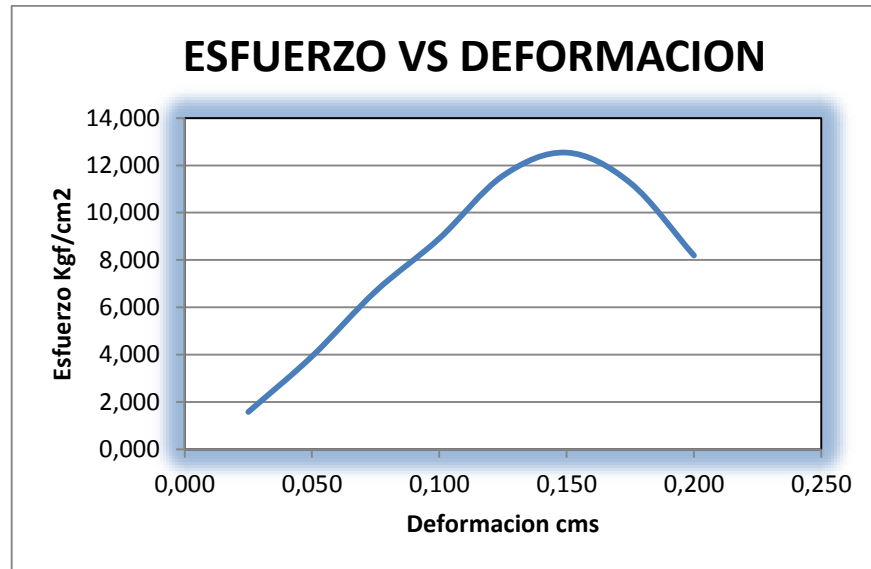
- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo  
 $qu = 12,864 \text{ Kg/cm}^2$   
 $Cu = 6,432 \text{ Kg/cm}^2$

➤ Muestra No 4

Tabla No. 61 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 4

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 4
	Carga (Kgf)	Deformación (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,450	0,025	1,578
2	38,456	0,050	3,928
3	65,390	0,075	6,679
4	87,234	0,100	8,911
5	113,211	0,125	11,564
6	122,765	0,150	12,540
7	110,22	0,175	11,258
8	80,19	0,2	8,191

FIGURA No. 81 Compresión Simple 10% Cemento Muestra 4



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo  
 $q_u = 12,5404 \text{ Kg/cm}^2$   
 $C_u = 6,270 \text{ Kg/cm}^2$
- Los resultados de todos los ensayos realizados se promediaron para tener un valor más real.

$$q_u = 12,03 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 6,01 \text{ Kg/cm}^2$$

### 5.3.5 Corte directo

- En los ensayos de corte directo se tuvieron en cuenta datos como carga máxima de corte, esfuerzos máximos y se realizaron las siguientes tablas, con sus respectivas gráficas para analizar y obtener los resultados del ensayo.

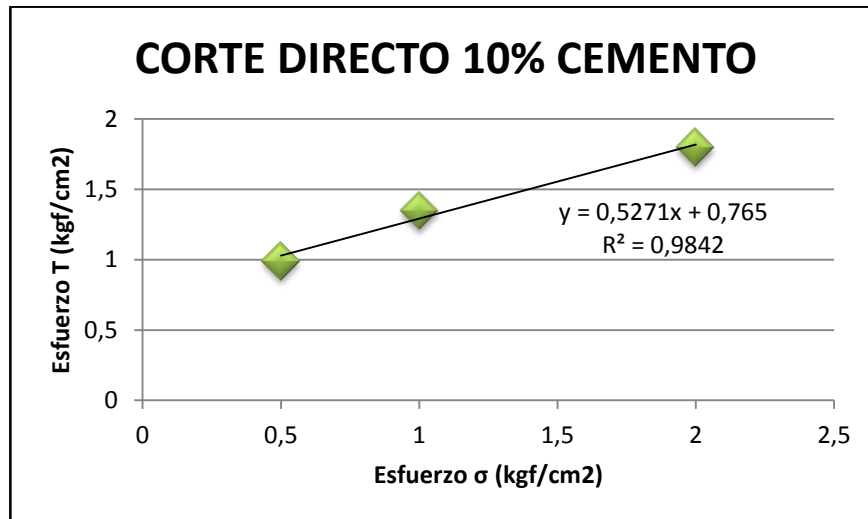
➤ Muestra No 1

Tabla No. 62 Corte Directo 10% Cemento Muestra 1

CORTE DIRECTO 10% CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
32,04	0,89	0,5
44,37	1,23	1
58,68	1,63	2

- Con los datos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica

FIGURA No. 82 Corte Directo 10% Cemento Muestra 1



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\phi = 25,6$$

$$C = 0,69$$

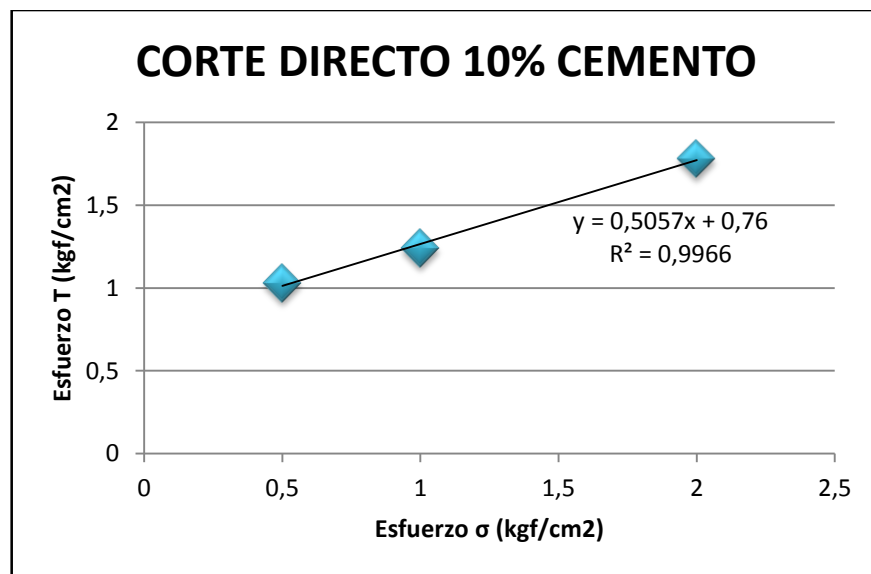
➤ Muestra No 2

Tabla No. 63 Corte Directo 10% Cemento Muestra 2

CORTE DIRECTO 10% CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm2	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm2)
30,24	0,84	0,5
42,84	1,19	1
56,52	1,57	2

- Con los datos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica

FIGURA No. 83 Corte Directo 10% Cemento Muestra 2



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\Phi = 25,24$$

$$C = 0,65$$

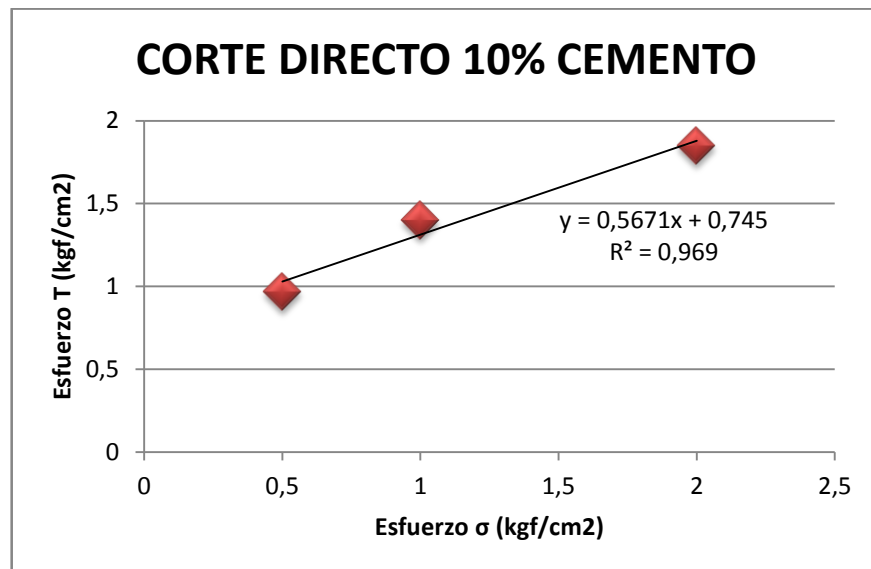
➤ Muestra No 3

Tabla No. 64 Corte Directo 10% Cemento Muestra 3

CORTE DIRECTO 10% CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
30,6	0,85	0,5
47,16	1,31	1
56,52	1,57	2

