

POSIBLES CORRELACIONES ENTRE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE  
LAS CENIZAS VOLCANICAS DEL ÁREA DE POPAYÁN Y LOS ÍNDICES DE  
COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS EVALUADOS MEDIANTE ENSAYOS DE  
CONSOLIDACIÓN. FASE I



PRESENTADO POR:  
HAROL LEÓN ZAMBRANO URBANO  
JAMES MAURICIO MARTÍNEZ LASSO  
Estudiantes de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
JUNIO DE 2012  
POPAYÁN

POSIBLES CORRELACIONES ENTRE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE  
LAS CENIZAS VOLCANICAS DEL ÁREA DE POPAYÁN Y LOS ÍNDICES DE  
COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS EVALUADOS MEDIANTE ENSAYOS DE  
CONSOLIDACIÓN. FASE I



PRESENTADO POR:  
HAROL LEÓN ZAMBRANO URBANO  
JAMES MAURICIO MARTÍNEZ LASSO  
Estudiantes de Ingeniería Civil

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTORA:  
M. Sc. MARGARITA POLANCO FLÓREZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
JUNIO DE 2012  
POPAYÁN

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	15
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
<b>4. MARCO TEÓRICO.</b> .....	18
4.1 FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN DE LOS SUELOS FINOS .....	18
4.1.2 Prueba de Consolidación Unidimensional en Laboratorio.....	19
4.1.3 Gráficas de Presión-Relación de Vacíos .....	21
4.1.4 Índice de Compresión (Cc) .....	21
4.1.5 Presión Máxima de Preconsolidación.....	23
4.2 LIMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG.....	23
4.2.1 Limite líquido ( $L_L$ ). .....	24
4.2.2 Límite plástico ( $L_P$ ). .....	24
4.2.3 Límite de contracción. ....	24
4.2.4 Límite de pegajosidad. ....	25
4.2.5 Límite de cohesión. ....	25
4.3 HUMEDAD DEL SUELO. ....	25
4.4 SUELO UTILIZADO.....	26
4.4.1 Antecedentes Históricos Sobre la Formación Popayán. ....	26
4.4.2 Nombre y Propósito de la Designación.....	27
4.4.3 Extensión y Fuente.....	28
4.4.4 Descripción de la Unidad y Especificaciones de los Estratotipos.....	28
<b>5. METODOLOGÍA.</b> .....	29
5.1 LOCALIZACIÓN Y MUESTREO.....	29
5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	32
5.2.1 Consolidación I.N.V.E. -151.....	32
5.2.2 Gravedad Específica de Suelos Finos. I.N.V.E - 128.....	33
5.2.3 Expansión. I.N.V.E - 120 .....	34

5.2.4 Límites de Consistencia. INV - E 125, 126, 127.....	35
5.2.5 Compresión Simple. I.N.V.E - 152.....	36
5.3 RESULTADOS DE LABORATORIO.....	37
<b>6. ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
6.1 DATOS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN.....	38
6.2 NORMALIDAD.....	44
6.3 HOMOGENEIDAD.....	47
6.4 ANÁLISIS PARAMÉTRICOS Y NO PARAMÉTRICOS.....	48
6.5 ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	49
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>67</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>71</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>72</b>
<b>10. ANEXOS.</b> .....	<b>73</b>
Anexo A. Datos y resultados del ensayo de compresión simple.....	73
Anexo B. Datos y resultados del ensayo de gravedad específica.....	85
Anexo C. Datos y resultados ensayo límites de consistencia.....	91
Anexo D. Datos y resultados ensayo presión de expansión.....	103
Anexo E. Datos y resultados ensayo consolidación.....	115
Anexo F. Curvas de Compresibilidad.....	127

## LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Correlaciones entre el índice de compresibilidad (Cc) y los límites de consistencia del suelo.....	15
Cuadro 2. Correlaciones para arcillas naturales.....	15
Cuadro 3. Localización de sondeos.....	29
Cuadro 4. Resultados de los ensayos de laboratorio.....	37
Cuadro 5. Resultados de tendencia central y dispersión.....	39
Cuadro 6. Prueba de normalidad para los resultados de compresión simple.....	45
Cuadro 7. Prueba de normalidad para los resultados de gravedad específica.....	45
Cuadro 8. Prueba de normalidad para los resultados de límite líquido.....	45
Cuadro 9. Prueba de normalidad para los resultados de límite plástico.....	46
Cuadro 10. Prueba de normalidad para los resultados de índice de plasticidad...	46
Cuadro 11. Prueba de normalidad para los resultados de presión de preconsolidación.....	46
Cuadro 12. Prueba de normalidad para los resultados de índice de compresibilidad.....	46
Cuadro 13. Prueba de normalidad para los resultados de índice de compresibilidad.....	46
Cuadro 14. Prueba de normalidad para los resultados de radio de sobreconsolidación.....	47
Cuadro 15. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	47
Cuadro 16. Correlaciones presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) – límite líquido (LI).....	50
Cuadro 17. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) - límite líquido (LI).....	50

	Pag.
Cuadro 18. Correlaciones presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) – límite plástico (Lp).....	51
Cuadro 19. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) - límite plástico (Lp).....	51
Cuadro 20. Correlaciones presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) – índice de plasticidad (Ip).....	52
Cuadro 21. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) – índice de plasticidad (Ip).....	53
Cuadro 22. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – límite líquido (LI).....	53
Cuadro 23. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros índice de compresibilidad (Ccr) – límite líquido (LI).....	54
Cuadro 24. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – límite plástico (Lp).....	55
Cuadro 25. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros índice de compresibilidad (Ccr) – límite plástico (Lp).....	55
Cuadro 26. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – índice de plasticidad (Ip).....	56
Cuadro 27. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros.....	56
Cuadro 28. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – radio de sobreconsolidación (RSC).....	57
Cuadro 29. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Ccr) – radio de sobreconsolidación (RSC).....	57
Cuadro 30. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – límite líquido (LI).....	58
Cuadro 31. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros índice de compresibilidad (Cc) – límite líquido (LI).....	59
Cuadro 32. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – límite plástico (Lp)....	60

	Pag.
Cuadro 33. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros índice de compresibilidad (Cc) – límite plástico (Lp).....	60
Cuadro 34. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – índice de plasticidad (Ip).....	61
Cuadro 35. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Cc) – índice de plasticidad (Ip).....	61
Cuadro 36. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – radio de sobreconsolidación (RSC).....	62
Cuadro 37. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Cc) – radio de sobreconsolidación (RSC).....	62
Cuadro 38. Correlación entre compresión simple (qu) - presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ).....	63
Cuadro 39. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros compresión simple (qu) - presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ).....	64
Cuadro 40. Correlación entre compresión simple (qu) - radio de sobreconsolidación (RSC).....	65
Cuadro 41. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros compresión simple (qu) - radio de sobreconsolidación (RSC).....	65
Cuadro 42. Comparación de resultados medidos en el laboratorio con los obtenidos aplicando la formula (11).....	68
Cuadro 43. Comparación de resultados medidos en el laboratorio con los obtenidos aplicando las formulas (13 y 14).....	69
Cuadro 44. Comparación de resultados medidos en el laboratorio con los obtenidos aplicando la formula (15).....	70

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pag.
Gráfica 1. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de compresión simple ( $q_u$ ).....	41
Gráfica 2. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de gravedad específica ( $G_s$ ).....	42
Gráfica 3. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de límite líquido (LI).....	42
Gráfica 4. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de límite plástico ( $L_p$ )....	42
Gráfica 5. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de índice de plasticidad ( $I_p$ ).....	43
Gráfica 6. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) .....	43
Gráfica 7. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de índice de compresibilidad ( $C_c$ ).....	43
Gráfica 8. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de índice de compresibilidad ( $C_{cr}$ ).....	44
Gráfica 9. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de radio de sobreconsolidación (RSC).....	44
Grafica 10. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) y limite líquido (LI).....	51
Grafica 11. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) y limite plástico ( $L_p$ ).....	52
Grafica 12. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) e índice de plasticidad ( $I_p$ ).....	53
Grafica 13. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad ( $C_{cr}$ ) y límite líquido (LI).....	54
Grafica 14. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad ( $C_{cr}$ ) y límite plástico ( $L_p$ ).....	55

Grafica 15. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Ccr) e índice de plasticidad (Ip).....	56
Grafica 16. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cccr) y radio de sobreconsolidación (RSC).....	58
Grafica 17. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y límite líquido (LI).....	59
Grafica 18. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y límite plástico (Lp).....	60
Grafica 19. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y radio de sobreconsolidación (RSC).....	61
Grafica 20. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y radio de sobreconsolidación (RSC).....	63
Grafica 21. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables compresión simple (qu) y presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ).....	64
Grafica 22. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables compresión simple (qu) y radio de sobreconsolidación (RSC).....	65

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura.1. Consolidómetro.....	20
Figura.2. Grafica tiempo-deformación durante la consolidación para un incremento dado de carga.....	20
Figura 3. Gráfica típica de $e$ versus $\log \sigma'$ .....	21
Figura.4. Características de consolidación de una arcilla normalmente consolidada de baja a media sensibilidad.....	22
Figura 5. Método de Casagrande para obtener la presión de preconsolidación....	23
Figura 6. Ubicaciones relativas de los límites plástico y líquido de un suelo.....	24
Figura 7. Ubicación de los sectores.....	30
Figura 8. Equipo de perforación.....	30
Figura 9. Toma de muestra alterada.....	30
Figura 10. Tubo shelby.....	31
Figura 12. Equipo de consolidación.....	32
Figura 13. Equipo para gravedad específica.....	33
Figura 14. Equipo para expansión de Lambe.....	34
Figura 15. Capsula de Casagrande y muestras para Límites de Consistencia.....	35
Figura 16. Equipo y muestras para compresión simple.....	37

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

---

Director

Popayán, 01 de Junio de 2012

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por caminar siempre a nuestro lado.

A nuestros padres y hermanos por su apoyo, comprensión e incondicionalidad.

A nuestros profesores, en especial a la Ing. Margarita Polanco, y los respectivos jurados. Gracias por su tiempo.

A la Universidad del Cauca por brindarnos el honor de pertenecer a tan prestigiosa familia y a las Residencias Universitarias 4 de Marzo, nuestro segundo hogar.

A las personas encargadas del Laboratorio de Suelos y Pavimentos por su inmensa colaboración.

Y a todas las personas con las que compartimos en el transcurso de nuestros estudios por su apoyo, amistad y tiempo.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del trabajo es encontrar correlaciones entre los límites de consistencia y los índices de compresibilidad para los suelos predominantes en la ciudad de Popayán, especialmente las cenizas volcánicas, las cuales puedan ser utilizadas en áreas de la Ingeniería Civil como la mecánica de suelos. Mediante pruebas rutinarias de laboratorio para los límites de consistencia, y con base en los resultados, conocer de una manera más práctica los índices de compresibilidad de las cenizas volcánicas, avanzando, de esta manera, en el conocimiento de los materiales de la región y brindar una herramienta para el estudio de los suelos de la Formación Popayán.

En el área del municipio de Popayán predominan las cenizas volcánicas debido a su formación geológica y ubicación geográfica; puesto que esta ciudad se encuentra en continuo crecimiento, se quiere así contribuir con el desarrollo del presente proyecto en el conocimiento de estos suelos, particularmente en el fenómeno de consolidación.

Generalmente todos los materiales experimentan deformaciones cuando se los somete a cargas que generan cambios en sus condiciones de esfuerzo. Las características esfuerzo-deformación de un suelo dependen del tipo de suelo, así como de la forma en que será cargado, su localización en la naturaleza, contenido de agua, entre otras características. Sufriendo generalmente deformaciones superiores a las que sufre la estructura que transmite la carga. Además estas deformaciones no siempre se producen instantáneamente ante la aplicación de la carga, sino también a lo largo del tiempo.

Cuando un depósito de suelo es sometido a un incremento de cargas, éste reacciona de tal manera que se incrementan los esfuerzos totales, como resultado de las cargas externas aplicadas se produce un exceso de presión intersticial, debido a que el agua no resiste al corte, la presión neutra se disipa mediante un flujo de agua al exterior, cuya velocidad de drenaje depende de la permeabilidad del suelo. Esta disipación de presión intersticial debida al flujo de agua hacia el exterior se denomina consolidación, proceso que tiene dos consecuencias:

Reducción del volumen de poros, que implica reducción del volumen total, produciéndose un asentamiento. Se considera que en el proceso de consolidación unidimensional la posición de las partículas con respecto a un plano horizontal permanece esencialmente igual; el movimiento significativo de las partículas sólo puede ocurrir verticalmente.

Durante la disipación del exceso de presión intersticial, la presión efectiva aumenta y se incrementa la resistencia del suelo. Por lo tanto cuando un suelo se consolida ante una carga externa se produce un incremento del esfuerzo efectivo y una disminución de la relación de vacíos.

En los suelos granulares la permeabilidad es alta por lo tanto se disipan rápidamente las presiones neutras. En consecuencia, el asentamiento finaliza poco tiempo después de terminada la edificación.

En los suelos finos arcillosos, la permeabilidad es muy baja y las presiones neutras se disipan muy lentamente. En consecuencia puede seguir deformándose varios años después de finalizada una construcción, cimentada en este tipo de material.

En el ensayo de consolidación de suelos finos para cada incremento de carga aplicada se tiene un valor de relación de vacíos y otro de presión correspondiente que actúa sobre el espécimen. Del ensayo de consolidación, una vez aplicados todos los incrementos de carga, se tienen valores que permiten dibujar una curva en cuyas abscisas se representan los valores de la presión en escala logarítmica y en las ordenadas se anotan los correspondientes valores de la relación de vacíos en escala natural.

En la curva de compresibilidad, se distinguen dos tramos bien diferenciados: la rama de recompresión y la rama virgen. En el tramo recto o virgen, la variación de la relación de vacíos es lineal con el logaritmo de las tensiones, es por ello que se puede determinar la pendiente de esta recta, denominada índice o módulo de compresión ( $C_c$ ), y de la pendiente de la rama de recompresión se denomina índice de compresión ( $C_{cr}$ ). Basado en el anterior análisis, Arturo Casagrande desarrollo un método empírico que permite determinar a partir de la curva de compresibilidad del suelo, la máxima presión que ha tenido el suelo en toda su historia o presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ).

El presente trabajo trata de determinar posibles correlaciones con los anteriores índices de compresibilidad ( $C_c$ ,  $C_{cr}$ ,  $\sigma'_c$ ) y los límites de consistencia del suelo o límites de Atterberg, con el fin de brindar herramientas que contribuyan al campo ingenieril y así mismo al conocimiento de los suelos de la región.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la literatura existen correlaciones entre los índices de compresibilidad y los límites de consistencia de los suelos, a continuación se muestran algunas para el parámetro ( $C_c$ ), que es la pendiente de la rama virgen de la curva de compresibilidad del suelo.

Cuadro 1. Correlaciones entre el índice de compresibilidad ( $C_c$ ) y los límites de consistencia del suelo.

TIPO DE SUELO	CORRELACIÓN	AUTOR	AÑO
Arcillas inalteradas	$C_c = 0.009(L_L - 10)$	Terzaghi y Peck	1967
Arcillas remoldeadas	$C_c = 0.007(L_L - 10)$	Terzaghi y Peck	1967
Para suelos finos	$C_c = 0.2343(L_L * G_s)/100$	Nagaraj y Morty	1985

Fuente: DAS, Braja. 2001

$L_L$ : Límite líquido del suelo expresado en porcentaje.

$G_s$ : Gravedad específica del suelo.

Estas correlaciones fueron desarrolladas por investigadores de otros países con suelos muy diferentes a los existentes en nuestro país y en especial los que se encuentran en el Municipio de Popayán. Otras relaciones sobre suelos arcillosos se muestran a continuación:

Cuadro 2. Correlaciones para arcillas naturales.

TIPO DE SUELO	CORRELACIÓN	AUTOR	AÑO
Arcilla brasileña	$C_c = 0.0046(L_L - 9)$	Azzouz, Krizek y Corotis	1976
Suelos finos	$C_c = 0.5(G_s * I_p)/100$	Wroth y Wood	1978
Suelos finos	$C_c = 0.0463(L_L * G_s)/100$	Nagaraj y Morty	1985
Suelos de Richmond, Virginia	$C_c = 0.0326(L_L - 43.4)$	Martin y otros	1995

Fuente: DAS, Braja. 2001

Por lo anterior se cree conveniente validar estas fórmulas o encontrar nuevas para los suelos de la región; de esta manera se tendrá mayor conocimiento de los mismos, y se contaría con una herramienta que contribuya de una mejor manera en el cálculo de los proyectos.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En el área de la ingeniería de suelos hay muchas investigaciones que permiten conocer mejor el comportamiento del suelo. En la literatura hay varios estudios sobre este tema, de autores como: Bowles, Braja, Terzaghi, Skepton, Vésic, Casagrande, y otros, los cuales han desarrollado métodos, ecuaciones y correlaciones, utilizando suelos diferentes a los colombianos, pero a pesar de todo aún son empleadas en nuestro medio.

Este proyecto consiste en encontrar correlaciones entre los límites de consistencia y los índices de compresibilidad de los suelos, en cuya determinación intervienen otros parámetros como la gravedad específica, la relación de vacíos y las masas unitarias; para los suelos del área del Municipio de Popayán.

Con la presente investigación se busca obtener correlaciones para las cenizas volcánicas de la Formación Popayán que son suelos predominantes en la región, la cual se extiende desde el altiplano de Paletará al sur, hasta el páramo de Gabriel López al norte, por la cuenca alta del Rio Cauca y las subcuencas de los ríos Palacé, Piendamó y Ovejas; desde allí hasta la divisoria de aguas Cauca-Magdalena al oriente, hasta la divisoria de aguas de los ríos Cauca-Patía, y el piedemonte de la Cordillera Occidental.

Los resultados obtenidos serán una ayuda para calcular de modo aproximado asentamientos de estructuras. Estos resultados pueden usarse en anteproyectos para anticipar el posible comportamiento de los suelos anteriormente mencionados, y así tener una idea general del comportamiento y el costo de la cimentación de una estructura.

Este proyecto es la primera fase, pero se debe continuar con el fin de obtener correlaciones más confiables, con mayor número de datos. Esperando así que la investigación la continúen desarrollando futuros estudiantes de la facultad que se interesen por el tema.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL.

- Encontrar correlaciones entre los límites de consistencia y los índices de compresibilidad de las cenizas volcánicas del área de Popayán, que puedan ser usadas en estudios preliminares de proyectos de ingeniería.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Promover el estudio de las características de los suelos de la región y del país, obteniendo correlaciones propias que no dependan de criterios extranjeros.
- Contribuir en el campo ingenieril para lograr de una manera más practica posibles predicciones de asentamientos en las estructuras que se realicen en el municipio de Popayán, mediante la determinación de los coeficientes o índices de compresibilidad del suelo por correlaciones con pruebas rutinarias de laboratorio como lo son el limite liquido ( $L_L$ ) y el limite plástico ( $L_P$ ).
- Hacer una comparación entre el radio de sobreconsolidación (RSC) del suelo y los parámetros: índice de compresibilidad de la rama virgen ( $C_c$ ) y el índice de compresibilidad de la rama de recompresión del suelo ( $C_{cr}$ ).
- Hacer una comparación entre la resistencia a la compresión simple del suelo ( $q_u$ ), los parámetros: presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) y el radio de sobre-consolidación (RSC).

## 4. MARCO TEÓRICO.

### 4.1 FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN DE LOS SUELOS FINOS

Cuando el suelo se somete a una sobrecarga ( $q$ ) los esfuerzos totales se aumentan en la misma cuantía. En suelos saturados, esto lleva al incremento de la presión de poros; debido a que el agua no resiste esfuerzos cortantes, el exceso de presión intersticial se disipa a una velocidad controlada por la permeabilidad del suelo ( $k$ ), con lo que el esfuerzo efectivo ( $\sigma'v$ ) se va incrementando a medida que el agua fluye. De esta manera cuando disminuye la presión de poros que se había incrementado, con la sobrecarga, crece el esfuerzo efectivo; y se reduce la relación de vacíos. Por lo anterior se produce una disminución del volumen total generando un asentamiento del terreno, y ocurre una deformación del suelo que se ve afectado con el incremento de esfuerzos causado por la sobrecarga y el incremento de la resistencia al corte del suelo después de disipar el exceso de presión de poros. (DAS, Braja. 2001, p. 151).

El mismo autor plantea que: un incremento del esfuerzo provocado por la construcción de cimentaciones u otras cargas disminuye el volumen de los estratos del suelo. El cambio de volumen es causado por:

- a) Deformación de las partículas del suelo.
- b) Reacomodo de las partículas del suelo.
- c) Expulsión del agua o del aire de los espacios vacíos.

En general, el asentamiento del suelo causado por cargas se divide en tres amplias categorías.

**Asentamiento inmediato**, provocado por la deformación elástica del suelo seco, suelos húmedos y saturados sin ningún cambio en el contenido de agua. El cálculo de los asentamientos inmediatos se basa, generalmente, en ecuaciones derivadas de la teoría de la elasticidad. (Ibíd., p. 151).

**Asentamiento por consolidación primaria**, es el resultado de un cambio de volumen en suelos saturados cohesivos debido a la expulsión del agua que ocupa los espacios vacíos. (Ibíd., p. 151).

**Asentamiento por consolidación secundaria**, se observa en suelos saturados cohesivos y es el resultado del ajuste plástico de la estructura del suelo. Éste sigue al asentamiento por consolidación primaria bajo un esfuerzo efectivo constante. (Ibíd., p. 151).

La consolidación se valora por medio de una prueba llamada prueba de consolidación de suelos. Cuando un estrato de suelo saturado está sometido a un incremento de esfuerzos, la presión de poros del agua aumenta repentinamente. En suelos arenosos que son altamente permeables, el drenaje causado por el incremento en la presión de poro del agua se lleva a cabo inmediatamente. Sin embargo, no es el caso para suelos arcillosos, que tienen baja permeabilidad. El asentamiento por consolidación depende del tiempo. (Ibíd., p. 151)

Para la estimación de asentamientos, la consolidación impone la necesidad de evaluar la magnitud y la velocidad de los asentamientos. Si las deformaciones totales del terreno varían en la dirección horizontal, se producen asentamientos diferenciales. Si el suelo es altamente deformable, las sobrecargas altas producen asentamientos excesivos. Si el suelo es un limo arenoso, la permeabilidad puede ofrecer asentamientos instantáneos que suelen darse durante la construcción. Si el suelo es limo arcilloso, los asentamientos pueden prolongarse un tiempo importante después de terminada la obra.

En el análisis de asentamientos pueden considerarse dos casos: asentamientos por una sobrecarga ( $q$ ) en un área infinita, o asentamiento por sobrecarga ( $q$ ) en un área de tamaño finito. Lo anterior se define según la extensión del área cargada en comparación con el espesor de la capa de subsuelo que se considera deformable.

Para el caso de un área cargada de extensión infinita, según Terzaghi, las deformaciones y el flujo de agua se dan en dirección vertical, e interesa la permeabilidad vertical del suelo. En este caso se considerará el efecto de la sobrecarga constante a cualquier profundidad del terreno deformable.

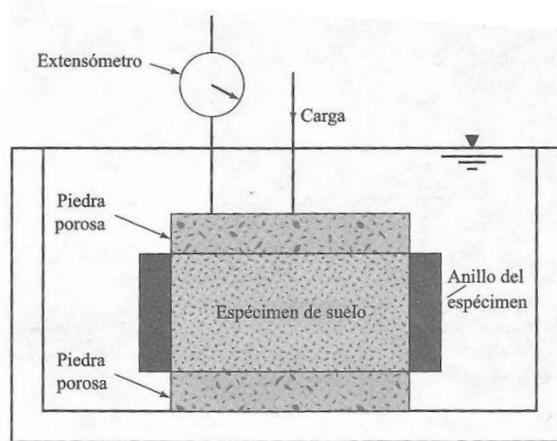
Para el segundo caso, cuando el área cargada es pequeña como suele darse en el caso de una zapata, es evidente la deformación tridimensional del subsuelo. Esta evaluación se hará teniendo en cuenta la variación del esfuerzo en profundidad y la rigidez o flexibilidad de la cimentación causante de la sobrecarga.

#### **4.1.2 Prueba de Consolidación Unidimensional en Laboratorio.**

El procedimiento de prueba de la consolidación unidimensional fue primero sugerido por Terzaghi (1925) con el fin de determinar el grado de asentamiento que experimenta una muestra de suelo al someterla a una serie de incrementos de carga. Se efectúa en un consolidómetro u odómetro. La figura 1 muestra el diagrama esquemático de un consolidómetro. El espécimen de suelo se coloca dentro de un anillo metálico con dos piedras porosas, una en la parte superior del espécimen y otra en el fondo. Las muestras son usualmente de 63.5 mm de diámetro y 25.4 mm de espesor. La carga sobre el espécimen se aplica por medio

de un brazo de palanca y la compresión se mide por medio de un micrómetro calibrado. El espécimen se mantiene bajo agua durante la prueba. Cada carga se mantiene usualmente durante 24 horas. Después se duplica la presión sobre la muestra y se continúa la medición de la compresión. Al final se determina el peso seco del espécimen de la prueba. (DAS, Braja. 2001, p. 154).

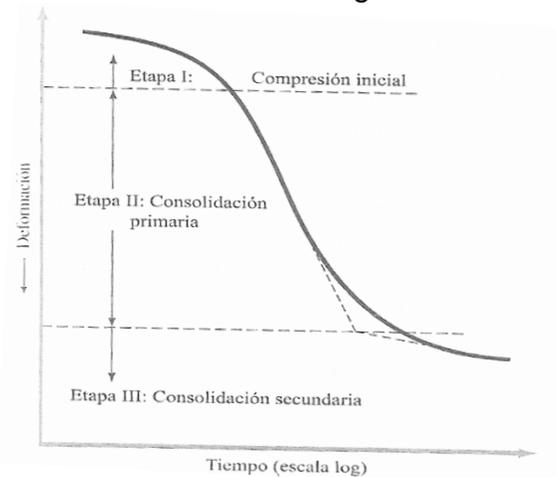
Figura.1. Consolidómetro



Fuente: (DAS, Braja. 2001)

La forma general de la gráfica de deformación del espécimen versus tiempo para un incremento dado de carga se muestra en la figura 2. En la gráfica se observan tres etapas distintas, que se describen como sigue: (Ibíd., p. 154)

Figura.2. Grafica tiempo-deformación durante la consolidación para un incremento dado de carga.



Fuente: (DAS, Braja. 2001)

**Etapa I:** Compresión inicial, causada principalmente por la precarga.

**Etapa II:** Consolidación primaria, durante la cual el exceso de presión de poro por agua es gradualmente transferido a esfuerzos efectivos por la expulsión del agua de poro.

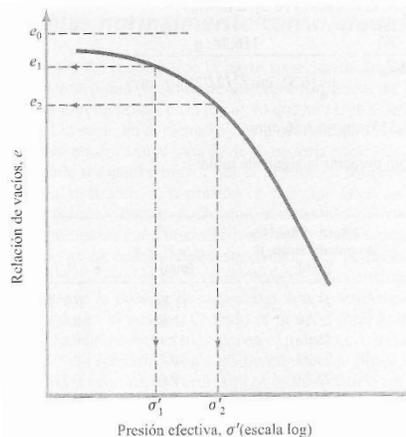
**Etapa III:** Consolidación secundaria, ocurre después de la total disipación del exceso de presión de poro del agua cuando alguna deformación del espécimen tiene lugar debido al reajuste plástico de la estructura del suelo. (Ibíd., p. 154)

#### 4.1.3 Gráficas de Presión-Relación de Vacíos

Después de que las gráficas tiempo-deformación para varias cargas se obtienen en el laboratorio, es necesario estudiar el cambio de la relación de vacíos en el espécimen con la presión. (Ibíd., p. 155)

Las presiones efectivas ( $\sigma = \sigma'$ ) y las correspondientes relaciones de vacíos ( $e$ ) al final de la consolidación son graficadas sobre papel en escala semilogarítmica. La forma típica de tal grafica se muestra en la figura 3.

Figura3. Gráfica típica de  $e$  versus  $\log \sigma'$



Fuente: (DAS, Braja. 2001)

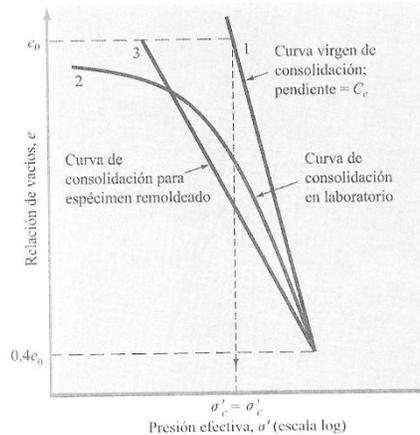
#### 4.1.4 Índice de Compresión (Cc)

Se puede evaluar valiéndose de la realización de una prueba de consolidación y a partir de los resultados como lo es la curva de compresibilidad del suelo, que es uno de los parámetros importantes en el estudio de las características de

compresibilidad de un suelo, el ( $C_c$ ) es definido por la pendiente de la rama virgen de la curva (Ibíd., p. 165).

En la figura 4. Se muestran las características de consolidación de una arcilla normalmente consolidada.

Figura.4. Características de consolidación de una arcilla normalmente consolidada de baja a media sensibilidad.



Fuente: (DAS, Braja. 2001)

Terzaghi y Peck (1967) propusieron expresiones empíricas para el índice de compresión. Para arcillas inalteradas:

$$C_c = 0.009 (L_L - 10) \quad (1)$$

Para arcillas Remoldeadas:

$$C_c = 0.007 (L_L - 10) \quad (2)$$

Donde  $L_L$  = Límite líquido (%). En ausencia de datos sobre consolidación de laboratorio, la ecuación (1) se usa frecuentemente para un cálculo aproximado de la consolidación primaria en el campo. Se dispone ahora también de otras correlaciones para el índice de compresión. (Ibíd., p. 165)

Con base en observaciones de varias arcillas naturales, Rendón-Herrero (1983) dan la relación para el índice de compresión en la forma

$$C_c = 0.141 G_s^{1.2} * \left(\frac{1+e_0}{G_s}\right)^{2.38} \quad (3)$$

Nagaraj y Morty (1985) expresaron el índice de compresión como

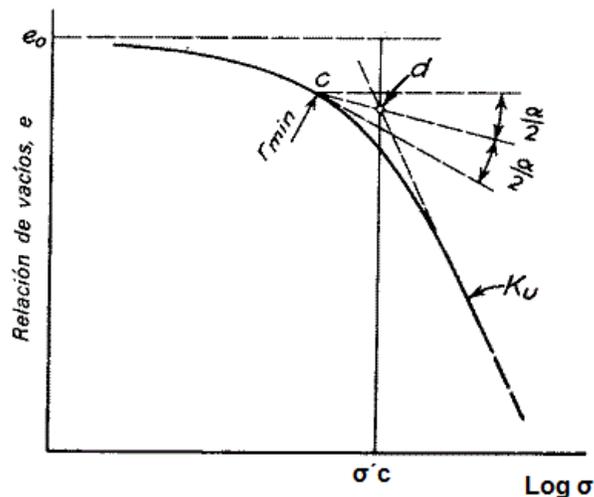
$$Cc = 0.2343 * \frac{LL \%}{100} * Gs \quad (4)$$

(Ibíd., p. 166)

#### 4.1.5 Presión Máxima de Preconsolidación

Se define como la máxima presión que ha tenido el suelo en toda su historia; se determina, según el método desarrollado por Arturo Casagrande, el cual consiste en determinar visualmente el máximo punto de curvatura (c) en la gráfica que se obtiene como resultado del ensayo de compresibilidad del suelo. En este punto se traza una línea horizontal y una tangente a la curva, dos líneas rectas que forman un ángulo, se le traza la bisectriz ( $\alpha$ ) a este ángulo, luego se prolonga hacia arriba el tramo recto de la curva o sea la rama virgen hasta interceptar la bisectriz, el punto donde se cortan la bisectriz del ángulo y la prolongación de la rama virgen (d), se proyecta sobre el eje de las abscisas y este punto de intercepto define la máxima presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Método de Casagrande para obtener la presión de preconsolidación.



Fuente: (BOWLES, 1982)

#### 4.2 LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

Atterberg investigador sueco especialista en suelos propuso en 1911 cinco estados de consistencia de los suelos basados en su contenido del agua:

**4.2.1 Límite líquido ( $L_L$ ).** Es el contenido de agua por encima del cual el suelo se comporta como un fluido viscoso (una mezcla de suelo-agua con una resistencia al corte no medible). En ingeniería de suelos el límite líquido se define más bien arbitrariamente como el contenido de agua al cual 25 golpes de la máquina del límite líquido cierran una canaladura cortada en la pastilla de suelo en una distancia de 1.27 cm. Casagrande (1958) y otros han modificado el ensayo inicialmente propuesto por Atterberg, de tal forma que depende menos de la subjetividad del operador y es más reproducible. Con equipo estándar, varios operadores pueden reproducir valores del límite líquido dentro del 1 a 2 por ciento. (BOWLES, 1982, p. 36)

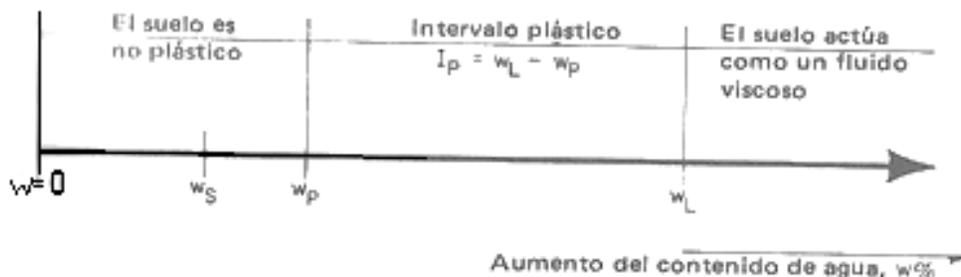
**4.2.2 Límite plástico ( $L_P$ ).** Es el contenido de agua por debajo del cual el suelo no se comporta ya como un material plástico. Es en el intervalo de contenidos de agua entre límite líquido ( $L_L$ ) y el límite plástico ( $L_P$ ) cuando el suelo se comporta como un material plástico. Este intervalo se denomina índice de plasticidad (o índice plástico) y se calcula como:

$$I_p = L_L - L_P \quad (5)$$

El límite plástico también se define arbitrariamente como el contenido de agua al cual se agrieta un cilindro de suelo cuando se lo enrolla a un diámetro de 3mm. Este ensayo está más sometido a la subjetividad del operador que el ensayo de límite líquido, pero la experiencia indica que los resultados son reproducibles dentro de 1 a 3 por ciento por técnicos más experimentados. (Ibíd., p. 36)

**4.2.3 Límite de contracción ( $L_C$ ).** Es el contenido de agua, definido al ciento por ciento de saturación, bajo el cual no ocurre un cambio ulterior de volumen del suelo con un secado adicional. Este límite es de considerable importancia en zonas áridas y para ciertos tipos de suelo, que experimentan cambios apreciables de volumen al variar el contenido de agua. (Ibíd., p.37)

Figura6. Ubicaciones relativas de los límites plástico y líquido de un suelo.



