

**Análisis de Suelo Arcilloso Mejorado con Cemento, para la Elaboración de Adoquines**

**Mayra Fernanda Chagualá González**

**Karen Juliana Suárez Rodríguez**

**Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga**

**Escuela de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2018**

**Análisis de Suelo Arcilloso Mejorado con Cemento, para la Elaboración de Adoquines**

**Mayra Fernanda Chagualá González**

**Karen Juliana Suárez Rodríguez**

**Tesis de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil**



**Directora**

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

**Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga**

**Escuela de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2018**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Octubre 10 del 2018**

---

## **Dedicatoria**

“Trabajar en equipo divide el trabajo y multiplica los resultados”

-Anónimo

Quiero dedicarle este proyecto especialmente a Dios, el ser que me da el regalo de estar viva y me da la oportunidad de llegar a logros como este; a mi mamá Olga González y mi abuelo Saúl Chagualá que son mi motor, fortaleza para seguir adelante y mi ejemplo de superación personal; a mi papá Elkin Chagualá que es mi ejemplo de disciplina y motivación para salir adelante; a mi amiga y compañera de proyecto Karen Suarez quien no solo fue mi apoyo en este proyecto sino durante toda la carrera.

Mayra Fernanda Chagualá González

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser siempre mi guía y darme la oportunidad de llegar a este momento tan especial de la vida; por protegerme durante todo el camino y permitirme estar al lado de una familia maravillosa. A mi madre por ser el pilar más importante, por ser un ejemplo de superación y constancia a lo largo de toda mi formación; A mi padre por estar presente en cada momento de la vida; a Mayra Chagualá por no solo ser compañera a lo largo de mi carrera sino mi amiga y apoyo en esta etapa.

Karen Juliana Suárez Rodríguez

## **Agradecimientos**

Queremos agradecer primeramente a Dios, por ser quien nos dio la vida, los medios, la fuerza y las oportunidades para llegar aquí y llevar a cabo este proyecto.

A nuestras familias que fueron un apoyo incondicional durante todo el proceso, por inculcarnos valores y principios, e inspirarnos a ser cada día mejores.

A los compañeros con los que tuvimos la fortuna de encontrarnos y compartir a lo largo de la carrera por su acompañamiento, por ayudarnos a crecer y aprender apoyándonos mutuamente.

A nuestra directora Luz Marina Torrado por brindarnos de la mejor manera su conocimiento e inspirarnos por esta rama de la ingeniería y llevar a cabo este proyecto.

Al personal de los diferentes laboratorios, por su dedicación y disposición a siempre brindarnos la ayuda necesaria en cada una de las actividades que se realizaron.

A la familia Mecon, quienes fueron los que nos brindaron un apoyo fundamental en la obtención del material y por su disposición a siempre apoyarnos en lo necesario.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por brindarnos el conocimiento necesario para llegar hasta acá y por el préstamo de sus instalaciones y equipos del laboratorio.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	15
1. Planteamiento del Problema.....	17
2. Antecedentes .....	18
3. Justificación.....	23
4. Objetivos .....	25
4.1 Objetivo General. ....	25
4.2 Objetivos Específicos. ....	25
5. Marco Teórico .....	26
5.1 El suelo. ....	26
5.1.2 Factores que influyen en la formación del suelo. ....	29
5.1.5.1 Estado seco. ....	36
5.1.5.2 Estado húmedo. ....	36
5.1.5.3 Estado mojado: .....	37
5.2 Cemento.....	37
5.3 Suelo-Cemento. ....	40
5.4 Suelos Aptos Para Mezclas De Suelo-Cemento.....	44
6. Metodología .....	46
6.1 Selección del Material. ....	46
6.2 Preparación de Material.....	46
6.3 Caracterización del Suelo. ....	47
6.3.1 Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino - INV E-213-13.....	47
6.3.2 Determinación del límite líquido de los suelos - INV E-125-13 .....	49

6.3.3	Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos - INV E-126-13.....	51
6.3.4	Determinación de los factores de contracción de los suelos - INV E-127-13 .....	53
6.3.5	Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) - INV E-142-13 .....	55
6.3.6	Compresión inconfínada en muestras de suelos - INV E-152-13.....	58
6.4	Elaboración de los Bloques. ....	60
6.4.1	Resistencia a la compresión de adoquines de concreto - INV E- 426-13.....	62
6.4.2	Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho - NTC 5147 .....	63
6.4.3	Absorción de agua por los adoquines de concreto - INV E- 427-13 .....	65
7.	Resultados .....	68
7.1	Caracterización del suelo.....	68
7.1.1.	Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino .....	68
7.1.2.	Límites de Atterberg.....	69
7.1.3.	Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación).....	71
7.1.4.	Compresión inconfínada en muestras de suelos .....	72
7.2.	Elaboración de bloques.....	73
7.2.1.	Resistencia a la compresión de adoquines de concreto .....	73
7.2.2.	Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho .....	74
7.2.3.	Absorción de agua por los adoquines de concreto.....	75
8.	Análisis de resultados.....	76

8.1. Respecto a la caracterización del suelo. ....	76
8.1.1. Granulometría y clasificación (SUCS) .....	76
8.1.2. Límites de Atterberg. ....	77
8.1.3. Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación).....	78
8.1.4. Compresión inconfiada en muestras de suelos .....	78
8.2. Con respecto a la elaboración de los bloques. ....	78
8.2.1. Resistencia a la compresión de adoquines de concreto .....	79
8.2.2. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho .....	80
8.2.3. Absorción de agua por los adoquines de concreto.....	81
9. Conclusiones .....	83
10. Recomendaciones.....	85