- Con los datos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica

FIGURA No. 84 Corte Directo 10% Cemento Muestra 3



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\phi = 24,16$$

$$C = 0,72$$

- Con los datos obtenidos en los ensayos se promediaron para obtener un valor más real

- $\phi = 24,97$

- $C = 0,69$

## 5.4 Resultados suelo con 15% cemento

### 5.4.1 Límites de Atterberg

#### 5.4.1.1 Limite líquido

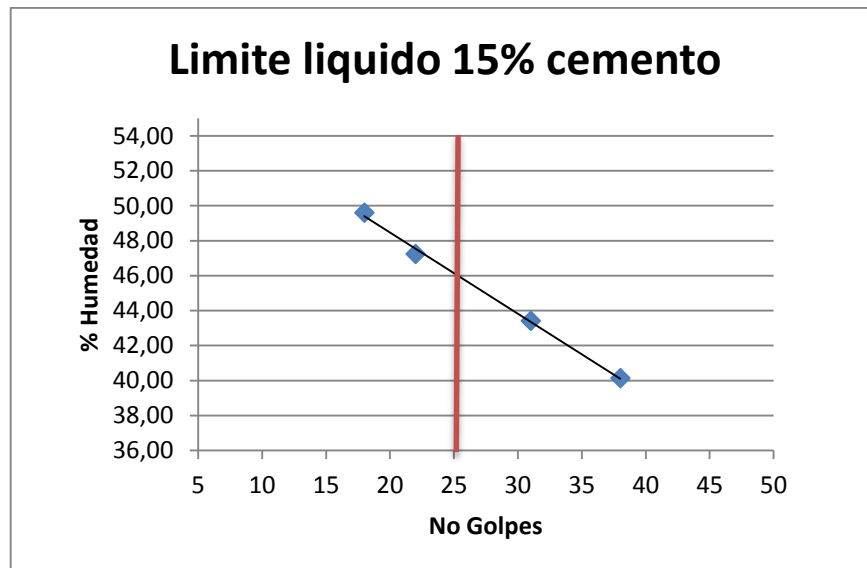
Para los resultados de límite líquido se realizaron 5 ensayos los cuales se analizaron y los resultados se muestran en las siguientes tablas y graficas

➤ Muestra No 1

Tabla No. 65 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 1

LIMITE LIQUIDO 15 %		No 1		
TARA	62	19	44	107
No GOLPES	38	31	22	18
PESO TARA (gr)	21,1	7,1	6,91	6,73
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	33,67	18,76	14,67	16,23
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	30,07	15,23	12,18	13,08
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	12,57	11,66	7,76	9,5
PESO SUELO SECO (gr)	8,97	8,13	5,27	6,35
% HUMEDAD	40,13	43,42	47,25	49,61
No GOLPES	38	31	22	18

FIGURA No. 85 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 1



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

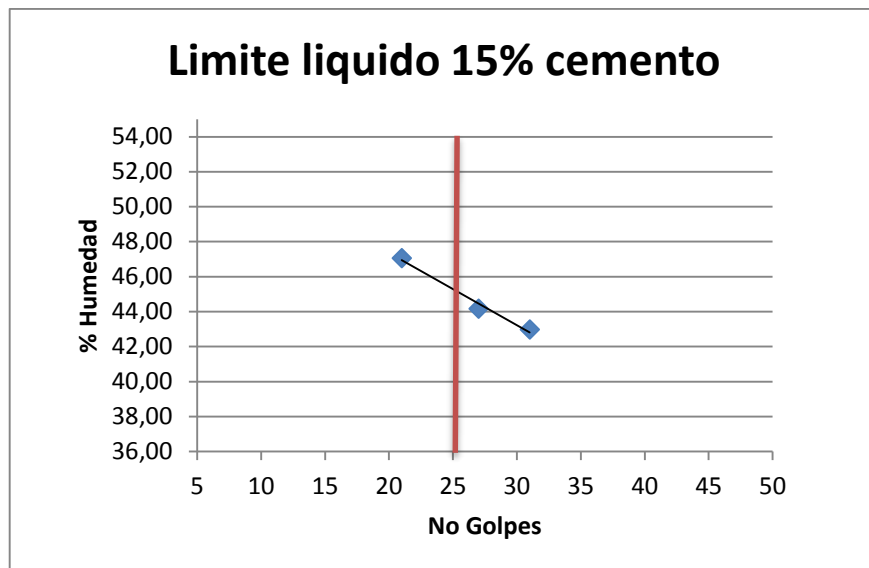
$$LL = 45,7\%$$

- Muestra No 2

Tabla No. 66 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 2

LIMITE LIQUIDO 15 %		No 2	
TARA	7	24	51
No GOLPES	31	27	21
PESO TARA (gr)	14,4	11,23	34,6
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	32,43	21,87	48,32
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	27,01	18,61	43,93
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	18,03	10,64	13,72
PESO SUELO SECO (gr)	12,61	7,38	9,33
% HUMEDAD	42,98	44,17	47,05
No GOLPES	31	27	21

FIGURA No. 86 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 2



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

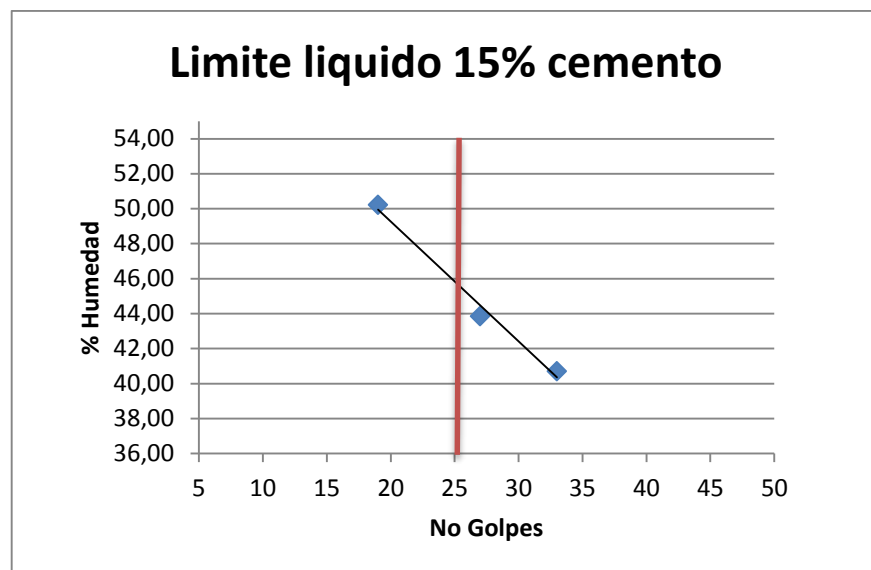
$$LL = 45,3\%$$

- Muestra No 3

Tabla No. 67 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 3

LIMITE LIQUIDO 15 %		No 3	
TARA	19	44	60
No GOLPES	33	27	19
PESO TARA (gr)	6,73	6,91	27,32
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	25,67	23,31	41,29
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	20,19	18,31	36,62
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	18,94	16,4	13,97
PESO SUELO SECO (gr)	13,46	11,4	9,3
% HUMEDAD	40,71	43,86	50,22
No GOLPES	33	27	19

FIGURA No. 87 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 3



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

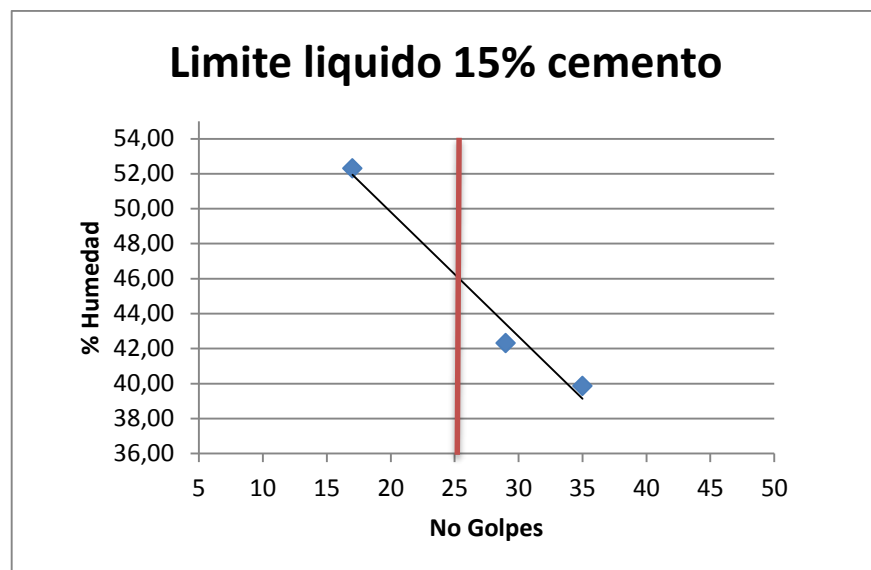
$$LL = 45,7\%$$

- Muestra No 4

Tabla No. 68 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 4

LIMITE LIQUIDO 15 %		No 4	
TARA	150	139	145
No GOLPES	35	29	17
PESO TARA (gr)	34,2	27,43	28,56
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	48,27	35,67	43,7
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	44,26	33,22	38,5
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	14,07	8,24	15,14
PESO SUELO SECO (gr)	10,06	5,79	9,94
% HUMEDAD	39,86	42,31	52,31
No GOLPES	35	29	17