Fuente: (BOWLES, 1982)

Se debe observar que cuanto más pequeño es el límite de contracción, más susceptible es el suelo al cambio de volumen, es decir, a menos  $L_C$ , menos agua se requiere para iniciar el cambio de volumen del suelo. Si el límite de contracción es de 5 por ciento, entonces, cuando el contenido de agua in situ excede este valor, el suelo comienza a expandirse. Las ubicaciones relativas de  $L_L$ ,  $L_P$ , y  $L_C$  en la escala del contenido de agua se muestran en la figura 6. (Ibíd., p.37)

**4.2.4 Límite de pegajosidad.** Es el contenido de agua al cual el suelo pierde su propiedad adhesiva y cesa de pegarse a otros objetos tales como las manos o la superficie metálica pulida de la hoja de una espátula. Este límite tiene alguna significación en agricultura y para los contratistas de movimientos de tierra, ya que el arrastre en la cuchilla se aumenta si el suelo está lo suficientemente húmedo para pegarse a ella. (Ibíd., p.37)

**4.2.5 Límite de cohesión.** Es el contenido de agua al cual los granos del suelo cesan de pegarse unos a otros, es decir, al cual en el suelo no resultan formaciones de terrones o bloques. Este límite tiene más significación para el agricultor que para el ingeniero de suelos. (Ibíd., p.37)

Los límites líquido, plástico y de contracción son bien conocidos en el mundo. El límite de pegajosidad ha sido usado en Europa, pero en general, los límites de pegajosidad no han sido usados por los ingenieros geotécnicos. (Ibíd., p.37)

Resulta evidente de esta discusión que los límites de Atterberg existen solamente para suelos cohesivos. La tensión superficial da a los suelos no cohesivos una cohesión aparente, así llamada, porque esta desaparece cuando el suelo está completamente seco o completamente saturado. Desde un punto de vista práctico, un suelo sin atracción pero con cohesión aparente (mojado a húmedo pero no saturado) puede ser excavado con un corte vertical para profundidades reducidas o pueden ejecutarse perforaciones con sondas en las que la perforación permanecerá abierta. Cuando el suelo se seca o se satura, la cohesión aparente desaparece y los lados del corte o de la perforación se derrumban. Los límites líquido y plástico junto con el índice de plasticidad, son requeridos para los sistemas de clasificación del suelo. (Ibíd., p.37)

### **4.3 HUMEDAD DEL SUELO.**

La humedad o contenido de agua de un suelo está definida como la razón entre el peso del agua de los poros del suelo y el peso de los sólidos del suelo (los granos). Se ha hecho una distinción entre la determinación del contenido de agua

de las muestras que se investigan en el laboratorio y el contenido de agua que corresponde al valor instantáneo en el terreno. Este último valor se denomina humedad natural o contenido de agua representado como  $W_N$ . (Ibíd., p.38)

#### **4.4 SUELO UTILIZADO**

La formación Popayán es una formación de relleno que reposa discontinuamente sobre rocas del Paleozoico al Terciario y cuyas fuentes se localizan en el sector comprendido entre el páramo de Gabriel López – Uñiñegatuna y el altiplano de Paletará – Cadena volcánica de los Coconucos. (Torres *et al.*, 1992, p. 4)

El espesor de la Formación Popayán es variable: en las áreas distales, en zonas donde la ceniza cubre directamente las rocas que constituyen el Paleorelieve del valle intercordillerano del río Cauca, esta fluctúa entre 1m y 2m; en las áreas próximas a las fuentes, su espesor es hasta de 1200 m. (Ibíd., p.4)

La edad de la Formación Popayán no está claramente establecida; sin embargo, con base en correlaciones estratigráficas y relaciones de campo, además de algunas dataciones existentes, se asigna al Plioceno – Holoceno. La composición de las rocas y depósitos de esta formación varía desde alcalina feldespática – riolita hasta calcoalcalina andesítica. (Ibíd., p.4)

El nombre de la Formación Popayán fue dado por E. Grosse en 1930, quien la denominó “Tobas Tuficas de Popayán”; desde entonces ha sido objeto de varias investigaciones en las cuales se han hecho diferentes aportes a su conocimiento. (Ibíd., p.4)

Como resultado de estas investigaciones en las que se describen las características litológicas de los depósitos que la constituyen y se intentan identificar origen y fuentes; sin embargo, la definición estratigráfica de la Formación Popayán reviste cierta complejidad debido a que es una formación de origen mixto. El material volcánico fue modelado por los ríos y en parte afectado por la erosión glacial originando gran cantidad de rocas vulcano-fluvio-lacustre, a lo que se suma la complejidad tectónica del área. (Ibíd., p.7)

##### **4.4.1 Antecedentes Históricos Sobre la Formación Popayán.**

En los trabajos sobre la Formación Popayán se han descrito sus características litológicas y se ha querido identificar origen y fuentes. Inicialmente Grosse (1935) denominó a casi todos los depósitos volcánicos que ocupan la vasta planicie de Popayán Capas Tuficas de Popayán. (Ibíd., p.8)

“Piso de Popayán”, fue la denominación dada por Hubach y Alvarado (1932) a las rocas y depósitos ubicados en la región de Popayán; dos años después reconocieron que está compuesto por material volcánico esencialmente andesítico, cerca de los actuales centros volcánicos de la cordillera central y en las partes alejadas de los focos volcánicos su composición es de sedimentos comunes de grano fino o conglomerático. Posteriormente Hubach (1957) le da el nombre de Formación Popayán y la divide en dos miembros: el superior con un espesor de 0 a 100 m. constituidos por gredas pardas derivadas de la meteorización de cenizas finas y el inferior con un espesor hasta de 500 m., con cenizas, aglomerados, conglomerados y bloques con un banco de lava andesítica al sur y al norte de Popayán. (Ibíd., p.8)

Orrego en (1975) y Orrego *et al* (1976) diferencian litológicamente la Formación Popayán y aseguran que está compuesta por lavas andesíticas y por conglomerados, areniscas líticas, aglomerados, areniscas volcánicas y tobas. (Ibíd., p.8)

Schmit (1983) realiza los primeros estudios petrológicos de las ignimbritas y lavas de la Formación Popayán y define la existencia de feldespato de potasio James *et al* (1986), dividen los depósitos localizados en alrededores de la ciudad de Popayán en cinco conjuntos que correlacionan litológicamente con las rocas de la Formación Popayán. (Ibíd., p.8)

Posteriormente Orrego *et al*, (1992) cartografían varios conjuntos en cercanías de la ciudad de Popayán y también los correlacionan con las rocas de la formación Popayán. (Ibíd., p.8)

#### **4.4.2 Nombre y Propósito de la Designación**

Los depósitos y rocas de la Formación Popayán ubicados en esta ciudad y en sus alrededores, con edades entre el Mioceno Superior y el Cuaternario han sido nombradas en forma diferente: Capas Tuficas de Popayán, Piso de Popayán y Formación de Popayán; estas designaciones tienen en común el nombre Popayán, porque las descripciones originales fueron hechas en los alrededores de esta ciudad. (Ibíd., p.8)

Sin embargo en las últimas investigaciones James *et al*, (1983); Orrego y Paris, (1991) se le denomina formación Popayán, nombre que ha creado costumbre y por esta razón se recomienda usar la denominación: Formación Popayán. (Ibíd., p.8)

#### **4.4.3 Extensión y Fuente**

Se propone, para efectos de diferenciación, que la Formación Popayán está constituida únicamente por depósitos y rocas cuyas fuentes están localizadas en la cima de la cordillera central, y pertenecen al vulcanismo Terciario-Cuaternario localizado en el altiplano de Paletará, al sur, hasta el páramo de Gabriel López, al norte; muy posiblemente ligado a las eventuales calderas de Paletará y de Gabriel López (Torres *et al.*, 1992-1996). Se consideran entonces, sólo los productos que fueron dispersados al oeste por la cuenca alta del río Cauca y las de los ríos Palace, Piendamó y Ovejas. Los productos de este vulcanismo ubicados al este de las anteriores calderas corresponden a la denominada formación Guacacayo. (Ibíd., p.10)

Llevando en consideración el criterio de la fuente, para definir la extensión de la formación Popayán se propone la divisoria de aguas Cauca-Magdalena como límite al este; el piedemonte de la cordillera occidental límite al oeste; al sur la divisoria de aguas Cauca-Patía, denominada por Grosse (1935) Dintel del Tambo y al norte con el Dintel de Santander de Quilichao. (Ibíd., p.10)

#### **4.4.4 Descripción de la Unidad y Especificaciones de los Estratotipos**

De acuerdo a las características litológicas y estratigráficas observadas en el trabajo de campo, se propone dividir la formación Popayán en siete miembros que de base a techo son: Colindara, Sombrerillos, Julumito, Cajibío, Palacé, La Venta y Caldon. (Ibíd., p.10)

Por su origen, en el que se involucran demasiadas variables, los depósitos no presentan, como las rocas sedimentarias, continuidad lateral y es común encontrar depósitos de relleno asociados a las diferentes corrientes con contactos discordantes horizontales u oblicuos. (Ibíd., p.10)

Uno de los factores más importantes de la estratigrafía de la formación Popayán es la variación litológica entre los materiales próximos a las fuentes y los distantes de ellas. Este aspecto se pudo establecer claramente en la base de la formación Popayán, que está conformada por flujos de lavas del miembro Colindara, en las zonas proximales; en las zonas distales del sur la unidad más importante es el miembro Julumito, que en el área de la ciudad de Popayán descansa sobre una secuencia de depósitos de flujos de cenizas y bloques (Orrego y otros, 1992) que constituyen la base, posiblemente correlacionable con el miembro Sombrerillos. Al norte, la unidad más sobresaliente y que constituye la base es el miembro Sombrerillo. (Ibíd., p.10)

## 5. METODOLOGÍA.

El proyecto consta de varias etapas las cuales se desarrollaron en el orden conveniente para que los resultados obtenidos sean confiables, el orden de las etapas fue el siguiente: localización, muestreo, ensayos de laboratorio y análisis de los resultados.

Se inició por definir el punto para la extracción de las muestras de suelo, el cual se denominó sector y lleva la numeración que muestra el cuadro 3, el cual enseña el orden en que fueron tomadas las muestras.

Los ensayos para las muestras se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca y con la supervisión de los laboratoristas oficiales de este despacho.

### 5.1 LOCALIZACIÓN Y MUESTREO.

Para una mayor cobertura y de acuerdo al tiempo que demandan los ensayos de laboratorio se estableció tomar muestras en cuatro sectores; cabe destacar que este trabajo es la fase I de un proyecto que queda abierto para estudiantes que deseen continuar con ésta investigación.

Cuadro 3. Localización de sondeos.

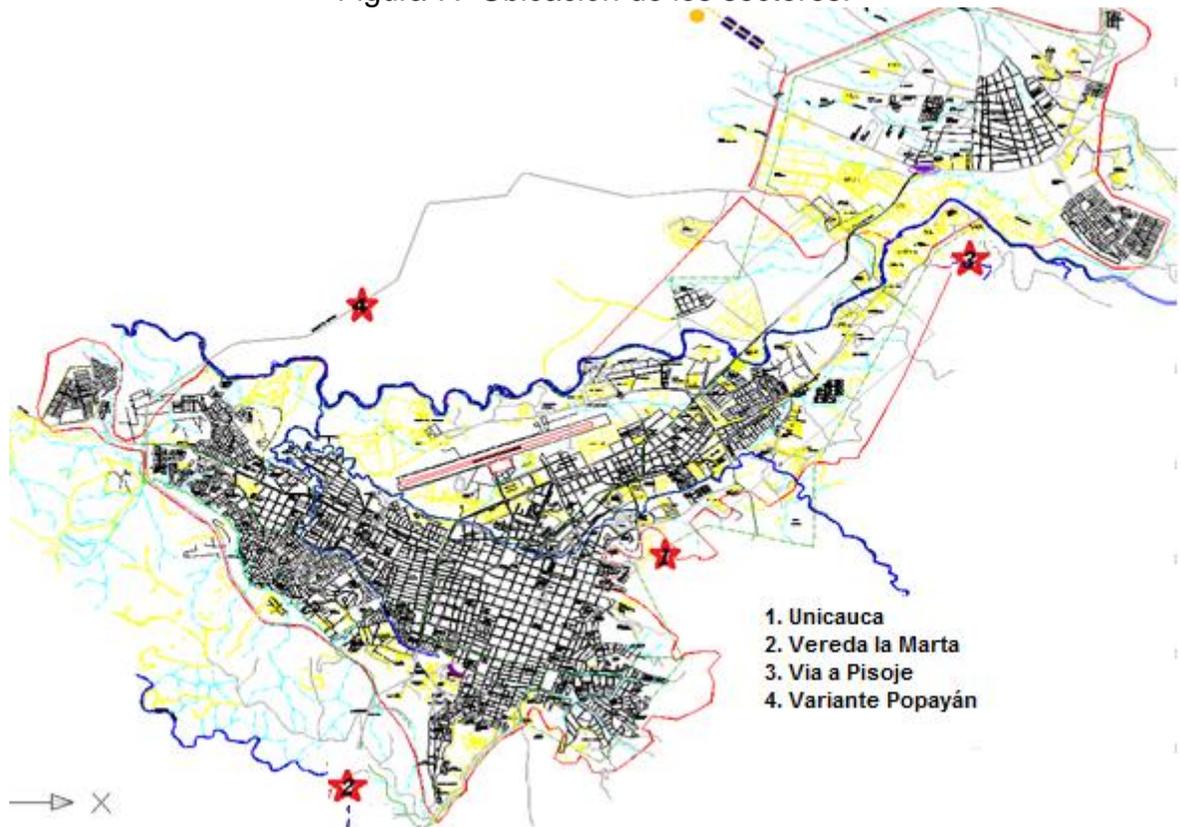
<b>SECTOR</b>	<b>UBICACIÓN</b>
1.Facultad Ingeniería Civil	Barrio Tulcán
2.Vereda la Martha	Vía a Timbio
3.Lácteos Popayán	Vía a Pisoje
4.Variante de Popayán	Entre km 6 y km 7

Fuente: Propia

Como se puede observar el trabajo de campo o toma de muestras se desarrolló en cuatro sitios localizados en los alrededores de Popayán (figura 7), con el fin de abarcar las áreas circundantes del municipio y lograr también que las muestras sean representativas.

En la figura 8 se muestra el equipo que se utilizó para la perforación y muestreo del proyecto; de izquierda a derecha: barra, hoyadora, barreno helicoidal con extensión, acople o extensión para el barreno, tubos gruesos para toma de muestra tipo shelby, cruceta y masetta.

Figura 7. Ubicación de los sectores.



Fuente: Alcaldía de Popayán

Figura 8. Equipo de perforación



Fuente: Propia

Figura 9. Toma de muestra alterada.



El trabajo consistió inicialmente en la toma de muestras de suelo de los sitios estratégicamente seleccionados. Una vez en el sitio se realizaron tres perforaciones con barrenos en los alrededores del lugar a una profundidad aproximada de 1.20 m dependiendo del tamaño de la capa orgánica, después de terminado el hueco se procedió a la toma de muestras.

Hay dos tipos de muestras, la alterada (Figura 9) y la inalterada (Figura 10). La muestra alterada consiste en recolectar parte del suelo que resulta de la perforación, se le llama muestra alterada porque al suelo se le cambian las propiedades que tenía en su estado natural. La muestra inalterada se toma con un tubo shelby, el cual guarda un núcleo de suelo que ayuda a conservar su estructura original y no sufre remoldeo significativo durante la extracción.

Con el tubo shelby se tomaron muestras para la resistencia a la compresión simple, ensayo en el cual se obtuvieron masas unitarias y la humedad del suelo; también se realizaron ensayos de consolidación. Para el resto de los ensayos se utilizó la muestra alterada.

Después de obtener las muestras de suelo se protegían y se marcaban con su respectiva referencia (Figura 11) y de esta forma evitábamos confusiones en el laboratorio. En la referencia se colocó la siguiente información: el sector, el sondeo, el tipo de muestra, la profundidad y la fecha.

Figura 10. Tubo shelby.



Fuente: Propia

Figura 11. Referenciado de muestras



## 5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.

Como se expuso anteriormente se determinaron cuatro sectores y en cada uno se realizaron tres sondeos, para contar con un total de doce apiques a los cuales se les tomo su respectiva muestra alterada e inalterada que proporcionaron doce suelos para analizar en el laboratorio.

A todas las muestras se les realizaron los mismos ensayos de los cuales se obtuvieron doce resultados. Las pruebas se desarrollaron de acuerdo a lo propuesto por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS 2007). Los ensayos efectuados fueron los siguientes:

### 5.2.1 Consolidación I.N.V.E. - 151

Su finalidad es determinar la velocidad y el cambio de volumen que experimentará una muestra de suelo arcilloso saturado al someterla a una serie de incrementos de presión o carga.

Figura 12. Equipo de consolidación.



Fuente: Propia

La compresibilidad del suelo determinada mediante esta norma, es una propiedad muy útil que puede obtenerse a partir de ensayos de laboratorio. Los resultados de esta prueba pueden usarse para hacer un estimativo tanto de la velocidad a la cual cambia, como de la magnitud del asentamiento diferencial o total, de una estructura. Estas evaluaciones son de gran importancia a la hora de elegir el tipo de fundación y evaluar su conveniencia.

La curva obtenida con estos resultados consta de tres partes, una curva inicial que es similar a una parábola y corresponde a la etapa de compresión inicial principalmente debida a la precarga, una parte intermedia denominada consolidación primaria y una curva final que se va volviendo lineal después de que el suelo ha alcanzado el 100% de consolidación primaria, denominada consolidación secundaria.

El número total de pruebas para este ensayo fue de tres por cada sitio, para un total de doce ensayos de consolidación.

### 5.2.2 Gravedad Específica de Suelos Finos. I.N.V.E - 128

El objetivo de este ensayo es determinar el peso específico absoluto del suelo o de cualquier material compuesto por partículas pequeñas cuya gravedad específica sea mayor que uno (1). Este ensayo es aplicable específicamente a suelos y agregados finos como los utilizados en mezclas de concreto y asfalto.

Figura 13. Equipo para gravedad específica.



Fuente: Propia

La gravedad específica de los suelos es siempre bastante mayor a la gravedad específica volumétrica determinada incluyendo los vacíos de los suelos en el cálculo.

Este resultado es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo en el ensayo de consolidación, y es útil para predecir el peso unitario del suelo. Ocasionalmente el valor de la gravedad específica puede utilizarse en la

clasificación de los minerales del suelo; algunos minerales de hierro tienen un valor de gravedad específica mayor que los provenientes de sílice.

El número de pruebas que se realizó fue de tres ensayos de gravedad específica por sondeo para luego hacer un promedio entre estas y así tener más precisión en los resultados. De esta forma se obtuvo un total de doce ensayos de gravedad específica.

### 5.2.3 Expansión. I.N.V.E - 120

Este ensayo se realizó con el fin de determinar la expansión del suelo arcilloso ya que algunos componentes de la arcilla tienen la característica de hidratarse, lo que genera un aumento considerable de volumen, porque al disminuir el contenido de agua se generan contracciones.

Figura 14. Equipo para expansión de lambe.



Fuente: Propia

Algunos de los factores que inciden en la expansión son:

- La estructura de los cristales.
- La composición mineralógica.
- La capacidad de cambio de cationes.

Los resultados se procesaron con el fin de determinar en forma rápida la peligrosidad de un suelo desde el punto de vista de su potencial expansivo. En este ensayo se analiza un suelo en presencia de agua que es la condición más

crítica, con la muestra en estado plástico, y además el agua permite que este desarrolle toda la presión de expansión, sin cambio apreciable de volumen el cual es restringido mediante una carga vertical.

El número de pruebas realizadas para este ensayo es de tres por cada sitio, para un total de doce ensayos de expansión.

#### 5.2.4 Límites de Consistencia. I.N.V.E - 125, 126, 127

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y contenido de agua, pueden presentar propiedades que incluyan el suelo en el estado sólido, semisólido, plástico o semilíquido. El contenido de humedad límite que produce el cambio de estado varía de un suelo a otro. En general los estados de consistencia del suelo son:

- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado plástico, en cual un suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido, en el que el volumen del suelo no varía con el secado.

Los Límites de Consistencia o de Atterberg son difíciles de medir cualitativamente, pero esto no es obstáculo para su uso. Se deben interpretar como límites aproximados entre los diversos estados en los que pueden presentarse los suelos finos.

Figura 15 Capsula de Casagrande y muestras para Limites de Consistencia.



Fuente: Propia

Teniendo en cuenta los objetivos del proyecto los parámetros que se necesitan para este ensayo fueron el Límite Líquido, Límite Plástico y el Índice de Plasticidad. El número total de pruebas para este ensayo fue de tres por cada sitio, para un total de doce ensayos de límites de consistencia.

### 5.2.5 Compresión Simple. I.N.V.E - 152.

Este ensayo permite determinar el mínimo esfuerzo compresivo necesario para romper una muestra no confinada de suelo de forma cilíndrica en condiciones normalizadas. En esta prueba la resistencia a la compresión simple se toma como la máxima carga alcanzada por unidad de área durante el ensayo.

Figura 16. Equipo y muestras para compresión simple.



Fuente: Propia

El objeto de este ensayo es determinar la resistencia a la compresión inconfiada o simple de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada (Figura 16).

Este ensayo se emplea únicamente para suelos cohesivos, ya que en un suelo carente de cohesión no puede formarse una probeta sin confinamiento lateral. Este método de ensayo da un valor aproximado de la resistencia de los suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.

El número de pruebas para este ensayo fue de tres por cada sitio, para un total de doce ensayos de compresión simple.

De esta manera se procedió en el proyecto, teniendo en cuenta que los puntos seleccionados para tomar muestras corresponden a cuatro sitios, se realizó el muestreo y los ensayos completos para las muestras del primer punto para luego preceder a la toma de las muestras del segundo sector, para luego realizarles los ensayos anteriormente mencionados y así sucesivamente con las muestras tomadas en los distintos puntos. Lo anterior se hizo con la intención de conservar las muestras puesto que las muestras pierden humedad y se pueden deteriorar.

Esta metodología para la realización del trabajo se tomó con el propósito de que los resultados obtenidos sean confiables y que la investigación tenga validez.

### 5.3 RESULTADOS DE LABORATORIO

Como anteriormente se mencionó estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil, para ello fue necesario la colaboración de los laboratoristas oficiales de esta dependencia, ya que nos asesoraron en el montaje y manejo de los diferentes equipos, y de esta forma se continuo con las pruebas por nuestra propia cuenta pero con la asistencia del personal del laboratorio.

En la siguiente tabla se encuentran los resultados de los diferentes ensayos, e información tal como la fecha en que se realizó el ensayo, el sector y el sondeo al cual pertenece la muestra. Para consultar los datos y resultados de cada ensayo con mayor detalle ver anexos.

Cuadro 4. Resultados de los ensayos de laboratorio.

Sector	Sondeo	Profundidad m	Comp. Simple Kg/cm <sup>2</sup>	Gs Prom	Límites de consistencia			Consolidación				Expansión	
					L Líquido %	L Plástico %	I Plástica %	$\sigma'_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	Cc	Ccr	RSC		w %
1	1	1,00-1,40	2.43	2.79	97	45	52	1.68	0.232	0.038	8.19	60	No crítico
1	2	1,20-1,60	1.81	2.59	85	44	41	1.30	0.089	0.023	5.53	56	No crítico
1	3	1,20-1,60	1.95	2.80	85	47	39	0.95	0.066	0.023	4.02	54	No crítico
2	1	1,10-1,50	1.17	2.79	90	48	43	1.00	0.150	0.062	4.47	55	No crítico
2	2	1,30-1,70	0.58	2.58	94	70	24	1.14	0.224	0.109	5.17	66	No crítico
2	3	1,30-1,70	0.78	2.59	81	60	21	1.21	0.446	0.232	5.49	97	No crítico
3	1	1,30-1,70	2.07	2.80	79	47	32	1.63	0.128	0.043	6.21	56	No crítico
3	2	1,30-1,70	2.47	2.84	83	53	30	0.71	0.156	0.078	2.72	61	No crítico
3	3	1,10-1,50	1.33	2.89	83	50	33	1.35	0.265	0.064	6.04	63	No crítico
4	1	1,30-1,70	1.17	2.81	113	70	43	1.75	0.370	0.100	7.25	98	No crítico
4	2	1,52-1,65	1.11	2.63	84	60	24	1.33	0.292	0.140	5.09	80	No crítico
4	3	1,37-1,77	0.93	2.72	69	43	26	1.57	0.159	0.055	6.10	65	No crítico

Fuente: Propia

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

El objetivo es analizar el grado de la relación existente entre variables utilizando modelos matemáticos, estadísticos y representaciones gráficas. Para representar la relación entre dos o más variables desarrollaremos una ecuación que permitirá estimar una variable en función de la otra.

Se comenzó por realizar un análisis estadístico y descriptivo de los resultados del laboratorio relacionados con el sector de donde provenía la muestra (tres muestras por sector), utilizando la media y la mediana como medidas de tendencia central y como medidas de dispersión: la varianza y la desviación típica. También se determinaron los valores mínimos, máximos y rangos en cada variable comparada con el sector estudiado.

Para determinar la normalidad y la homogeneidad de los datos obtenidos en el experimento se llevó a cabo la prueba Shapiro–Will y Levene respectivamente utilizando el programa SPSS.

### 6.1 DATOS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN

La estadística busca describir las características típicas de conjuntos de datos y como hay varias formas de hacerlo, existen y se utilizan varios tipos de promedios. Se les llama medidas de tendencia central porque generalmente la acumulación más alta de datos se encuentra en los valores intermedios.

La medida más popular de la tendencia central es lo que el lego llama un promedio y lo que los estadistas llaman media aritmética o solamente media. Esta se define como: La media de  $n$  números es la suma de los mismos dividida entre  $n$ . Se simboliza generalmente como  $\bar{x}$ . (FREUD, *et al.*, 1994, p. 39)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (6)$$

Para evitar la posibilidad de dejarse llevar por valores muy bajos o muy altos, en ocasiones describimos el punto medio o centro de un conjunto de datos con medidas estadísticas diferentes de la media. Una de estas, la mediana de  $n$  valores, requiere que se acomoden los datos de acuerdo con su tamaño y se define como sigue: La mediana es el valor del artículo medio cuando  $n$  es non y la media de los dos artículos medios cuando  $n$  es par. (*Ibid.*, p. 47)

$$Mediana = \frac{n+1}{2} \quad (7)$$

Para definir la desviación estándar, que por mucho es la mediada de variación usada con mayor frecuencia, observemos que la dispersión de un conjunto de datos es pequeña si los valores se acumulan estrechamente alrededor de su media y que es amplia si los valores se acumulan en forma esparcida alrededor de su media. Por tanto, parecería razonable medir la variación de un conjunto de datos en los términos de las cantidades por las que se desvían los valores de su media. La desviación estándar de la muestra se representa con la letra  $s$  y su cuadrado, la varianza de la muestra  $s^2$ . (*Ibid.*, p. 71)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$s^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1} \quad (9)$$

El rango es la diferencia entre la puntuación mayor y la puntuación menor, indica el número de unidades en la escala de medición necesaria para incluir los valores máximo y mínimo. Se calcula así:  $X_M - X_m$  (puntuación mayor menos puntuación menor). Cuanto más grande sea el rango, mayor será la distribución de los datos de una dispersión. (Hernández *et al.*, 1991, p. 284)

Cuadro 5. Resultados de tendencia central y dispersión.

Compresión Simple							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	2,0633	1,95	0,106	0,32517	1,81	2,43	0,62
2	0,8433	0,78	0,09	0,30006	0,58	1,17	0,59
3	1,9567	2,07	0,335	0,57839	1,33	2,47	1,14
4	1,070	1,11	0,016	0,12490	0,93	1,17	0,24
Gravedad Especifica							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	2,7267	2,79	0,014	0,11846	2,59	2,8	0,21
2	2,6533	2,59	0,014	0,11846	2,58	2,79	0,21
3	2,8433	2,84	0,002	0,04509	2,8	2,89	0,09
4	2,72	2,72	0,008	0,0900	2,63	2,81	0,18
Limite Liquido							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	88,9	85,4	43,41	6,58863	84,8	96,5	11,7
2	88,2667	90,4	46,973	6,85371	80,6	93,8	13,2
3	81,7	82,7	3,99	1,99750	79,4	83	3,6
4	88,7	84,3	494,13	22,22904	69	112,8	43,8

Cuadro 5. Resultados de tendencia central y dispersión. (Continuación)

Limite Plástico							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	44,9333	44,5	2,243	1,49778	43,7	46,6	2,9
2	59,3	59,9	127,96	11,31194	47,7	70,3	22,6
3	50,1667	49,8	9,403	3,06649	47,3	53,4	6,1
4	57,7333	60	186,103	13,64197	43,1	70,1	27
Índice de Plasticidad							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	43,9667	41,1	49,723	7,05148	38,8	52	13,2
2	28,9667	23,5	143,413	11,97553	20,7	42,7	22
3	31,5333	32,1	2,963	1,72143	29,6	32,9	3,3
4	30,9333	25,9	104,563	10,22562	24,2	42,7	18,5
Presión de Preconsolidación							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	1,31	1,30	0,133	0,365	0,95	1,68	0,73
2	1,12	1,14	0,011	0,107	1,0	1,21	0,21
3	1,23	1,35	0,222	0,471	0,71	1,63	0,92
4	1,55	1,57	0,044	0,211	1,33	1,75	0,42
Índice de Compresibilidad (Cc)							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	0,13	0,089	0,008	0,089	0,07	0,23	0,17
2	0,27	0,224	0,024	0,154	0,15	0,45	0,30
3	0,18	0,156	0,005	0,072	0,13	0,27	0,14
4	0,27	0,292	0,011	0,107	0,16	0,37	0,21
Índice de Compresibilidad (Ccr)							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	0,03	0,023	0,000	0,007	0,02	0,04	0,02
2	0,13	0,110	0,008	0,088	0,06	0,23	0,17
3	0,06	0,064	0,000	0,018	0,04	0,08	0,04
4	0,09	0,100	0,002	0,042	0,06	0,14	0,09
Radio de Sobreconsolidación (RSC)							
Sector	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
1	5,91	5,53	4,457	2,111	4,02	8,19	4,17
2	5,04	5,17	0,272	0,522	4,47	5,49	1,02
3	4,99	6,04	3,872	1,968	2,72	6,21	3,49
4	6,15	6,10	1,168	1,081	5,09	7,25	2,16

Fuente: Propia

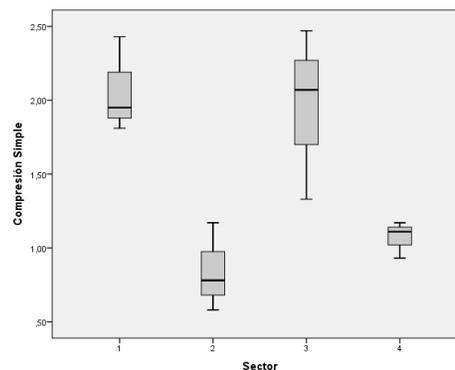
El siguiente tipo de tabla corresponde a un diagrama de Caja-Bigotes que es una presentación visual que describe varias características importantes al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría. Para su realización se representan los

tres cuartiles y los valores mínimo y máximo de los datos, sobre un rectángulo, alineado verticalmente.

El primer cuartil es el valor mayor que el 25% de los valores de la distribución. El segundo cuartil es la mediana de la distribución, es el valor de la variable que ocupa el lugar central en un conjunto de datos ordenados. El tercer cuartil, es el valor que sobrepasa al 75% de los valores de la distribución. Y por último las líneas que sobresalen de la caja llamadas bigotes, estos tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato o caso que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente como valor atípico.

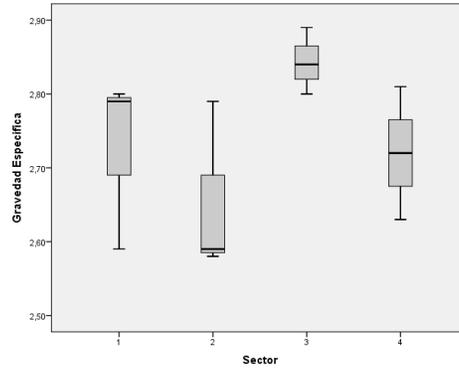
La grafica 1, muestra el diagrama de cajas y bigotes para los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ), y nos indica que para estos datos los sectores 1 y 3 tienen medianas parecidas, lo que indica que estos suelos tienen grados de compactación parecidos. Mientras que los valores del sector 4 están incluidos en la dispersión de los valores del sector 2, tanto que coinciden sus valores máximos de resistencia a la compresión simple. También se puede observar que en el sector 4 es donde hay menos dispersión en los datos, muestra de ello es el tamaño de la caja comparada con las demás.

Gráfica 1. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de compresión simple ( $q_u$ )



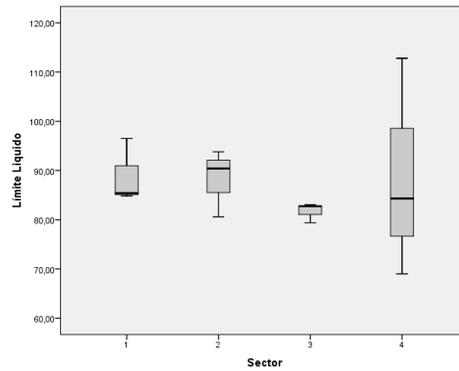
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 2. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de gravedad específica (Gs)



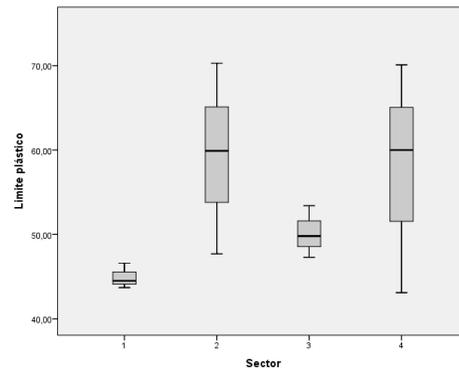
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 3. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de límite líquido (LI)



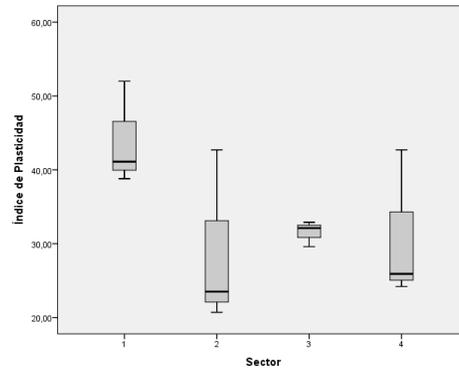
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 4. Diagrama de caja-bigotes para los resultados de límite plástico (Lp)



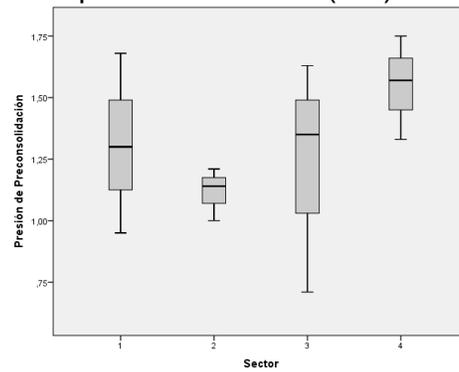
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 5. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de índice de plasticidad (Ip)



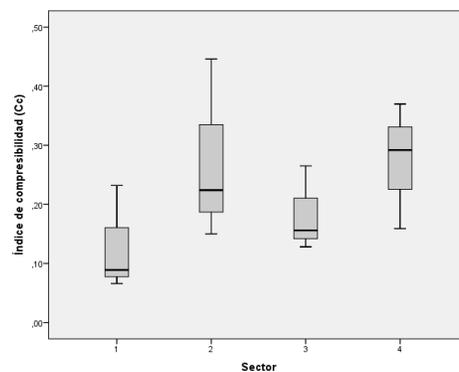
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 6. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ )



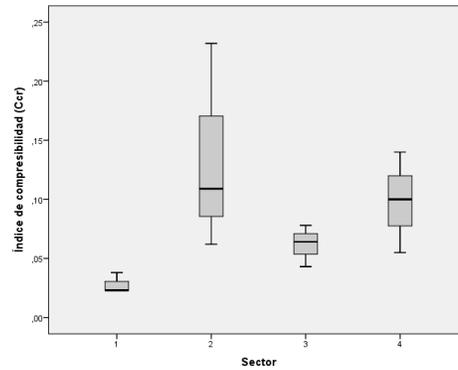
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 7. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de índice de compresibilidad (Cc)



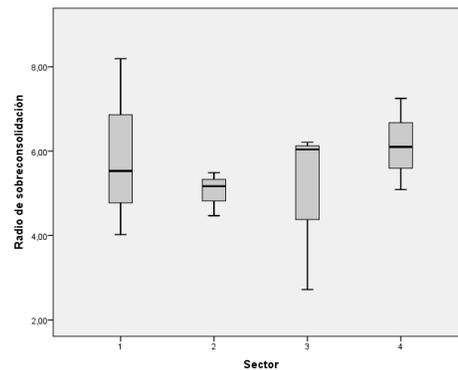
Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 8. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de índice de compresibilidad (Ccr)



Fuente: Tomado de SPSS

Gráfica 9. Diagrama de cajas-bigotes para los resultados de radio de sobreconsolidación (RSC)



Fuente: Tomado de SPSS

## 6.2 NORMALIDAD

En este análisis se relacionaron los resultados de cada laboratorio con el sector de donde proviene la muestra de suelo ensayada. Las tablas que a continuación se muestran son el resultado de la prueba de Shapiro-Wilk, el cuadro contiene información tal como el ensayo de laboratorio, el sector, el grado de libertad de la prueba y la significancia. El grado de libertad indica el número de datos con el cual se hizo el análisis, en este caso tres por sector. Y el valor que más interesa de este estudio es el intervalo de confianza o la significancia que se usa para saber si nuestros datos tienen o no, una distribución normal.