## Lista de tablas

Tabla 1. Perfiles del suelo (Crosara, s.f.) .....	32
Tabla 2. Tipos de cemento (Latorre Cañon, 2008). .....	38
Tabla 3. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento (Toirac Coral, 2008).....	44
Tabla 4. Granulometría del suelo inalterado. ....	68
Tabla 5. Valores de límites de Atterberg. ....	70
Tabla 6. Valores de humedad optima y peso específico. ....	72
Tabla 7. Valor de la resistencia a la compresión inconfinaada.....	73
Tabla 8. Valores de longitud de huella resultante .....	74
Tabla 9. Valores de porcentaje de absorción. ....	75
Tabla 10. Granulometría y porcentaje que pasa por cada tamiz. ....	76
Tabla 11. Valores de resistencia a la compresión para bloques de suelo inalterado y de suelo cemento con 7%, a los 7,14 y 28 días. ....	79
Tabla 12. Clases de resistencia a la compresión húmeda.....	80
Tabla 13. Clases de resistencia al desgaste por abrasión. ....	81

## Lista de figuras

Figura 1. Esquema de componentes del suelo. ....	27
Figura 2. Perfiles del suelo. ....	32
Figura 3. Consistencia del suelo en base a su humedad y volumen. ....	36
Figura 4. Proceso de producción del cemento. ....	39
Figura 5. Secado del material al aire libre. ....	47
Figura 6. Tamices granulométricos. ....	48
Figura 7. Material pasado por el tamiz N°40. ....	49
Figura 8. Material puesto en la cazuela. ....	50
Figura 9. Preparación de la muestra. ....	51
Figura 10. Capsulas con suelo para determinación de humedad. ....	52
Figura 11. Preparación de muestra para contracción. ....	54
Figura 12. Muestras de contracción secadas en el horno. ....	55
Figura 13. Material pasado por el tamiz N°4. ....	55
Figura 14. Compactación de la muestra. ....	56
Figura 15. Molde con muestra compactada. ....	57
Figura 16. Máquina Harvard. ....	58
Figura 17. Muestras compactadas. ....	59
Figura 18. Muestra ensayada a compresión inconfiada. ....	60
Figura 19. Bloques en cuarto de curado. ....	61
Figura 20. Ensayo de compresión simple. ....	62
Figura 21. Falla de la muestra luego de aplicar la carga. ....	63

Figura 22.Máquina y colocación de adoquín. ....	64
Figura 23.Medición de huella de abrasión. ....	65
Figura 24. Bloques de 7% cemento sumergidos. ....	66
Figura 25. Peso de espécimen sumergido. ....	66
Figura 26. Curva granulométrica .....	69
Figura 27.Límite líquido. ....	70
Figura 28.Curvas de compactación. ....	71
Figura 29. Compresión Inconfinada.....	72
Figura 30. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días.....	74
Figura 31. Carta de plasticidad utilizada para clasificación.....	77
Figura 32.Bloque de suelo cemento sumergido por 24 horas .....	81
Figura 33. Bloque de suelo inalterado sumergido por 24 horas.....	82

## **Lista de Anexos**

Anexos 1. Ensayo de granulometría del suelo. ....	93
Anexos 2. Límites de Atterberg. ....	95
Anexos 3. Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado).....	103
Anexos 4. Compresión Incofinada. ....	108
Anexos 5. Resistencia a la compresión simple. ....	123
Anexos 6. Abrasión. ....	126
Anexos 7. Absorción. ....	128

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ANÁLISIS DE SUELO ARCILLOSO MEJORADO CON CEMENTO, PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES.

**AUTOR(ES):** Mayra Fernanda Chagualá González  
Karen Juliana Suarez Rodriguez

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Luz Marina Torrado Gómez

### RESUMEN

El presente proyecto se realizó con el objetivo de brindar soluciones al campo de la construcción para el aporte social, afectación ambiental y principalmente la economía; en aquellas zonas rurales que no cuentan con los recursos necesarios para la construcción de vivienda y vías que garanticen una mejor calidad de vida para la comunidad. Primeramente se realizó la caracterización del suelo inalterado que corresponde a una arcilla y el suelo con la mezcla de diferentes porcentajes de cemento, mediante diferentes ensayos para escoger el porcentaje óptimo de cemento y proceder a elaborar los bloques de suelo cemento. Luego se evaluó el comportamiento mecánico de los bloques elaborados con suelo inalterado y suelo cemento, mediante los ensayos de compresión, abrasión y absorción. Los bloques fueron realizados en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana con la maquina manual llamada CINVA-RAM ubicada en el laboratorio de construcciones, y los ensayos en el laboratorio de pavimentos y laboratorio de materiales, según lo estipulado en las normas del Instituto Nacional de Vías y las Normas Técnicas Colombianas. Se realiza la comparación del comportamiento de los bloques realizados con suelo inalterado con los de suelo cemento, y se observó que los últimos tuvieron una notable mejoría en todos los parámetros evaluados. Se concluyó que los bloques de suelo cemento pueden ser utilizados en mampostería en un campo tanto seco como húmedo, y en pavimento para tránsito peatonal en un campo seco, para que los efectos de la abrasión no comprometan la integridad del bloque.

### PALABRAS CLAVE:

Bloques de suelo cemento, adoquines, pavimento, suelo, adobe, arcilla.

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** ANALISIS OF CLAY SOIL IMPROVED WITH CEMENT, FOR BUILT UP OF COBBLESTONES.