FIGURA No. 88 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 4



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

$$LL = 46,2\%$$

- Muestra No 5

Tabla No. 69 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 5

LIMITE LIQUIDO 15 %		No 5	
TARA	3	170	4
No GOLPES	34	27	19
PESO TARA (gr)	5,95	16,94	7,03
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	21,38	34,98	24,82
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	16,98	29,55	18,76
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	15,43	18,04	17,79
PESO SUELO SECO (gr)	11,03	12,61	11,73
% HUMEDAD	39,89	43,06	51,66
No GOLPES	34	27	19

FIGURA No. 89 Limite Liquido 15% Cemento Muestra 5



- En la anterior grafica nos sirve para encontrar el valor del límite líquido el cual fue.

$$LL= 46\%$$

- Los resultados de los ensayos se promediaron para obtener un valor más cercano al real y el resultado fue.

$$LL=45,78\%$$

#### 5.4.1.2 Limite plástico

En el ensayo límite plástico el valor a destacar era la humedad y con los resultados obtenidos se realizó la siguiente tabla para cada ensayo

Tabla No. 70 Limite Plástico 15% Cemento

LIMITE PLÁSTICO 15 % CEMENTO					
TARA	32	53	303	307	118
PESO TARA (gr)	20,82	27,1	26,99	26,72	21,07
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	27,23	33,31	45,98	32,76	27,85
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	25,47	31,64	40,78	31,12	25,96
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	6,41	6,21	18,99	6,04	6,78
PESO SUELO SECO (gr)	4,65	4,54	13,79	4,4	4,89
% HUMEDAD	37,85	36,78	37,71	37,27	38,65
PROMEDIO	37,65				

- De la misma forma que en el límite líquido se realizó un promedio con todos los ensayos para buscar una mayor aproximación.

$$LP=37,65 \%$$

- El índice de plasticidad nos dio el siguiente resultado

$$IP=LL-LP$$

$$IP=45,78-37,65= 8,13\%$$

$$IP= 8,13\%$$

#### 5.4.2 Limite contracción

- En el ensayo de límite de contracción se realizó una tabla con los valores promedios y sus resultados obtenidos

Tabla No. 71 Limite de Contracción 15% Cemento

LIMITE DE CONTRACCIÓN 15% cemento				
Molde #	41	11	1	8
P Molde	19,19	28,07	19,91	20,08
P Molde + S	45,6	52,91	44,03	47,8
P Molde +SS	36,55	44,26	35,56	38,3
Masa Mercurio + Mo	219,78	215,38	212,76	221,33
Masa Mercurio	200,59	187,31	192,85	201,25
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen Húmedo	14,80	13,82	14,23	14,85
Masa Mercurio + Mo	181,80	180,24	178,12	182,36
Masa mercurio	162,61	152,17	158,21	162,28
Densidad Mercurio	13,55	13,55	13,55	13,55
Volumen seco	12,000738	11,2302583	11,6760148	11,9763838
Masa Húmeda suelo	26,41	24,84	24,12	27,72
Masa Seca Suelo	17,36	16,19	15,65	18,22
Humedad	52,1313364	53,428042	54,1214058	52,1405049
Lc	35,9852994	37,4097719	37,7862136	36,3555721
	35,9852994	37,4097719	37,7862136	36,3555721
		36,88		

- En la anterior tabla se puede observar el resultado del ensayo límite de contracción, que como resultado nos dio un valor de

$$LC= 36,88$$

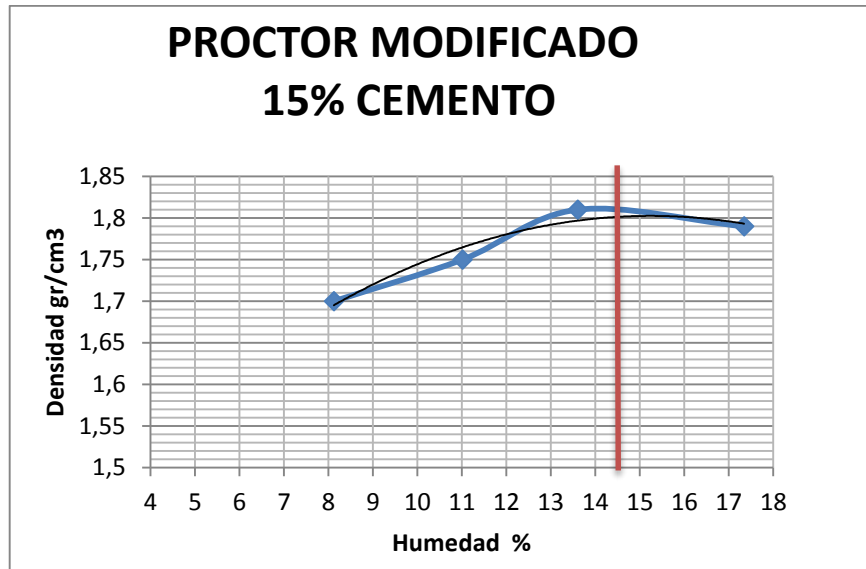
### 5.4.3 Proctor modificado

- Para ensayo de proctor modificado se realizó una tabla con el valor de las densidades y humedades en un ensayo y una gráfica de esta para cada ensayo.
- Muestra No 1

Tabla No. 72 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 1

PROCTOR MODIFICADO CON 15% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9449	9567	9683	9639
PESO SUELO (gr)	3639	3757	3873	3829
TARA #	50	19	210	156
PESO TARA (gr)	6,92	7,1	6,64	6,94
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	20,30	25,53	30,84	34,38
SUELO HÚMEDO (gr)	13,38	18,43	24,2	27,44
SUELO SECO + TARA (gr)	19,21	23,5	27,55	29,62
SUELO SECO (gr)	12,29	16,4	20,91	22,68
PESO AGUA (gr)	1,09	2,03	3,29	4,76
HUMEDAD %	8,12	11,01	13,6	17,34
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,7	1,75	1,81	1,79

FIGURA No. 90 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 1



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 14,45$$

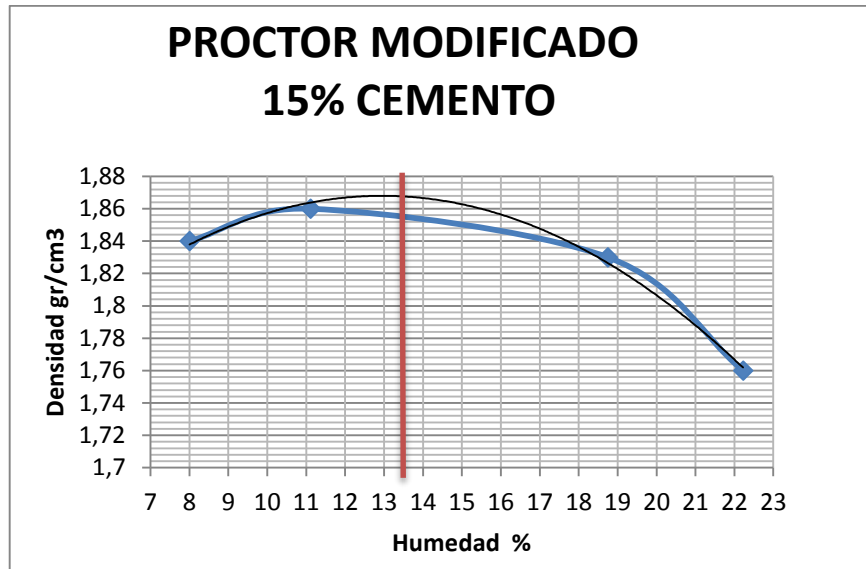
$$\text{Densidad máxima} = 1,81 \text{ gr/cm}^3$$