En la investigación se obtuvo una estadística en la muestra y falta analizar qué porcentaje tiene de confianza de que dicha estadística se acerque al valor de la

distribución muestral (que es el valor de la población o parámetro). Se busca un alto porcentaje de confianza, una probabilidad elevada para estar tranquilo. Porque se sabe que puede haber error de muestreo, y aunque la evidencia parece mostrar una aparente “cercanía” entre el valor calculado en la muestra y el parámetro, esta “cercanía” puede no ser real y deberse a errores en la selección de la muestra. (Hernández *et al.*, 1991, p. 293)

¿Y con qué porcentaje tiene confianza el investigador para generalizar?, ¿para suponer que tal cercanía es real y no debida a un error de muestreo?, existe el nivel de significancia del 0.05, el cual implica que el investigador tiene 95% de seguridad para generalizar sin equivocarse, y sólo un 5% en contra. En términos de probabilidad, 0.95 y 0.05 respectivamente, ambos suman la unidad. (Ibíd., p. 294)

Por ejemplo en el cuadro 6, que muestra la prueba de normalidad para los resultados del ensayo de compresión simple (qu), se aprecia que al resultado del ensayo por sector le corresponde un valor en las columnas llamadas grado de libertad (gl) y significancia (sig.). El grado de libertad para cada sector es de 3, que corresponde al número de muestras tomadas por sector. La significancia que anteriormente se describió está por encima de 0.05 para los cuatro casos.

Cuadro 6. Prueba de normalidad para los resultados de compresión simple (qu)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.
Compresión Simple (qu)	1	,909	3	,414
	2	,967	3	,649
	3	,971	3	,674
	4	,923	3	,463

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 7. Prueba de normalidad para los resultados de gravedad específica (Gs)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Gravedad Especifica (Gs)	1	,786	3	,081
	2	,786	3	,081
	3	,996	3	,878
	4	1,000	3	1,000

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 8. Prueba de normalidad para los resultados de límite líquido (LI)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Límite Líquido (LI)	1	,788	3	,087
	2	,927	3	,479
	3	,812	3	,144
	4	,971	3	,671

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 9. Prueba de normalidad para los resultados de límite plástico (Lp)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Limite plástico (Lp)	1	,937	3	,516
	2	,998	3	,912
	3	,989	3	,802
	4	,979	3	,724

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 10. Prueba de normalidad para los resultados de índice de plasticidad (Ip)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Índice de Plasticidad (Ip)	1	,876	3	,313
	2	,844	3	,224
	3	,919	3	,448
	4	,818	3	,159

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 11. Prueba de normalidad para los resultados de presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ )

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	1	,999	3	,955
	2	,964	3	,637
	3	,951	3	,576
	4	,993	3	,843

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 12. Prueba de normalidad para los resultados de índice de compresibilidad (Cc)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Índice de compresibilidad (Cc)	1	,852	3	,245
	2	,923	3	,463
	3	,896	3	,372
	4	,978	3	,715

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 13. Prueba de normalidad para los resultados de índice de compresibilidad (Ccr)

	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Índice de compresibilidad (Ccr)	1	,999	3	,927
	2	,938	3	,518
	3	,987	3	,780
	4	,999	3	,935

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 14. Prueba de normalidad para los resultados de radio de sobreconsolidación (RSC)

Radio de sobreconsolidación (RSC)	Sector	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
	1	,975	3	,698
	2	,956	3	,595
	3	,786	3	,083
	4	,999	3	,929

Fuente: Tomado de SPSS

Como se puede observar los resultados de la significancia son mayores a 0.05, esto indica que existe un 95% de certeza de que ocurra el fenómeno si se repite el ensayo, contra un 5% de que se salga del intervalo. Por esta razón se puede decir que los datos presentan una distribución normal o mejor que la distribución poblacional de la variable dependiente es normal y como muestra de ello es que en los diagramas de cajas y bigotes anteriormente expuestos, no existen datos atípicos, es decir que no hay valores que se hayan destacado por arriba o por abajo del resto.

### 6.3 HOMOGENEIDAD

Este análisis consiste en determinar si las varianzas en las distintas muestras son iguales es decir, si se cumple la condición de homogeneidad de varianzas. Se realizo con la ayuda del programa computacional SPSS como anteriormente se menciono.

La prueba de homogeneidad de las varianzas se realiza con el test de Levene, que contrasta la hipótesis nula de la homogeneidad de varianzas, esto significa que en todas las pruebas se asume que la hipótesis nula se formula como igualdad de varianzas o que existe homogeneidad entre las poblaciones. Se rechaza dicha hipótesis nula si el valor de la significancia es menor que 0,05.

Cuadro 15. Prueba de homogeneidad de varianzas

Ensayo de laboratorio	gl1	Sig.
Compresión Simple (qu)	3	0,201
Gravedad Especifica (Gs)	3	0,276
Límite Líquido (LI)	3	0,053
Límite plástico (Lp)	3	0,132
Índice de Plasticidad (Ip)	3	0,056
Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	3	0,248
Índice de compresibilidad (Cc)	3	0,451
Índice de compresibilidad (Ccr)	3	0,044
Radio de sobreconsolidación (RSC)	3	0,176

Fuente: Propia

Como se puede apreciar en la prueba de homogeneidad de varianzas, el valor de la significancia es mayor que 0.05 en todos los casos excepto en uno, luego no se acepta la igualdad de varianzas para los datos de la variable índice de compresibilidad (Ccr). Para el resto de los datos de los ensayos podemos decir que son homogéneos.

Se concluye que todos los datos tienen una distribución normal y todos menos uno presentan homogeneidad en sus varianzas, por lo tanto estos datos son paramétricos ya que cumplen con la característica de ser normales y homogéneos. La excepción está en una de las variables que es el índice de compresibilidad (Ccr), que resulta ser no paramétrico por no cumplir con el análisis de homogeneidad.

#### **6.4 ANÁLISIS PARAMÉTRICOS Y NO PARAMÉTRICOS**

Hay dos tipos de análisis que pueden realizarse para ver la relación entre variables: los análisis paramétricos y los no paramétricos. Cada tipo posee sus características y presuposiciones que lo sustentan y la elección del investigador sobre qué clase de análisis efectuar depende de estas presuposiciones. Asimismo, cabe destacar que en una misma investigación pueden llevarse a cabo análisis paramétricos para algunas hipótesis y variables, y análisis no paramétricos para otras. (Hernández *et al.*, 1991, p. 297)

El método estadístico que se utilizó para los datos paramétricos es el coeficiente de correlación de *Pearson* simbolizado con la letra  $r$ , esta es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Y para los no paramétricos se usó el coeficiente de correlación de *Spearman* simbolizado como  $\rho_o$ , que es una medida de correlación para variables en un nivel de medición ordinal, de tal modo que los individuos u objetos de la muestra pueden ordenarse por rangos o jerarquías.

La correlación estadística determina la relación o dependencia que existe entre las dos variables que intervienen en una distribución bidimensional, es decir, determinar si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra. En caso de que suceda, diremos que las variables están correlacionadas o que hay correlación entre ellas.

Tanto el coeficiente  $r$  de *Pearson* como el  $\rho$  de *Spearman* pueden variar de +1.0 a -1.0; en donde:

- 1.00 = Correlación negativa perfecta.
- 0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
- 0.75 = Correlación negativa considerable.
- 0.50 = Correlación negativa media.

- 0.10 = Correlación negativa débil.
- 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.
- + 0.10 = Correlación positiva débil.
- + 0.50 = Correlación positiva media.
- + 0.75 = Correlación positiva considerable.
- + 0.90 = Correlación positiva muy fuerte.
- + 1.00 = Correlación positiva perfecta.

El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa) y el valor numérico, la magnitud de la correlación. Los principales programas de análisis estadístico en computadora reportan si el coeficiente es o no significativo; Si la significancia (Sig.) es menor del valor 0.05, se dice que el coeficiente es significativo al nivel del 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5% de probabilidad de error). (Hernández *et al.*, 1991, p. 298)

## 6.5 ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Se usa para analizar la relación entre dos variables cuantitativas y ver si estas están asociadas y en qué sentido se da dicha asociación. También examina si los valores de un parámetro pueden ser utilizados para predecir y determinar el efecto de otro, esto se logra en base al diagrama de dispersión o nube de puntos que consiste en una gráfica X e Y donde se relacionan las puntuaciones de una muestra en dos variables. En el proyecto se trabajo con dos tipos de regresión, que son: la regresión lineal simple y la regresión no lineal o curvilínea.

La regresión lineal simple es un modelo matemático para estimar el efecto de una variable sobre otra y está asociada con el coeficiente  $r$  de Pearson. (Hernández *et al.*, 1991, p. 299). Si las dos variables X e Y se relacionan según un modelo de línea recta, se habla de regresión lineal simple.

Cuando las variables X e Y se relacionan según una línea curva, se habla de regresión no lineal o curvilínea. Aquí se puede distinguir entre regresión parabólica, exponencial, potencial, etc.

Una vez ajustada la grafica de regresión a la nube de observaciones es importante disponer de una medida que mida la bondad del ajuste realizado y que permita decidir si el ajuste es suficiente o se deben buscar modelos alternativos. Como medida de bondad del ajuste se utiliza el coeficiente de determinación  $R^2$ . El coeficiente de determinación mide la proporción de variabilidad total de la variable dependiente y respecto a su media que es explicada por el modelo de regresión. Es usual expresar esta medida en tanto por ciento, multiplicándola por cien. Lo ideal es que el coeficiente  $R^2$  sea cercano al 100%, que indica que existe una fuerte dependencia entre las dos variables.

En las siguientes tablas se indican los resultados de los análisis de correlación, regresión y el diagrama de dispersión que incluyen la regresión lineal, logarítmica, inversa y cuadrática, para cada caso.

Cabe aclarar que solo se utilizó la correlación de *Spearman*, con su coeficiente (Rho), para los análisis que tuvieron que ver con la variable Índice de compresibilidad (Ccr), por tener datos no paramétricos. Para el resto de las variables, por ser paramétricas, correspondió el análisis de *Pearson*, con el coeficiente (r).

**Cuadro 16. Correlaciones presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) - límite líquido (LI)**

		Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	Límite Líquido (LI)
Correlación de Pearson	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	1,000	,235
	Límite Líquido (LI)	,235	1,000
Sig.	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	.	,231
	Límite Líquido (LI)	,231	.
N	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	12	12
	Límite Líquido (LI)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

**Cuadro 17. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) - límite líquido (LI)**

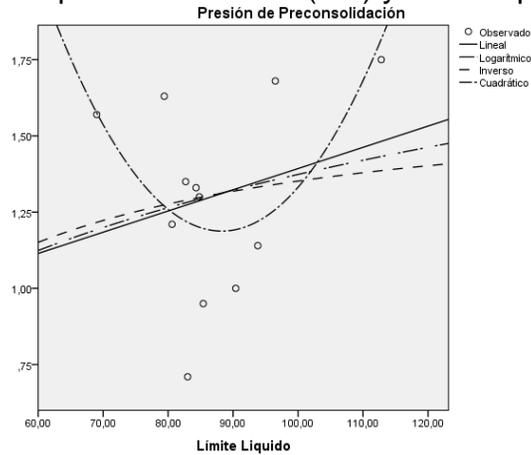
Variable dependiente: Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,055	,585	1	10	,462	,697	,007	
Logarítmica	,034	,349	1	10	,568	-,876	,488	
Inversa	,017	,170	1	10	,689	1,653	-30,147	
Cuadrático	,364	2,571	2	9	,131	9,331	-,185	,001

La variable independiente es Límite Líquido. (LI)

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 10. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) y límite líquido (LI)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) y límite líquido (LI), se puede observar que el coeficiente  $r$  de Pearson es de 0.24, lo cual indica que existe una correlación que tiende a positiva media. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.364, que corresponde a un 36% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 18. Correlaciones presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) - límite plástico ( $Lp$ )

		Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	Límite plástico ( $Lp$ )
Correlación de Pearson	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	1,000	,005
	Límite plástico ( $Lp$ )	,005	1,000
Sig.	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	.	,494
	Límite plástico ( $Lp$ )	,494	.
N	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )	12	12
	Límite plástico ( $Lp$ )	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 19. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) - límite plástico ( $Lp$ )

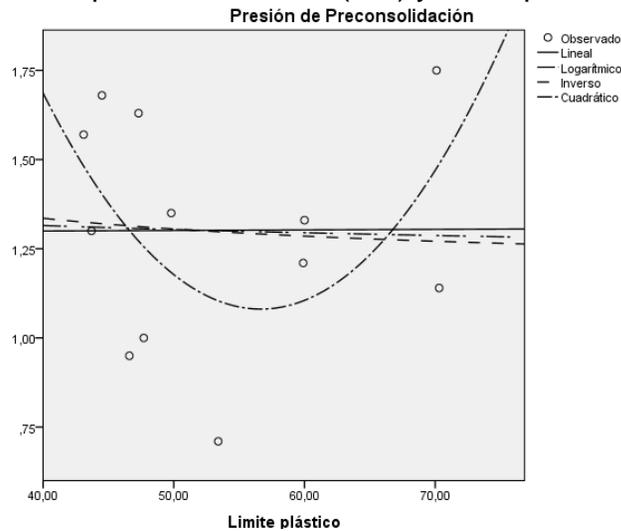
Variable dependiente: Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,000	,000	1	10	,988	1,293	,000	
Logarítmica	,001	,008	1	10	,932	1,500	-,050	
Inversa	,004	,037	1	10	,852	1,185	6,011	
Cuadrático	,233	1,367	2	9	,303	8,086	-,247	,002

La variable independiente es Límite plástico. ( $Lp$ )

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 11. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) y límite plástico (Lp)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) y límite plástico (Lp), se puede observar que el coeficiente r de Pearson tiende a cero, lo cual indica que no existe correlación alguna entre ellas. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.233, que corresponde a un 23% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 20. Correlaciones presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) – índice de plasticidad (Ip)

		Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	Índice de Plasticidad (Ip)
Correlación de Pearson	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	1,000	,259
	Índice de Plasticidad (Ip)	,259	1,000
Sig.	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	.	,208
	Índice de Plasticidad (Ip)	,208	.
N	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	12	12
	Índice de Plasticidad (Ip)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 21. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) – índice de plasticidad ( $I_p$ )

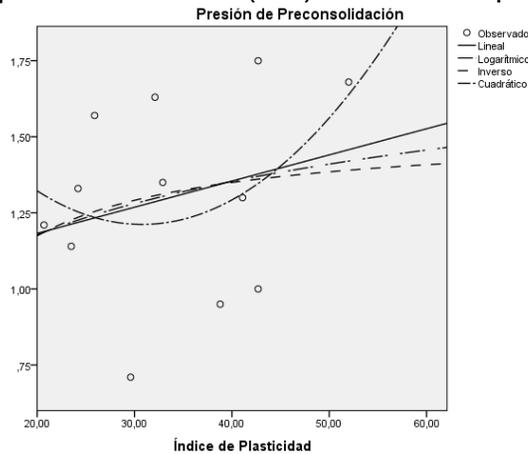
Variable dependiente: Presión de Preconsolidación ( $\sigma'c$ )

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,067	,718	1	10	,417	1,011	,009	
Logarítmica	,052	,550	1	10	,475	,418	,254	
Inversa	,040	,419	1	10	,532	1,525	-7,007	
Cuadrático	,133	,690	2	9	,526	2,110	-,058	,001

La variable independiente es Índice de Plasticidad. ( $I_p$ )

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 12. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) e índice de plasticidad ( $I_p$ )



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables presión de preconsolidación ( $\sigma'c$ ) e índice de plasticidad ( $I_p$ ), se puede observar que el coeficiente  $r$  de Pearson es de 0.259, lo cual indica una correlación positiva débil entre ellas. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.133, que corresponde a un 13% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 22. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – límite líquido (LI)

			Índice de compresibilidad (Ccr)	Límite Líquido
Rho de Spearman	Índice de compresibilidad (Ccr)	Coeficiente de correlación	1,000	-,049
		Sig.	.	,880
	N	12	12	
	Límite Líquido	Coeficiente de correlación	-,049	1,000
Sig.		,880	.	
	N	12	12	

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 23. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Ccr) – límite líquido (LI)

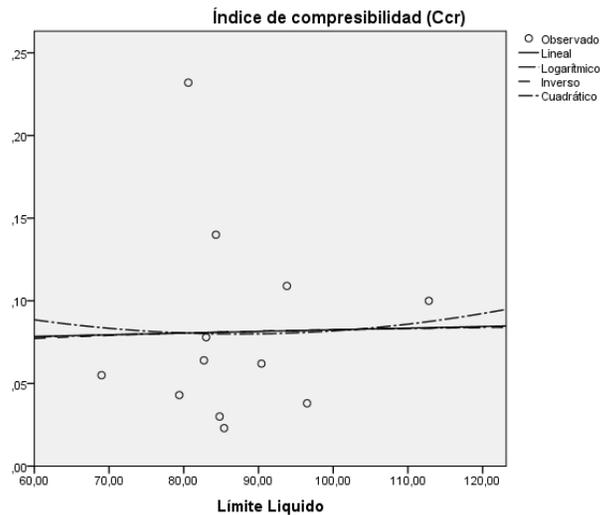
Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Ccr)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,000	,003	1	10	,955	,072	,000	
Logarítmica	,000	,003	1	10	,957	,043	,009	
Inversa	,000	,003	1	10	,954	,090	-,797	
Cuadrático	,001	,007	2	9	,993	,168	-,002	1,158E-005

La variable independiente es Límite Líquido.(LI)

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 13. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Ccr) y límite líquido (LI)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Ccr) y límite líquido (LI), se puede observar que el coeficiente rho de Spearman tiende a cero, lo cual indica que no hay correlación entre las variables. En los resultados del análisis de regresión el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es muy bajo para todas las funciones, esto quiere decir que los datos son muy dispersos lo cual hace difícil que alguna función de las evaluadas pueda describirlos.

Cuadro 24. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – límite plástico (Lp)

			Índice de compresibilidad (Ccr)	Límite plástico
Rho de Spearman	Índice de compresibilidad (Ccr)	Coeficiente de correlación	1,000	,846
		Sig.	.	,001
	N	12	12	
	Límite plástico	Coeficiente de correlación	,846	1,000
Sig.		,001	.	
N		12	12	

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05.  
Fuente: Tomado de SPSS

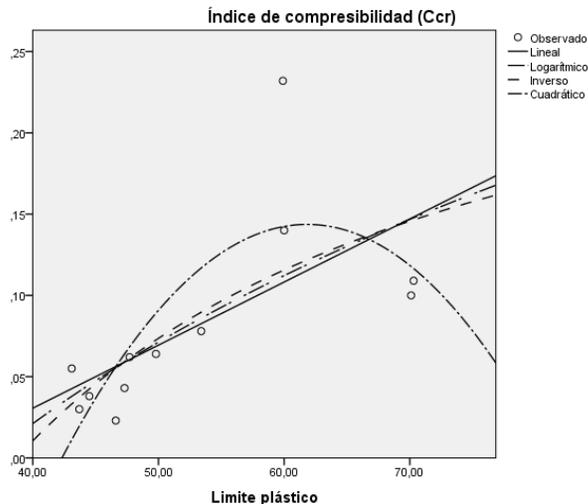
Cuadro 25. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Ccr) – límite plástico (Lp)

Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Ccr)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,419	7,209	1	10	,023	-,125	,004	
Logarítmica	,453	8,268	1	10	,017	-,807	,225	
Inversa	,480	9,220	1	10	,013	,326	-12,615	
Cuadrático	,626	7,524	2	9	,012	-1,301	,047	,00038

La variable independiente es Límite Plástico  
Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 14. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Ccr) y límite plástico (Lp)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Ccr) y límite plástico (Lp), se puede observar que el coeficiente rho de Spearman es de 0.846, la cual tiende a ser una correlación positiva muy fuerte. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de

puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.626, que corresponde a un 63% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 26. Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – índice de plasticidad (Ip)

			Índice de compresibilidad (Ccr)	Índice de Plasticidad
Rho de Spearman	Índice de compresibilidad (Ccr)	Coefficiente de correlación	1,000	-,627*
		Sig.	.	,029
	Índice de Plasticidad	Coefficiente de correlación	-,627*	1,000
		Sig.	,029	.
		N	12	12

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05.

Fuente: Tomado de SPSS

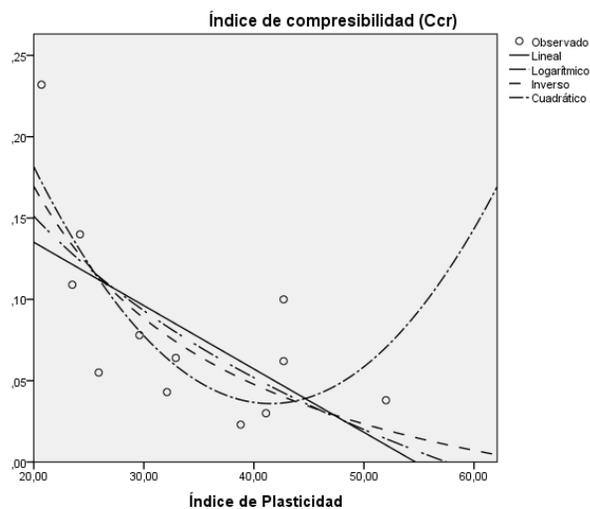
Cuadro 27. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,408	6,888	1	10	,025	,213	-,004	
Logarítmica	,492	9,676	1	10	,011	,580	-,143	
Inversa	,576	13,562	1	10	,004	-,074	4,872	
Cuadrático	,623	7,443	2	9	,012	,578	-,026	,000315

La variable independiente es Índice de Plasticidad, la variable dependiente es (Ccr).

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 15. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Ccr) e índice de plasticidad (Ip)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Ccr) e índice de plasticidad (Lp), se puede observar que el coeficiente rho de Spearman es de - 0.627, lo cual tiende a ser una correlación negativa considerable entre ellas. En los resultados del análisis de regresión las graficas que mejor se ajustan a la nube de puntos son la inversa y la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.576 y 0.623 respectivamente, que para la función cuadrática corresponde a un 62% de precisión en los resultados si se utiliza esta ecuación.

Cuadro 28 Correlaciones índice de compresibilidad (Ccr) – radio de sobreconsolidación (RSC)

			Índice de compresibilidad (Ccr)	Radio de sobreconsolidación
Rho de Spearman	Índice de compresibilidad (Ccr)	Coefficiente de correlación	1,000	-,161
		Sig.	.	,618
		N	12	12
	Radio de sobreconsolidación	Coefficiente de correlación	-,161	1,000
	Sig.	,618	.	
	N	12	12	

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 29. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Ccr) – radio de sobreconsolidación (RSC)

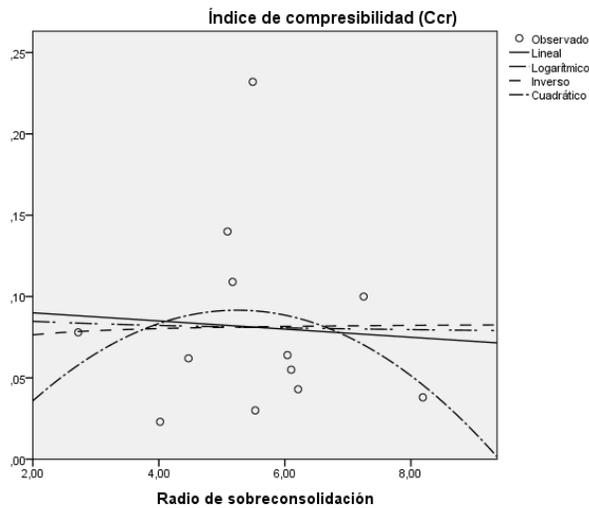
Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Ccr)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,004	,038	1	10	,850	,095	-,003	
Logarítmica	,000	,003	1	10	,956	,087	-,004	
Inversa	,000	,003	1	10	,958	,084	,016	
Cuadrático	,066	,320	2	9	,734	-,054	,056	-,005

La variable independiente es Radio de sobreconsolidación (RSC).

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 16. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Ccr) y radio de sobreconsolidación (RSC)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Ccr) y radio de sobreconsolidación (RSC), se puede observar que el coeficiente rho de Spearman es de - 0.161, lo cual indica una correlación negativa débil entre ellas. En los resultados del análisis de regresión el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es muy bajo para todas las funciones, esto quiere decir que los datos son muy dispersos lo cual hace difícil que alguna función de las evaluadas pueda describirlos.

Cuadro 30. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – límite líquido (Ll)

		Índice de compresibilidad (Cc)	Límite Líquido (Ll)
Correlación de Pearson	Índice de compresibilidad (Cc)	1,000	,334
	Límite Líquido (Ll)	,334	1,000
Sig.	Índice de compresibilidad (Cc)	.	,145
	Límite Líquido (Ll)	,145	.
N	Índice de compresibilidad (Cc)	12	12
	Límite Líquido (Ll)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 31. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Cc) – límite líquido (LI)

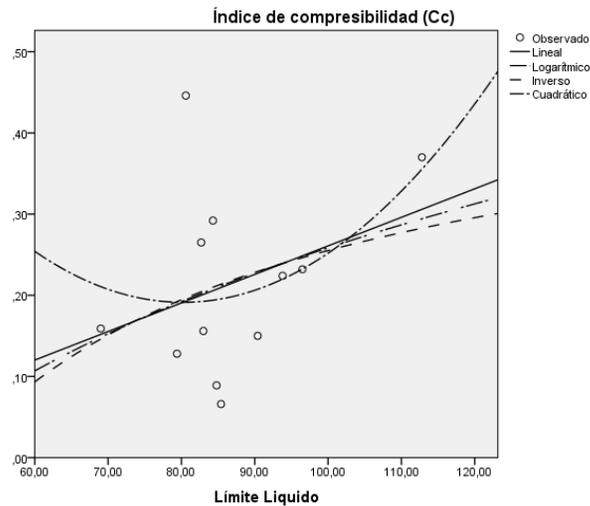
Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Cc)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,111	1,254	1	10	,289	-,091	,004	
Logarítmica	,098	1,091	1	10	,321	-1,108	,297	
Inversa	,086	,935	1	10	,356	,498	-24,274	
Cuadrático	,164	,885	2	9	,446	1,183	-,025	,0003

La variable independiente es Límite Líquido. (LI)

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 17. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y límite líquido (LI)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Cc) y límite líquido (LI), se puede observar que el coeficiente r de Pearson es de 0.334, el cual se aproxima a ser una correlación positiva media entre ellas. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.164, que corresponde a un 16% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 32. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – límite plástico (Lp)

		Índice de compresibilidad (Cc)	Límite plástico (Lp)
Correlación de Pearson	Índice de compresibilidad (Cc)	1,000	,662
	Límite plástico (Lp)	,662	1,000
Sig.	Índice de compresibilidad (Cc)	.	,009
	Límite plástico (Lp)	,009	.
N	Índice de compresibilidad (Cc)	12	12
	Límite plástico (Lp)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 33. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Cc) – límite plástico (Lp)

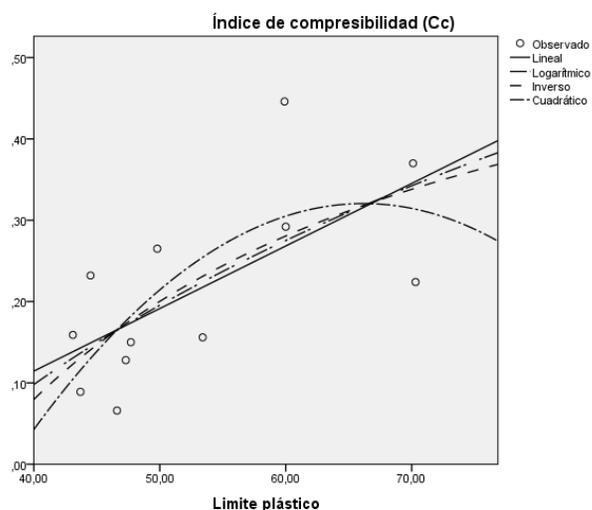
Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Cc)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,438	7,808	1	10	,019	-,193	,008	
Logarítmica	,456	8,380	1	10	,016	-1,513	,437	
Inversa	,467	8,768	1	10	,014	,683	-24,116	
Cuadrático	,502	4,535	2	9	,043	-1,456	,054	,0004

La variable independiente es Límite plástico. (Lp)

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 18. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y límite plástico (Lp)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Cc) y límite líquido (Lp), se puede observar que el coeficiente r de Pearson es de 0.662, el cual se aproxima a ser una correlación positiva considerable entre ellas.

En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.502, que corresponde a un 50% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 34. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – índice de plásticidad (Ip)

		Índice de compresibilidad (Cc)	Índice de Plásticidad (Ip)
Correlación de Pearson	Índice de compresibilidad (Cc)	1,000	-,300
	Índice de Plásticidad (Ip)	-,300	1,000
Sig.	Índice de compresibilidad (Cc)	.	,172
	Índice de Plásticidad (Ip)	,172	.
N	Índice de compresibilidad (Cc)	12	12
	Índice de Plásticidad (Ip)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 35. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Cc) – índice de plásticidad (Ip)

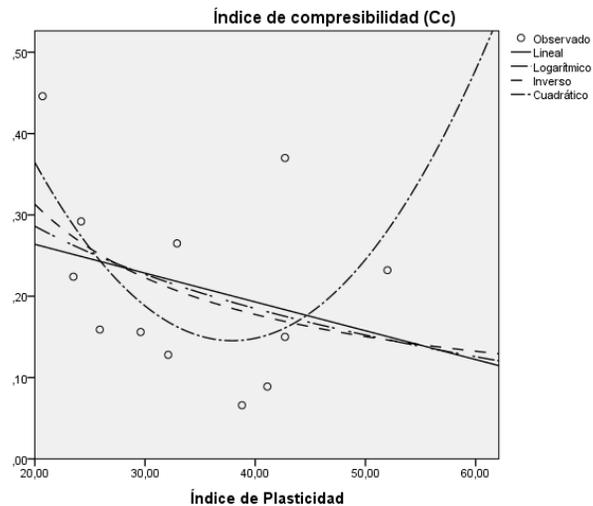
Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Cc)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,090	0,987	1	10	,344	,335	-,004	
Logarítmica	,137	1,581	1	10	,237	,724	-,146	
Inversa	,190	2,349	1	10	,156	,042	5,425	
Cuadrático	,360	2,536	2	9	,134	1,127	-,053	,001

La variable independiente es Índice de Plásticidad. (Ip)

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 19. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y índice de plásticidad (Ip)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables índice de compresibilidad (Cc) e índice de plasticidad (Ip), se puede observar que el coeficiente r de Pearson es de - 0.30, el cual se aproxima a ser una correlación negativa media entre ellas. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.36, que corresponde a un 36% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 36. Correlaciones índice de compresibilidad (Cc) – radio de sobreconsolidación (RSC)

		Índice de compresibilidad (Cc)	Radio de sobreconsolidación (RSC)
Correlación de Pearson	Índice de compresibilidad (Cc)	1,000	,366
	Radio de sobreconsolidación (RSC)	,366	1,000
Sig.	Índice de compresibilidad (Cc)	.	,121
	Radio de sobreconsolidación (RSC)	,121	.
N	Índice de compresibilidad (Cc)	12	12
	Radio de sobreconsolidación (RSC)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 37. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, índice de compresibilidad (Cc) – radio de sobreconsolidación (RSC)

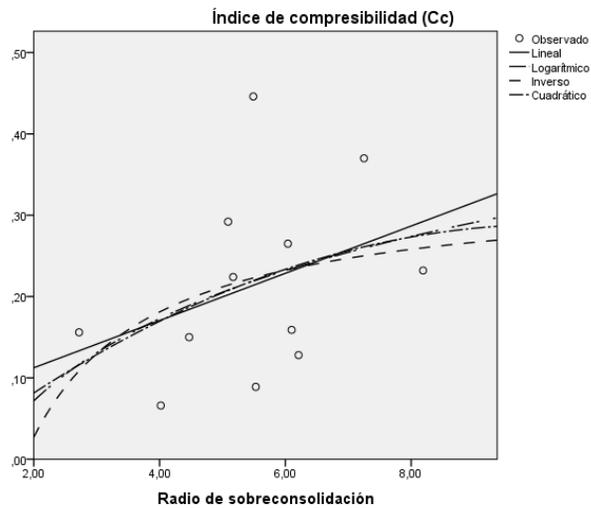
Variable dependiente: Índice de compresibilidad (Cc)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,134	1,551	1	10	,241	,054	,029	
Logarítmica	,135	1,558	1	10	,240	-,029	,146	
Inversa	,121	1,376	1	10	,268	,335	-,616	
Cuadrático	,140	,731	2	9	,508	-,031	,062	-,003

La variable independiente es Radio de sobreconsolidación. (RSC)

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 20. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables índice de compresibilidad (Cc) y radio de sobreconsolidación (RSC)



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables, índice de compresibilidad (Cc) y radio de sobreconsolidación (RSC), se puede observar que el coeficiente r de Pearson es de 0.366, el cual se aproxima a ser una correlación positiva media entre ellas. En los resultados del análisis de regresión la grafica que mejor se ajusta a la nube de puntos es la cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.14, que corresponde a un 14% de precisión en los resultados si se utiliza esta función.

Cuadro 38. Correlación entre compresión simple ( $q_u$ ) - presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ )

		Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	Compresión Simple ( $q_u$ )
Correlación de Pearson	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	1,000	-,089
	Compresión Simple ( $q_u$ )	-,089	1,000
Sig.	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	.	,392
	Compresión Simple ( $q_u$ )	,392	.
N	Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )	12	12
	Compresión Simple ( $q_u$ )	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

Cuadro 39. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, compresión simple ( $q_u$ ) - presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ )

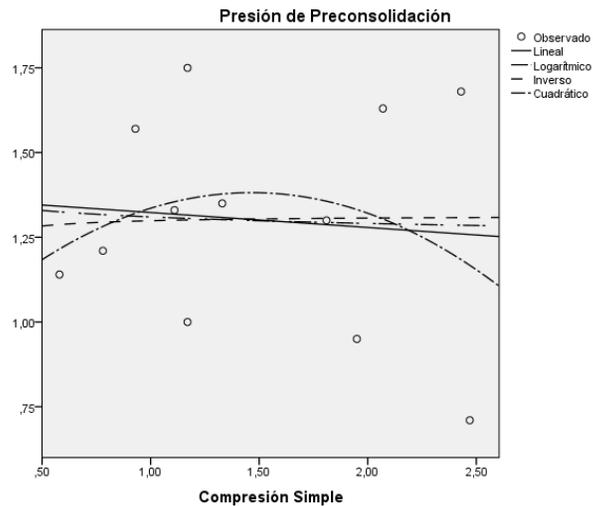
Variable dependiente: Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_c$ )

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,008	,079	1	10	,784	1,367	-,044	
Logarítmica	,002	,016	1	10	,902	1,310	-,028	
Inversa	,000	,004	1	10	,952	1,314	-,016	
Cuadrático	,053	,254	2	9	,781	,926	,622	-,212

La variable independiente es Compresión Simple. ( $q_u$ )

Fuente: Tomado de SPSS

Grafica 21. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables compresión simple ( $q_u$ ) y presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ )



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables compresión simple ( $q_u$ ) con la presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ), se puede observar que el coeficiente  $r$  de Pearson es de - 0.089, el cual se describe como una correlación negativa débil. En los resultados del análisis de regresión el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tiende a cero para todas las funciones evaluadas.