**AUTHOR(S):** Mayra Fernanda Chagualá González  
Karen Juliana Suarez Rodriguez

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Luz Marina Torrado Gómez

### ABSTRACT

The present project was made with the objective of providing solutions to the construction fields for social contribution, environmental impact and mainly the economy in rural areas that do not have the necessary resources for the construction of houses and roads that can guarantee a better life quality for the community. Firstly the characterization of the unaltered soil that corresponds to a clay and the soil with the mixture of different percentages of cement was carried out, through different tests to choose the optimal percentage of cement and proceed to elaborate the soil cement blocks. Then, the mechanical behavior of the blocks made with the unalterable soil and soil cement was evaluated by compression, abrasion and absorption tests. The blocks were made in the facilities of the Universidad Pontificia Bolivariana with the manual machine called CINVA-RAM in the construction laboratory and the tests in the laboratory of pavements and laboratory of materials, according as stipulated in the regulations of the National Institute of Roads and the Colombian Technical Standards. A comparison was made about the behavior of the blocks with the unaltered soil with the soil cement blocks, and it was observed that the last ones had a remarkable improvement in all the evaluated parameters. It was concluded that soil cement blocks can be used in masonry for both dry and wet field, and in pavement for pedestrian traffic in a dry field, so that the effects of abrasion do not compromise the integrity of the block.

### KEYWORDS:

Soil cement blocks, cobblestones, pavement, soil, adobe, clay

## **Introducción**

En el mundo de la construcción, las comunidades han logrado desarrollos tecnológicos que han jugado un papel esencial en brindar posibilidades para disminuir problemáticas como costos elevados en materiales e impacto ambiental. Uno de los aportes más importantes a este desarrollo ha sido la continua producción de nuevos materiales que permiten satisfacer estas necesidades en la construcción.

El ser humano ha estado en una búsqueda constante por mejorar las condiciones en las que vive, utilizando desde materiales encontrados en la naturaleza como piedras, madera y tierra, hasta materiales más elaborados como concreto y acero.

La construcción en tierra ha sido una de las técnicas constructivas más antiguas y rentables debido a sus múltiples ventajas como: mínimo consumo energético lo cual produce una reducción en la contaminación ambiental, sencillez, baja demanda en transporte de materiales, bajo costo, sus propiedades acústicas y térmicas, regulación de temperatura interior, absorción de contaminantes, es reutilizable, entre otras. Se puede utilizar en sistemas de autoconstrucción en técnicas como muros de tapia pisada, muros en bahareque, tejas de barro, adobe.

Una de las nuevas técnicas de construcción es la producción de bloques de suelo cemento (BSC), el cual es un material producto de la mezcla de un porcentaje determinado de agua, suelo y cemento. Se ha usado tanto en obras pequeñas y grandes alrededor del mundo. Los bloques se realizan compactando la mezcla con una maquina manual llamada CINVA-RAM, produciendo bloques aptos para construcción de muros, pavimentos, cimentaciones, entre otras estructuras.

El presente trabajo se realiza con el fin de encontrar una alternativa más para la construcción de muros y pavimento, implementando los bloques con cemento en estos suelos cohesivos que suelen presentar problemas en diferentes aspectos para poder ser utilizados en construcciones

tanto como material de apoyo en la subrasante, como en la elaboración como material constructivo, debido a la susceptibilidad que estos presentan al agua y como esta afecta las diferentes propiedades de este.

## 1. Planteamiento del Problema

Una parte fundamental en la construcción de obras civiles es el suelo en el cual están sostenidas como lo explica un artículo publicado por la Universidad del Norte (Guardo Polo, 1999), por tanto, este se convierte en un reto a la hora de manejar suelos que no cumplan con las propiedades necesarias para el soporte de la estructura a lo largo del tiempo diseñado, especialmente en aquellos suelos de propiedades no adecuadas como los suelos expansivos.

Por otro lado, en ciertas zonas rurales de Colombia encontramos que no se cuenta con la infraestructura adecuada para las necesidades y comodidad de la comunidad, lo cual disminuye su calidad de vida, como lo afirma El Espectador en su columna “Pobreza rural en Colombia, relacionada con atraso en infraestructura” (EFE, 2013) .Esta problemática se puede encontrar en pueblos como el Playón, un pueblo pequeño situado en la provincia de Soto Norte en el departamento de Santander, cerca de Rio Negro; existen algunos barrios que aún mantienen la apariencia de invasiones, las casas presentes en ese tipo de barrios son hechas mayormente con tablas y las calles son destapadas, el paso peatonal se dificulta; como en la mayoría de hogares, hay niños, y el estado de las calles les limita las actividades al aire libre fuera de sus casas. También se observa que en tiempos de lluvia este tipo de calles y viviendas sufren daños considerables, las calles se vuelven más intransitables y las casas endebletes ante los vientos.

Estas carencias en la infraestructura urbana pueden darse por la ausencia y costo de materiales tradicionales, y una gran parte de estas comunidades rurales no cuentan con los recursos necesarios para costearlos, tal y como se indica esta relación en la columna ya mencionada de El Espectador.

## 2. Antecedentes

Para el objeto de estudio del presente proyecto, resulta importante destacar los hechos históricos que conllevaron a la aparición del adobe como el elemento diseñado por el hombre para la construcción, aunque no es preciso cual fue su comienzo, es situado por algunas fuentes en el principio del Neolítico en un aproximado de 5.000 años Antes de Cristo, atendiendo a que el bloque de piedra hizo parte del génesis de la arquitectura, pues permitía un mejor manejo del material en obra por parte del arquitecto o fabricante (Calderón Peñafiel, 2013). Esta línea temporal permitirá entender el uso y la implementación que se le ha dado a este elemento para la creación de muros de viviendas y pavimentos, partiendo de su aplicación en el Medio Oriente, continuando por Europa, su práctica en América Latina y finalmente el desarrollo que se le ha dado en Colombia.