- Muestra No2

Tabla No. 73 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 2

PROCTOR MODIFICADO CON 15% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9760	9790	9730	9580
PESO SUELO (gr)	3950	3980	3920	3770
TARA #	62	116	19	190
PESO TARA (gr)	21	6	9	7
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	46	24	25	16
SUELO HÚMEDO (gr)	25	18	16	9
SUELO SECO + TARA (gr)	44	22	22	14
SUELO SECO (gr)	23	16	13	7
PESO AGUA (gr)	2	2	3	2
HUMEDAD %	8	11,11	18,75	22,22
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,84	1,86	1,83	1,76

FIGURA No. 91 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 2



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 13,5\%$$

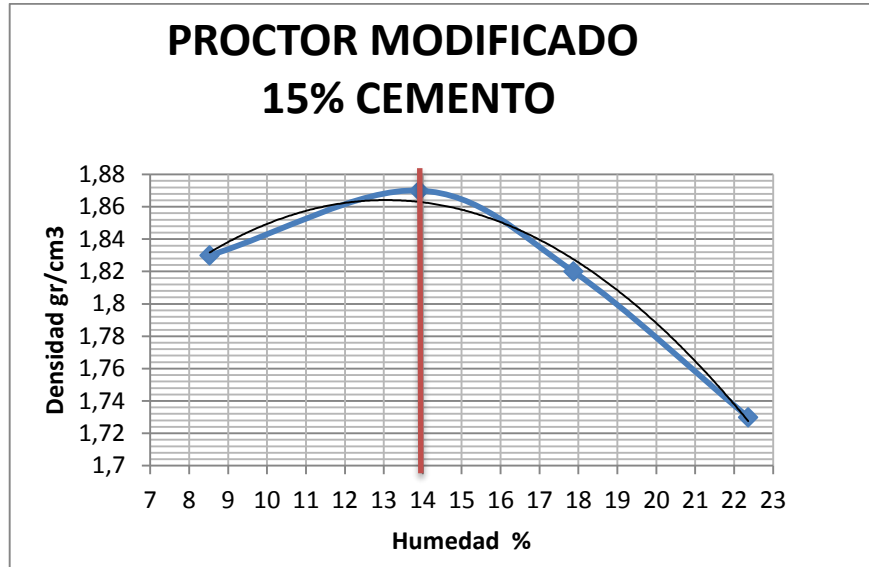
$$\text{Densidad máxima} = 1,86 \text{ gr/cm}^3$$

- Muestra No3

Tabla No. 74 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 3

PROCTOR MODIFICADO CON 15% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9730	9810	9710	9510
PESO SUELO (gr)	3920	4000	3900	3700
TARA #	125	49	132	8
PESO TARA (gr)	21,08	11,43	7	27
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	38,9	36,8	24,46	42,65
SUELO HÚMEDO (gr)	17,82	25,37	17,46	15,65
SUELO SECO + TARA (gr)	37,38	33,27	21,34	39,15
SUELO SECO (gr)	16,3	21,84	14,34	12,15
PESO AGUA (gr)	1,52	3,53	3,12	3,5
HUMEDAD %	8,53	13,91	17,87	22,36
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,83	1,87	1,82	1,73

FIGURA No. 92 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 3



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 14,1\%$$

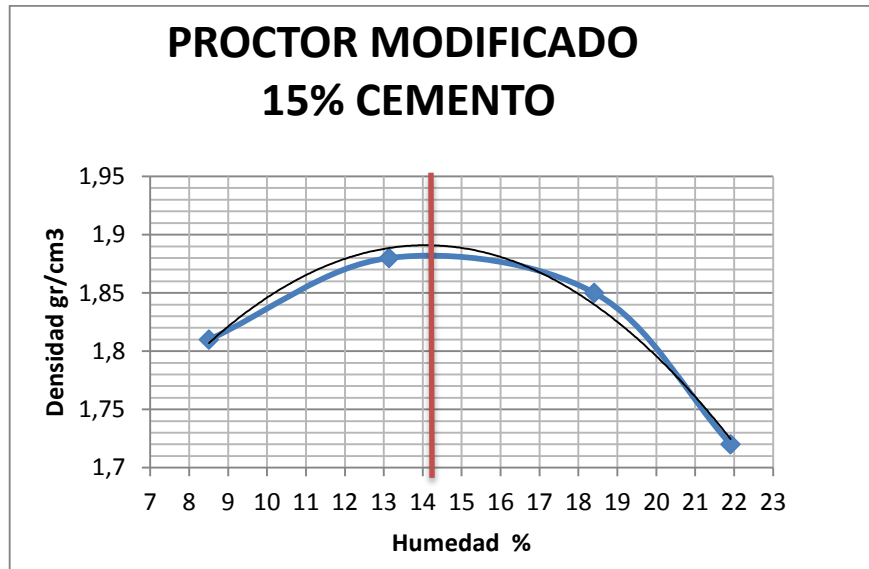
$$\text{Densidad máxima} = 1,87 \text{ gr/cm}^3$$

- Muestra No 4

Tabla No. 75 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 4

PROCTOR MODIFICADO CON 15% CEMENTO				
PESO DEL MOLDE + SUELO (gr)	9681	9835	9768	9491
PESO SUELO (gr)	3871	4025	3958	3681
TARA #	50	210	156	8
PESO TARA (gr)	10,24	6,65	6,94	27
SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	32,45	28,94	23,56	41,38
SUELO HÚMEDO (gr)	22,21	22,29	16,62	14,38
SUELO SECO + TARA (gr)	30,56	26,01	20,5	38,23
SUELO SECO (gr)	20,32	19,36	13,56	11,23
PESO AGUA (gr)	1,89	2,93	3,06	3,15
HUMEDAD %	8,51	13,14	18,41	21,91
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1,81	1,88	1,85	1,72

FIGURA No. 93 Proctor Modificado 15% Cemento Muestra 4



- En la gráfica se observa los valores máximos de densidad y la humedad óptima del suelo, estos valores fueron

$$\text{Humedad óptima} = 14,2\%$$

$$\text{Densidad máxima} = 1,88 \text{ gr/cm}^3$$

- Con todos los resultados obtenidos en cada ensayo se realizó un promedio de humedad y densidad para obtener un valor real.

$$\text{Humedad óptima} = 14,06\%$$

$$\text{Densidad máxima} = 1,86 \text{ gr/cm}^3$$

#### 5.4.4 Compresión simple

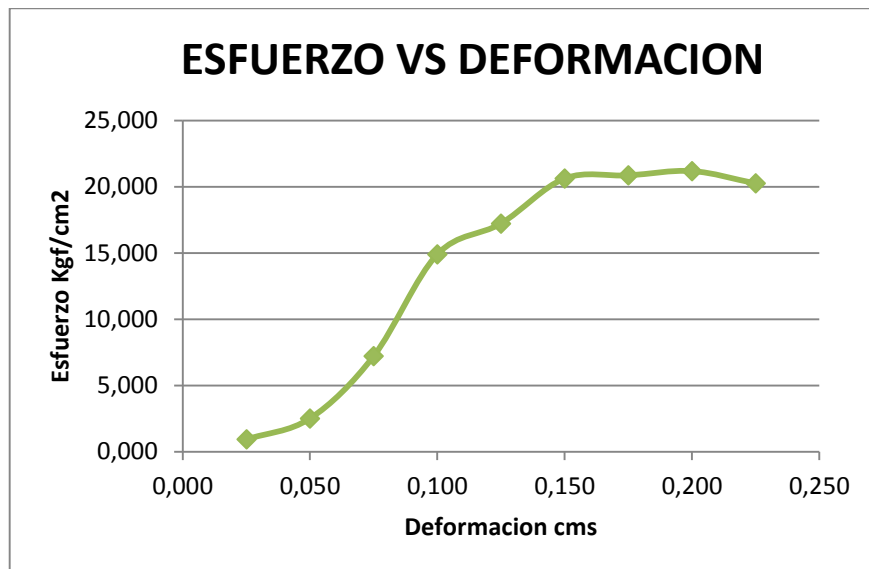
- Para el ensayo de compresión simple, para los resultados eran necesarios datos de carga y deformación y dimensiones de la muestra, en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos con sus respectivas gráficas.