**Cuadro 40, Correlación entre compresión simple (qu) - radio de sobreconsolidación (RSC)**

		Radio de sobreconsolidación (RSC)	Compresión Simple (qu)
Correlación de Pearson	Radio de sobreconsolidación (RSC)	1,000	-,064
	Compresión Simple (qu)	-,064	1,000
Sig.	Radio de sobreconsolidación (RSC)	.	,422
	Compresión Simple (qu)	,422	.
N	Radio de sobreconsolidación (RSC)	12	12
	Compresión Simple (qu)	12	12

Fuente: Tomado de SPSS

**Cuadro 41. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, compresión simple (qu) - radio de sobreconsolidación (RSC)**

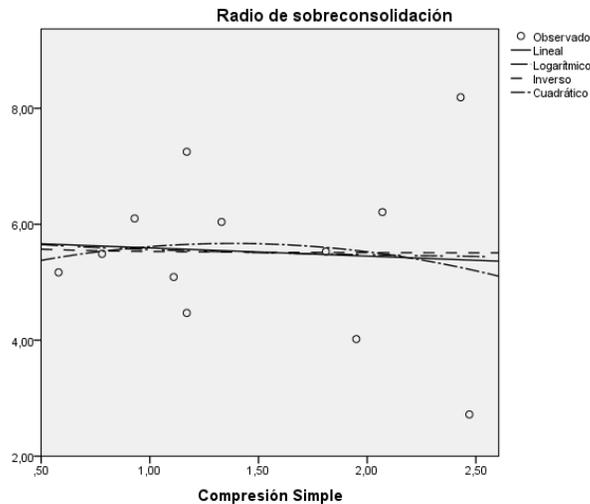
Variable dependiente: Radio de sobreconsolidación (RSC)

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,004	,040	1	10	,845	5,735	-,142	
Logarítmica	,002	,017	1	10	,899	5,562	-,128	
Inversa	,000	,001	1	10	,973	5,491	,040	
Cuadrático	,011	,051	2	9	,951	4,951	1,040	-,377

La variable independiente es Compresión Simple. (qu)

Fuente: Tomado de SPSS

**Grafica 22. Diagrama de dispersión que incluye las regresiones para las variables compresión simple (qu) y radio de sobreconsolidación (RSC)**



Fuente: Tomado de SPSS

Para el análisis en el cual se relacionan las variables compresión simple (qu) con el radio de sobreconsolidación (RSC), se puede observar que el coeficiente r de Pearson es de - 0.064, el cual se describe como una correlación negativa débil. El

análisis de regresión no es significativo puesto que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tiende a cero para todas las funciones evaluadas, ya que los datos se encuentran muy dispersos.

## 7. CONCLUSIONES

En esta investigación, se observa que de las correlaciones que se pretendía encontrar fue posible encontrar algunas, las cuales tienen una alta relación entre sus variables, cumpliendo así con una aproximación mayor al 50%; lo cual significa que los resultados obtenidos al aplicarlas sean satisfactorios en la predicción de cálculos para asentamientos en estudios preliminares de proyectos de ingeniería, proceso que es fundamental en el desarrollo de obras civiles realizadas en suelos como lo son las cenizas volcánicas del municipio de Popayán.

Las correlaciones encontradas entre: índice de compresibilidad (Ccr) y límite plástico (Lp), índice de compresibilidad (Ccr) e índice de plasticidad (Ip), índice de compresibilidad (Cc) y límite plástico (Lp), usando modelos de regresión tienen una significancia menor al valor 0.05; a pesar de que el número de datos no es amplio, este valor nos indica que hay más de un 95% de confianza en que si se repiten los ensayos se obtengan resultados similares y hay menos del 5% de probabilidad que exista error.

Existen correlaciones muy débiles entre la presión de preconsolidación ( $\sigma'_c$ ) y los límites de consistencia (LI, Lp, Ip), además los resultados no muestran gran significancia puesto que estos valores se encuentran por encima del 13%, lo que indica un bajo nivel de confianza en la relación. Ver cuadros 16-21

Para el resto de comparaciones se encontró que no hay algún tipo de asociación fuerte entre estas variables o patrón de variación conjunta que represente los pares de valores de las variables en el diagrama de dispersión. Una causa de este resultado puede ser la cantidad de datos, puesto que con una mayor cantidad de ellos se puede establecer una función que se ajuste a la nube de puntos de una forma aproximada. Se espera que las siguientes fases del proyecto de investigación se lleven a cabo para reforzar estas ideas.

Sin embargo, aunque no se logro establecer la totalidad de las correlaciones planteadas, se encontró que existe relación entre los índices de compresibilidad (Cc) y (Ccr) con algunos límites de consistencia.

Las correlaciones encontradas entre el índice de compresibilidad (Ccr) y el límite plástico (Lp), se presenta en forma cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 63% y un nivel de confianza del 99%. Ver cuadro 25

La ecuación para la función cuadrática es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \quad (10)$$

Al reemplazar los valores de los coeficientes encontrados en el análisis de la regresión obtenemos lo siguiente:

$$Ccr = -1.301 + 0.047 Lp - 0.00038 Lp^2 \quad (11)$$

Cuadro 42. Comparación de resultados medidos en el laboratorio con los obtenidos aplicando la formula (11).

Sector	Sondeo	Límite Plástico	Ccr medido	Ccr calculado
1	1	44,5	0,038	0,0380
1	2	43,7	0,023	0,0272
1	3	46,6	0,023	0,0640
2	1	47,7	0,062	0,0763
2	2	70,3	0,109	0,1251
2	3	59,9	0,232	0,1509
3	1	47,3	0,043	0,0719
3	2	53,4	0,078	0,1252
3	3	49,8	0,064	0,0972
4	1	70,1	0,1	0,1264
4	2	60	0,14	0,1510
4	3	43,1	0,055	0,0188

Fuente: Propia

Las correlaciones encontradas entre el índice de compresibilidad (Ccr) y el índice de plasticidad (Ip), se presenta en forma inversa y cuadrática, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 58% y 62% para cada correlación y un nivel de confianza del 99% en ambos casos. Ver cuadro 27

La ecuación para la función inversa es:

$$Y = \beta_0 + \frac{\beta_1}{X} \quad (12)$$

Al reemplazar los valores de los coeficientes encontrados en el análisis de la regresión obtenemos lo siguiente:

$$Ccr = -0.074 + \frac{4.872}{Ip} \quad (13)$$

$$Ccr = 0.578 - 0.026 Ip + 0.000315 Ip^2 \quad (14)$$

Cuadro 43. Comparación de resultados medidos en el laboratorio con los obtenidos aplicando las formulas (13 y 14).

Sector	Sondeo	Índice de Plasticidad	Ccr medido	Ccr calculado inversa	Ccr calculado Cuadrática
1	1	52	0,038	0,020	0,072
1	2	41,1	0,023	0,045	0,037
1	3	38,8	0,023	0,052	0,039
2	1	42,7	0,062	0,040	0,037
2	2	23,5	0,109	0,133	0,138
2	3	20,7	0,232	0,161	0,172
3	1	32,1	0,043	0,078	0,064
3	2	29,6	0,078	0,091	0,081
3	3	32,9	0,064	0,074	0,060
4	1	42,7	0,1	0,040	0,037
4	2	24,2	0,14	0,127	0,130
4	3	25,9	0,055	0,114	0,113

Fuente: Propia

La correlación existente entre el índice de compresibilidad (Cc) y el límite plástico (Lp), se presenta en forma cuadrática, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 50% y un nivel de confianza de 96%. Ver cuadro 33

Al reemplazar los valores de los coeficientes encontrados en el análisis de la regresión obtenemos lo siguiente:

$$Cc = -1.456 + 0.054 Lp - 0.0004 Lp^2 \quad (15)$$

Cuadro 44. Comparación de resultados medidos en el laboratorio con los obtenidos aplicando la formula (15).

Sector	Sondeo	Limite Plástico	Cc medido	Cc calculado
1	1	44,5	0,232	0,155
1	2	43,7	0,089	0,140
1	3	46,6	0,066	0,192
2	1	47,7	0,15	0,210
2	2	70,3	0,224	0,363
2	3	59,9	0,446	0,343
3	1	47,3	0,128	0,203
3	2	53,4	0,156	0,287
3	3	49,8	0,265	0,241
4	1	70,1	0,37	0,364
4	2	60	0,292	0,344
4	3	43,1	0,0159	0,128

Fuente: Propia

Las anteriores correlaciones son el resultado del desarrollo del proyecto, las cuales tienen una confiabilidad significativa para el cálculo de los parámetros (Cc) y (Ccr) de las cenizas volcánicas de la región. De esta forma se contribuye en el campo ingenieril haciendo más práctico el cálculo de posibles predicciones en los asentamientos de las estructuras que se realicen en el municipio de Popayán, teniendo en cuenta que estas ecuaciones se pueden mejorar, así al aplicar las formulas el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se aproximara mas al 100% que es lo ideal, entre más cercano se encuentre, los resultados serán mucho más confiables es por esto que se requiere continuar con las siguientes fases de la investigación.

## **8. RECOMENDACIONES**

Con el desarrollo de la fase uno de esta investigación, se identificó que una posible causa que producía la falta de correlaciones, es el número de datos de la muestra, por lo cual se sugiere que para la continuación del proyecto se realicen más tomas de muestra para una mejor base estadística con la disposición de este primer informe de modo que todo lo consignado aquí sobre las muestras y resultados de laboratorio se puedan seguir utilizando con gran confiabilidad.

Es indispensable reproducir las condiciones naturales del suelo en el laboratorio para lograr resultados confiables, además asegurarse de que los equipos a utilizar para el análisis de las muestras se encuentren en condiciones óptimas puesto que de la precisión de los equipos depende que los resultados sean confiables y con ello lograr que la investigación culmine exitosamente.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

- BOWLES, Joseph E. Propiedades Geofísicas de los Suelos. Bogotá: McGraw-Hill, 1982. 490 p.
- DAS, Braja. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México, D.F.: Thomson Learning, 2001. 594 p.
- DAS, Braja. Principios de Ingeniería de Cimentaciones 4 ed. Mexico, D.F.: Thomson Learning, 2001. 880 p.
- FREUD, John E.; SIMON, Gary A. Estadística Elemental 8 ed. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. 566 p.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la Investigación. México, D.F.: McGraw-Hill, 1991. 337 p.
- POLANCO FLÓREZ, Margarita. Principios Básicos de Mecánica de Suelos. Popayán: Universidad del Cauca, 2009. 524 p.
- TORRES, María Patricia; IBÁÑEZ, Diego y VÁSQUEZ, Edgar. Aporte al Conocimiento de la Geología y Estratigrafía de la Formación Popayán. Popayán: Universidad del Cauca, 1992. 28 p.

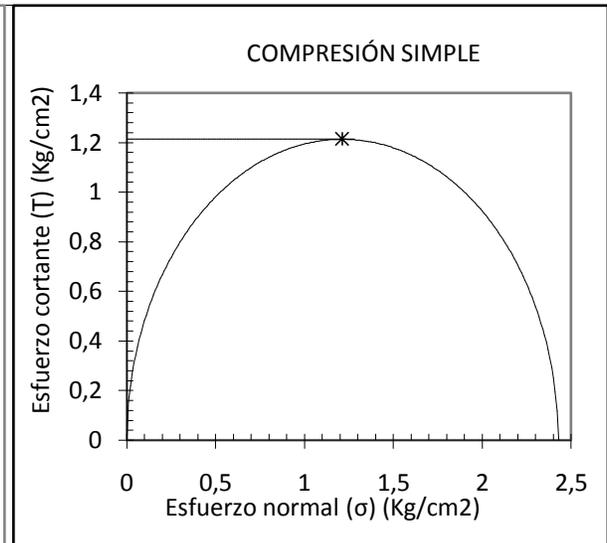
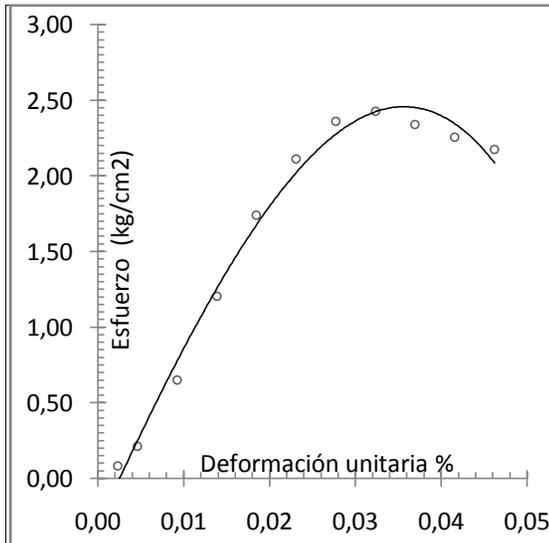
## 10. ANEXOS.

### Anexo A. Datos y resultados del ensayo de compresión simple.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Tulcán - frente lab. Suelos
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Octubre - 11 -2011

<b>Sondeo No :</b>	1
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,0 - 1,40
<b>Sector:</b>	1

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unit.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	11	1,601	19,838	0,0807	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	29	4,220	19,884	0,2122	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	89	12,950	19,977	0,6482	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	166	24,153	20,070	1,2034		
80	0,0185	0,9815	241	35,066	20,165	1,7389	CONTENIDO DE AGUA	
100	0,0231	0,9769	294	42,777	20,260	2,1114		
120	0,0277	0,9723	330	48,015	20,357	2,3587	PESO HUMEDO(gr.)	373,11
140	0,0323	0,9677	341	49,616	20,454	2,4258	PESO SECO(gr.)	236,45
160	0,0370	0,9630	330	48,015	20,552	2,3363	W (%)	57,80
180	0,0416	0,9584	320	46,560	20,651	2,2546		
200	0,0462	0,9538	310	45,105	20,751	2,1736	PESOS UNITARIOS	
							PU HUMEDO	1,71
							PU SECO	1,09
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	2,43

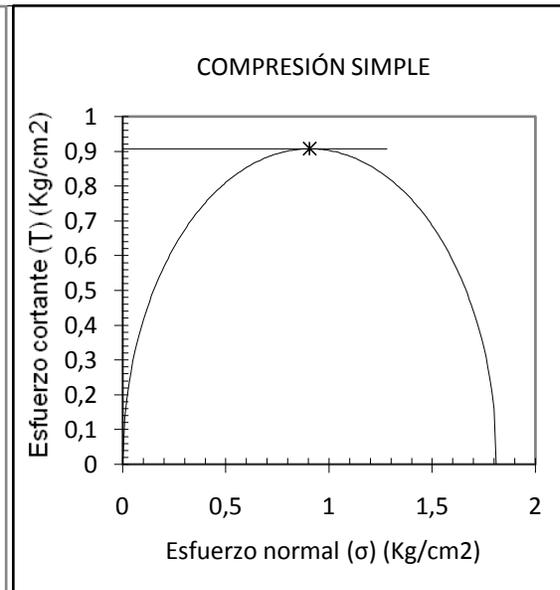
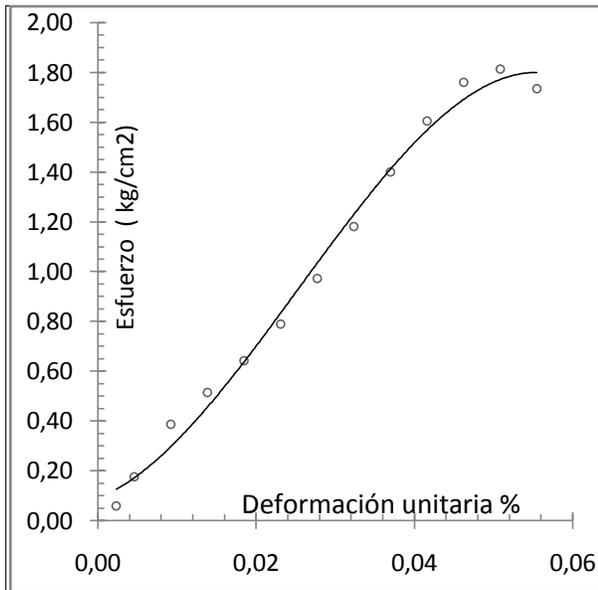


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Tulcán - frente lab. Suelos
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Octubre 11 2011

<b>Sondeo No :</b>	2
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,20-1.60 m
<b>Sector:</b>	1

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unita.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	8	1,164	19,838	0,0587	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	24	3,492	19,884	0,1756	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	53	7,712	19,977	0,3860	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	71	10,331	20,070	0,5147		
80	0,0185	0,9815	89	12,950	20,165	0,6422	CONTENIDO DE AGUA	
100	0,0231	0,9769	110	16,005	20,260	0,7900		
120	0,0277	0,9723	136	19,788	20,357	0,9721	PESO HUMEDO(gr.)	365,27
140	0,0323	0,9677	166	24,153	20,454	1,1809	PESO SECO(gr.)	233,21
160	0,0370	0,9630	198	28,809	20,552	1,4018	W (%)	56,63
180	0,0416	0,9584	228	33,174	20,651	1,6064		
200	0,0462	0,9538	251	36,521	20,751	1,7600	PESOS UNITARIOS	
220	0,0508	0,9492	260	37,830	20,852	1,8142		
240	0,0554	0,9446	250	36,375	20,954	1,7360	PU HUMEDO	1,68
260	0,0600	0,9400	240	34,920	21,057	1,6584	PU SECO	1,07
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	1,81

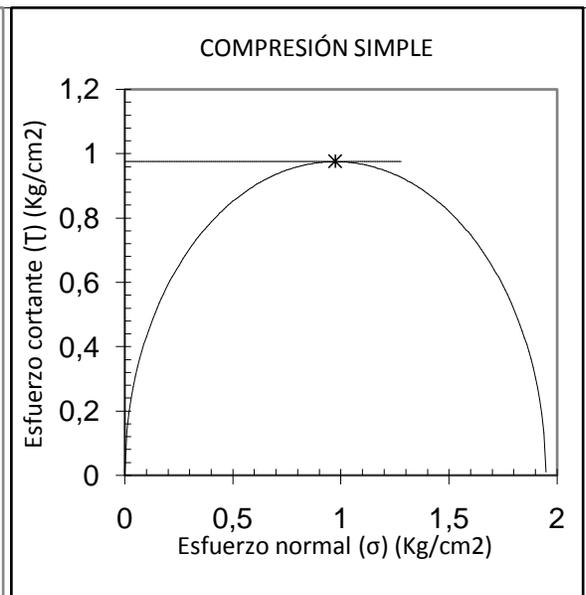
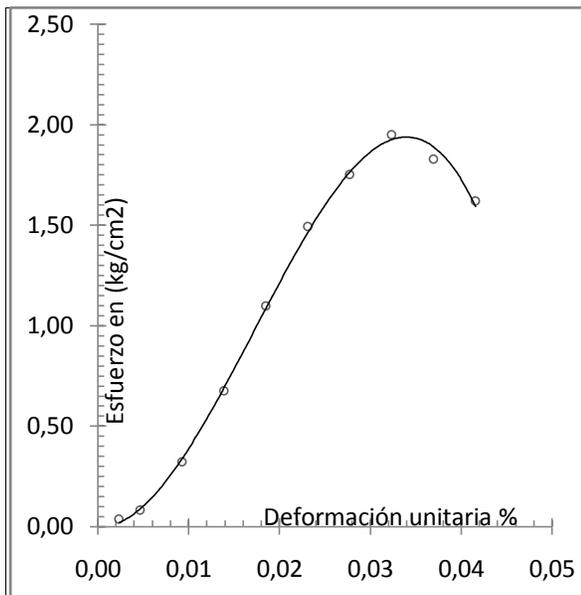


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Tulcán - frente lab. Suelos
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Octubre 11 2011

<b>Sondeo No :</b>	3
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,20-1.60 m
<b>Sector:</b>	1

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unita.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	5	0,728	19,838	0,0367	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	11	1,601	19,884	0,0805	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	44	6,402	19,977	0,3205	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	93	13,532	20,070	0,6742		
80	0,0185	0,9815	152	22,116	20,165	1,0968	CONTENIDO DE AGUA	
100	0,0231	0,9769	208	30,264	20,260	1,4938		
120	0,0277	0,9723	245	35,648	20,357	1,7512	PESO HUMEDO(gr.)	367,53
140	0,0323	0,9677	274	39,867	20,454	1,9491	PESO SECO(gr.)	237,35
160	0,0370	0,9630	258	37,539	20,552	1,8266	W (%)	54,85
180	0,0416	0,9584	230	33,465	20,651	1,6205		
							PESOS UNITARIOS	
							PU HUMEDO	1,69
							PU SECO	1,09
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	1,95

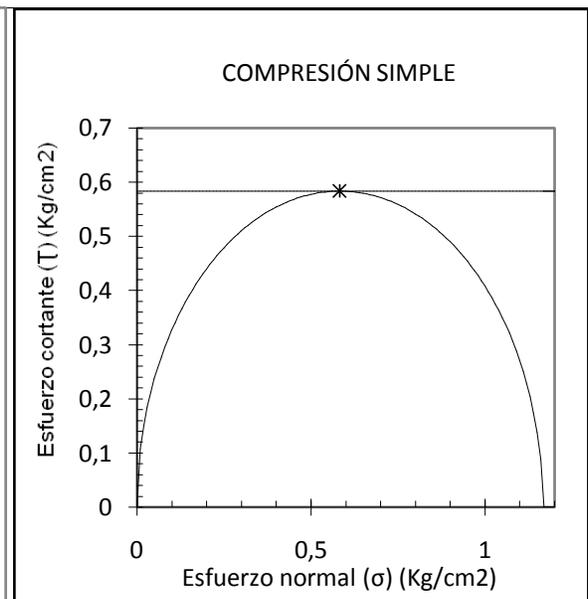
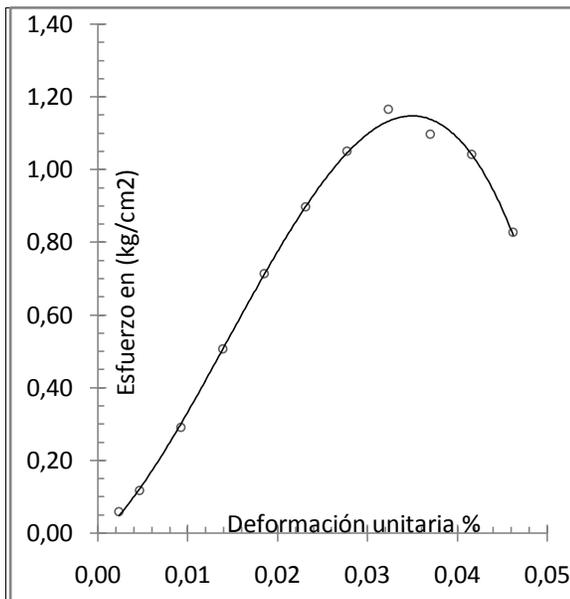


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Vereda la Honda
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Octubre 28 2011

<b>Sondeo No :</b>	1
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,10 - 1,50 m
<b>Sector:</b>	2

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unita.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	8	1,164	19,838	0,0587	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	16	2,328	19,884	0,1171	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	40	5,820	19,977	0,2913	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	70	10,185	20,070	0,5075		
80	0,0185	0,9815	99	14,405	20,165	0,7143	CONTENIDO DE AGUA	
100	0,0231	0,9769	125	18,188	20,260	0,8977		
120	0,0277	0,9723	147	21,389	20,357	1,0507	PESO HUMEDO(gr.)	375,53
140	0,0323	0,9677	164	23,862	20,454	1,1666	PESO SECO(gr.)	240,16
160	0,0370	0,9630	155	22,553	20,552	1,0974	W (%)	56,37
180	0,0416	0,9584	148	21,534	20,651	1,0428		
200	0,0462	0,9538	118	17,169	20,751	0,8274	PESOS UNITARIOS	
							PU HUMEDO	1,72
							PU SECO	1,10
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	1,17

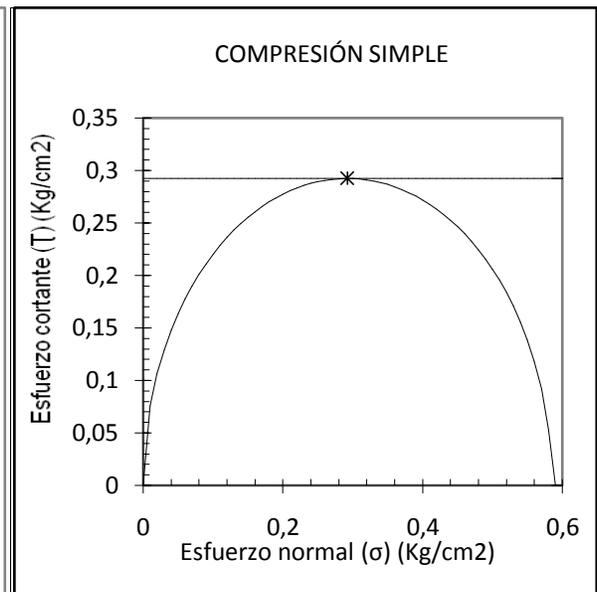
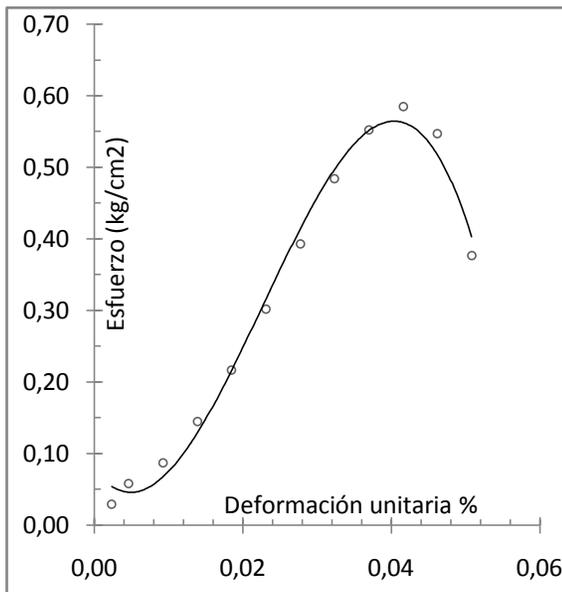


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Vereda la Honda
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Octubre 28 2011

<b>Sondeo No :</b>	2
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,30-1.70 m
<b>Sector:</b>	2

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unita.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	4	0,582	19,838	0,0293	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	8	1,164	19,884	0,0585	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	12	1,746	19,977	0,0874	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	20	2,910	20,070	0,1450		
80	0,0185	0,9815	30	4,365	20,165	0,2165	CONTENIDO DE AGUA	
100	0,0231	0,9769	42	6,111	20,260	0,3016		
120	0,0277	0,9723	55	8,003	20,357	0,3931	PESO HUMEDO(gr.)	319,64
140	0,0323	0,9677	68	9,894	20,454	0,4837	PESO SECO(gr.)	172
160	0,0370	0,9630	78	11,349	20,552	0,5522	W (%)	85,84
180	0,0416	0,9584	83	12,077	20,651	0,5848		
200	0,0462	0,9538	78	11,349	20,751	0,5469	PESOS UNITARIOS	
220	0,0508	0,9492	54	7,857	20,852	0,3768		
							PU HUMEDO	1,47
							PU SECO	0,79
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	0,58

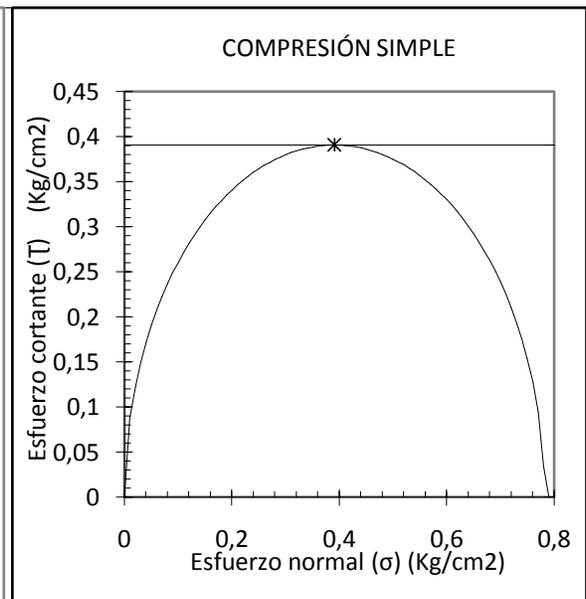
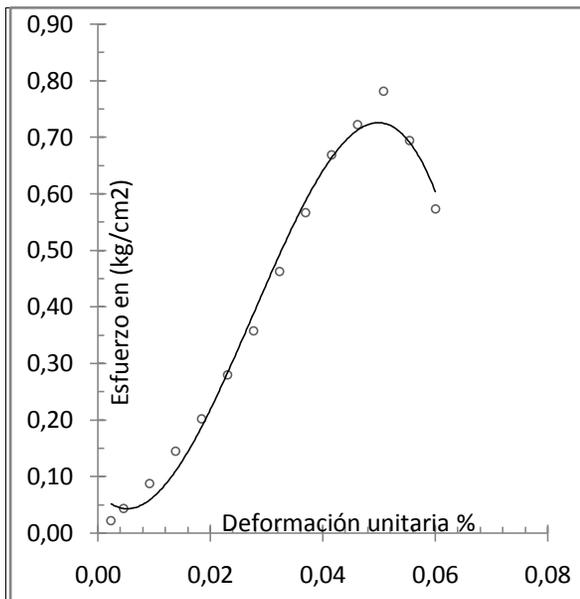


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Vereda la Honda
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Octubre 28 2011

<b>Sondeo No :</b>	3
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,30-1,70 m
<b>Sector:</b>	2

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unita.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	3	0,437	19,838	0,0220	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	6	0,873	19,884	0,0439	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	12	1,746	19,977	0,0874	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	20	2,910	20,070	0,1450		
80	0,0185	0,9815	28	4,074	20,165	0,2020	CONTENIDO DE AGUA	
100	0,0231	0,9769	39	5,675	20,260	0,2801		
120	0,0277	0,9723	50	7,275	20,357	0,3574	PESO HUMEDO(gr.)	296,02
140	0,0323	0,9677	65	9,458	20,454	0,4624	PESO SECO(gr.)	150,45
160	0,0370	0,9630	80	11,640	20,552	0,5664	W(%)	96,76
180	0,0416	0,9584	95	13,823	20,651	0,6693		
200	0,0462	0,9538	103	14,987	20,751	0,7222	PESOS UNITARIOS	
220	0,0508	0,9492	112	16,296	20,852	0,7815		
240	0,0554	0,9446	100	14,550	20,954	0,6944	PU HUMEDO	1,36
260	0,0600	0,9400	83	12,077	21,057	0,5735	PU SECO	0,69
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	0,78

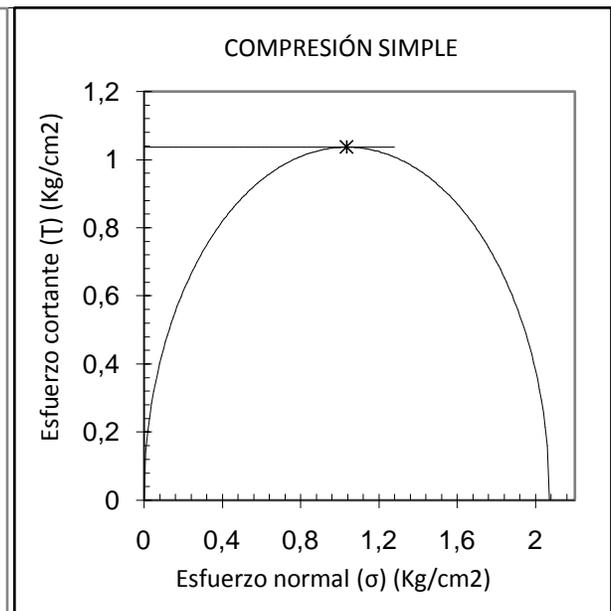
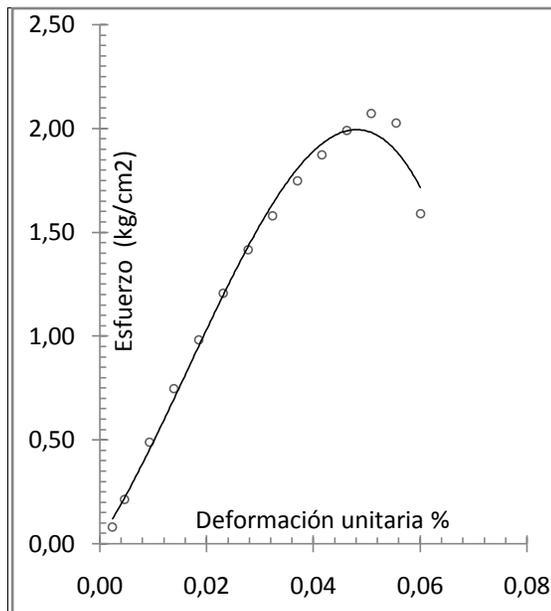


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Vereda Piso G
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Enero 23/2012

<b>Sondeo No :</b>	1
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,30-1.70 m
<b>Sector:</b>	3

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unit.	carga 10-4 Pulg.	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	11	1,601	19,838	0,0807	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	29	4,220	19,884	0,2122	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	67	9,749	19,977	0,4880	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	103	14,987	20,070	0,7467		
80	0,0185	0,9815	136	19,788	20,165	0,9813	<b>CONTENIDO DE AGUA</b>	
100	0,0231	0,9769	168	24,444	20,260	1,2065		
120	0,0277	0,9723	198	28,809	20,357	1,4152	PESO HUMEDO(gr.)	380,12
140	0,0323	0,9677	222	32,301	20,454	1,5792	PESO SECO(gr.)	245,9
160	0,0370	0,9630	247	35,939	20,552	1,7487	W (%)	54,58
180	0,0416	0,9584	266	38,703	20,651	1,8742		
200	0,0462	0,9538	284	41,322	20,751	1,9913	<b>PESOS UNITARIOS</b>	
220	0,0508	0,9492	297	43,214	20,852	2,0724		
240	0,0554	0,9446	292	42,486	20,954	2,0276	P. UNIT. HUMEDO	1,75
260	0,0600	0,9400	230	33,465	21,057	1,5893	P. UNIT. SECO	1,13
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	2,07

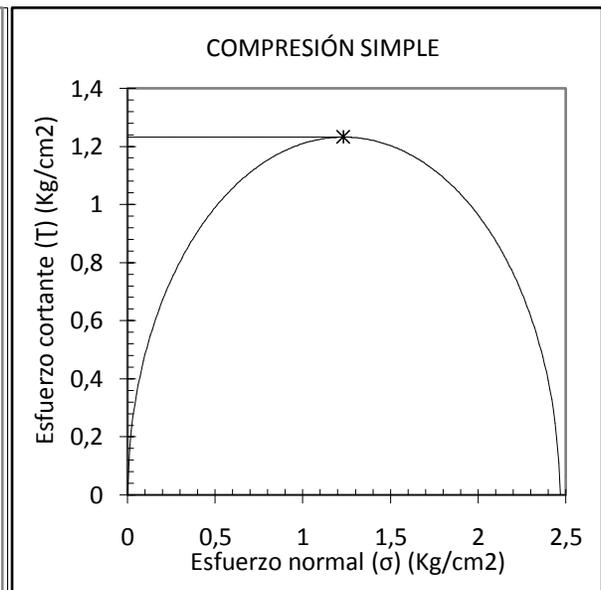
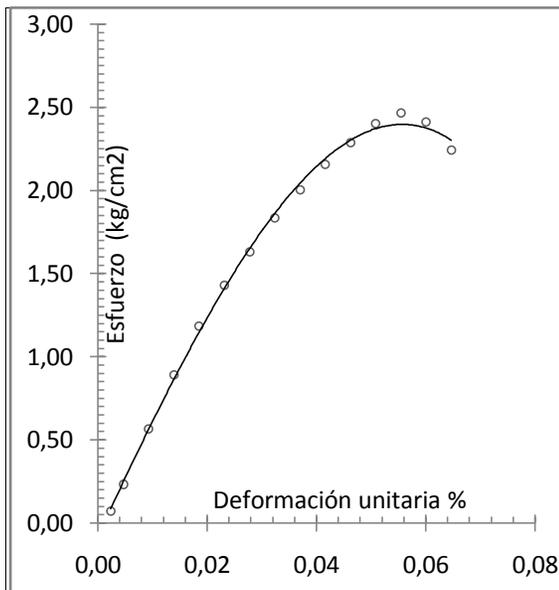


Fuente Propia.