Los primeros ladrillos de adobe fueron elaborados con arcilla mediante un moldeo manual con secado al sol, no obstante, con el transcurso del tiempo cambió la técnica y comenzaron a cocerse en hornos de leña, así mismo, se le dieron denominaciones a las caras del ladrillo, tales como tabla, testa y canto, y a sus lados, sogá, tizón y grueso (López Arce, 2012).

En cuanto al uso de los ladrillos, Palestina se sitúa a lo largo de la historia como la primera en el uso de los mismos con la técnica de secado al sol, hace más de 9.000 años (Calderón Peñafiel, 2013), sin embargo, es en Mesopotamia cuando aparecen los primeros ladrillos cocidos que se usan como elementos decorativos y en cubrimientos de muros de adobe. Posteriormente en la Edad Media es cuando se utiliza el ladrillo en el Norte de Europa y países bajos, pues se inicia la construcción de edificios domésticos, palacios y castillos. En el Renacimiento, es empleado masivamente en Inglaterra por la arquitectura británica, en España ya era característico su uso debido a la influencia musulmana en Castilla, Aragón y Andalucía, más específicamente

en la ciudad de Toledo, pues se encontraban las termas romanas, los edificios de Neoclásico dejados por cristianos, las mezquitas construidas por musulmanes o las sinagogas levantadas por lo judíos (López Arce, 2012).

Con el avance en los temas de construcción, se incorporó la primera máquina para comprimir tierra, que data del siglo XVIII, en Francia, a través de un dispositivo diseñado por Francois Cointeraux, para fabricar tapia, derivado de una prensa para elaborar vino; “cresise” fue el nombre por el cual se le denominó, pero es hasta comienzos del siglo XX que se obtienen las primeras prensas mecánicas con pesadas tapas de compresión estática con dos placas convergentes (Calderón Peñafiel, 2013).

Es entre 1910 y 1920 cuando empezó a ser objeto de estudio metódico la aplicación del suelo-cemento, y en 1917 Brooke Bradley empleó con éxito una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de carreteras, obteniendo resultados exitosos. En Estados Unidos se incrementó su uso a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies, pues el esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940 (Federación Interamericana del Cemento, 2008).

Ahora bien, son los Colonos los que llevan los ladrillos a América, aun cuando ya existían civilizaciones prehistóricas que los utilizaban de adobe revestidos en piedra. En México, Centro América y América del Sur, existieron construcciones de adobe en casi todas las culturas precolombinas. Desde fines de los años 600 y comienzos del 700, en la costa norte del Perú

nuevos modelos de ciudades, donde la estructura principal no fue únicamente una pirámide ceremonial (Guardo Polo, 1999).

Fue después de la Segunda Guerra Mundial cuando en España y Latinoamérica se inician las primeras experiencias con suelo-cemento aplicado en carreteras, siendo Argentina, Colombia y El Salvador los primeros países con más de 50 años de experiencia en la construcción de caminos de este tipo (Federación Interamericana del Cemento, 2008).

Entre 1970 y 1980 aparece una nueva generación de prensas manuales, mecánicas y de motor que permitieron la ampliación del mercado para la producción y aplicación de bloques de tierra comprimida, que a hoy es una solución al precio de los materiales industriales, el incremento en los costos energéticos y el impacto medioambiental. Por lo que actualmente empieza a utilizarse nuevamente en países como Australia y los Estados Unidos. Se registran interesantes innovaciones tecnológicas respecto de las técnicas de construcción en tierra, que se caracterizan por simplicidad, eficiencia, economía y bajo daño ambiental (Calderón Peñafiel, 2013), por lo cual, el suelo-cemento es una de las posibilidades del uso de la tierra para la construcción de viviendas (Barros & Imhoff, 2010) que se facilita aún más con los modernos equipos estabilizadores, recicladores de gran potencia y rendimiento, distribuidores y dosificadores de cemento para el trabajo en campo con garantía de calidad en mezclado y colocación. No obstante, aún existen retos por superar frente al estudio de este material, si bien el trabajo de investigación continúa en diversos países, su aplicabilidad se proyecta a muchas otras actividades de creación (Barros & Imhoff, 2010).

Desde luego, su aplicación e implementación a través del tiempo en el mundo, permitió que a principios del siglo XX Colombia incluyera este elemento en sus desarrollos habitacionales y técnicas artesanales, ejemplo de ello es el bahareque de origen precolombino adoptado por los

obreros, los campesinos y la población de bajos recursos como un sistema para la construcción de viviendas a través de adobe, tapia pisada, mampostería de ladrillo y piedras sentadas en mortero de cal.

A pesar de la eficiencia que había generado el uso de la tierra, entre los años 1920 y 1940 Colombia deja atrás la nación rural y adaptándose a la modernidad y los nuevos procesos, se incorporan el cemento y el acero como materiales dentro del campo urbano y habitacional, sin importar sus procesos industriales, se adoptaron fácilmente a la sociedad y conllevaron al desuso de los procesos anteriores, pues eran asociados como símbolo de pobreza y atraso, en este sentido, para 1930 las edificaciones ya eran construidas en cemento (Rivero Bolaños, 2007).