➤ Muestra No 1

Tabla No. 76 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 1

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 1
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	9,060	0,025	0,931
2	24,462	0,050	2,514
3	70,215	0,075	7,216
4	144,960	0,100	14,898
5	167,610	0,125	17,226
6	200,679	0,150	20,625
7	202,944	0,175	20,858
8	206,115	0,2	21,183
9	197,055	0,225	20,252

FIGURA No. 94 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 1



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo

$$q_u = 21,183 \text{ Kg/cm}^2$$

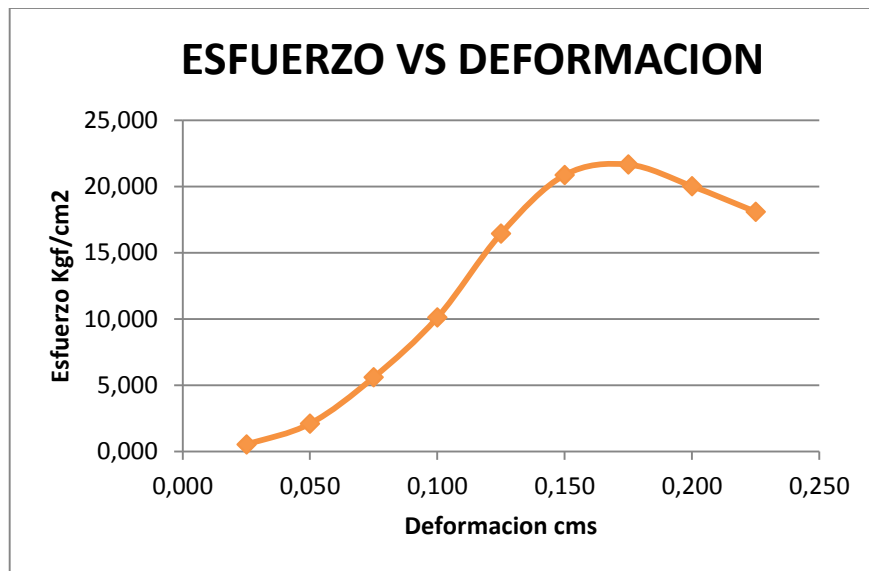
$$C_u = 10,59 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ Muestra No 2

Tabla No. 77 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 2

TABLA COMPRESION SIMPLE			No 2
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	4,983	0,025	0,512
2	20,385	0,050	2,095
3	54,360	0,075	5,587
4	98,301	0,100	10,103
5	159,909	0,125	16,435
6	202,944	0,150	20,858
7	210,645	0,175	21,649
8	194,79	0,2	20,020
9	175,995	0,225	18,088

FIGURA No. 95 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 2



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo

$$q_u = 21,649 \text{ Kg/cm}^2$$

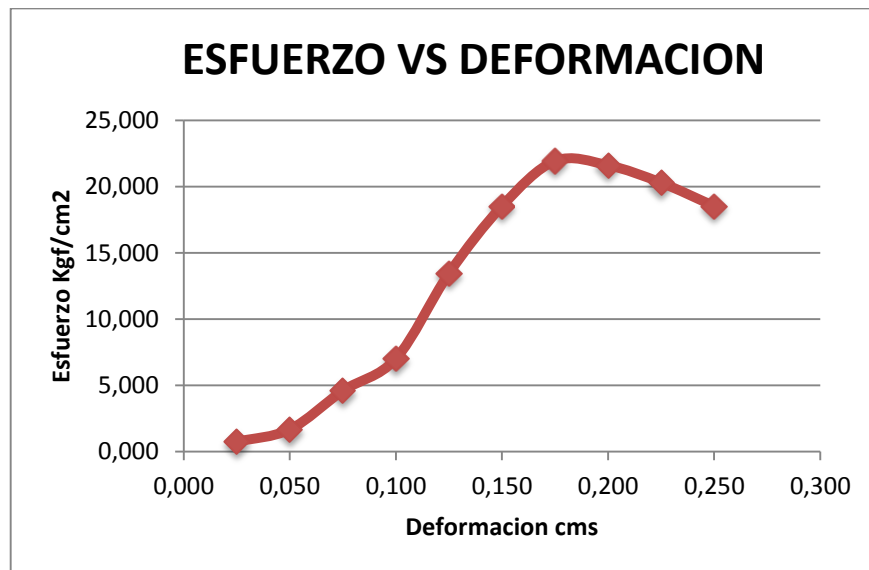
$$C_u = 10,82 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ Muestra No 3

Tabla No. 78 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 3

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 3
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	7,322	0,025	0,753
2	16,333	0,050	1,679
3	44,765	0,075	4,601
4	68,320	0,100	7,022
5	130,912	0,125	13,454
6	180,345	0,150	18,535
7	213,498	0,175	21,942
8	210,356	0,2	21,619
9	197,543	0,225	20,302
10	180,316	0,25	18,532

FIGURA No. 96 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 3



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo

$$q_u = 21,942 \text{ Kg/cm}^2$$

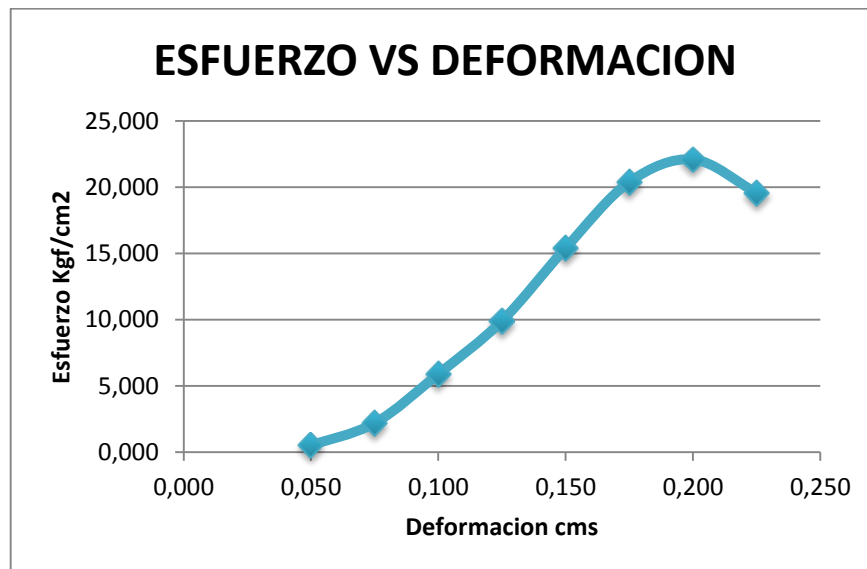
$$C_u = 10,971 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ Muestra No 4

Tabla No. 79 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 4

TABLA COMPRESIÓN SIMPLE			No 4
	Carga (Kgf)	Defor (Cm)	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	5,267	0,025	0,541
2	21,378	0,050	2,197
3	57,453	0,075	5,905
4	96,456	0,100	9,913
5	149,954	0,125	15,412
6	198,432	0,150	20,394
7	214,987	0,175	22,095
8	190,453	0,2	19,574
9	179,877	0,225	18,487

FIGURA No. 97 Compresión Simple 15% Cemento Muestra 4



- Como resultados tenemos un esfuerzo máximo  
 $q_u = 22,095 \text{ Kg/cm}^2$   
 $C_u = 11,05 \text{ Kg/cm}^2$

- Los resultados de todos los ensayos realizados se promediaron para tener un valor más real.

$$q_u = 21,72 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_u = 10,86 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 5.4.5 Corte directo

En los ensayos de corte directo se tuvieron en cuenta datos como carga máxima de corte, esfuerzos máximos y se realizaron las siguientes tablas, con sus respectivas gráficas para analizar y obtener los resultados del ensayo.