Obra :	Trabajo Investigativo
Localización :	Vereda Piso G
Descripción :	Suelo Amarillo
Fecha:	Enero 23/2012

Sondeo No :	2
Muestra No :	SH1
Profundidad :	1,30-1.70 m
Sector:	3

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unit.	carga 10-4 Pulg.	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	10	1,455	19,838	0,0733	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	32	4,656	19,884	0,2342	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	78	11,349	19,977	0,5681	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	123	17,897	20,070	0,8917		
80	0,0185	0,9815	164	23,862	20,165	1,1833	<b>CONTENIDO DE AGUA</b>	
100	0,0231	0,9769	199	28,955	20,260	1,4291		
120	0,0277	0,9723	228	33,174	20,357	1,6297	PESO HUMEDO(gr.)	378
140	0,0323	0,9677	258	37,539	20,454	1,8353	PESO SECO(gr.)	242
160	0,0370	0,9630	283	41,177	20,552	2,0036	W (%)	56,20
180	0,0416	0,9584	306	44,523	20,651	2,1560		
200	0,0462	0,9538	326	47,433	20,751	2,2858	<b>PESOS UNITARIOS</b>	
220	0,0508	0,9492	344	50,052	20,852	2,4004		
240	0,0554	0,9446	355	51,653	20,954	2,4651	P.UNIT. HUMEDO	1,74
260	0,0600	0,9400	349	50,780	21,057	2,4116	P. UNIT. SECO	1,11
280	0,0647	0,9353	326	47,433	21,161	2,2416	qu(kg/cm <sup>2</sup> )	2,47

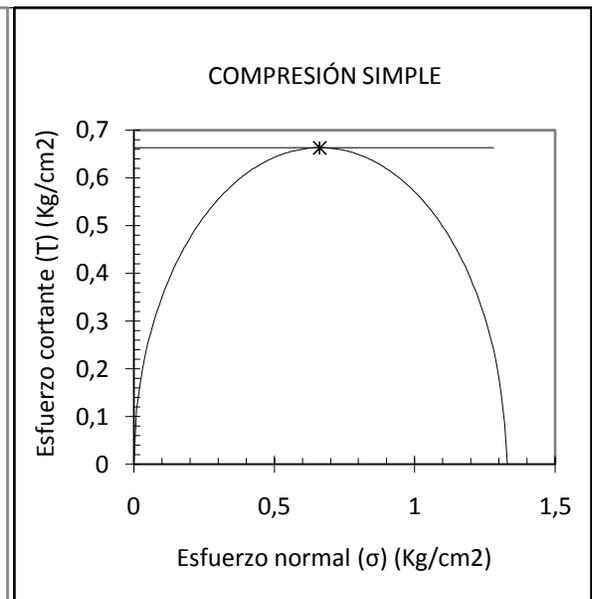
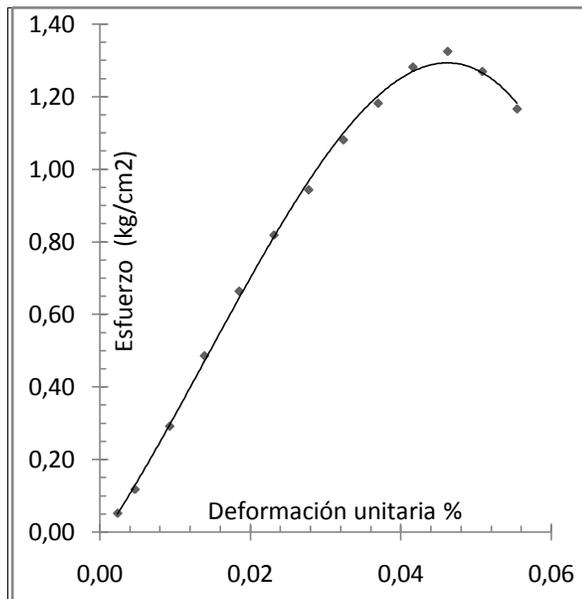


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Vereda Piso G
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Enero 23/2012

<b>Sondeo No :</b>	3
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,10 - 1,50 m
<b>Sector:</b>	3

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unit.	carga 10-4 Pulg.	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	7	1,019	19,838	0,0513	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	16	2,328	19,884	0,1171	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	40	5,820	19,977	0,2913	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	67	9,749	20,070	0,4857		
80	0,0185	0,9815	92	13,386	20,165	0,6638	<b>CONTENIDO DE AGUA</b>	
100	0,0231	0,9769	114	16,587	20,260	0,8187		
120	0,0277	0,9723	132	19,206	20,357	0,9435	PESO HUMEDO(gr.)	375,53
140	0,0323	0,9677	152	22,116	20,454	1,0813	PESO SECO(gr.)	240,16
160	0,0370	0,9630	167	24,299	20,552	1,1823	W (%)	56,37
180	0,0416	0,9584	182	26,481	20,651	1,2823		
200	0,0462	0,9538	189	27,500	20,751	1,3252	<b>PESOS UNITARIOS</b>	
220	0,0508	0,9492	182	26,481	20,852	1,2700		
240	0,0554	0,9446	168	24,444	20,954	1,1666	PU HUMEDO	1,72
							PU SECO	1,10
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	1,33

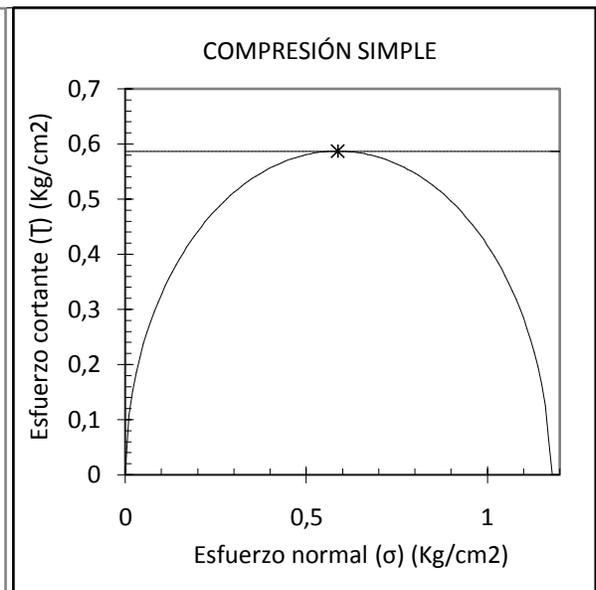
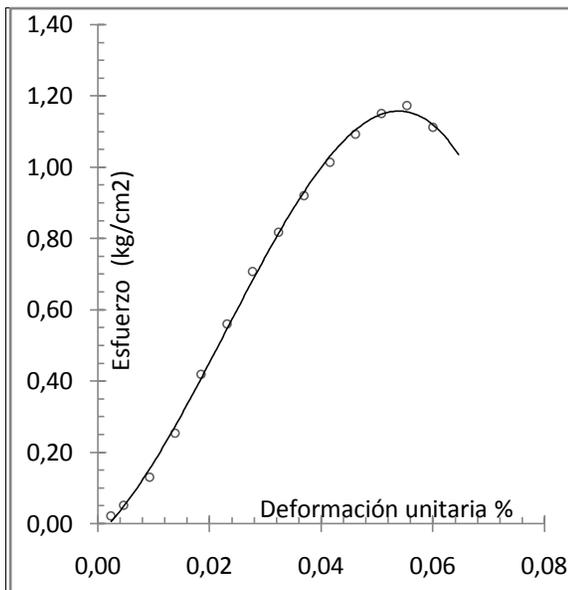


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Variante Popayán
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Febrero 20/2012

<b>Sondeo No :</b>	1
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,30-1.70 m
<b>Sector:</b>	4

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unit.	carga 10-4 Pulg.	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	3	0,437	19,838	0,0220	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	7	1,019	19,884	0,0512	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	18	2,619	19,977	0,1311	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	35	5,093	20,070	0,2537		
80	0,0185	0,9815	58	8,439	20,165	0,4185	<b>CONTENIDO DE AGUA</b>	
100	0,0231	0,9769	78	11,349	20,260	0,5602		
120	0,0277	0,9723	99	14,405	20,357	0,7076	PESO HUMEDO(gr.)	351,49
140	0,0323	0,9677	115	16,733	20,454	0,8181	PESO SECO(gr.)	212,3
160	0,0370	0,9630	130	18,915	20,552	0,9204	W (%)	65,56
180	0,0416	0,9584	144	20,952	20,651	1,0146		
200	0,0462	0,9538	156	22,698	20,751	1,0938	<b>PESOS UNITARIOS</b>	
220	0,0508	0,9492	165	24,008	20,852	1,1513		
240	0,0554	0,9446	169	24,590	20,954	1,1735	P. UNIT. HUMEDO	1,61
260	0,0600	0,9400	161	23,426	21,057	1,1125	P. UNIT. SECO	0,98
280	0,0647	0,9353	98	14,259			qu(kg/cm <sup>2</sup> )	1,17

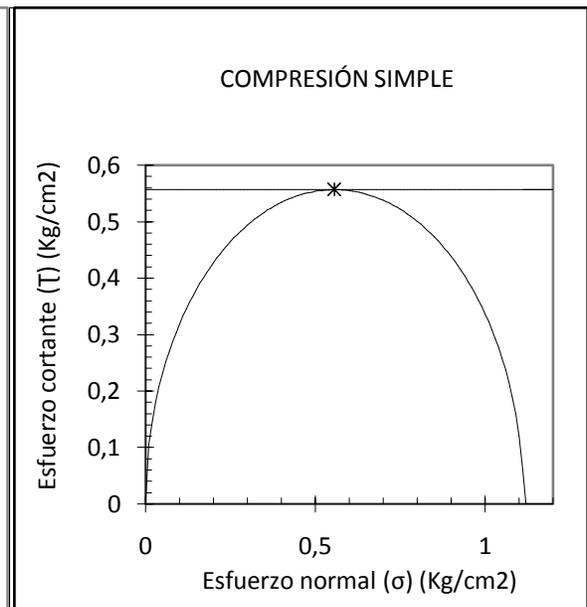
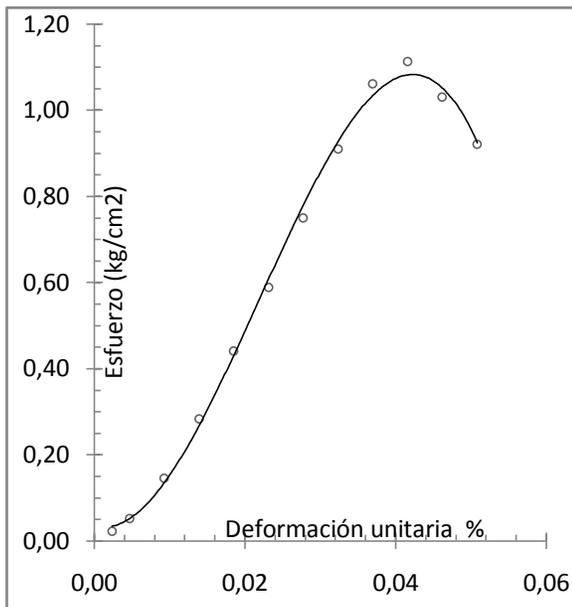


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Variante Popayán
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo
<b>Fecha:</b>	Febrero 20/2012

<b>Sondeo No :</b>	2
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1,25 -1.65 m
<b>Sector:</b>	4

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unita.	carga 10-4 Pulg,	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	3	0,437	19,838	0,0220	ALTURA(cm)	10,3
20	0,0046	0,9954	7	1,019	19,884	0,0512	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	20	2,910	19,977	0,1457	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	203,86
60	0,0139	0,9861	39	5,675	20,070	0,2827		
80	0,0185	0,9815	61	8,876	20,165	0,4401	<b>CONTENIDO DE AGUA</b>	
100	0,0231	0,9769	82	11,931	20,260	0,5889		
120	0,0277	0,9723	105	15,278	20,357	0,7505	PESO HUMEDO(gr.)	309,01
140	0,0323	0,9677	128	18,624	20,454	0,9105	PESO SECO(gr.)	178,8
160	0,0370	0,9630	150	21,825	20,552	1,0620	W (%)	72,82
180	0,0416	0,9584	158	22,989	20,651	1,1132		
200	0,0462	0,9538	147	21,389	20,751	1,0307	<b>PESOS UNITARIOS</b>	
220	0,0508	0,9492	132	19,206	20,852	0,9211		
							P.UNIT. HUMEDO	1,52
							P.UNIT. SECO	0,88
							qu (kg/cm <sup>2</sup> )	1,11

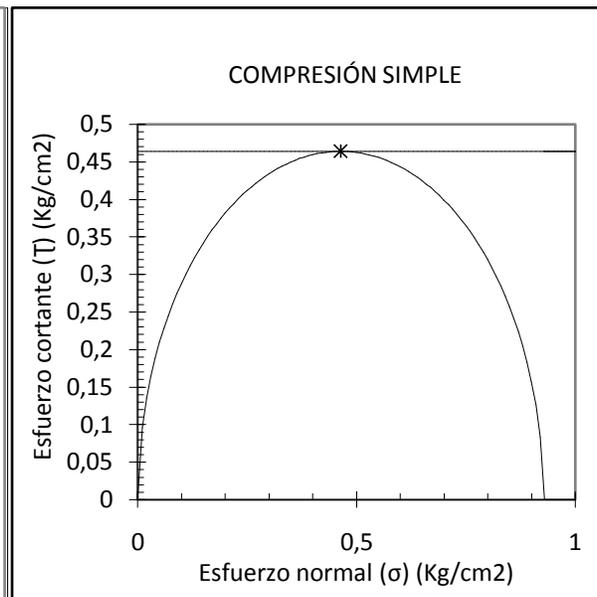
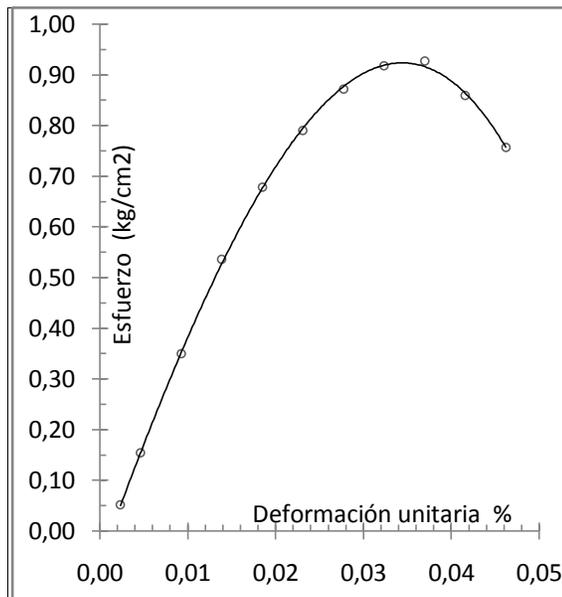


Fuente Propia.

<b>Obra :</b>	Trabajo Investigativo
<b>Localización :</b>	Variante Popayán
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Claro
<b>Fecha:</b>	Febrero 20/2012

<b>Sondeo No :</b>	3
<b>Muestra No :</b>	SH1
<b>Profundidad :</b>	1.37 – 1.77 m
<b>Sector:</b>	4

Deformac. 10 <sup>-3</sup> Pulg	Def-unit. Ah/h	1-Def. unit.	carga 10-4 Pulg.	Carga kg	Área Corregida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/ cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
							DIAMETRO(cm)	5,02
10	0,0023	0,9977	7	1,019	19,838	0,0513	ALTURA(cm)	11
20	0,0046	0,9954	21	3,056	19,884	0,1537	AREA(cm <sup>2</sup> )	19,79
40	0,0092	0,9908	48	6,984	19,977	0,3496	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )	217,72
60	0,0139	0,9861	74	10,767	20,070	0,5365		
80	0,0185	0,9815	94	13,677	20,165	0,6783	<b>CONTENIDO DE AGUA</b>	
100	0,0231	0,9769	110	16,005	20,260	0,7900		
120	0,0277	0,9723	122	17,751	20,357	0,8720	PESO HUMEDO(gr.)	357,93
140	0,0323	0,9677	129	18,770	20,454	0,9177	PESO SECO(gr.)	218,7
160	0,0370	0,9630	131	19,061	20,552	0,9274	W (%)	63,66
180	0,0416	0,9584	122	17,751	20,651	0,8596		
200	0,0462	0,9538	108	15,714	20,751	0,7573	<b>PESOS UNITARIOS</b>	
							P. UNIT. HUMEDO	1,64
							P. UNIT. SECO	1,00
							qu(kg/cm <sup>2</sup> )	0,93



Fuente Propia.

## Anexo B. Datos y resultados del ensayo de gravedad específica.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	(Tulcán) Frente al laboratorio de suelos		
<b>Fecha :</b>	Octubre 19 2011		
<b>Sector No :</b>	1		
<b>Muestra No :</b>	1		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1.0 - 1,40 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	20,5	20,5	20,5
<b>Matraz No.</b>	5	6	7
<b>Peso Matraz + Agua</b>	656,55	656,28	657,99
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	685,01	684,38	686,35
<b>Peso Seco</b>	44,3	43,82	44,14
<b>Factor De Corrección (K)</b>	1	1	1
<b>Volumen Desalojado</b>	15,84	15,72	15,78
<b>Gravedad Específica</b>	2,80	2,79	2,80
		Promedio	2,79

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	(Tulcán) Frente al laboratorio de suelos		
<b>Fecha :</b>	Octubre 19 2011		
<b>Sector No :</b>	1		
<b>Muestra No :</b>	2		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,20 - 1,60 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	23,5	23,5	23,5
<b>Matraz No.</b>	1	2	3
<b>Peso Matraz + Agua</b>	660,88	663,94	659,53
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	689,09	692	691,82
<b>Peso Seco</b>	45,95	45,69	47,23
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9993	0,9993	0,9993
<b>Volumen Desalojado</b>	17,74	17,63	14,94
<b>Gravedad Específica</b>	2,59	2,59	3,16
		Promedio	2,78

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	(Tulcán) Frente al laboratorio de suelos		
<b>Fecha :</b>	Octubre 21 de 2011		
<b>Sector No :</b>	1		
<b>Muestra No :</b>	3		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,20 - 1,60 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	23,5	23,5	23
<b>Matraz No.</b>	9	10	11
<b>Peso Matraz + Agua</b>	643	633,53	651,37
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	672	661,56	679,96
<b>Peso Seco</b>	45,04	44,83	44,48
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9993	0,9993	0,9993
<b>Volumen Desalojado</b>	16,04	16,8	15,89
<b>Gravedad Específica</b>	2,81	2,67	2,80
		Promedio	2,76

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Vereda la Martha		
<b>Fecha :</b>	Noviembre 1- 2011		
<b>Sector No :</b>	2		
<b>Muestra No :</b>	1		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,10 - 1,50 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	25,9	25,5	24,9
<b>Matraz No.</b>	5	6	7
<b>Peso Matraz + Agua</b>	655,86	655,6	657,4
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	683,75	686,18	687,97
<b>Peso Seco</b>	43,47	47,59	47,67
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9989	0,9989	0,9991
<b>Volumen Desalojado</b>	15,58	17,01	17,1
<b>Gravedad Específica</b>	2,79	2,79	2,79
		Promedio	2,79

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Vereda la Martha		
<b>Fecha :</b>	Noviembre 3 - 2011		
<b>Sector No :</b>	2		
<b>Muestra No :</b>	2		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,30 - 1,70 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	22,5	23	23
<b>Matraz No.</b>	10	11	12
<b>Peso Matraz + Agua</b>	633,67	651,37	647,01
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	657,1	676,14	672,44
<b>Peso Seco</b>	39,87	40,48	41,53
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9996	0,9993	0,9993
<b>Volumen Desalojado</b>	16,44	15,71	16,1
<b>Gravedad Específica</b>	2,42	2,57	2,58
		Promedio	2,53

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Vereda la Martha		
<b>Fecha :</b>	Noviembre 3 - 2011		
<b>Sector No :</b>	2		
<b>Muestra No :</b>	3		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,30 - 1,70 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	21	21	21
<b>Matraz No.</b>	4	9	13
<b>Peso Matraz + Agua</b>	652,14	643,34	643,96
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	678,61	669,76	669,45
<b>Peso Seco</b>	43,2	42,79	41,62
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9998	0,9998	0,9998
<b>Volumen Desalojado</b>	16,73	16,37	16,13
<b>Gravedad Específica</b>	2,58	2,61	2,58
		Promedio	2,59

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Piso G		
<b>Fecha :</b>	Enero 31- 2012		
<b>Sector No :</b>	3		
<b>Muestra No :</b>	1		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,30 - 1,70 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	24	24	23,5
<b>Matraz No.</b>	1	2	3
<b>Peso Matraz + Agua</b>	660,8	663,88	659,52
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	689,4	692,6	689
<b>Peso Seco</b>	44,4	44,7	44,7
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9991	0,9991	0,9993
<b>Volumen Desalojado</b>	15,8	15,98	15,22
<b>Gravedad Específica</b>	2,81	2,79	2,93
		Promedio	2,85

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Piso G		
<b>Fecha :</b>	Febrero 1 - 2012		
<b>Sector No :</b>	3		
<b>Muestra No :</b>	2		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,30 - 1,70 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	18,3	18,2	18,3
<b>Matraz No.</b>	11	12	13
<b>Peso Matraz + Agua</b>	652,1	647,71	644,3
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	680,4	677	673,2
<b>Peso Seco</b>	43,8	45,2	44,6
<b>Factor De Corrección (K)</b>	1,0004	1,0004	1,0004
<b>Volumen Desalojado</b>	15,5	15,91	15,7
<b>Gravedad Específica</b>	2,83	2,84	2,84
		Promedio	2,84

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Piso G		
<b>Fecha :</b>	Febrero 1 - 2012		
<b>Sector No :</b>	3		
<b>Muestra No :</b>	3		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,10 - 1,50 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	21	21	21
<b>Matraz No.</b>	4	5	6
<b>Peso Matraz + Agua</b>	652,12	656,5	656,2
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	681,1	685,4	685,5
<b>Peso Seco</b>	44,2	44,3	44,9
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9998	0,9998	0,9998
<b>Volumen Desalojado</b>	15,22	15,4	15,6
<b>Gravedad Específica</b>	2,90	2,88	2,88
		Promedio:	2,89

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Variante Popayán		
<b>Fecha :</b>	Febrero 22 - 2012		
<b>Sector No :</b>	4		
<b>Muestra No :</b>	1		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,30 - 1,70 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	22	22	22,5
<b>Matraz No.</b>	1	3	4
<b>Peso Matraz + Agua</b>	661,1	659,7	651,95
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	687,2	686,2	678,9
<b>Peso Seco</b>	41,2	41	41,9
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9996	0,9996	0,9996
<b>Volumen Desalojado</b>	15,1	14,5	14,95
<b>Gravedad Específica</b>	2,73	2,83	2,80
		Promedio:	2,79

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Variante Popayán		
<b>Fecha :</b>	Febrero 23 - 2012		
<b>Sector No :</b>	4		
<b>Muestra No :</b>	2		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Rojizo		
<b>Profundidad :</b>	1,25 - 1,65 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	223	23,5	23
<b>Matraz No.</b>	7	9	10
<b>Peso Matraz + Agua</b>	657,65	643	633,6
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	685,9	672,9	662,2
<b>Peso Seco</b>	45,4	48,2	47,2
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9974	0,9993	0,9993
<b>Volumen Desalojado</b>	17,15	18,3	18,6
<b>Gravedad Específica</b>	2,64	2,63	2,54
		Promedio:	2,60

Fuente Propia.

### Gravedad Específica

<b>Proyecto :</b>	Trabajo Investigativo		
<b>Ubicación :</b>	Variante Popayán		
<b>Fecha :</b>	Febrero 23 - 2012		
<b>Sector No :</b>	4		
<b>Muestra No :</b>	3		
<b>Descripción :</b>	Suelo Amarillo Claro		
<b>Profundidad :</b>	1.37 – 1.77 m		
<b>Prueba</b>	1	2	3
<b>Temperatura</b>	26	26	27
<b>Matraz No.</b>	11	12	13
<b>Peso Matraz + Agua</b>	650,91	646,55	643,1
<b>Peso Matraz + Agua + Suelo</b>	684,6	679,6	676,7
<b>Peso Seco</b>	53,2	52,2	53
<b>Factor De Corrección (K)</b>	0,9986	0,9986	0,9983
<b>Volumen Desalojado</b>	19,51	19,15	19,4
<b>Gravedad Específica</b>	2,72	2,72	2,73
		Promedio:	2,72

Fuente Propia.

## Anexo C. Datos y resultados ensayo límites de consistencia

### LÍMITES DE CONSISTENCIA (SECTOR 1 - SONDEO 1)

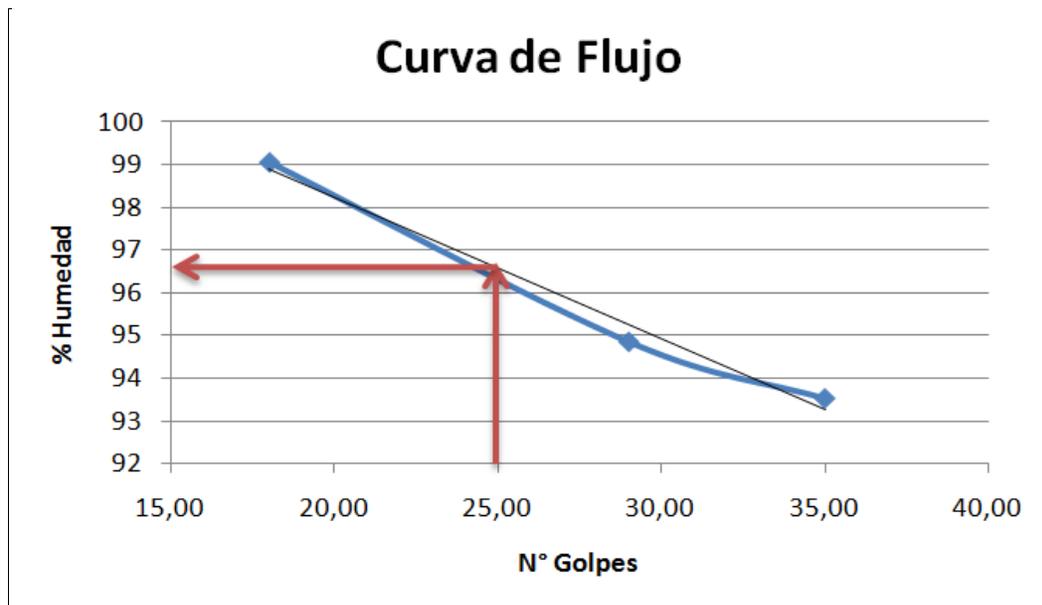
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	35,00	29,00	18,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	12,22	14,93	10,73	14,42	14,11	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	37,09	38,06	40,07	32,37	30,34	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	25,07	26,80	25,47	26,83	25,35	
W Agua (gr)	12,02	11,26	14,60	5,54	4,99	
W Suelo Seco	12,85	11,87	14,74	12,41	11,24	
% Humedad	93,5	94,9	99,1	44,6	44,4	

RESULTADOS	
Límite Líquido	96,5
Límite Plástico	44,5
Límite De Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	52,0
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(Sector 1 – Sondeo 2)**

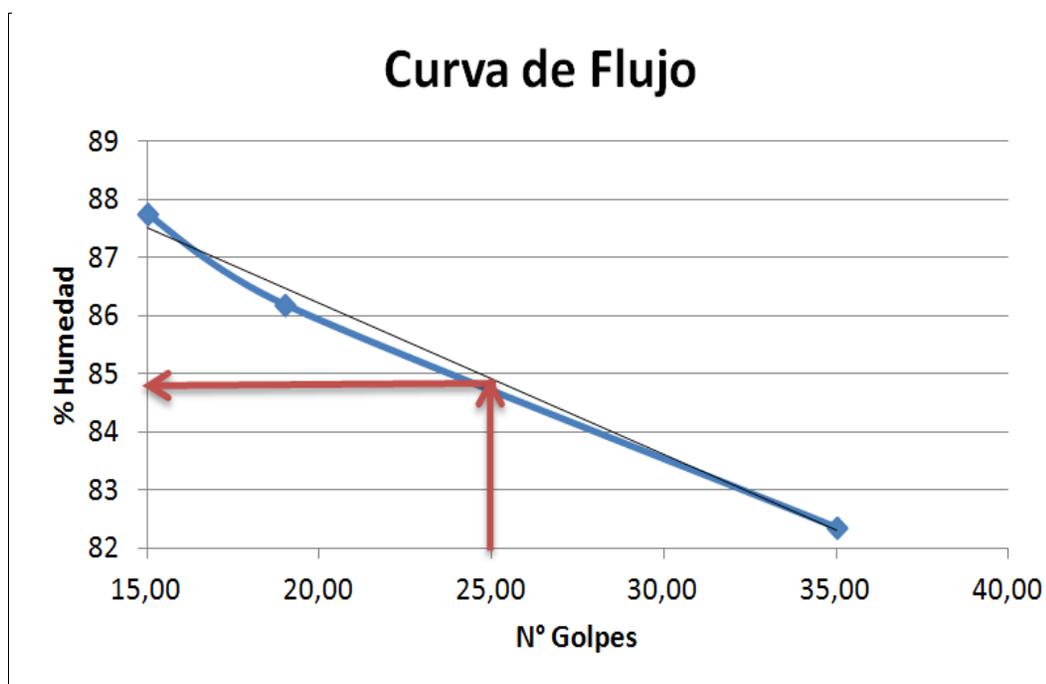
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	35,00	19,00	15,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	12,19	12,32	14,21	14,14	11,37	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	41,44	46,84	39,82	31,84	28,84	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	28,23	30,86	27,85	26,46	23,53	
W Agua (gr)	13,21	15,98	11,97	5,38	5,31	
W Suelo Seco	16,04	18,54	13,64	12,32	12,16	
% Humedad	82,4	86,2	87,80	43,7	43,7	

RESULTADOS	
Límite Líquido	84,8
Límite Plástico	43,7
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	41,1
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limos de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 1 – SONDEO 3)**

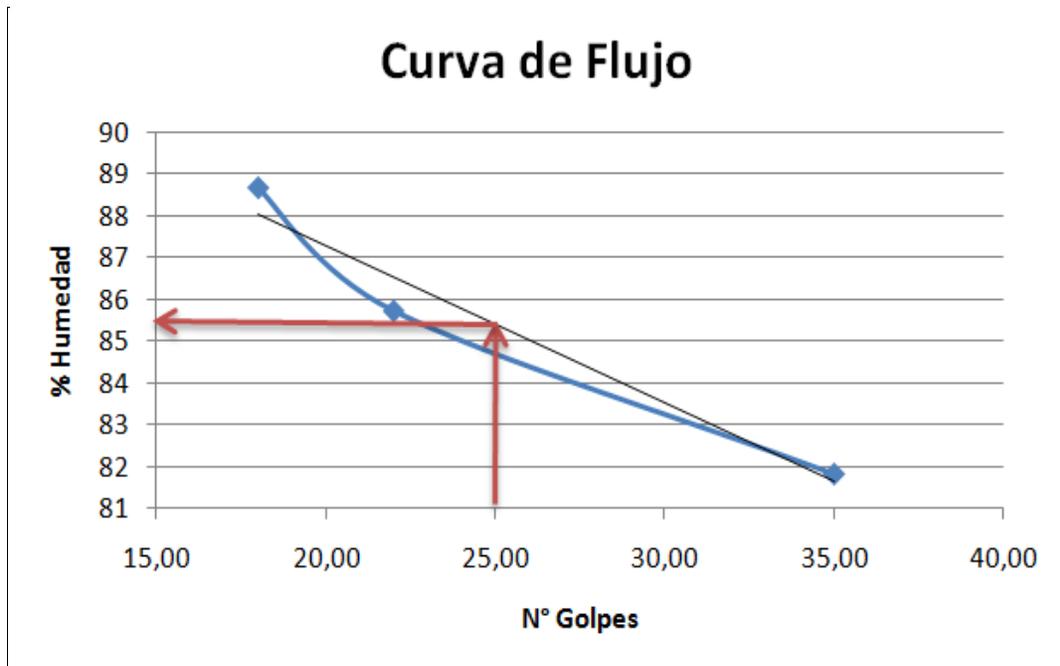
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	35,00	22,00	18,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	11,94	14,12	12,34	12,94	16,30	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	43,05	46,51	47,96	29,98	32,53	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	29,05	31,56	31,22	24,54	27,39	
W Agua (gr)	14,00	14,95	16,74	5,44	5,14	
W Suelo Seco	17,11	17,44	18,88	11,60	11,09	
% Humedad	81,8	85,7	88,70	46,9	46,3	

RESULTADOS	
Límite Líquido	85,4
Límite Plástico	46,6
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	38,8
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limos de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 2 – SONDEO 1)**

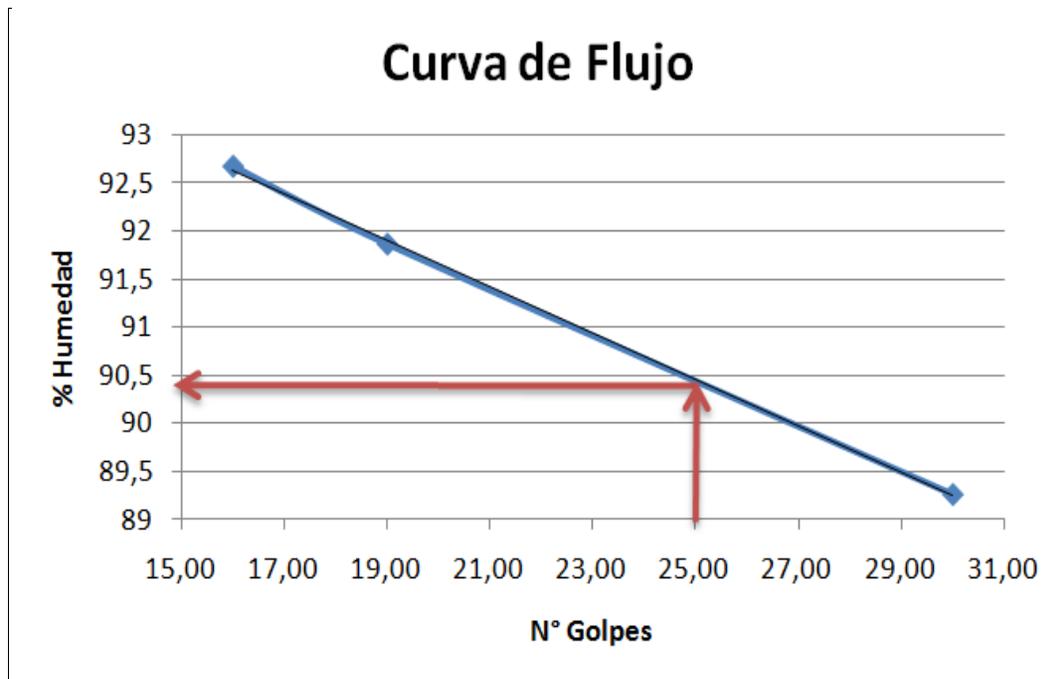
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	3	4	1	2	3
No. De golpes	30,00	19,00	16,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	12,33	11,95	15,44	12,34	12,75	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	38,94	36,24	40,95	32,84	32,20	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	26,39	24,61	28,68	26,21	25,92	
W Agua (gr)	12,55	11,63	12,27	6,63	6,28	
W Suelo Seco	14,06	12,66	13,24	13,87	13,17	
% Humedad	89,3	91,9	92,7	47,8	47,7	