Para la década de 1950 una investigación del Centro Interamericano de Vivienda para América Latina (CINVA) produjo un bloque que devino del prensado mecánico, denominado BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC), que ha sido implementado desde ese momento en la construcción, pero buscando su mejora continua en cuanto a características y propiedades, se agregó cemento a su mezcla para dar origen al BLOQUE DE SUELO CEMENTO (BSC) (Vasco Correa).

Respecto de la viabilidad de este nuevo bloque, en el departamento de Antioquia, Olga Nallive Yepes Gaviria, realizó un estudio sobre el suelo cemento empleado como pavimento articulado, basando su propuesta en un sistema de formaletas en las cuales el bloque consta de tres capas, siendo la inicial el concreto, la segunda el suelo y por último una más de concreto, con variaciones en cantidades y mezcla de suelo (Vasco Correa). En este mismo municipio Carlos Mauricio Bedoya en el 2014 planteó y realizó la construcción de una casa con bloques de suelo cemento con ensamble tipo lego, bahareque y guadua (Bedoya Montoya, 2017).

Finalmente, la construcción en tierra ha sido también implementada con adición de biomateriales en Norte de Santander, departamento en el cual se desarrolló la idea de una aldea ecológica en un proyecto de bio-construcción que busca crear viviendas climáticamente confortables y de bajo impacto ambiental (Hurtado, 2016).

### 3. Justificación

La implementación para el mejoramiento de los suelos expansivos ha sido extensa; existen técnicas complejas de gran beneficio, aunque no mucha economía, las cuales logran grandes resultados favoreciendo también el tiempo que es uno de los factores importantes en un proyecto de obra civil. También diversas técnicas que combinan tanto economía como beneficios, y son menos complejas. Algunas manejan materiales como cal, la cual le reduce la plasticidad a las arcillas y mejora su resistencia (Narvaez Quiñonez, 2016); cemento, que aumenta significativamente la capacidad portante del suelo (Merchan Mejía & Galvis Rueda, 2015), nano partículas, es una técnica más costosa debido a la tecnología que maneja con tubos de carbono (Figueiredo, Correia, Hunkeler, & Rasteiro, 2015), residuos como cenizas provenientes de hornos donde se queman también materiales de construcción (Manso, Ortega López, Polanco, & Setién, 2013).

El empleo de bloques de suelo-cemento ha demostrado ser una buena opción en la construcción de pavimentos en investigaciones realizadas por Brooke Bradley” (De la Fuente Lavalle, 2013), este concepto se tomó en cuenta en Antioquia y allí se realizó el análisis de los mismos con un sistema tipo sándwich en el que el suelo cemento se complementa con dos placas de concreto, una en la superficie y otra en la base y posibles variaciones (Vasco Correa).

La mezcla de las técnicas anteriormente mencionadas, partiendo de las investigaciones ya realizadas de las mismas, podrían servir como implementación en el mejoramiento de suelos expansivos. Además, analizando las propiedades que son modificadas con las diferentes técnicas menos complejas y económicas, se puede implementar una, para este proyecto será la adición de

cemento; ya que por los resultados de diferentes ensayos ha demostrado ser la mezcla que tiene más resistencia portante, superando las de mezclas con cal, aceites y ceniza.

La mezcla de suelo-cemento se realizará para hacer adoquines o bloques, estos serán tipo adobe, los cuales tengan la resistencia a la compresión necesaria para soportar determinadas cargas simples, y posteriormente ser utilizados como una alternativa para la construcción de muros de vivienda o en la construcción de pavimento articulado para aquellas zonas que no poseen recursos suficientes para un paso peatonal y una vía de tránsito ligero como bicicletas.

El análisis del comportamiento de los adoquines partirá de los ensayos y si la capacidad de sus propiedades mecánicas cumple las condiciones requeridas, enmarcadas en normas como INVIAS y NTC (ICONTEC).

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General.**

Evaluar el comportamiento mecánico de adoquines elaborados de suelo-cemento.

### **4.2 Objetivos Específicos.**

- ✓ Caracterizar el suelo inalterado y posteriormente el suelo modificado con cemento, mediante los diferentes ensayos de laboratorio.
- ✓ Determinar el porcentaje óptimo de los escogidos para las mezclas de suelo-cemento.
- ✓ Evaluar el comportamiento mecánico de los adoquines elaborados, mediante ensayos de laboratorio.
- ✓ Realizar el análisis y comparación de los resultados obtenidos.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1 El suelo.**

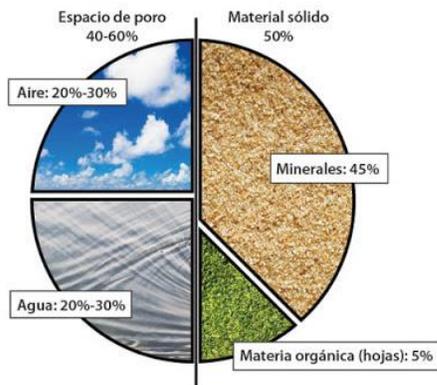
El suelo se puede definir a partir de dos puntos de vista, geólogo e ingenieril. El suelo está clasificado según sus propiedades físicas, consistencia y tamaño.

Desde el punto de vista ingenieril, se define el suelo como un agregado natural que no presenta granos minerales y materia orgánica en estado de descomposición. Por otra parte, el ingeniero relaciona al suelo como un material constructivo el cual es de vital importancia en el diseño y construcción de obras civiles (Universidad Autonoma Juan Misael Sarocho, 2016).