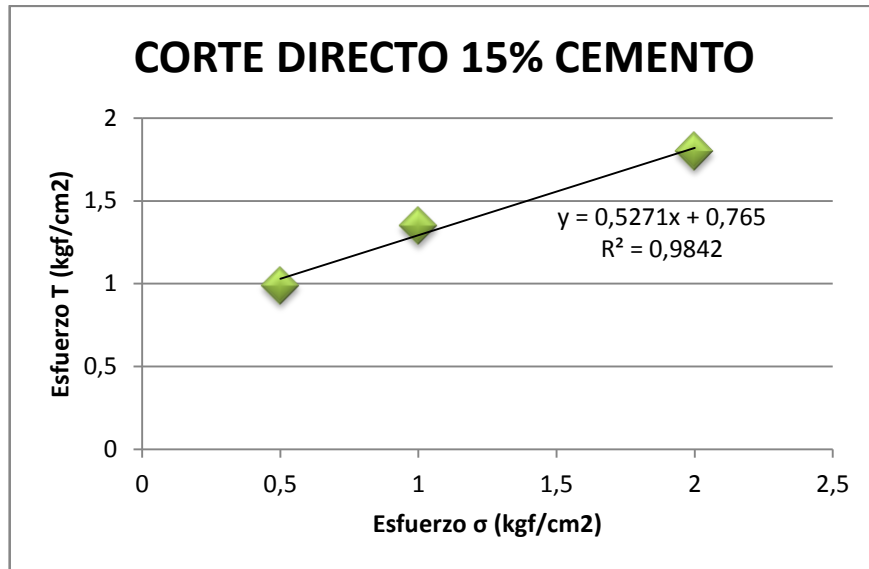
➤ Muestra No1

Tabla No. 80 Corte Directo 15% Cemento Muestra 1

CORTE DIRECTO 15% CEMENTO		
Carga Kgf	Esfuerzo T Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
35,64	0,99	0,5
48,6	1,35	1
64,8	1,8	2

- Con los datos obtenidos en la anterior tabla se realiza la siguiente gráfica.

FIGURA No. 98 Corte Directo 15% Cemento Muestra 1



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\Phi = 27,8$$

$$C = 0,765$$

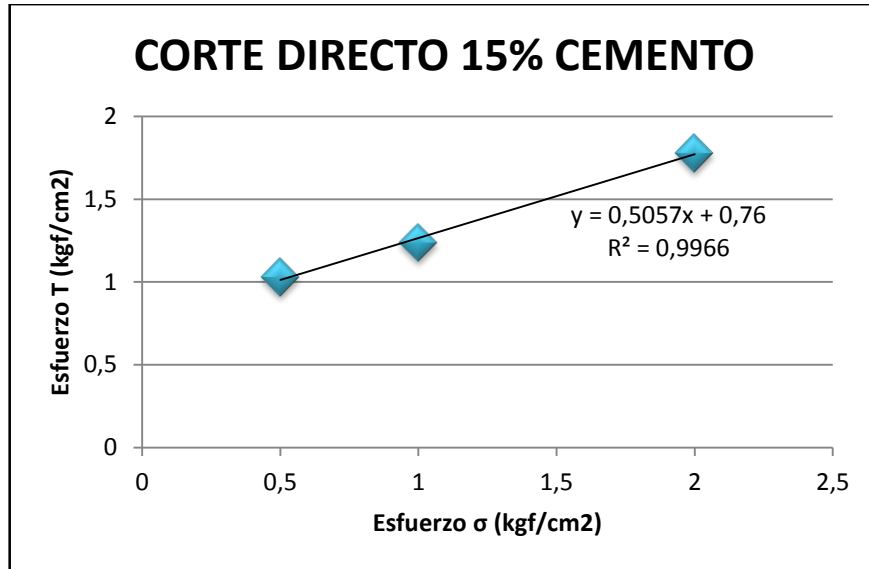
➤ Muestra No 2

Tabla No. 81 Corte Directo 15% Cemento Muestra 2

CORTE DIRECTO 15% CEMENTO		
Carga Kg	Esfuerzo T Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
37,08	1,03	0,5
44,64	1,24	1
64,08	1,78	2

- Con los datos obtenidos en la anterior tabla se realiza la siguiente gráfica.

FIGURA No. 99 Corte Directo 15% Cemento Muestra 2



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\Phi = 26,83$$

$$C = 0,76 \text{ kgf/cm}^2$$

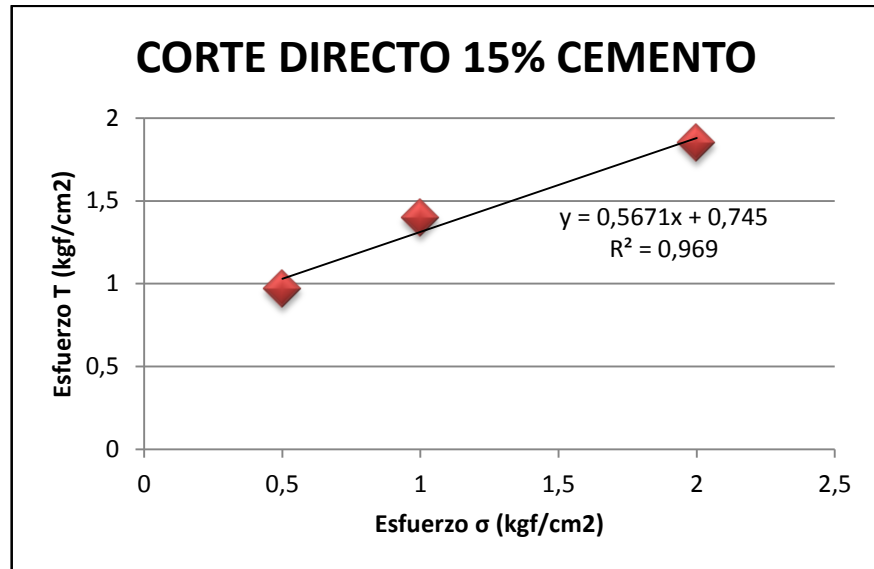
➤ Muestra No 3

Tabla No. 82 Corte Directo 15% Cemento Muestra 3

CORTE DIRECTO 15% CEMENTO		
Carga Kg	Esfuerzo T Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo $\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
34,92	0,97	0,5
50,4	1,4	1
66,6	1,85	2

- Con los datos obtenidos en la anterior tabla se realiza la siguiente gráfica.

FIGURA No. 100 Corte Directo 15% Cemento Muestra 3



- Con la ecuación de la gráfica anterior, obtenemos los valores de ángulo de fricción y cohesión.

$$\phi = 29,5$$

$$C = 0,745 \text{ kgf/cm}^2$$

- Con los datos obtenidos en los ensayos se promediaron para obtener un valor real

$$\phi = 28,4$$

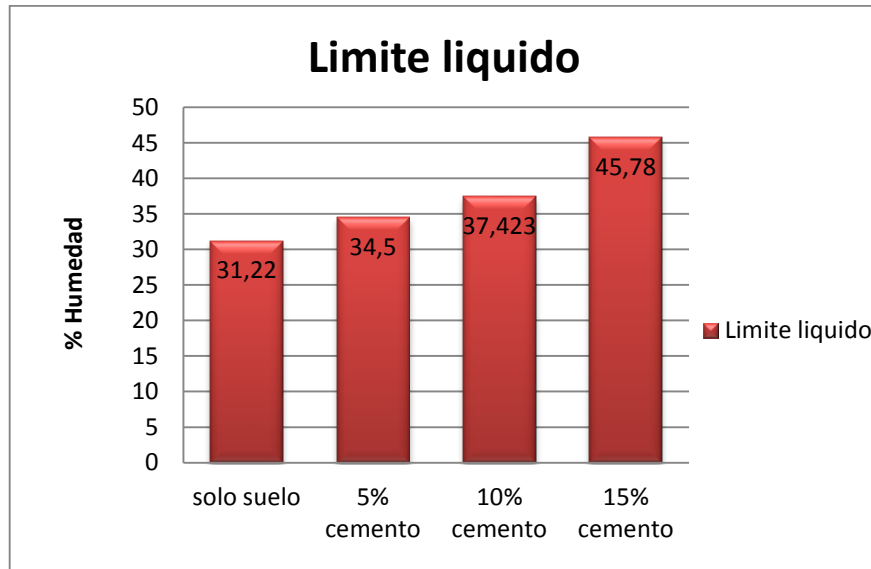
$$C = 0,76 \text{ kgf/cm}^2$$

## 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 Limite líquido

Resultado muestras limite liquido suelo y suelo mejorado

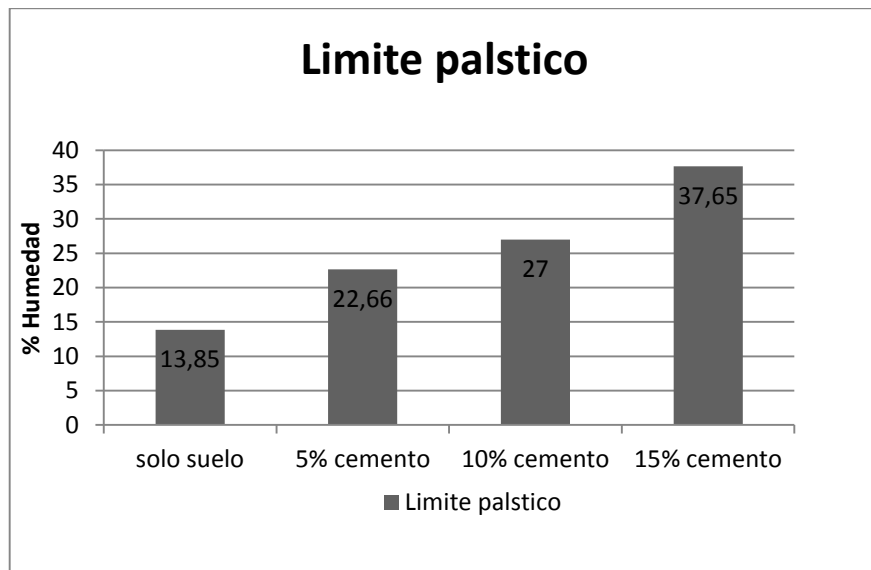
FIGURA No. 101 Resultados Limite Líquido



## 6.2 Limite plástico

Resultado muestras limite plástico suelo y suelo mejorado.