RESULTADOS	
Límite Líquido	90,4
Límite Plástico	47,7
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	42,7
Índice de Fluidéz	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES
Material limo arcilloso
Limo de alta compresibilidad



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 2 – SONDEO 2)**

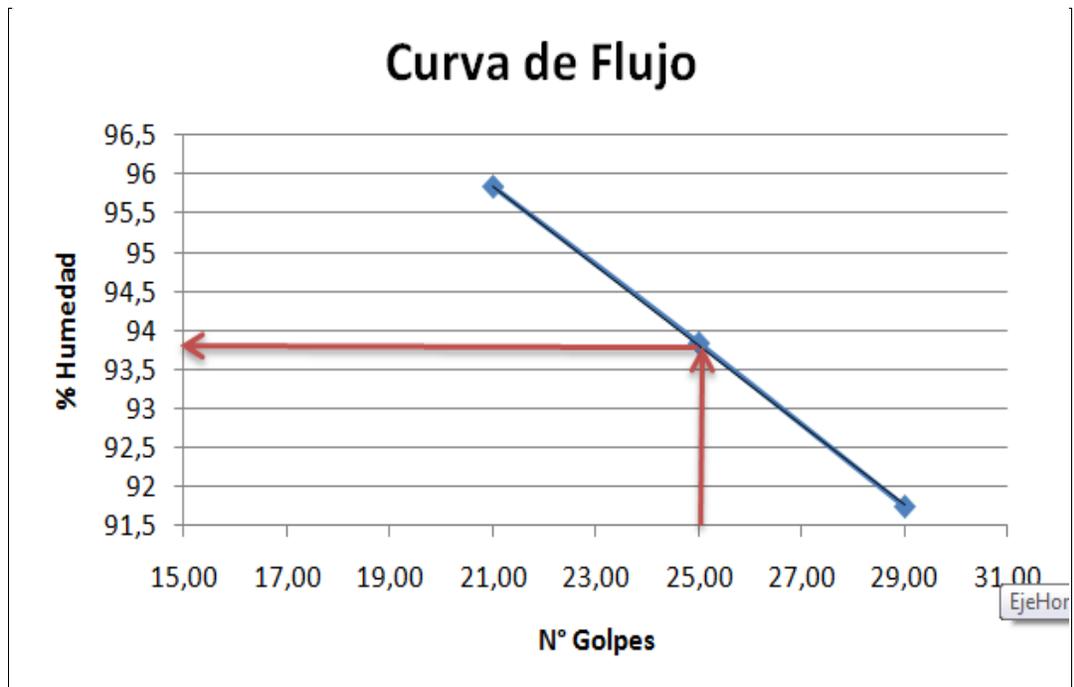
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	29,00	25,00	21,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	15,44	11,92	11,95	12,33	12,33	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	40,06	35,82	34,55	36,75	38,66	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	28,28	24,25	23,49	26,69	27,77	
W Agua (gr)	11,78	11,57	11,06	10,06	10,89	
W Suelo Seco	12,84	12,33	11,54	14,36	15,44	
% Humedad	91,7	93,8	95,80	70,1	70,5	

RESULTADOS	
Límite Líquido	93,8
Límite Plástico	70,3
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	23,5
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 2- SONDEO 3)**

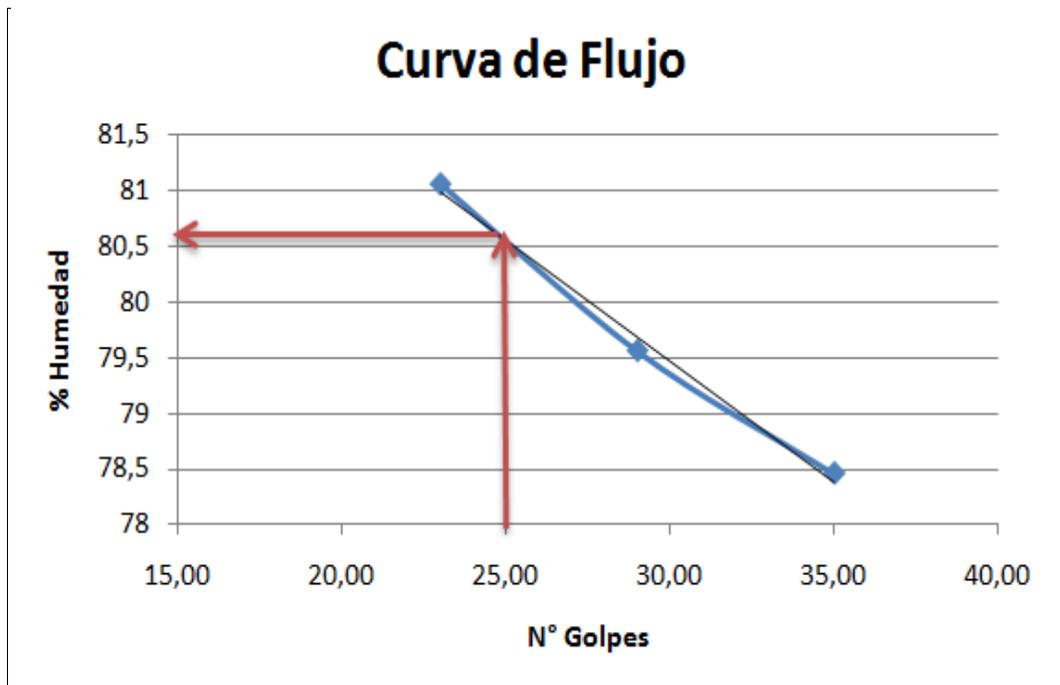
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	35,00	29,00	23,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	11,11	14,42	15,23	15,07	14,33	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	38,20	39,63	42,66	37,36	34,90	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	26,29	28,46	30,38	29,02	27,19	
W Agua (gr)	11,91	11,17	12,28	8,34	7,71	
W Suelo Seco	15,18	14,04	15,15	13,95	12,86	
% Humedad	78,5	79,6	81,1	59,8	60	

RESULTADOS	
Límite Líquido	80,6
Límite Plástico	59,9
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	20,7
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES
Material limo arcilloso
Limo de alta compresibilidad



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 3 – SONDEO 1)**

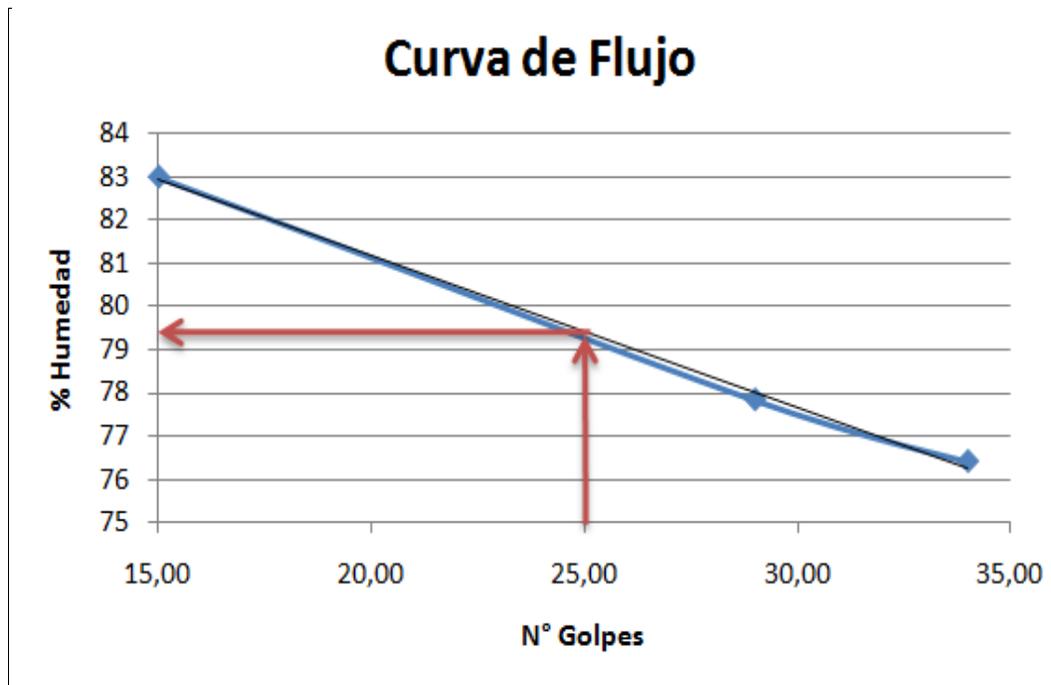
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	15,00	29,00	34,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	11,92	12,33	15,23	14,32	13,11	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	43,56	45,48	48,22	46,96	39,93	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	29,21	30,97	33,93	36,49	31,32	
W Agua (gr)	14,35	14,51	14,29	10,47	8,61	
W Suelo Seco	17,29	18,64	18,70	22,17	18,21	
% Humedad	83	77,8	76,4	47,2	47,3	

RESULTADOS	
Límite Líquido	79,4
Límite Plástico	47,3
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	32,1
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 3 – SONDEO 2)**

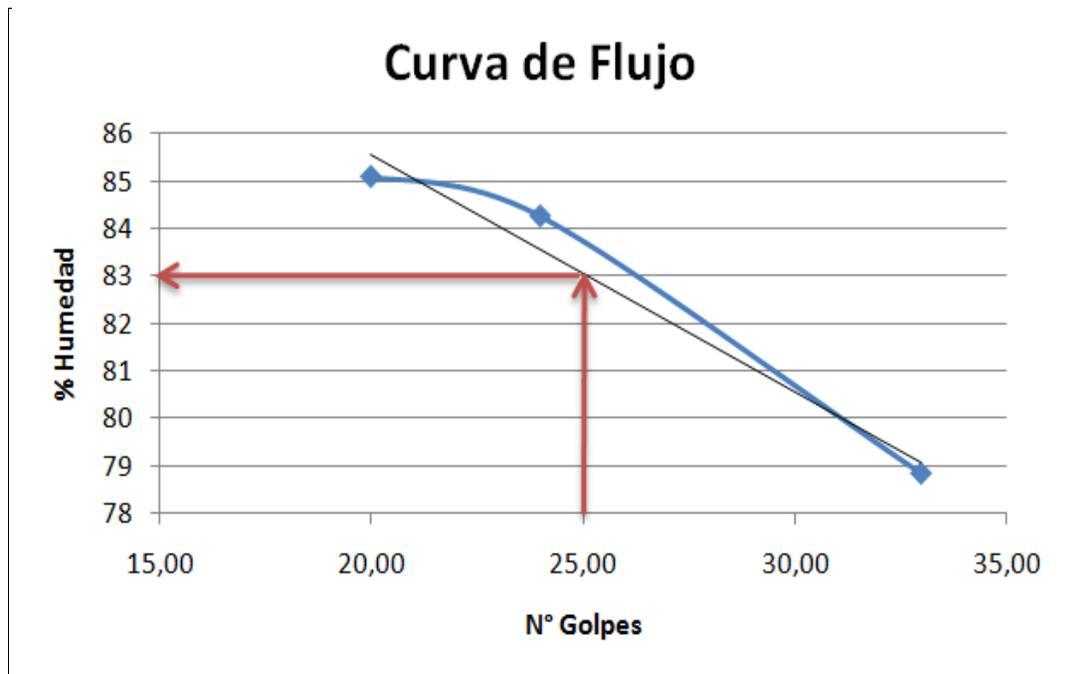
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	33,00	24,00	20,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	15,08	12,84	11,96	12,74	11,10	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	39,17	44,46	41,39	37,92	34,75	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	28,55	30,00	27,86	29,15	26,52	
W Agua (gr)	10,62	14,46	13,53	8,77	8,23	
W Suelo Seco	13,47	17,16	15,90	16,41	15,42	
% Humedad	78,8	84,3	85,10	53,4	53,4	

RESULTADOS	
Límite Líquido	83,0
Límite Plástico	53,4
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	29,6
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 3 – SONDEO 3)**

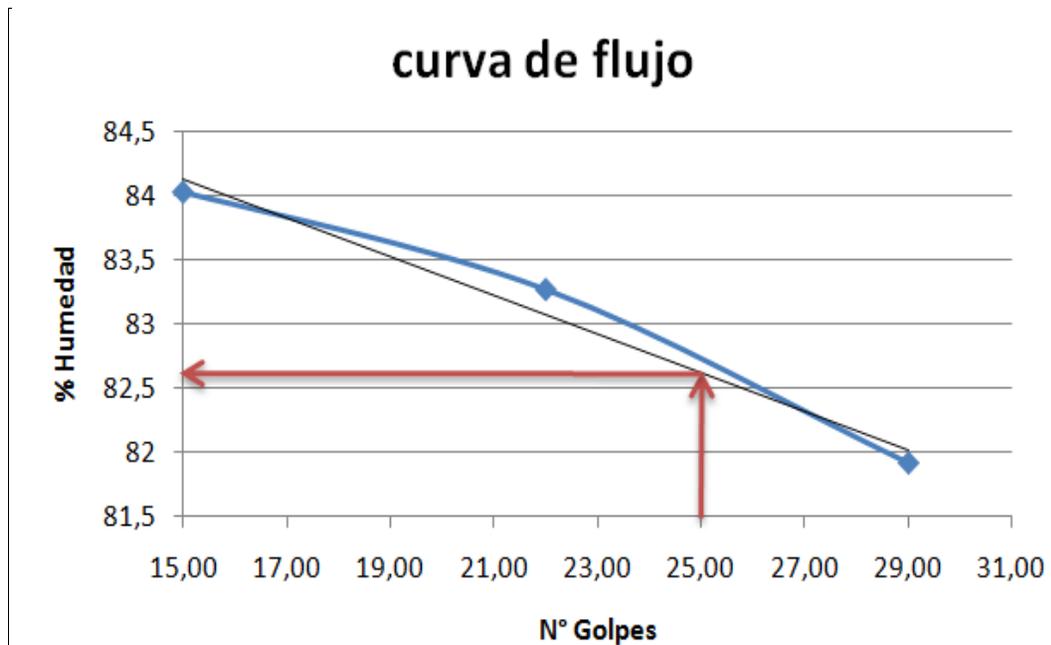
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	29,00	22,00	15,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	14,54	15,16	14,81	12,11	11,26	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	44,63	43,75	48,10	36,23	34,54	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	31,08	30,76	32,90	28,21	26,80	
W Agua (gr)	13,55	12,99	15,20	8,02	7,74	
W Suelo Seco	16,54	15,60	18,09	16,10	15,54	
% Humedad	81,9	83,3	84	49,8	49,8	

RESULTADOS	
Límite Líquido	82,7
Límite Plástico	49,8
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	32,9
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 4 – SONDEO 1)**

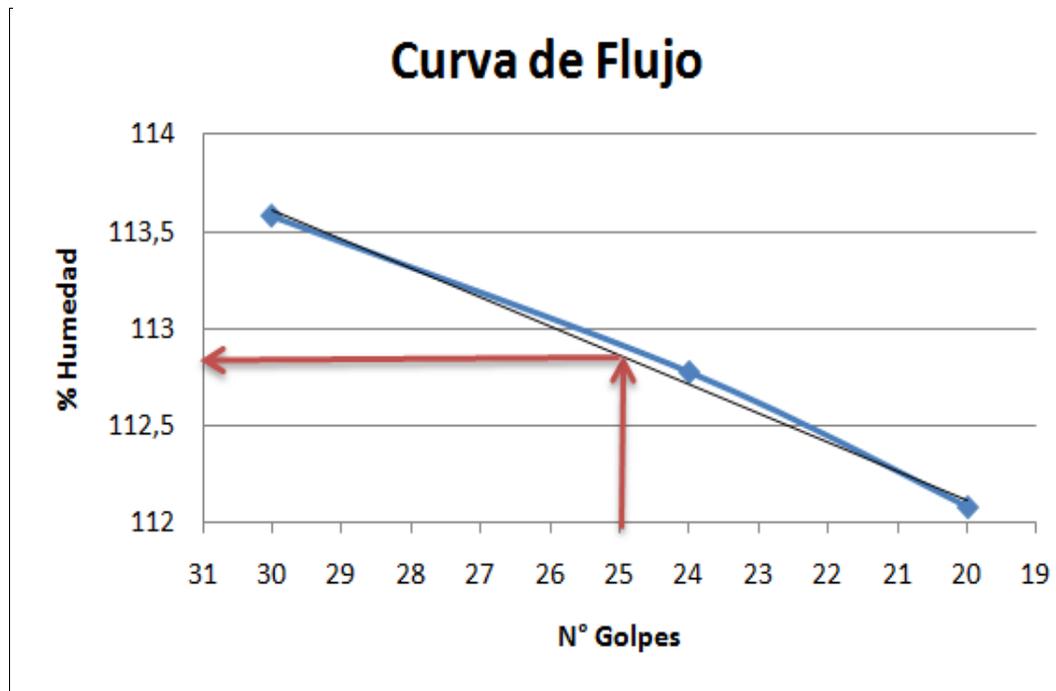
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	30,00	24,00	20,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	15,33	14,73	11,98	14,20	11,98	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	31,37	38,71	35,50	33,60	30,04	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	22,84	26,00	23,07	25,63	22,57	
W Agua (gr)	8,53	12,71	12,43	7,97	7,47	
W Suelo Seco	7,51	11,27	11,09	11,43	10,59	
% Humedad	114	113	112	69,7	70,5	

RESULTADOS	
Límite Líquido	112,8
Límite Plástico	70,1
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	42,7
Índice de Fluidez	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 4 – SONDEO 2)**

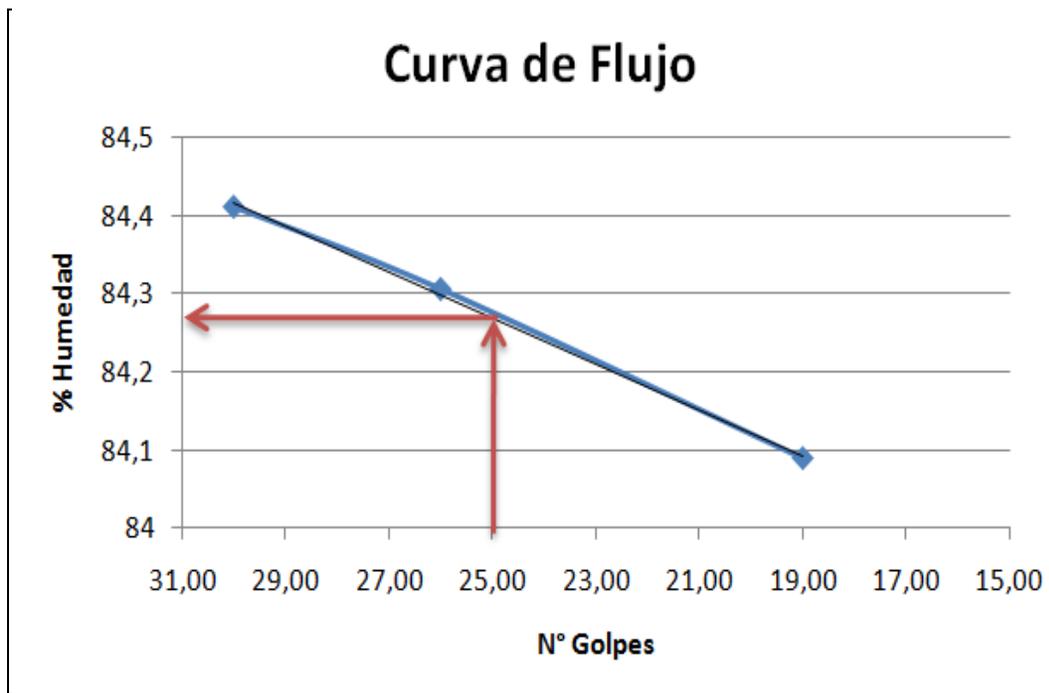
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	19,00	26,00	30,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	13,15	11,19	12,47	12,25	15,55	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	34,67	39,61	36,13	31,82	33,21	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	24,84	26,61	25,30	24,46	26,60	
W Agua (gr)	9,83	13,00	10,83	7,36	6,61	
W Suelo Seco	11,69	15,42	12,83	12,21	11,05	
% Humedad	84,1	84,3	84,4	60,3	59,8	

RESULTADOS	
Límite Líquido	84,3
Límite Plástico	60,0
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	24,2
Índice de Fluidéz	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(SECTOR 4 – SONDEO 3)**

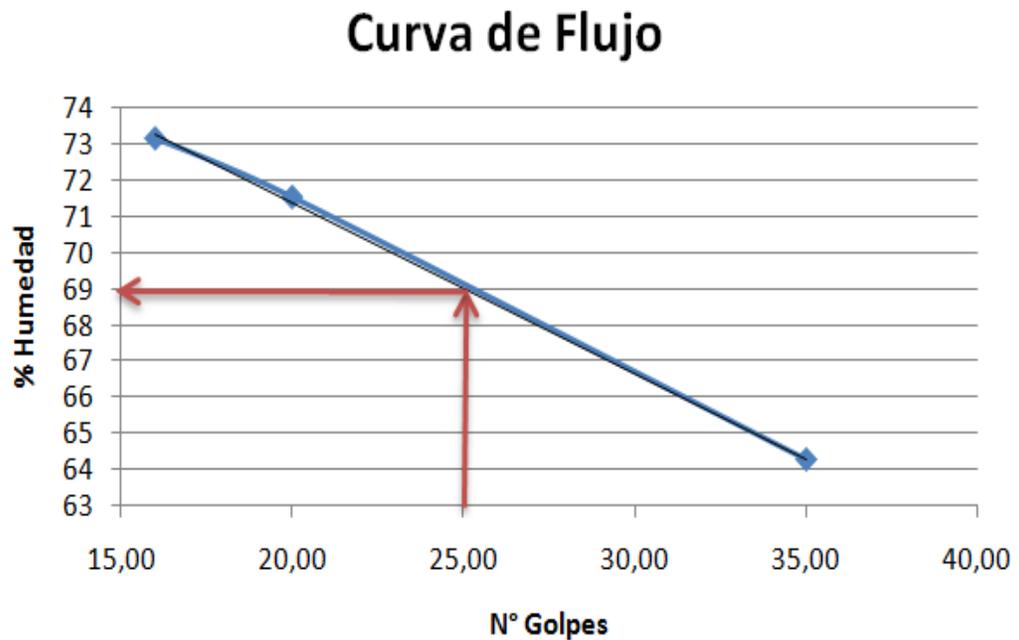
PRUEBA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. De golpes	35,00	20,00	16,00	.....	.....	.....
W Recipiente (gr)	15,13	14,30	11,66	11,45	11,15	
W Recipiente + Suelo húmedo (gr)	35,35	42,48	41,89	45,48	42,96	
W Recipiente + Suelo Seco (gr)	27,44	30,73	29,12	35,23	33,37	
W Agua (gr)	7,91	11,75	12,77	10,25	9,59	
W Suelo Seco	12,31	16,43	17,46	23,78	22,22	
% Humedad	64,3	71,5	73,1	43,1	43,2	

RESULTADOS	
Límite Líquido	69,0
Límite Plástico	43,1
Límite de Contracción	

ÍNDICES	
Índice de Plasticidad	25,9
Índice de Fluidéz	
Índice de Tenacidad	

CLASIFICACIÓN	
A.A.S.H.T.O	A-7-5
U.S.C.E.	MH

OBSERVACIONES	
Material limo arcilloso	
Limo de alta compresibilidad	



Fuente Propia.

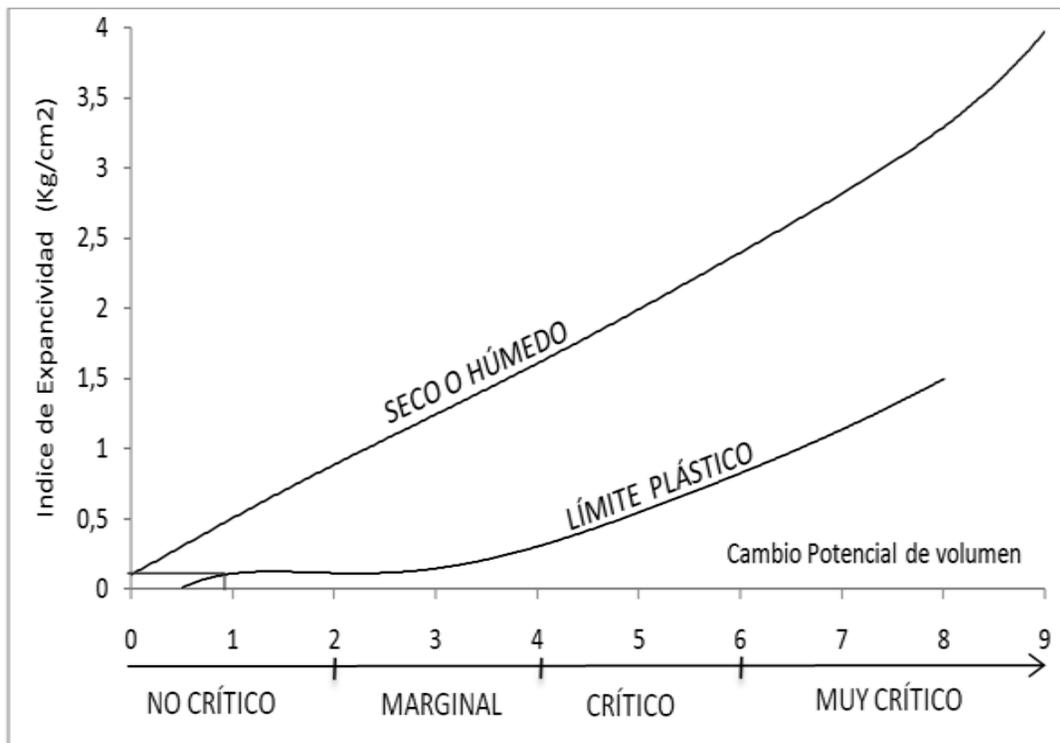
## Anexo D. Datos y resultados ensayo presión de expansión.

### PRESION DE EXPANSIÓN (SECTOR: 1 – SONDEO: 1)

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,48
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	44,48
	Después del ensayo	46,21

Peso del anillo (gr)	242,6
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	342,93
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	344,13
Peso anillo + muestra seca (gr)	312,04
Peso de sólidos (gr)	69,44

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0,5	0,0202
4	0,5	0,0202
5	0,5	0,0202
10	1	0,0403
15	1	0,0403
30	1,5	0,0605
60	1,5	0,0605
90	2	0,0806
120	2	0,0806



Fuente Propia.

#### OBSERVACIONES:

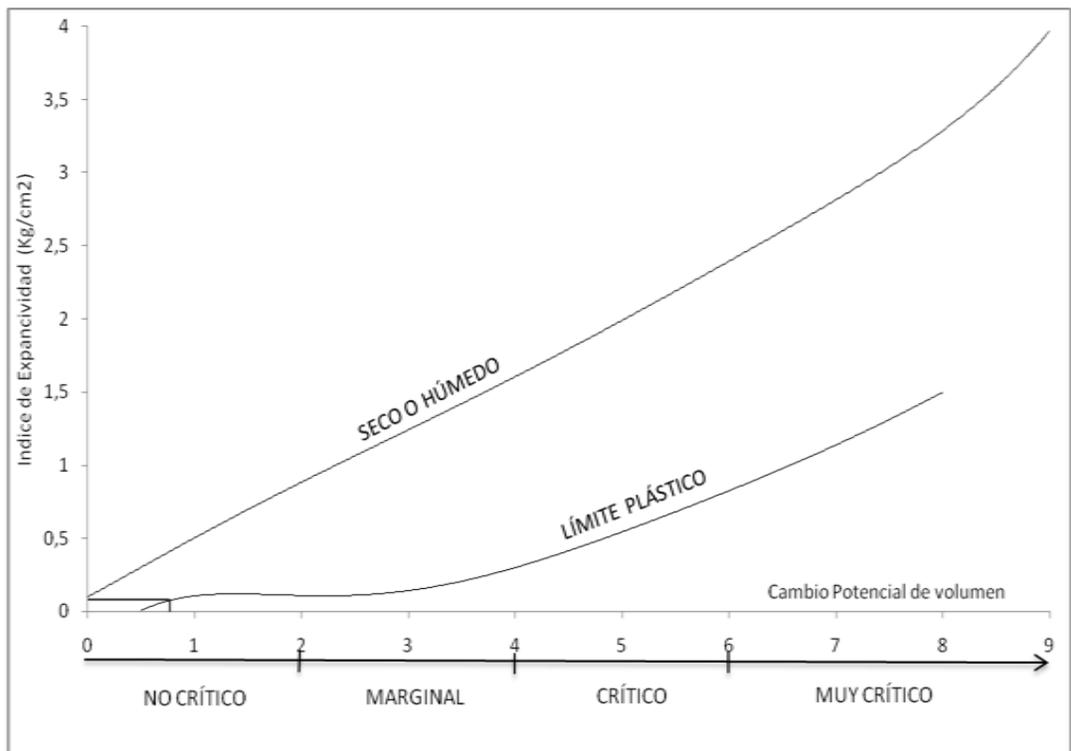
Máxima presión de expansión 0,0806 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 1 – SONDEO: 2)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	38,90
	Después del ensayo	40,58

Peso del anillo (gr)	240,45
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	344,21
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	345,46
Peso anillo + muestra seca (gr)	315,15
Peso de sólidos (gr)	74,70

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0,5	0,0202
3	0,5	0,0202
4	0,5	0,0202
5	0,5	0,0202
10	1	0,0403
15	1	0,0403
30	1	0,0403
60	1,5	0,0605
90	1,5	0,0605
120	2	0,0806



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

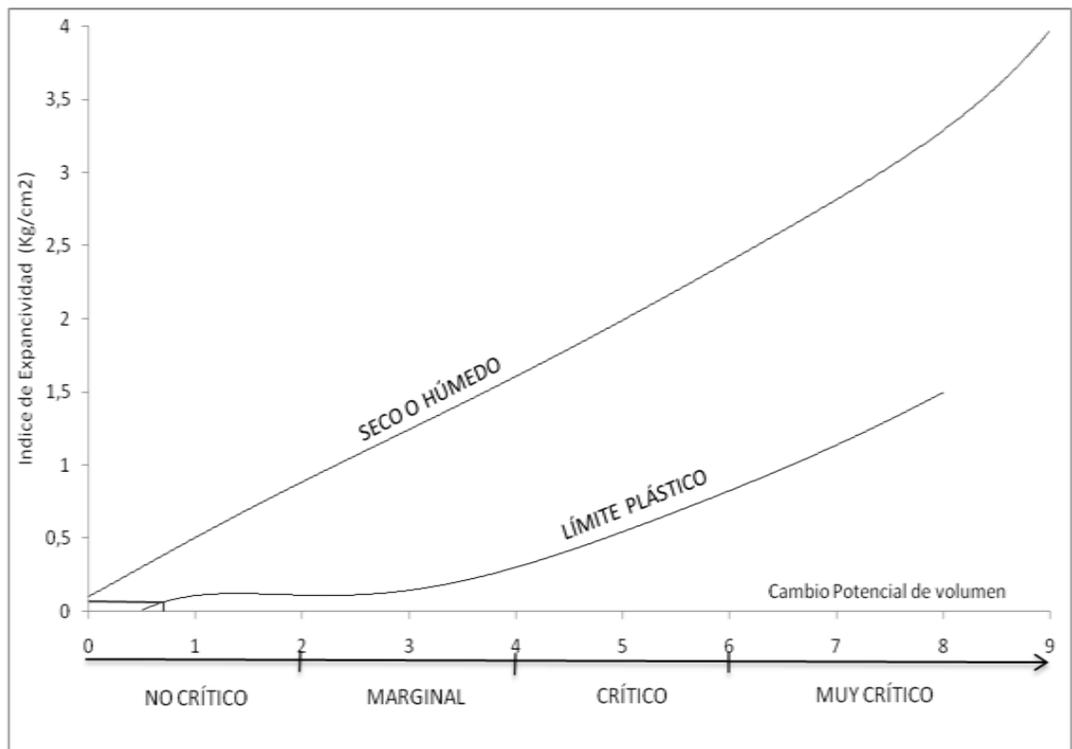
Máxima presión de expansión 0,0806 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 1 – SONDEO: 3)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	41,96
	Después del ensayo	43,60

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0000
4	0	0,0000
5	0,5	0,0202
10	0,5	0,0202
15	0,5	0,0202
30	1	0,0403
60	1	0,0403
90	1	0,0403
120	1,5	0,0605

Peso del anillo (gr)	242,6
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	345,12
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	346,31
Peso anillo + muestra seca (gr)	314,82
Peso de sólidos (gr)	72,22



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

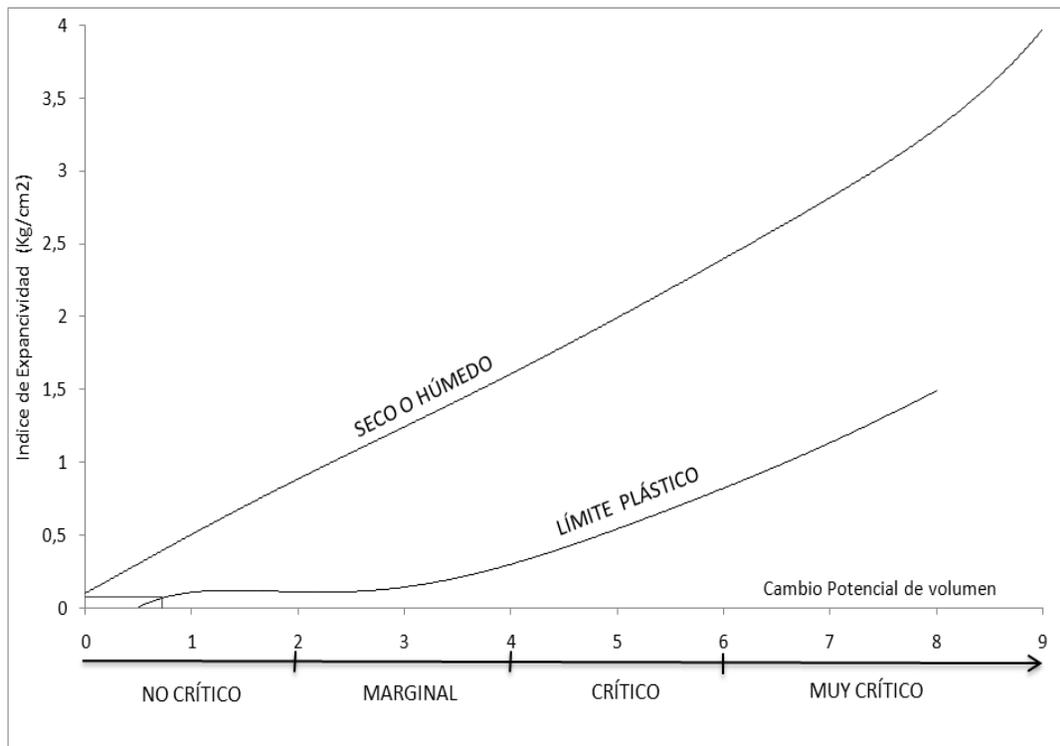
Máxima presión de expansión 0,0605 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANSIÓN  
(SECTOR: 2 – SONDEO: 1)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	45,60
	Después del ensayo	52,44

Peso del anillo (gr)	240,45
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	333,46
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	337,83
Peso anillo + muestra seca (gr)	304,33
Peso de sólidos (gr)	63,88