#### **5.1.1 Componentes del suelo.**

La exploración del suelo se lleva a cabo en un terreno donde se desarrolla un determinado proyecto, en este caso (una construcción), ya que se hace necesario para permitir y conocer las características físicas, químicas y mecánicas del suelo donde se piensa construir, la composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad, la ubicación de cuerpos de agua (Capas Freáticas) si las hay, la profundidad a la que se debe realizar las fundaciones (Nivel de fundación) y por último, planificar el diseño, cálculo y dosificación de las fundaciones (Pacheco Rivas, 2016).

Según Tom De Gómez, el artículo publicado en revista hay cinco componentes básicos de suelo:



*Figura 1. Esquema de componentes del suelo.*

*Fuente:* (Fernández Estecche, s.f.)

Según Tom De Gómez, el artículo publicado en revista hay cinco componentes básicos de suelo:

**5.1.1.1 Mineral.** Es uno de los componentes más grande del suelo el cual representa del 45% al 49% del volumen aproximadamente. Los minerales se derivan de dos tipos; Los minerales primarios, son los materiales del suelo que son similares al material de formación original los cuales se puede presentar de forma redonda o irregular. Por otro lado, los materiales secundarios son el resultante de la erosión de los materiales primarios que al momento de liberar iones forman minerales mucho más estables como la arcilla de silicato.

**5.1.1.2 Agua.** Es el segundo componente del suelo el cual puede constituir del 2% al 50% del volumen del suelo. Este componente es importante para el transporte de nutrientes a las plantas y organismos del suelo y descomposición biológica y química. La cantidad de agua que dispone el suelo es la capacidad que tiene este para retener la suficiente para el uso de la planta.

En gran medida la capacidad de un suelo para contener agua depende de sus texturas. Cuanto menor sea el tamaño de sus partículas, más agua puede retener. Por tanto, los suelos arcillosos que obtienen mayor retención de agua y las arenas menos retención. Otro aspecto que influye en la capacidad de retención de agua es la materia orgánica debido a la alta afinidad de materia orgánica por el agua.

Cuando el agua se encuentra fuertemente adherida a las partículas del suelo, no se encuentra disponible para extraer la mayoría de las plantas, que limita la cantidad de agua que se encuentra disponible para el uso de estas. Como las arcillas pueden contener mayor contenido de agua, los microporos muy finos en la superficie de las arcillas mantienen el agua tan comprimida que dificulta la extracción del agua por completo. Al contrario, las margas limosas y limosas se consideran texturas más productivas ya que contienen grandes proporciones de agua disponible para el uso de las plantas.

**5.1.1.3 Materia orgánica.** Se encuentra a niveles de 1% a 5% en los suelos. Esta se deriva de las plantas y animales muertos, tiene alta capacidad de conservar y proporcionar elementos básicos y agua para el crecimiento de las plantas. La materia orgánica la capacidad de retención de agua “disponible en la planta” muy alta la cual puede mejorar el potencial de crecimiento del suelo con no mucha retención de agua como ejemplo la arena. La cantidad de materia orgánica sobre los suelos se usa normalmente como indicador de un suelo productivo y fértil.

**5.1.1.4 Los gases.** Constituye den 2% al 50% del volumen del suelo debido a que tiene la capacidad de ocupar los mismos espacios del agua. Para la respiración de las plantas y

microbios es esencial el oxígeno el cual ayuda al constante crecimiento de las plantas. Por otro lado, el dióxido de carbono y nitrógeno son importantes para el funcionamiento de las plantas subterráneas. Si se mantienen los suelos inundados puede causar la muerte a la planta ya que se evita el intercambio de gases.

**5.1.1.5 Microorganismos.** Se encuentra en el suelo en altas cantidades, pero representan menos del 1% del volumen del suelo. Un puñado de tierra puede contener aproximadamente 20000 microorganismos. Las lombrices son los más grandes de estos organismos y las bacterias las más pequeñas al igual que las algas y los hongos. Los microorganismos son los descomponedores primarios de la materia orgánica ya que consumen la materia, agua y aire para proporcionar la materia orgánica cruda en humus.

La bacteria fijadora de nitrógenos es otro microorganismo, son una fuente importante de nitrógenos del suelo y esenciales para el desarrollo del suelo. Sin microbios el suelo se encontraría muerto y solo limitarse al crecimiento de las plantas (DeGomez, Kolb, & Kleinman, 2015).

#### **5.1.2 Factores que influyen en la formación del suelo.**

Para que se pueda dar la formación del suelo es necesaria la meteorización de la roca madre debido fundamentalmente a los agentes climáticos, provocando por una parte una desintegración física de sus componentes, y por otra la alteración química de sus componentes mineralógicos. Así al cabo de un tiempo la roca estará aproximadamente modificada (Universidad de Murcia, s.f.).

Para Hans Jenny en su libro “Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology” describe cinco factores que influyen a la formación del suelo planteando la siguiente ecuación

$S=f(c,mp,o,r,t)$  la cual relaciona estos cinco factores que son: Clima, material parental, organismos, relieve y tiempo (Hans, 1994).

**5.1.2.1 Clima.** Componentes climáticos con la precipitación y Temperatura son de mayor influencia en la evolución y formación del suelo, y el viento a medida que condicione procesos de evaporación también tiene un papel importante. La evapotranspiración potencia un elemento derivado de ellos que es decisivo en la evolución del suelo la cual determina la cantidad de agua que se necesita para proveer las necesidades de la planta.