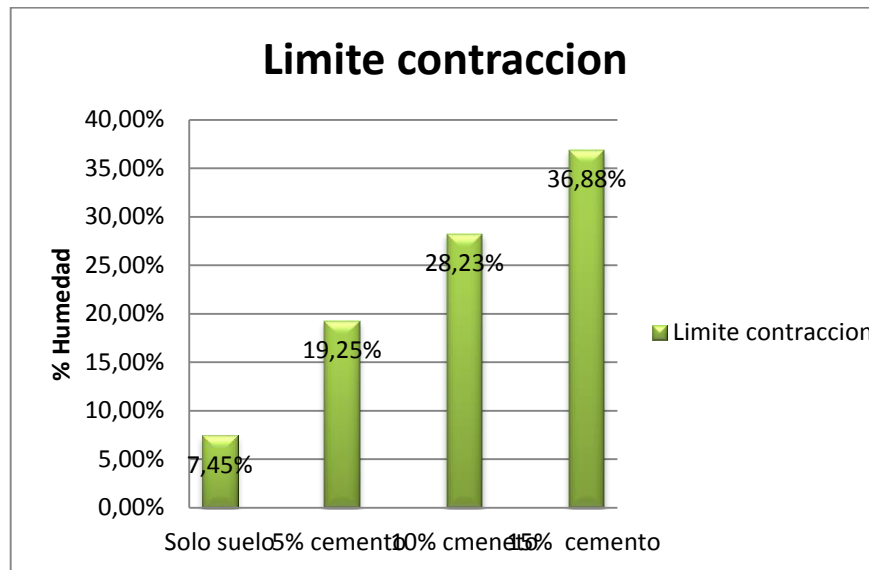
FIGURA No. 102 Resultados Limite Plástico



### 6.3 Limite contracción

Resultado muestras límite de contracción.

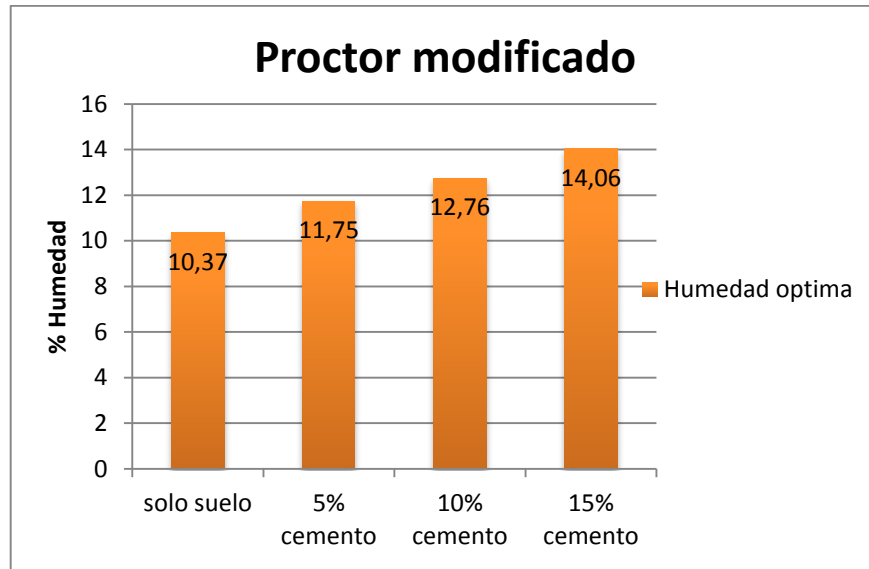
FIGURA No. 103 Resultados Límite de Contracción



### 6.4 Proctor modificado

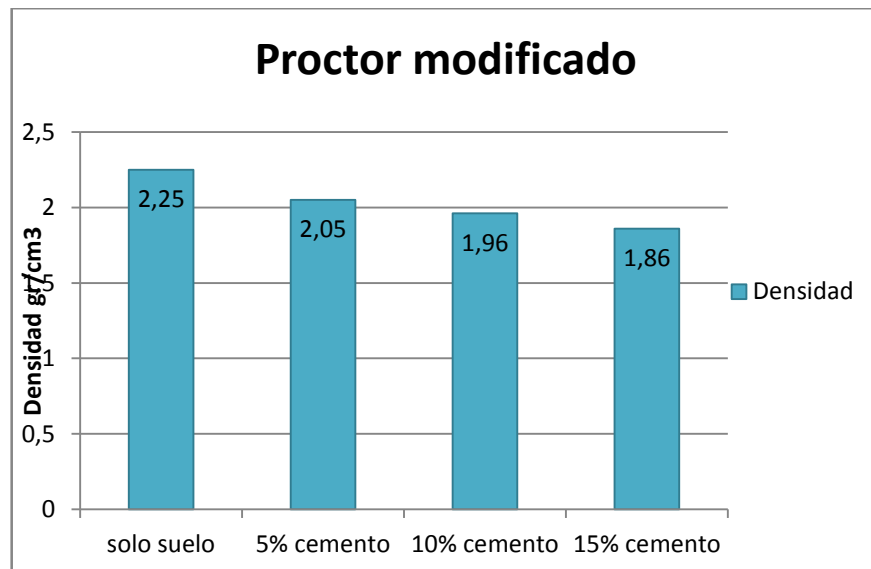
Resultado muestras proctor modificado humedad.

FIGURA No. 104 Resultados Proctor Modificado Humedad Optima



- Resultados muestras proctor modificado. Densidades.

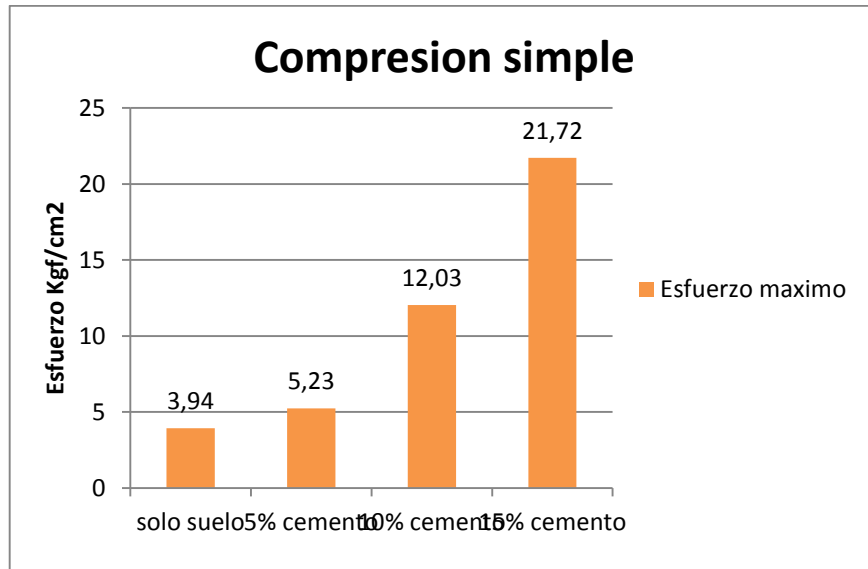
FIGURA No. 105 Resultados Proctor Modificado Densidad