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0000
4	0,5	0,0202
5	0,5	0,0202
10	0,5	0,0202
15	1	0,0403
30	1	0,0403
60	1,5	0,0605
90	1,5	0,0605
120	2	0,0806



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

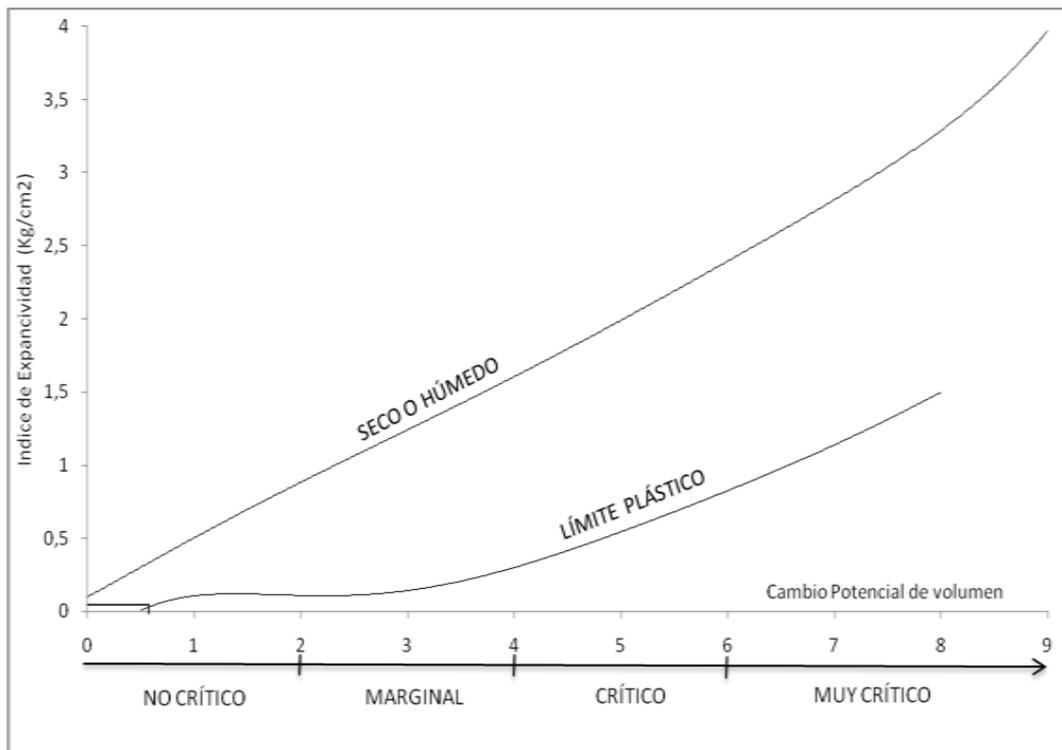
Máxima presión de expansión 0,0806 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 2 – SONDEO: 2)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	52,58
	Después del ensayo	56,67

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0000
4	0	0,0000
5	0	0,0000
10	0	0,0000
15	0	0,0000
30	0	0,0000
60	0,5	0,0202
90	0,5	0,0202
120	1	0,0403

Peso del anillo (gr)	240,45
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	332,96
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	335,44
Peso anillo + muestra seca (gr)	301,08
Peso de sólidos (gr)	60,63



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

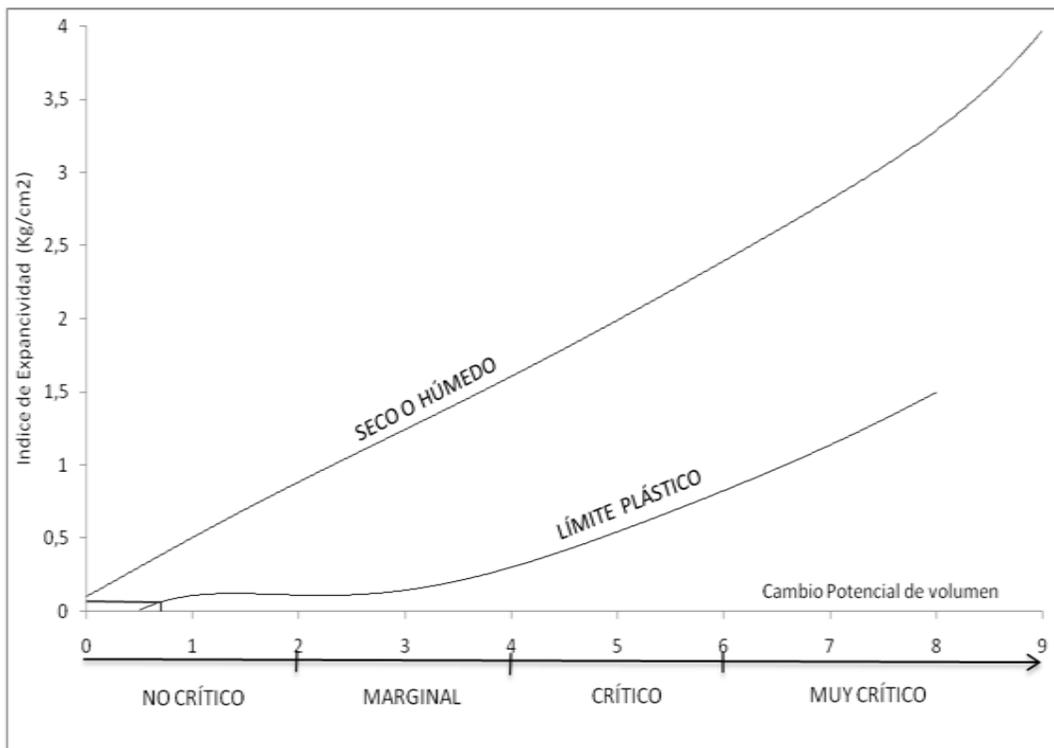
Máxima presión de expansión 0,0403 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANSIÓN  
(SECTOR: 2 – SONDEO: 3)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	59,04
	Después del ensayo	60,38

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0000
4	0	0,0000
5	0	0,0000
10	0	0,0000
15	0	0,0000
30	0,5	0,0202
60	0,5	0,0202
90	1	0,0403
120	1,5	0,0605

Peso del anillo (gr)	242,6
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	339,93
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	340,75
Peso anillo + muestra seca (gr)	303,80
Peso de sólidos (gr)	61,20



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

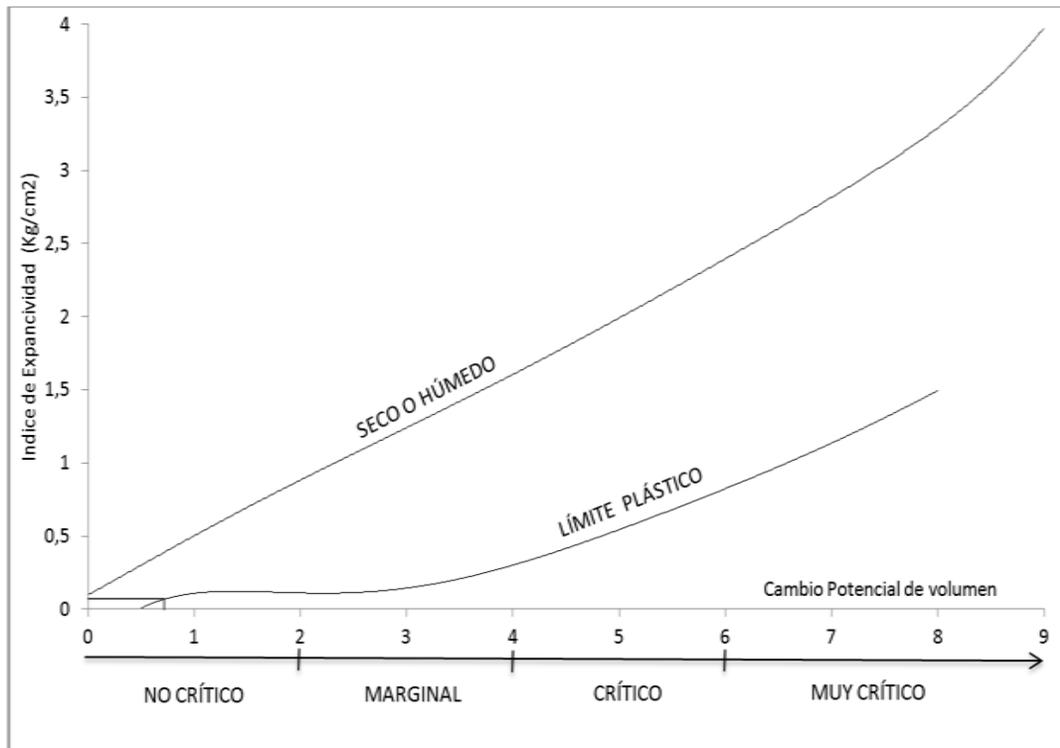
Máxima presión de expansión 0,0605 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 3 – SONDEO: 1)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
	Densidad seca(gr/cm <sup>2</sup> )	1,13
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	45,83
	Después del ensayo	49,86

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0,5	0,0202
4	0,5	0,0202
5	0,5	0,0202
10	1	0,0403
15	1	0,0403
30	1	0,0403
60	1	0,0403
90	1,5	0,0605
120	1,5	0,0605

Peso del anillo (gr)	240,45
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	341,80
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	344,60
Peso anillo + muestra seca (gr)	309,95
Peso de sólidos (gr)	69,50



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

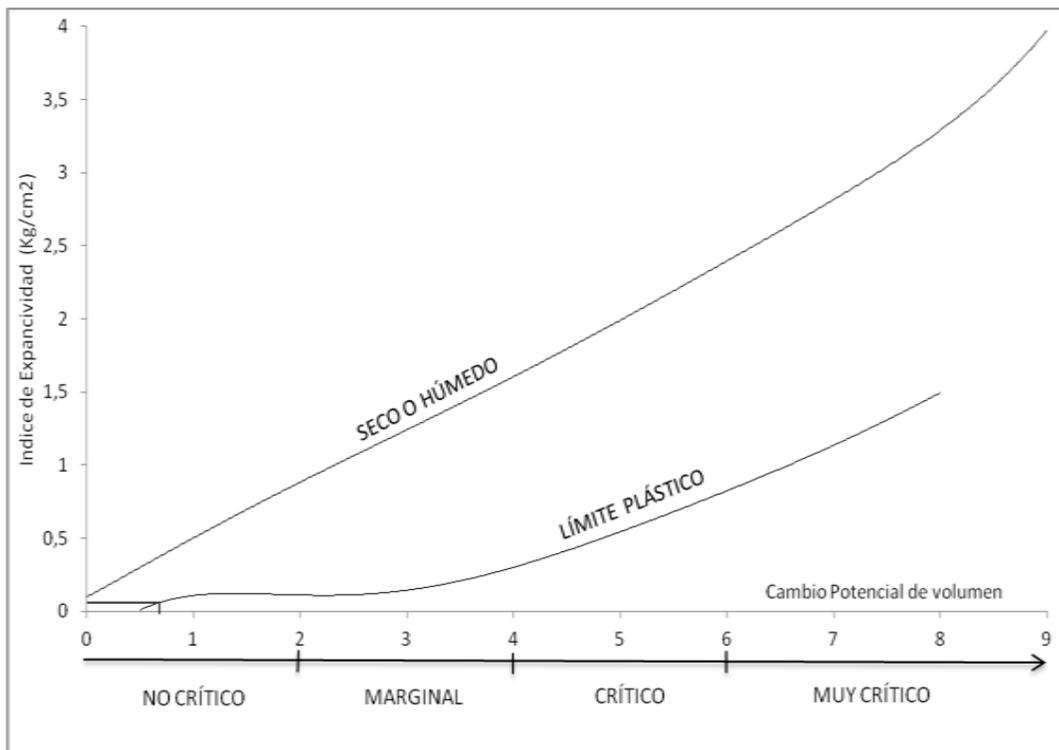
Máxima presión de expansión 0,0605 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESIÓN DE EXPANSIÓN  
(SECTOR: 3 – SONDEO: 2)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	43,79
	Después del ensayo	44,49

Peso del anillo (gr)	242,60
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	344,40
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	344,90
Peso anillo + muestra seca (gr)	313,40
Peso de sólidos (gr)	70,80

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0202
4	0	0,0000
5	0,5	0,0202
10	0,5	0,0202
15	0,5	0,0202
30	1	0,0403
60	1	0,0403
90	1	0,0403
120	1,5	0,0605



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

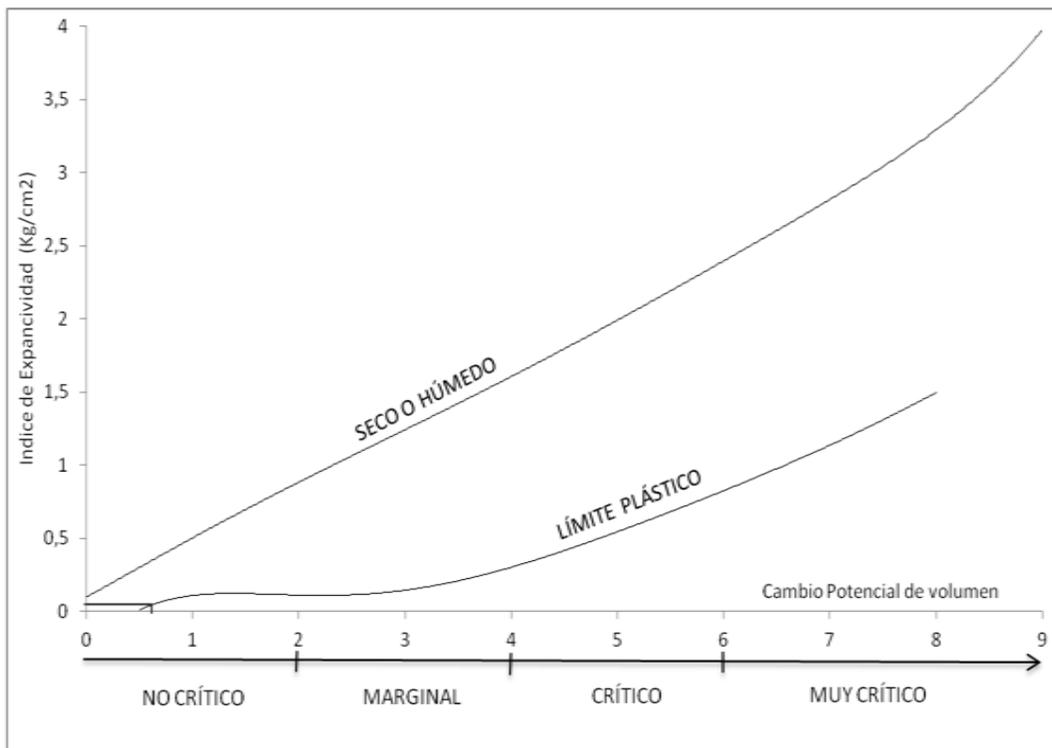
Máxima presión de expansión 0,0605 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 3 – SONDEO: 3)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	47,25
	Después del ensayo	47,83

Peso del anillo (gr)	240,45
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	342,20
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	342,60
Peso anillo + muestra seca (gr)	309,55
Peso de sólidos (gr)	69,10

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0202
4	0	0,0000
5	0	0,0000
10	0	0,0000
15	0	0,0000
30	0,5	0,0202
60	0,5	0,0202
90	0,5	0,0202
120	1	0,0403



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

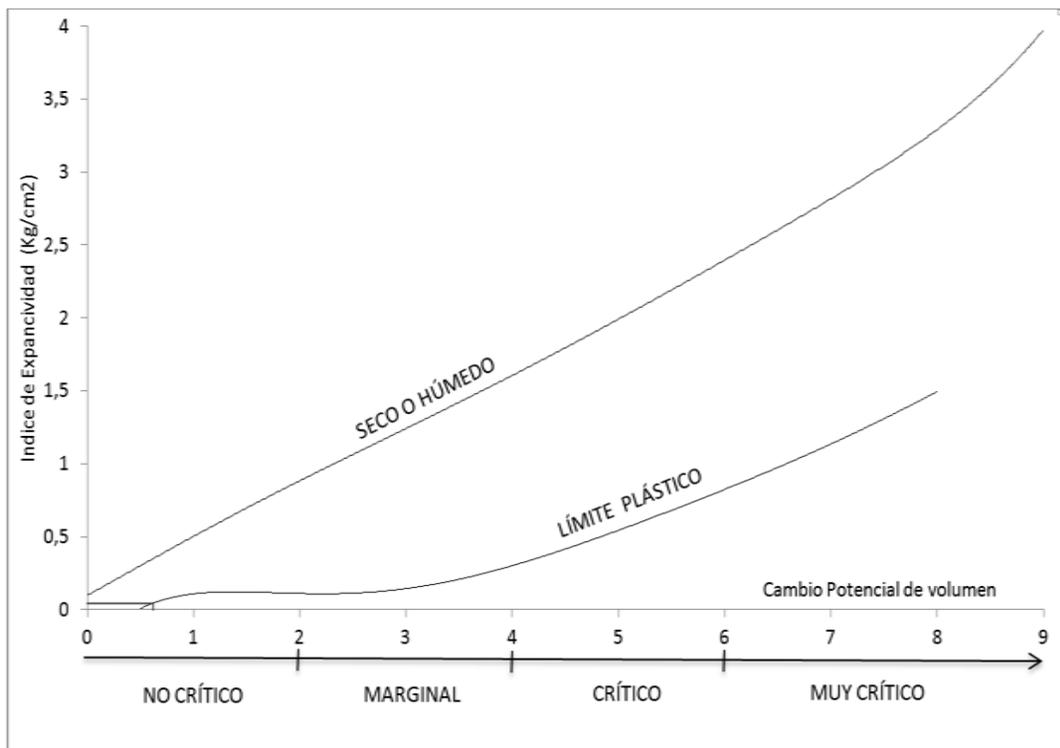
Máxima presión de expansión 0,0403 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 4 – SONDEO: 1)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	65,07
	Después del ensayo	77,49

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0202
4	0	0,0000
5	0	0,0000
10	0,5	0,0202
15	0,5	0,0202
30	0,5	0,0202
60	1	0,0403
90	1	0,0403
120	1	0,0403

Peso del anillo (gr)	240,45
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	321,50
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	327,60
Peso anillo + muestra seca (gr)	289,55
Peso de sólidos (gr)	49,10



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

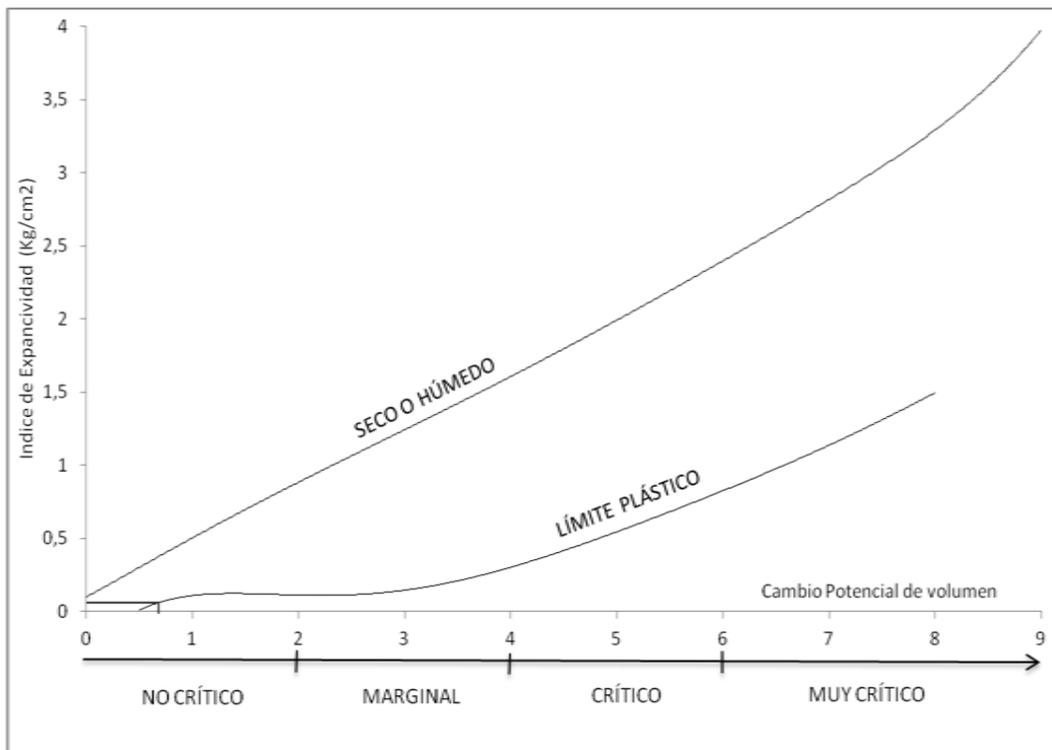
Máxima presión de expansión 0,0403 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 4 – SONDEO: 2)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	52,06
	Después del ensayo	57,14

Peso del anillo (gr)	242,60
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	338,40
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	341,60
Peso anillo + muestra seca (gr)	305,60
Peso de sólidos (gr)	63,00

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0,5	0,0202
2	0,5	0,0202
3	0,5	0,0202
4	0,5	0,0202
5	0,5	0,0202
10	1	0,0403
15	1	0,0403
30	1	0,0403
60	1	0,0403
90	1	0,0403
120	1,5	0,0605



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

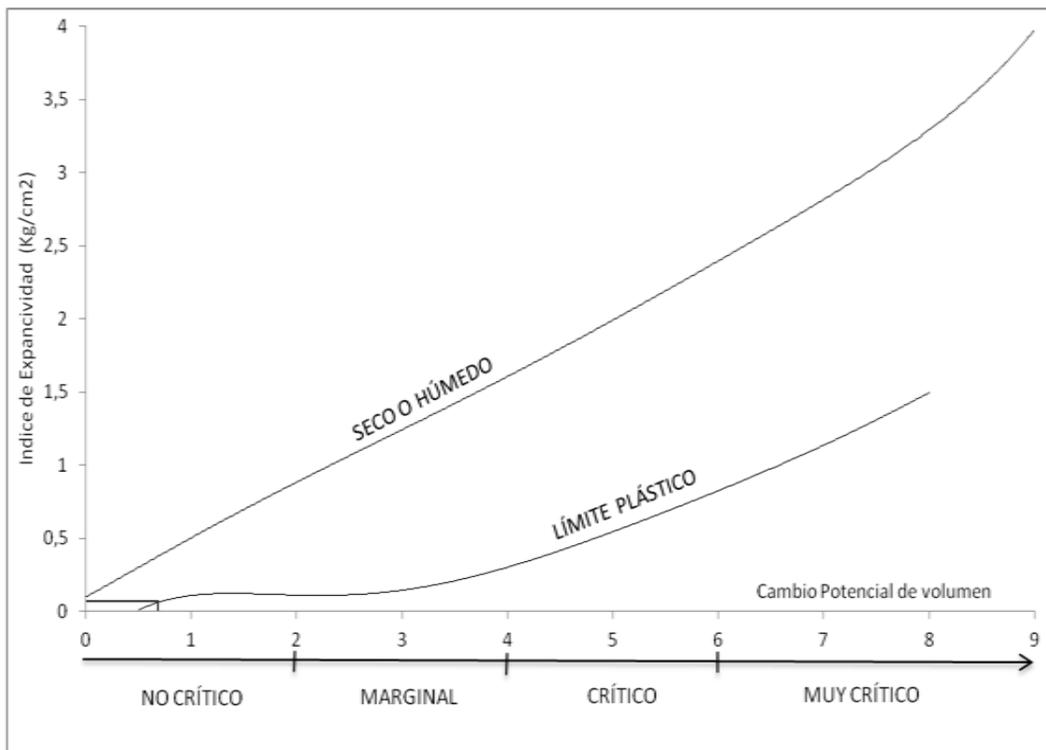
Máxima presión de expansión 0,0605 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

**PRESION DE EXPANCIÓN  
(SECTOR: 4 – SONDEO: 3)**

DATOS INICIALES	Diámetro del anillo(cm)	7
	Volumen de la muestra (cc)	61,58
	Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	38,50
	Altura de la muestra(cm)	1,60
	Constante del anillo carga(Kg/cm <sup>2</sup> )	0,0403
CONTENIDO DE AGUA	Antes del ensayo	40,88
	Después del ensayo	46,37

Peso del anillo (gr)	242,60
Peso anillo + muestra húmeda antes del ensayo (gr)	340,10
Peso anillo + muestra húmeda después del ensayo (gr)	343,90
Peso anillo + muestra seca (gr)	311,81
Peso de sólidos (gr)	69,21

TIEMPO	LECTURA DIAL	PRESION
min	0.0001"	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0,0000
2	0	0,0000
3	0	0,0000
4	0,5	0,0202
5	0,5	0,0202
10	0,5	0,0202
15	1	0,0403
30	1	0,0403
60	1	0,0403
90	1,5	0,0605
120	1,5	0,0605



Fuente Propia.

**OBSERVACIONES:**

Máxima presión de expansión 0,0605 Kg/cm<sup>2</sup>, El suelo presenta una expansión NO CRITICA.

## Anexo E. Datos y resultados ensayo consolidación.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO			SONDEO Nº	1	MUESTRA	1	PROF. (m)	1,0-1,40				
CONTENIDO DE AGUA		ANTES	DESPUES	CONSTANTES DEL ANILLO		VALORES CALCULADOS							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)		130,55	130,15	DIAMETRO (cm)	5	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )		2,79					
Peso anillo y suelo seco (gr)		107,42	107,42	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,635	Altura de Sólidos 2He (cm)		0,7079					
Peso anillo (gr)		68,64	68,64	ALTURA (cm)	1,92								
Peso de los sólidos (gr)		38,78	38,78	ALTURA (pulg)	0,7559	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )		23,7996					
Contenido de agua (%)		59,64	58,61	VOL. TOTAL cm <sup>3</sup>	37,70	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )		13,8996					
Saturación (%)		97,1867	95,5060										
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom. cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	0,7559		1,92	1,2121	1,7122								
		0,00745				0,0267	0,9553	0,9125	40,34	0,0668	0,0246	0,01918278	4,7265E-07
0,5	0,7485		1,901077	1,1932	1,6855								
		0,0118				0,0156	0,9478	0,8983	23,06	0,0312	0,0116	0,03303301	3,8397E-07
1	0,7441		1,890028	1,1821	1,6699								
		0,01845				0,0239	0,9408	0,8851	60	0,0239	0,0089	0,01250925	1,1179E-07
2	0,7375		1,873137	1,1652	1,6460								
		0,0332				0,0529	0,9272	0,8597	21,6	0,0265	0,0100	0,03375134	3,3753E-07
4	0,7227		1,835672	1,1278	1,5931								

Descarga					
		0,0325			
2	0,7234		1,83745	1,1295	1,5956
		0,0307			
1	0,7252		1,842022	1,1341	1,6021
		0,0292			
0,5	0,7267		1,845832	1,1379	1,6075
		0,0235			
0,1	0,7324		1,86031	1,1524	1,6279

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO		SONDEO Nº	1	MSTRA	2	PROF(m):	1,20 - 1,60					
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>			<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>						
Peso anillo y suelo húmedo (gr)			188,29	188,16	DIAMETRO (cm)	4,76	Peso Especifico (cm <sup>3</sup> )		2,59				
Peso anillo y suelo seco (gr)			168,3	168,3	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>17,7953</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)		<b>0,7741</b>				
Peso anillo (gr)			132,62	132,62	ALTURA (cm)	1,87							
Peso de los sólidos (gr)			<b>35,68</b>	<b>35,68</b>	ALTURA (pulg)	<b>0,7362</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )		<b>19,5011</b>				
Contenido de agua (%)			<b>56,03</b>	<b>55,66</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>33,28</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )		<b>13,7761</b>				
Saturación (%)			<b>102,5070</b>	<b>101,8404</b>									
Presión Kg/cm2	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom. cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7362</b>		<b>1,87</b>	<b>1,0959</b>	<b>1,4156</b>								
		0,0088				<b>0,0289</b>	<b>0,9294</b>	<b>0,8638</b>	9,6	<b>0,0849</b>	<b>0,0352</b>	<b>0,07630292</b>	<b>2,6825E-06</b>
0,44	<b>0,7274</b>		<b>1,847648</b>	<b>1,0735</b>	<b>1,3867</b>								
		0,0122				<b>0,0112</b>	<b>0,9217</b>	<b>0,8495</b>	15	<b>0,0254</b>	<b>0,0106</b>	<b>0,04802317</b>	<b>5,1014E-07</b>
0,88	<b>0,7240</b>		<b>1,839012</b>	<b>1,0649</b>	<b>1,3756</b>								
		0,0165				<b>0,0141</b>	<b>0,9168</b>	<b>0,8405</b>	18,15	<b>0,0160</b>	<b>0,0067</b>	<b>0,03926858</b>	<b>2,6502E-07</b>
1,76	<b>0,7197</b>		<b>1,82809</b>	<b>1,0539</b>	<b>1,3614</b>								
		0,0239				<b>0,0243</b>	<b>0,9093</b>	<b>0,8269</b>	15	<b>0,0140</b>	<b>0,0059</b>	<b>0,04674799</b>	<b>2,7624E-07</b>
3,5	<b>0,7123</b>		<b>1,809294</b>	<b>1,0352</b>	<b>1,3372</b>								

Descarga		0,0233			
1,76	<b>0,7129</b>		<b>1,810818</b>	<b>1,0367</b>	<b>1,3391</b>
		0,0217			
0,88	<b>0,7145</b>		<b>1,814882</b>	<b>1,0407</b>	<b>1,3444</b>
		0,0205			
0,44	<b>0,7157</b>		<b>1,81793</b>	<b>1,0438</b>	<b>1,3483</b>
		0,0158			
0,1	<b>0,7204</b>		<b>1,829868</b>	<b>1,0557</b>	<b>1,3637</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO			SONDEO N°	1	MSTRA	3	PROF. (m)	1,20 - 1,60				
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)		132,06	131,64	DIAMETRO (cm)	5	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )		2,8					
Peso anillo y suelo seco (gr)		109,76	109,76	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>19,635</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)		<b>0,7479</b>					
Peso anillo (gr)		68,64	68,64	ALTURA (cm)	1,92								
Peso de los sólidos (gr)		<b>41,12</b>	<b>41,12</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7559</b>	Vol. De Vacios (Vv) (cm <sup>3</sup> )		<b>23,0135</b>					
Contenido de agua (%)		<b>54,23</b>	<b>53,21</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>37,70</b>	Vol. De Sólidos (Vs) (cm <sup>3</sup> )		<b>14,6857</b>					
Saturación (%)		<b>96,8997</b>	<b>95,0747</b>										
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7559</b>		<b>1,92</b>	<b>1,1721</b>	<b>1,5671</b>								
		0,00715				<b>0,0243</b>	<b>0,9555</b>	<b>0,9129</b>	36,5	<b>0,0607</b>	<b>0,0236</b>	<b>0,02120937</b>	<b>5,0154E-07</b>
0,5	<b>0,7488</b>		<b>1,901839</b>	<b>1,1539</b>	<b>1,5428</b>								
		0,01125				<b>0,0139</b>	<b>0,9483</b>	<b>0,8993</b>	12,15	<b>0,0278</b>	<b>0,0110</b>	<b>0,06276618</b>	<b>6,8738E-07</b>
1	<b>0,7447</b>		<b>1,891425</b>	<b>1,1435</b>	<b>1,5289</b>								
		0,01575				<b>0,0153</b>	<b>0,9429</b>	<b>0,8890</b>	12,15	<b>0,0153</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,06204537</b>	<b>3,7494E-07</b>
2	<b>0,7402</b>		<b>1,879995</b>	<b>1,1321</b>	<b>1,5136</b>								
		0,02135				<b>0,0190</b>	<b>0,9364</b>	<b>0,8769</b>	12,15	<b>0,0095</b>	<b>0,0038</b>	<b>0,06120415</b>	<b>2,3153E-07</b>
4	<b>0,7346</b>		<b>1,865771</b>	<b>1,1178</b>	<b>1,4946</b>								

Descarga		0,0207			
2	<b>0,7352</b>		<b>1,867422</b>	<b>1,1195</b>	<b>1,4968</b>
		0,0193			
1	<b>0,7366</b>		<b>1,870978</b>	<b>1,1230</b>	<b>1,5015</b>
		0,01795			
0,5	<b>0,7380</b>		<b>1,874407</b>	<b>1,1265</b>	<b>1,5061</b>
		0,0113			
0,1	<b>0,7446</b>		<b>1,891298</b>	<b>1,1434</b>	<b>1,5287</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO	SECTOR Nº	2	MSTRA	1	PROF (m)	1,10 - 1,50
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>	
Peso anillo y suelo húmedo (gr)		189	188,88	DIAMETRO (cm)	4,76	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )	2,79
Peso anillo y suelo seco (gr)		168,98	168,98	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>17,795279</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)	<b>0,7323</b>
Peso anillo (gr)		132,62	132,62	ALTURA (cm)	1,87		
Peso de los sólidos (gr)		<b>36,36</b>	<b>36,36</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7362</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )	<b>20,2449</b>
Contenido de agua (%)		<b>55,06</b>	<b>54,73</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>33,28</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )	<b>13,0323</b>
Saturación (%)		<b>98,8890</b>	<b>98,2963</b>				

Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg
----------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------	-------------------------	----------------------	----	-----------	----------------	----------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	----------

0,1	<b>0,7362</b>		<b>1,87</b>	<b>1,1377</b>	<b>1,5534</b>								
		0,027				<b>0,0936</b>	<b>0,9179</b>	<b>0,8425</b>	7,35	<b>0,2754</b>	<b>0,1079</b>	<b>0,09719785</b>	<b>1,0484E-05</b>
0,44	<b>0,7092</b>		<b>1,80142</b>	<b>1,0691</b>	<b>1,4598</b>								
		0,0343				<b>0,0253</b>	<b>0,8961</b>	<b>0,8029</b>	10,58	<b>0,0575</b>	<b>0,0234</b>	<b>0,06435739</b>	<b>1,5055E-06</b>
0,88	<b>0,7019</b>		<b>1,782878</b>	<b>1,0505</b>	<b>1,4345</b>								
		0,0438				<b>0,0329</b>	<b>0,8854</b>	<b>0,7839</b>	15	<b>0,0374</b>	<b>0,0154</b>	<b>0,04431901</b>	<b>6,8162E-07</b>
1,76	<b>0,6924</b>		<b>1,758748</b>	<b>1,0264</b>	<b>1,4015</b>								
		0,0582				<b>0,0499</b>	<b>0,8702</b>	<b>0,7573</b>	9,6	<b>0,0287</b>	<b>0,0120</b>	<b>0,06689486</b>	<b>7,9953E-07</b>
3,5	<b>0,6780</b>		<b>1,722172</b>	<b>0,9898</b>	<b>1,3516</b>								