**5.1.2.2 El material parental.** Está compuesto por los materiales que le dan origen, la identificación de este material debe hacerse posiblemente en el campo ya que en algunos casos se presentan problemas de escalas en los mapas geológicos. Estos materiales pueden provenir de las rocas de la corteza terrestre, originalmente se tiene un magma el cual está compuesto por elementos que van a formar los diferentes minerales que serán parte fundamental de las rocas ígneas

**5.1.2.3 Los organismos.** Es un conjunto de órganos que constituyen a un ser vivo. Cada uno de sus procesos químicos los cuales configuran su metabolismo es de su unidad básica que es la célula, por los que adquiere todos sus elementos nutricionales y energía del ambiente. La luz, compuestos químicos e inorgánicos son las tres fuentes de energía que disponen los organismos, cada fuente de energía define diferentes grupos como:

- ✓ Fotótrofos: Obteniendo de la luz energía.
- ✓ Litótrofos: Obteniendo energía de la oxidación de compuestos inorgánicos.

✓ Organótrofos: Obteniendo energía de la oxidación de compuestos orgánicos

Los vegetales es uno de los organismos que mayor influencia tiene sobre el desarrollo del suelo ya que tienen la capacidad de controlar el aporte de materia orgánica al mismo, tanto lo relacionado con cantidad, calidad o tipo de materiales adicionados.

**5.1.2.4 El relieve.** Se puede considerar como un conjunto en el que se presentan en la superficie terrestre. Su estudio incluye la Geomorfología y establecer las relaciones que se den entre las formas en la superficie terrestre. En los tipos de relieves las formas y dinámica están definidas en un entorno donde se unen las influencias climáticas, geológicas e intensidad las cuales han sido utilizadas para clasificar los tipos de relieves

**5.1.2.5 El tiempo.** La edad del suelo está limitada al tiempo en el cual han actuado procesos de formación. Para fijar la edad de los suelos se debe tener en cuenta que hay edades que se con ellas por ejemplo la edad de las rocas corresponde al periodo de formación, la edad del material parental si es saprolito su edad es menor que la roca original.

En ocasiones no es posible conocer la edad exacta del suelo, pero se puede fijar una consecuencia de suelos con la ayuda de la geomorfología la cual ayuda a la interpretación de los efectos que han tenido en su desarrollo y propiedades (Jaramillo, 2002).

En el libro Introducción a la ciencia del suelo por Eduardo Casanova se introduce un nuevo factor que es El hombre quien con sus actividades de manejo del suelo influye en la génesis del mismo (Casanova, 2005).

**5.1.3 Perfil del suelo.** Juan José Ibáñez en su artículo define el perfil de suelo como “la sección o corte vertical que describen y analizan los edafólogos con vistas a describirlo y clasificarlo” (Ibáñez , 2008).

La formación y evolución del suelo con la influencia del clima, permite la aparición de diferentes capas horizontales a las cuales se les llama horizontes que a su vez reciben el nombre de Perfil. Un perfil se puede dividir en horizonte H, horizonte O, horizonte A, horizonte E (A2), horizonte B, horizonte C los cuales se definen adecentamiento a continuación:

*Tabla 1. Perfiles del suelo (Crosara, s.f.).*

<p><b>5.1.3.1 Horizonte H.</b> Es abundante en materia orgánica encontrada en la superficie y en parte descompuesta. Se encuentra saturado de agua excepto si se drena artificialmente.</p>	
<p><b>5.1.3.2 Horizonte O.</b> Formado a partir de materiales orgánicos que se encuentran en la superficie del suelo y su material se encuentra poco descompuesto. No se encuentra saturado y contenido en carbono orgánico de 20% o más.</p>	
<p><b>5.1.3.3 Horizonte A.</b> En su superficie es el que recibe un mayor aporte de material orgánico procedente de restos vegetales y animales, nunca llega a los valores de horizontes H u O. Tiene un color un poco oscuro por la materia orgánica.</p>	

*Figura 2. Perfiles del suelo.*

*Fuente: (Scribd, 2010)*

<p><b>5.1.3.4 Horizonte E (A2).</b> Horizonte netamente eluvial el cual su principal característica por su concentración de arena y limo debido a la pérdida de minerales arcillosos</p>	
<p><b>5.1.3.5 Horizonte B.</b> Acumulación de arcillas silicatadas, hierro, aluminio, sesquióxidos y se clasifica con un sufijo, Bs (acumulación de hierro)-Bt (textural)-Bca (carbonatos)</p>	
<p><b>5.1.3.6 Horizonte C.</b> Material parental o subsuelo. Parte más alta de la roca madre, la cual se entrega fragmentada, material no consolidado y se encuentra acumulaciones de carbonato de calcio.</p>	

*Fuente: Propia*

**5.1.4 Tipos de suelos.** La estructura de un suelo es la distribución y ordenamiento geométrico de las partículas o granos minerales, el aire y el agua presentes de un material, como consecuencia de las características propias de ese, e influenciados por las fuerzas que actúan sobre partículas (Cruz Velasco, 2015).

Graciela Ortega Miranda expone que “Los suelos se clasifican según diferentes criterios: su evolución, composición, capacidad de uso en agricultura y textura, entre otros” (Ortega Miranda, 2014).

**5.1.4.1 Según su textura.** La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa, es decir:

**5.1.4.2 Arenosos.** Predomina principalmente la arena, estos suelos no retienen agua ya que sus partículas son de gran tamaño. Normalmente son de color claro y no contienen mucha materia orgánica lo que hace que sean poco productivos para la agricultura.