## 6.5 Compresión simple

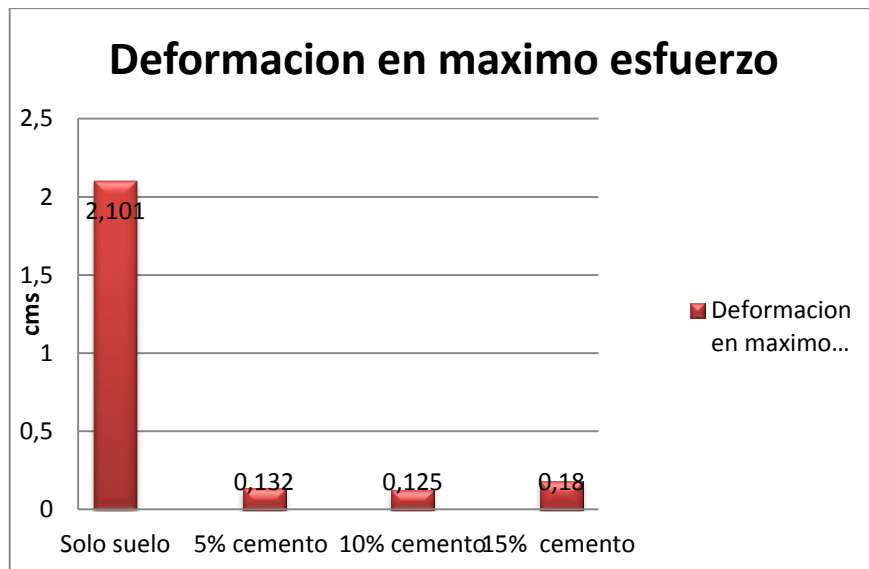
- Resultado compresión simple esfuerzo máximo.

FIGURA No. 106 Resultados Compresión Simple



- Resultado compresión simple, deformación en máximo esfuerzo.

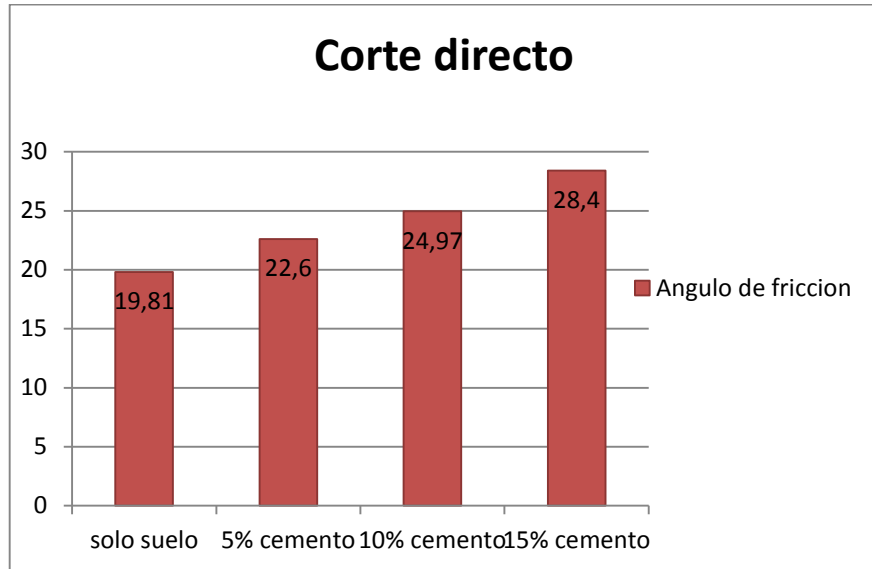
FIGURA No. 107 Resultados Deformación



## 6.6 Corte directo.

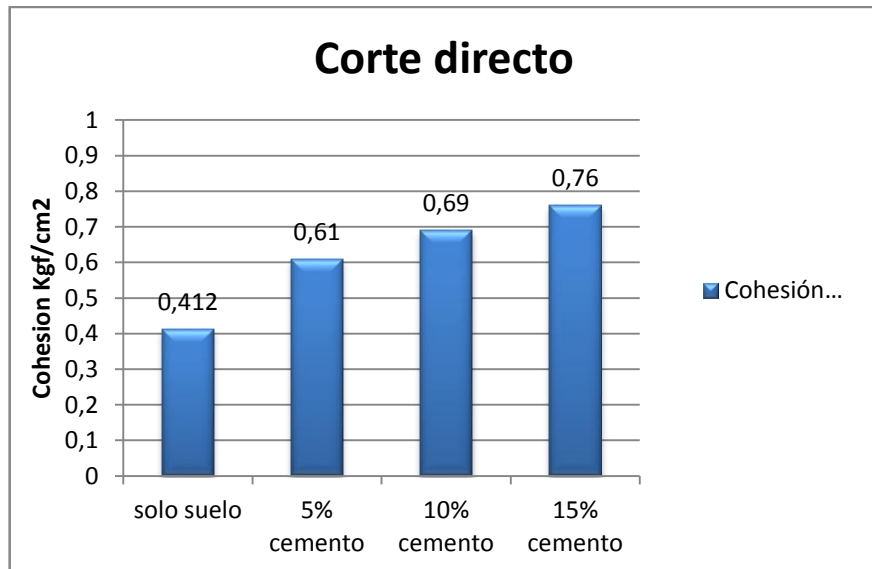
- Análisis de resultado de ángulo de fricción

FIGURA No. 108 Resultados Corte Directo



- Análisis de resultados cohesión

FIGURA No. 109 Resultados Cohesión



## 7 CONCLUSIONES

Se determinó mediante los ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas del suelo sin agregarle cemento y como resultado se obtuvo un suelo tipo CL

Se determinó mediante los ensayos de laboratorios las propiedades físicas y mecánicas del suelo agregándole cemento, en los porcentajes. 5%,10%,15%.

Se analizó que para cada porcentaje de cemento adicionado al suelo las propiedades como, compresión simple, humedad óptima, ángulo de fricción, cohesión y límite de contracción fueron aumentando con cada porcentaje agregado al suelo, lo que llevo a tener buenos resultados y mejorías en las propiedades físicas y mecánicas

Se analizó que para cada porcentaje de cemento adicionado al suelo las propiedades físicas y mecánicas como: Densidad suelo, Deformación de las muestras ante esfuerzos, e índice de plasticidad fueron disminuyendo.

Los resultados de índice de plasticidad realizados para cada porcentaje de cemento adicionado al suelo, disminuyeron pues el suelo se comportó más plástico cada vez que se le adicionaba un porcentaje de cemento.

La incorporación de esta técnica a la normativa vigente y el gran número de equipos de última generación disponibles ha facilitado su desarrollo en todo el territorio nacional, siendo actualmente una solución ampliamente contrastada por sus ventajas técnicas, económicas y medioambientales

## 8 RECOMENDACIONES

La mayoría de los tipos de suelo que encontramos pueden estabilizarse con cemento con excepción de los que contienen altos porcentajes de materia orgánica.

Los suelos de arcilla o limo requerirán un mayor porcentaje de cemento para lograr los resultados esperados.

Los suelos arcillosos presentan resistencia a pulverizarse, por lo que es necesario romper los terrones antes de pulverizarlo; si la mezcla está muy húmeda formará una masa pastosa difícil de mezclar lo que encarecerá el proceso.

El material se debe reducir al mínimo tamaño sin romper las partículas ya que los grumos o terrones no tendrán cemento y se convertirán en elementos débiles del firme ya estabilizado.

El porcentaje mas ideal para mejorar el suelo con cemento es el 10 %, ya que el costo de este material es alto y con este porcentaje se logró un aumento considerable en las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

(28 de Agosto de 2015). Obtenido de <http://lultimaresistencia.weebly.com/uploads/6/8/2/7/6827657/35580425-estabilizacion-de-suelos.pdf>

ARGOS, C. (s.f.). ARGOS. Recuperado el 29 de enero de 2015, de [www.argos.co/colombia/productos/cemento/tipos](http://www.argos.co/colombia/productos/cemento/tipos)

Badillo, E. J. (2005). *Fuandamentos de la Mecanica de Suelos*. Mexico: Limusa.

EVERARD N.J., y. T. (1966). *Diseño de Concreto Armado*. Texas: McGRAW-HILL.

GUZMAN, D. S. (2001 5a.ed). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santa fe de Bogota: Bhandar Editores.

IECA. (2013). *Guia Tecnica Estabilizacion de Suelos con Cemento*. Madrid.

SERRANO, M. (1997). *Laboratorio de resistenciales*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.

UNIVERSIDAD DE OVIEDO, E. (s.f.). *Universidad de Oviedo España*. Recuperado el 29 de enero de 2015, de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Tipos.CEMENTOS.pdf>