Descarga					
		0,0577			
1,76	<b>0,6785</b>		<b>1,723442</b>	<b>0,9911</b>	<b>1,3533</b>
		0,0564			
0,88	<b>0,6798</b>		<b>1,726744</b>	<b>0,9944</b>	<b>1,3578</b>
		0,055			
0,44	<b>0,6812</b>		<b>1,7303</b>	<b>0,9980</b>	<b>1,3627</b>
		0,049			
0,1	<b>0,6872</b>		<b>1,74554</b>	<b>1,0132</b>	<b>1,3835</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO		SECTOR Nº	2	MSTRA	2	PROF. (m)	1,30 - 1,70					
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>			<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>						
Peso anillo y suelo húmedo (gr)			188,22	187,92	DIAMETRO (cm)	4,76	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )		2,58				
Peso anillo y suelo seco (gr)			166,14	166,14	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>17,7953</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)		<b>0,7301</b>				
Peso anillo (gr)			132,62	132,62	ALTURA (cm)	1,87							
Peso de los sólidos (gr)			<b>33,52</b>	<b>33,52</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7362</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )		<b>20,2849</b>				
Contenido de agua (%)			<b>65,87</b>	<b>64,98</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>33,28</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )		<b>12,9922</b>				
Saturación (%)			<b>108,8493</b>	<b>107,3704</b>									
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7362</b>		<b>1,87</b>	<b>1,1399</b>	<b>1,5513</b>								
		0,02625				<b>0,0913</b>	<b>0,9183</b>	<b>0,8433</b>	12,15	<b>0,2686</b>	<b>0,1049</b>	<b>0,05885973</b>	<b>6,1725E-06</b>
0,44	<b>0,7100</b>		<b>1,803325</b>	<b>1,0732</b>	<b>1,4800</b>								
		0,03405				<b>0,0271</b>	<b>0,8967</b>	<b>0,8041</b>	12,15	<b>0,0617</b>	<b>0,0250</b>	<b>0,0561207</b>	<b>1,4013E-06</b>
0,88	<b>0,7022</b>		<b>1,783513</b>	<b>1,0534</b>	<b>1,4428</b>								
		0,0471				<b>0,0454</b>	<b>0,8835</b>	<b>0,7805</b>	15	<b>0,0516</b>	<b>0,0211</b>	<b>0,04412533</b>	<b>9,3191E-07</b>
1,76	<b>0,6891</b>		<b>1,750366</b>	<b>1,0203</b>	<b>1,3974</b>								
		0,06905				<b>0,0764</b>	<b>0,8612</b>	<b>0,7417</b>	15	<b>0,0439</b>	<b>0,0183</b>	<b>0,04193318</b>	<b>7,6762E-07</b>
3,5	<b>0,6672</b>		<b>1,694613</b>	<b>0,9645</b>	<b>1,3211</b>								

Descarga		0,0683			
1,76	<b>0,6679</b>		<b>1,696518</b>	<b>0,9664</b>	<b>1,3237</b>
		0,0664			
0,88	<b>0,6698</b>		<b>1,701344</b>	<b>0,9712</b>	<b>1,3303</b>
		0,0647			
0,44	<b>0,6715</b>		<b>1,705662</b>	<b>0,9756</b>	<b>1,3362</b>
		0,059			
0,1	<b>0,6772</b>		<b>1,72014</b>	<b>0,9900</b>	<b>1,3560</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO	SECTOR N°	2	MSTRA	3	PROF. (m)	1,30 - 1,70						
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)		177,25	177	DIAMETRO (cm)	4,76	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2,59						
Peso anillo y suelo seco (gr)		155,26	155,26	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>17,795279</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)	<b>0,4912</b>						
Peso anillo (gr)		132,62	132,62	ALTURA (cm)	1,87								
Peso de los sólidos (gr)		<b>22,64</b>	<b>22,64</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7362</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )	<b>24,5359</b>						
Contenido de agua (%)		<b>97,13</b>	<b>96,02</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>33,28</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )	<b>8,7413</b>						
Saturación (%)		<b>89,6239</b>	<b>88,6050</b>										
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7362</b>		<b>1,87</b>	<b>1,3788</b>	<b>2,8069</b>								
		0,0337				<b>0,1743</b>	<b>0,9136</b>	<b>0,8347</b>	12,15	<b>0,5125</b>	<b>0,1346</b>	<b>0,05825487</b>	<b>7,8429E-06</b>
0,44	<b>0,7025</b>		<b>1,784402</b>	<b>1,2932</b>	<b>2,6466</b>								
		0,0463				<b>0,0652</b>	<b>0,8842</b>	<b>0,7818</b>	10,09	<b>0,1481</b>	<b>0,0408</b>	<b>0,0657061</b>	<b>2,6783E-06</b>
0,88	<b>0,6899</b>		<b>1,752398</b>	<b>1,2612</b>	<b>2,5765</b>								
		0,06305				<b>0,0866</b>	<b>0,8656</b>	<b>0,7492</b>	18,58	<b>0,0984</b>	<b>0,0276</b>	<b>0,03419379</b>	<b>9,4337E-07</b>
1,76	<b>0,6732</b>		<b>1,709853</b>	<b>1,2186</b>	<b>2,4809</b>								
		0,0933				<b>0,1564</b>	<b>0,8357</b>	<b>0,6984</b>	20,18	<b>0,0899</b>	<b>0,0258</b>	<b>0,02934904</b>	<b>7,5796E-07</b>
3,5	<b>0,6429</b>		<b>1,633018</b>	<b>1,1418</b>	<b>2,3244</b>								

Descarga					
		0,0926			
1,76	<b>0,6436</b>		<b>1,634796</b>	<b>1,1436</b>	<b>2,3281</b>
		0,0893			
0,88	<b>0,6469</b>		<b>1,643178</b>	<b>1,1520</b>	<b>2,3451</b>
		0,0859			
0,44	<b>0,6503</b>		<b>1,651814</b>	<b>1,1606</b>	<b>2,3627</b>
		0,0733			
0,1	<b>0,6629</b>		<b>1,683818</b>	<b>1,1926</b>	<b>2,4279</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO			SECTOR N°	3	SONDEO	1	PROF. (m)	1,30-1,70				
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>			<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>						
Peso anillo y suelo húmedo (gr)			130,4	129,4	DIAMETRO (cm)	5	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )		2,8				
Peso anillo y suelo seco (gr)			108,24	108,24	AREA (cm <sup>2</sup> ):	<b>19,635</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)		<b>0,7203</b>				
Peso anillo (gr)			68,64	68,64	ALTURA (cm):	1,92							
Peso de los sólidos (gr)			<b>39,6</b>	<b>39,6</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7559</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )		<b>23,5563</b>				
Contenido de agua (%)			<b>55,96</b>	<b>53,43</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>37,70</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )		<b>14,1429</b>				
Saturación (%)			<b>94,07</b>	<b>89,83</b>									
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7559</b>		<b>1,92</b>	<b>1,1997</b>	<b>1,6656</b>								
		0,0105				<b>0,0370</b>	<b>0,9533</b>	<b>0,9088</b>	8,66	<b>0,0926</b>	<b>0,0347</b>	<b>0,08899524</b>	<b>3,0905E-06</b>
0,5	<b>0,7454</b>		<b>1,89333</b>	<b>1,1730</b>	<b>1,6286</b>								
		0,0141				<b>0,0127</b>	<b>0,9444</b>	<b>0,8919</b>	37,45	<b>0,0254</b>	<b>0,0097</b>	<b>0,02019467</b>	<b>1,9506E-07</b>
1	<b>0,7418</b>		<b>1,884186</b>	<b>1,1639</b>	<b>1,6159</b>								
		0,02065				<b>0,0231</b>	<b>0,9379</b>	<b>0,8797</b>	6,14	<b>0,0231</b>	<b>0,0088</b>	<b>0,12149875</b>	<b>1,0728E-06</b>
2	<b>0,7353</b>		<b>1,867549</b>	<b>1,1473</b>	<b>1,5928</b>								
		0,03285				<b>0,0430</b>	<b>0,9260</b>	<b>0,8575</b>	16,22	<b>0,0215</b>	<b>0,0083</b>	<b>0,04483248</b>	<b>3,7195E-07</b>
4	<b>0,7231</b>		<b>1,836561</b>	<b>1,1163</b>	<b>1,5498</b>								

Descarga					
		0,03215			
2	<b>0,7238</b>		<b>1,838339</b>	<b>1,1181</b>	<b>1,5522</b>
		0,0305			
1	<b>0,7254</b>		<b>1,84253</b>	<b>1,1222</b>	<b>1,5580</b>
		0,029			
0,5	<b>0,7269</b>		<b>1,84634</b>	<b>1,1261</b>	<b>1,5633</b>
		0,02385			
0,1	<b>0,7321</b>		<b>1,859421</b>	<b>1,1391</b>	<b>1,5815</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO	SECTOR Nº	3	MSTRA	2	PROF. (m)	1,30 - 1,70						
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)	187,3	186,9	DIAMETRO (cm)	4,76	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )	2,84							
Peso anillo y suelo seco (gr)	166,62	166,62	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>17,7953</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)	<b>0,6728</b>							
Peso anillo (gr)	132,62	132,62	ALTURA (cm)	1,87									
Peso de los sólidos (gr)	<b>34</b>	<b>34</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7362</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )	<b>21,3053</b>							
Contenido de agua (%)	<b>60,82</b>	<b>59,65</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>33,28</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )	<b>11,9718</b>							
Saturación (%)	<b>97,0649</b>	<b>95,1874</b>											
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7362</b>		<b>1,87</b>	<b>1,1972</b>	<b>1,7043</b>								
		0,0367				<b>0,1386</b>	<b>0,9117</b>	<b>0,8312</b>	8,21	<b>0,4075</b>	<b>0,1466</b>	<b>0,08585238</b>	<b>1,2587E-05</b>
0,44	<b>0,6995</b>		<b>1,776782</b>	<b>1,1040</b>	<b>1,6461</b>								
		0,04935				<b>0,0478</b>	<b>0,8804</b>	<b>0,7750</b>	21,6	<b>0,1085</b>	<b>0,0411</b>	<b>0,03042713</b>	<b>1,2505E-06</b>
0,88	<b>0,6869</b>		<b>1,744651</b>	<b>1,0719</b>	<b>1,615</b>								
		0,0581				<b>0,0330</b>	<b>0,8668</b>	<b>0,7513</b>	9,6	<b>0,0375</b>	<b>0,0145</b>	<b>0,06636386</b>	<b>9,6069E-07</b>
1,76	<b>0,6781</b>		<b>1,722426</b>	<b>1,0497</b>	<b>1,5663</b>								
		0,06925				<b>0,0421</b>	<b>0,8541</b>	<b>0,7295</b>	16,22	<b>0,0242</b>	<b>0,0094</b>	<b>0,03814132</b>	<b>3,6042E-07</b>
3,5	<b>0,6670</b>		<b>1,694105</b>	<b>1,0214</b>	<b>1,5182</b>								

Descarga					
		0,06885			
1,76	<b>0,6674</b>		<b>1,695121</b>	<b>1,0224</b>	<b>1,5157</b>
		0,0665			
0,88	<b>0,6697</b>		<b>1,70109</b>	<b>1,0283</b>	<b>1,5225</b>
		0,0655			
0,44	<b>0,6707</b>		<b>1,70363</b>	<b>1,0309</b>	<b>1,5323</b>
		0,05895			
0,1	<b>0,6773</b>		<b>1,720267</b>	<b>1,0475</b>	<b>1,5541</b>

Fuente Propia.

## ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO		SECTOR	3	MSTRA	3	PROFU. (m)	1,10 - 1,50					
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>			<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>						
Peso anillo y suelo húmedo (gr)			130,2	129,7	DIAMETRO (cm)	5	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )		2,89				
Peso anillo y suelo seco (gr)			106,34	106,34	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>19,635</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)		<b>0,6644</b>				
Peso anillo (gr)			68,64	68,64	ALTURA (cm)	1,92							
Peso de los sólidos (gr)			<b>37,7</b>	<b>37,7</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7559</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )		<b>24,6542</b>				
Contenido de agua (%)			<b>63,29</b>	<b>61,96</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>37,70</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )		<b>13,0450</b>				
Saturación (%)			<b>96,7786</b>	<b>94,7505</b>									
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7559</b>		<b>1,92</b>	<b>1,2556</b>	<b>1,8899</b>								
		0,013				<b>0,0497</b>	<b>0,9517</b>	<b>0,9058</b>	16,22	<b>0,1243</b>	<b>0,0430</b>	<b>0,04735722</b>	<b>2,0361E-06</b>
0,5	<b>0,7429</b>		<b>1,88698</b>	<b>1,2226</b>	<b>1,8462</b>								
		0,01755				<b>0,0174</b>	<b>0,9406</b>	<b>0,8847</b>	13,82	<b>0,0348</b>	<b>0,0122</b>	<b>0,05428733</b>	<b>6,6498E-07</b>
1	<b>0,7384</b>		<b>1,875423</b>	<b>1,2110</b>	<b>1,8228</b>								
		0,03145				<b>0,0531</b>	<b>0,9289</b>	<b>0,8628</b>	12,7	<b>0,0531</b>	<b>0,0188</b>	<b>0,05761241</b>	<b>1,0846E-06</b>
2	<b>0,7245</b>		<b>1,840117</b>	<b>1,1757</b>	<b>1,7697</b>								
		0,0556				<b>0,0923</b>	<b>0,9047</b>	<b>0,8185</b>	93,75	<b>0,0462</b>	<b>0,0167</b>	<b>0,00740382</b>	<b>1,2340E-07</b>
4	<b>0,7003</b>		<b>1,778776</b>	<b>1,1144</b>	<b>1,6774</b>								

Descarga		0,0549			
2	<b>0,7010</b>		<b>1,780554</b>	<b>1,1162</b>	<b>1,6800</b>
		0,0532			
1	<b>0,7027</b>		<b>1,784872</b>	<b>1,1205</b>	<b>1,6865</b>
		0,0513			
0,5	<b>0,7046</b>		<b>1,789698</b>	<b>1,1253</b>	<b>1,6938</b>
		0,04625			
0,1	<b>0,7097</b>		<b>1,802525</b>	<b>1,1382</b>	<b>1,7131</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO	SECTOR	4	MSTRA	1	PROF. (m)	1,30 - 1,70						
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)		121,4	121	DIAMETRO (cm)	5	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )	2,81						
Peso anillo y suelo seco (gr)		95,24	95,24	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>19,635</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)	<b>0,4821</b>						
Peso anillo (gr)		68,64	68,64	ALTURA (cm)	1,92								
Peso de los sólidos (gr)		<b>26,6</b>	<b>26,6</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7559</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )	<b>28,2330</b>						
Contenido de agua (%)		<b>98,35</b>	<b>96,84</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>37,70</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )	<b>9,4662</b>						
Saturación (%)		<b>92,6575</b>	<b>91,2407</b>										
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacíos 2H-2He	Relación de Vacíos e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7559</b>		<b>1,92</b>	<b>1,4379</b>	<b>2,9825</b>								
		0,0137				<b>0,0722</b>	<b>0,9513</b>	<b>0,9050</b>	10,58	<b>0,1804</b>	<b>0,0453</b>	<b>0,072534669</b>	<b>3,2865E-06</b>
0,5	<b>0,7422</b>		<b>1,885202</b>	<b>1,4031</b>	<b>2,9103</b>								
		0,0203				<b>0,0348</b>	<b>0,9384</b>	<b>0,8806</b>	15	<b>0,0695</b>	<b>0,0178</b>	<b>0,049784007</b>	<b>8,8540E-07</b>
1	<b>0,7356</b>		<b>1,868438</b>	<b>1,3863</b>	<b>2,8756</b>								
		0,03155				<b>0,0593</b>	<b>0,9271</b>	<b>0,8595</b>	9,6	<b>0,0593</b>	<b>0,0153</b>	<b>0,075919719</b>	<b>1,1611E-06</b>
2	<b>0,7244</b>		<b>1,839863</b>	<b>1,3578</b>	<b>2,8163</b>								
		0,0547				<b>0,1220</b>	<b>0,9052</b>	<b>0,8194</b>	15	<b>0,0610</b>	<b>0,0160</b>	<b>0,046325879</b>	<b>7,4027E-07</b>
4	<b>0,7012</b>		<b>1,781062</b>	<b>1,2990</b>	<b>2,6943</b>								

Descarga		0,0557			
2	<b>0,7002</b>		<b>1,778522</b>	<b>1,2964</b>	<b>2,6891</b>
		0,0516			
1	<b>0,7043</b>		<b>1,788936</b>	<b>1,3068</b>	<b>2,7047</b>
		0,049			
0,5	<b>0,7069</b>		<b>1,79554</b>	<b>1,3134</b>	<b>2,7244</b>
		0,0401			
0,1	<b>0,7158</b>		<b>1,818146</b>	<b>1,3360</b>	<b>2,7712</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO			SECTOR N°	4	MSTRA	2	PROF. (m)	1,25 - 1,65				
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)		181,9	181,6	DIAMETRO (cm)	4,76	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )		2,63					
Peso anillo y suelo seco (gr)		160,02	160,02	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>17,7953</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)		<b>0,5855</b>					
Peso anillo (gr)		132,62	132,62	ALTURA (cm)	1,87								
Peso de los sólidos (gr)		27,4	27,4	ALTURA (pul)	0,7362	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )		<b>22,8589</b>					
Contenido de agua (%)		79,85	78,76	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>33,28</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )		<b>10,4183</b>					
Saturación (%)		95,7176	94,4052										
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7362</b>		<b>1,87</b>	<b>1,2845</b>	<b>2,1941</b>								
		0,0309				<b>0,1341</b>	<b>0,9154</b>	<b>0,8379</b>	18,15	<b>0,3943</b>	<b>0,1234</b>	<b>0,039148997</b>	<b>4,8327E-06</b>
0,44	<b>0,7053</b>		<b>1,791514</b>	<b>1,2061</b>	<b>2,0601</b>								
		0,03835				<b>0,0323</b>	<b>0,8910</b>	<b>0,7939</b>	10,58	<b>0,0735</b>	<b>0,0240</b>	<b>0,063634287</b>	<b>1,5276E-06</b>
0,88	<b>0,6979</b>		<b>1,772591</b>	<b>1,1871</b>	<b>2,0577</b>								
		0,053				<b>0,0636</b>	<b>0,8770</b>	<b>0,7691</b>	9,6	<b>0,0722</b>	<b>0,0239</b>	<b>0,067938605</b>	<b>1,6207E-06</b>
1,76	<b>0,6832</b>		<b>1,73538</b>	<b>1,1499</b>	<b>1,9942</b>								
		0,06805				<b>0,0653</b>	<b>0,8581</b>	<b>0,7364</b>	6,14	<b>0,0375</b>	<b>0,0127</b>	<b>0,101703744</b>	<b>1,2875E-06</b>
3,5	<b>0,6682</b>		<b>1,697153</b>	<b>1,1117</b>	<b>1,8989</b>								

Descarga		0,0662			
1,76	<b>0,6700</b>		<b>1,701852</b>	<b>1,1164</b>	<b>1,9069</b>
		0,0643			
0,88	<b>0,6719</b>		<b>1,706678</b>	<b>1,1212</b>	<b>1,9152</b>
		0,0624			
0,44	<b>0,6738</b>		<b>1,711504</b>	<b>1,1261</b>	<b>1,9234</b>
		0,0553			
0,1	<b>0,6809</b>		<b>1,729538</b>	<b>1,1441</b>	<b>1,9542</b>

Fuente Propia.

### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

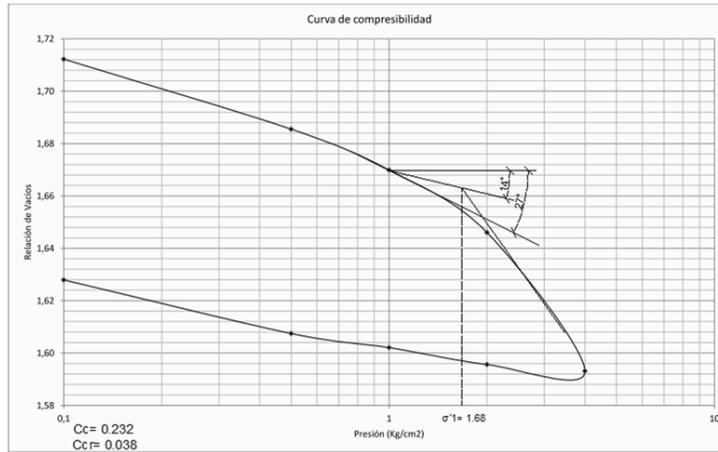
OBRA:	TRABAJO INVESTIGATIVO	SECTOR Nº	4	MSTRA	3	PROF. (m)	1,37 - 1,77						
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>CONSTANTES DEL ANILLO</b>		<b>VALORES CALCULADOS</b>							
Peso anillo y suelo húmedo (gr)	130,3	129,4	DIAMETRO (cm)	5	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )	2,72							
Peso anillo y suelo seco (gr)	105,94	105,94	AREA (cm <sup>2</sup> )	<b>19,6350</b>	Altura de Sólidos 2He (cm)	<b>0,6984</b>							
Peso anillo (gr)	68,64	68,64	ALTURA (cm)	1,92									
Peso de los sólidos (gr)	<b>37,3</b>	<b>37,3</b>	ALTURA (pul)	<b>0,7559</b>	Vol. De VaciosVv (cm <sup>3</sup> )	<b>23,9860</b>							
Contenido de agua (%)	<b>65,31</b>	<b>62,90</b>	VOL. TOTAL (cm <sup>3</sup> )	<b>37,70</b>	Vol. De Sólidos Vs (cm <sup>3</sup> )	<b>13,7132</b>							
Saturación (%)	<b>101,5594</b>	<b>97,8072</b>											
Presión Kg/cm <sup>2</sup>	H Inicial Deformación Pulg	Deformación Variación Pulg	Variación de 2H cm	Altura de Vacios 2H-2He	Relación de Vacios e	Δe	H prom cm	H <sup>2</sup>	t 90 seg	AV cm <sup>2</sup> /seg	MV cm <sup>2</sup> /seg	CV cm <sup>2</sup> /seg	K cm/seg

0,1	<b>0,7559</b>		<b>1,92</b>	<b>1,2216</b>	<b>1,7491</b>								
		0,0239				<b>0,0869</b>	<b>0,9448</b>	<b>0,8927</b>	12,15	<b>0,2173</b>	<b>0,0790</b>	<b>0,06230472</b>	<b>4,9248E-06</b>
0,5	<b>0,7320</b>		<b>1,859294</b>	<b>1,1609</b>	<b>1,6622</b>								
		0,029				<b>0,0185</b>	<b>0,9264</b>	<b>0,8582</b>	15	<b>0,0371</b>	<b>0,0139</b>	<b>0,048518756</b>	<b>6,7608E-07</b>
1	<b>0,7269</b>		<b>1,84634</b>	<b>1,1479</b>	<b>1,6436</b>								
		0,0374				<b>0,0305</b>	<b>0,9178</b>	<b>0,8424</b>	15	<b>0,0305</b>	<b>0,0116</b>	<b>0,047624976</b>	<b>5,5035E-07</b>
2	<b>0,7185</b>		<b>1,825004</b>	<b>1,1266</b>	<b>1,6131</b>								
		0,0515				<b>0,0513</b>	<b>0,9035</b>	<b>0,8164</b>	173	<b>0,0256</b>	<b>0,0098</b>	<b>0,004001775</b>	<b>3,9266E-08</b>
4	<b>0,7044</b>		<b>1,78919</b>	<b>1,0908</b>	<b>1,5618</b>								

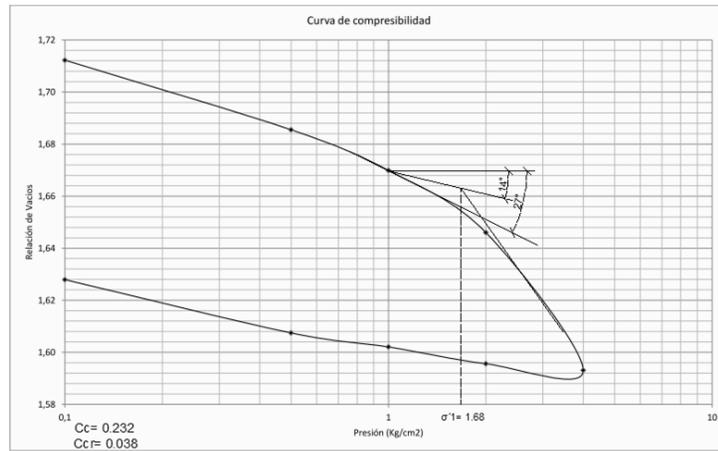
Descarga		0,0505			
2	<b>0,7054</b>		<b>1,79173</b>	<b>1,0933</b>	<b>1,5654</b>
		0,04895			
1	<b>0,7070</b>		<b>1,795667</b>	<b>1,0973</b>	<b>1,5761</b>
		0,0466			
0,5	<b>0,7093</b>		<b>1,801636</b>	<b>1,1032</b>	<b>1,5796</b>
		0,0373			
0,1	<b>0,7186</b>		<b>1,825258</b>	<b>1,1269</b>	<b>1,6135</b>

Fuente Propia.

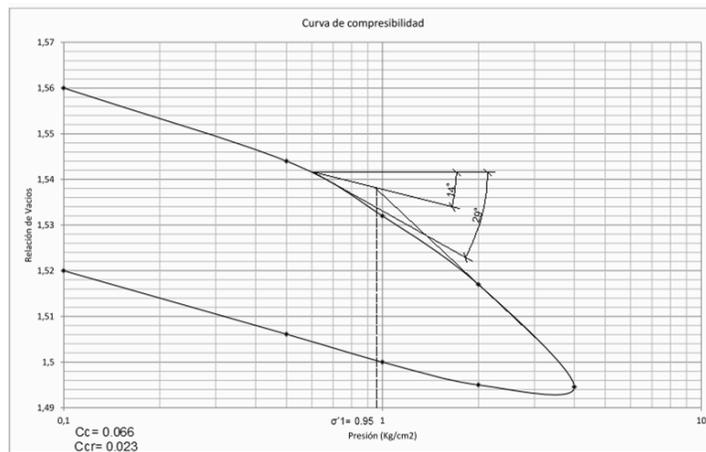
## Anexo F. Curvas de Compresibilidad



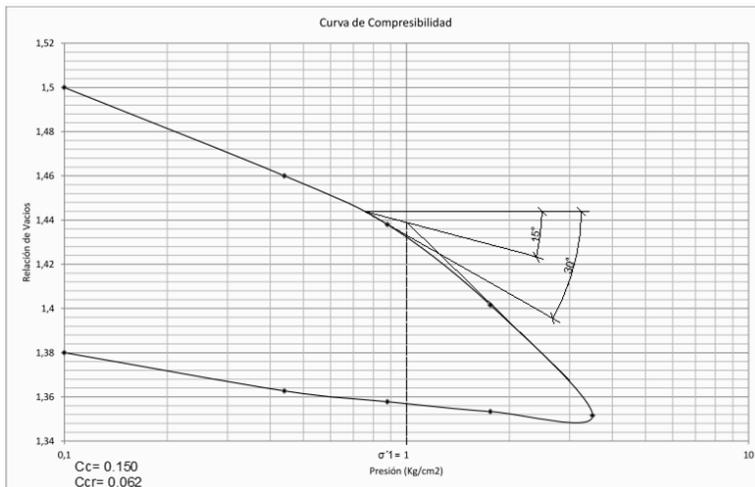
Gráfica 1 - 1



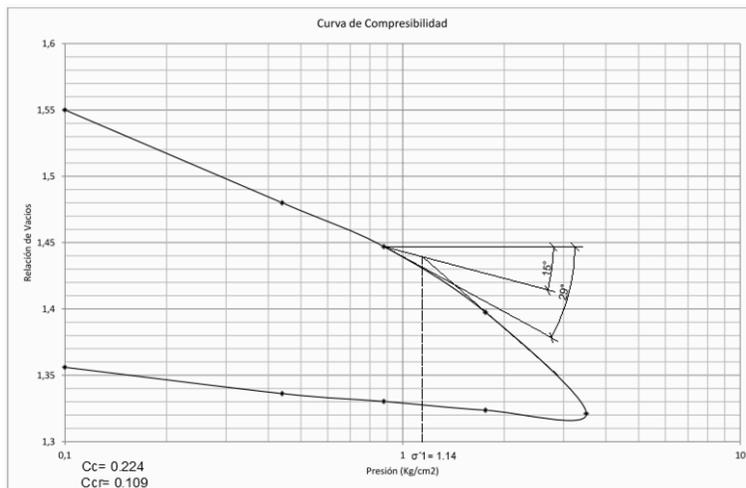
Gráfica 1 - 2



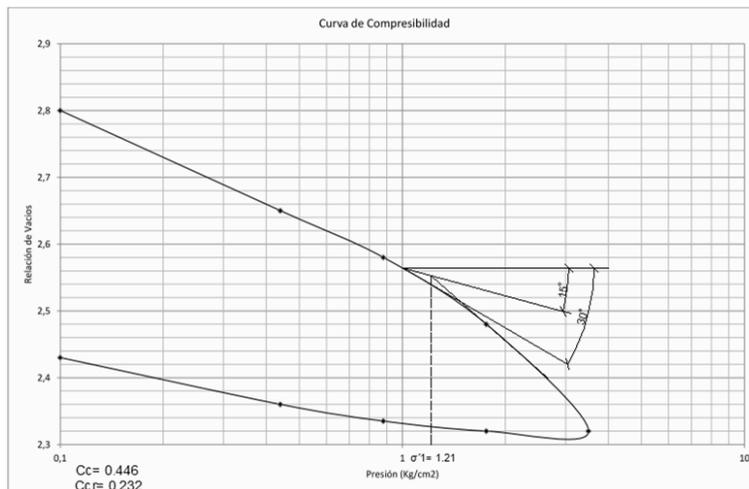
Gráfica 1 - 3



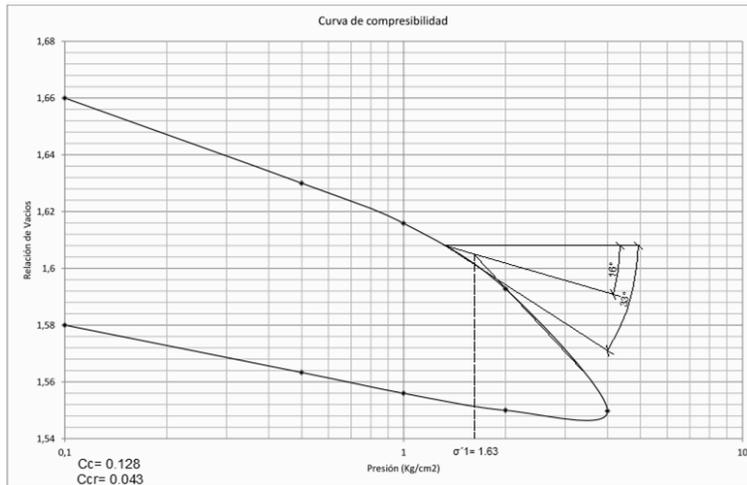
Gráfica 2 - 1



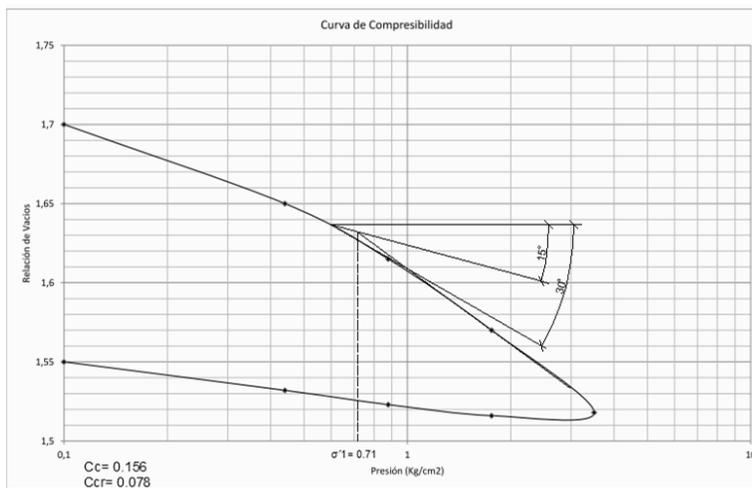
Gráfica 2 - 2



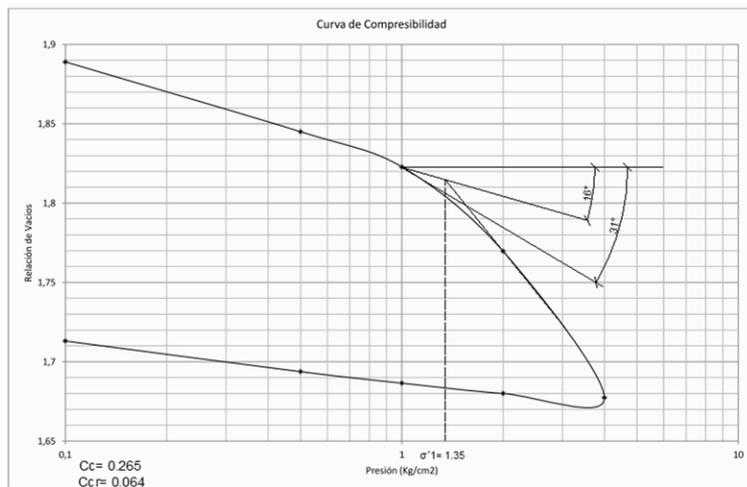
Gráfica 2 - 3



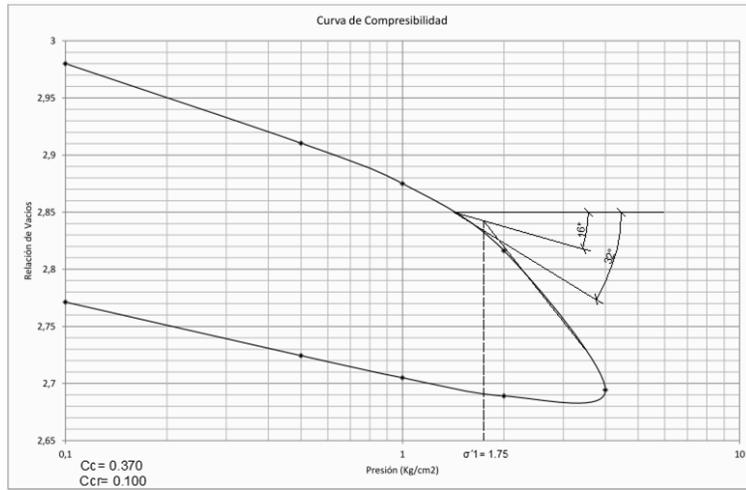
Gráfica 3 - 1



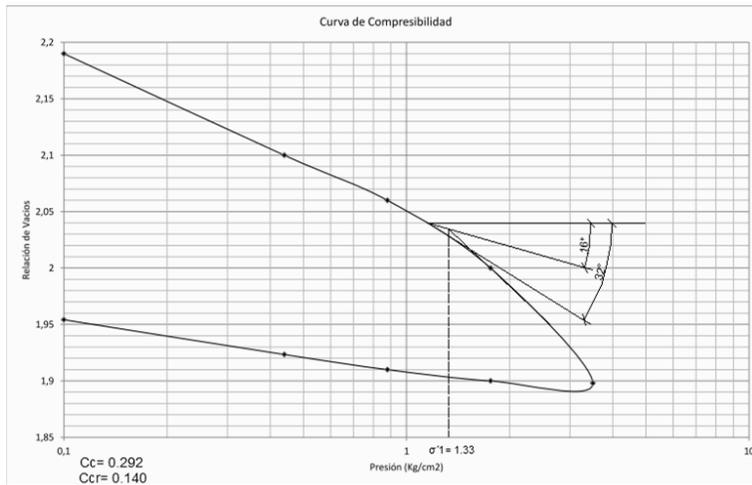
Gráfica 3 - 2



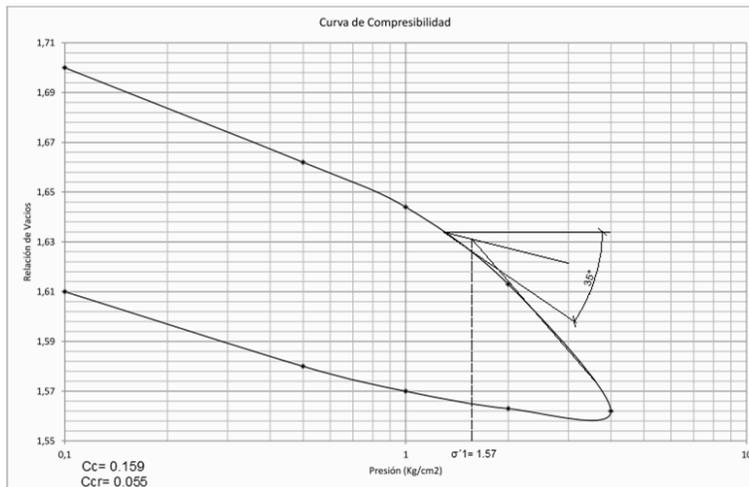
Gráfica 3 - 3



Gráfica 4 – 1



Gráfica 4 – 2



Gráfica 4 – 3