**5.1.4.3 Limosos.** Su tamaño es medio predominado por los limos. Estos suelos no filtran el agua rápidamente, y tiene mucha materia orgánica la en este caso se compacta mucho al secarse.

**5.1.4.4 Arcillosos.** En este tipo de suelo predomina partículas de menor tamaño. Son casi impermeables pero muy compacto en la falta de agua. Son de alto contenido de materia orgánica pero cuando se encuentran en estados secos probablemente no permitan el crecimiento de raíces.

**5.1.4.5 Suelo franco.** Es aquel suelo que contiene porciones aproximadamente iguales de las tres partículas minerales el cual es ideal para actividades de agricultura.

**5.1.4.6 Según la evolución y descomposición de la roca.** En el proceso de formación de los suelos, que puede durar varios cientos de años, dependiendo de las características

climatológicas del lugar como lo es la meteorización de la roca madre (acción mecánica por hielo, temperatura, etc.), la acción química inorgánica (agua, sales minerales), la acción biológica (descomposición de materias por los seres vivos que colonizan el suelo, tales como bacterias, hongos o protozoos) y la acción conjunta de todas las materias orgánicas e inorgánicas,

**5.1.4.7 Suelos no evolucionados.** Se encuentran próximos a la roca madre con contenido de poca materia orgánica.

**5.1.4.8 Suelos poco evolucionados:** Gran contenido de materia orgánica y su color depende de la composición.

**5.1.4.9 Suelos evolucionados.** Mucha materia orgánica en estados de descomposición diferentes y su roca madre desintegrada (Ortega Miranda, 2014).

**5.1.5 Consistencia del suelo.** “La consistencia se determina considerando tres posibles estados del suelo: seco (contenido en humedad por debajo del punto de marchites permanente), húmedo y mojado (contenido en humedad por encima de la capacidad de campo)” De esta manera, la consistencia del suelo se evalúa de la siguiente manera:



Figura 3. Consistencia del suelo en base a su humedad y volumen.

Fuente: (Franch, 2013)

#### 5.1.5.1 Estado seco.

- ✓ Suelto: Su masa se deshace sin aplicar mucha presión. Sus partículas no están unidas entre ellas y no tiene presencia de agregados. Este suelo es muy penetrable pero su raíz tiene muy poco contacto y su retención de agua es débil
- ✓ Ligeramente duro: Los agregados se deshacen aplicando una ligera presión. Es de fácil penetración y tiene muy buen contacto a las raíces. Generalmente es de buena retención de agua.
- ✓ Duro: Necesariamente aplicar una fuerte presión para romper sus agregados. Sus raíces penetran con mucha dificultad en agregados.
- ✓ Muy duro: Se utilizan las manos para romper los agregados.
- ✓ Extremadamente duro: Utilizando la presión de las manos se puede romper los agregados.

#### 5.1.5.2 Estado húmedo.

- ✓ Suelto: Sus propiedades son parecidas a las descritas en Estado seco (Suelto).

- ✓ Friable: Su masa se deshace bajo presión, pero tiende a unirse nuevamente. En estado seco suele ser blando o un poco duro. Proporciona muy buen contacto del suelo con las semillas y con las raíces.
- ✓ Firme: Necesariamente aplicar presión para deformar el suelo. En estado seco suele ser duro.
- ✓ Extremadamente firme: Para deformar el suelo se debe aplicar una gran presión esto es debido a la presencia de arcillas o agentes químicos.

#### **5.1.5.3 Estado mojado:**

- ✓ Adhesividad: Dentro de esta se encuentran las No adherente la cuales no se pegan a la mano, Ligeramente adherente se pega a los dedos y adhesivo la cual se pega con fuerza a las manos
- ✓ Plasticidad: Se encuentran los No plásticos, ligeramente plástico y plástico (Jordan López, 2005-2006).

## **5.2 Cemento.**

“El cemento es un conglomerante hidráulico que se presenta en forma de polvo muy fino que convenientemente amasado con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua hasta llegar a sus resistencias finales en función al tipo de cemento empleado, el diseño del hormigón y su aplicación final en la obra civil” (Microsoft, 2012).

**5.2.1 Clases de cemento.** “En el sector de la construcción siempre ha sido y será imprescindible el uso de materiales de la mejor calidad en este caso el cemento, ya que, de

estos, depende la duración de una construcción y que no se deteriore rápidamente. A la hora de llevar a cabo una obra, el cemento es uno de los materiales más importantes; por no decir el principal” (alfa, s.f.).

Según La Norma Técnica Colombiana NTC 31 define el cemento como:

“Un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice alúmina y óxidos de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos” (Normas Tecnicas Colombianas, 2014).

*Tabla 2. Tipos de cemento (Latorre Cañon, 2008).*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>I</b>	Es el más comercializado en nuestro país, se conoce como cemento gris y es usado principalmente en estructuras y obras.
<b>II</b>	Es un cemento usado generalmente donde hay presencia de sulfatos (ej. zonas cercanas al mar).
<b>III</b>	Es usado generalmente en prefabricados, y donde se requiere un rápido endurecimiento y buena resistencia.
<b>IV</b>	Se usa para estructuras grandes como presas de concreto, contiene aceptable resistencia a los sulfatos y a la humedad.
<b>V</b>	Contiene una altísima resistencia a los sulfatos, es esencial para las construcciones que tienen constante contacto con el agua de mar”.

*Fuente: Propia*

**5.2.2 Proceso de producción.** Para llevar a cabo el proceso de producción dentro de las fábricas quienes son las encargadas deben seguir los siguientes pasos:

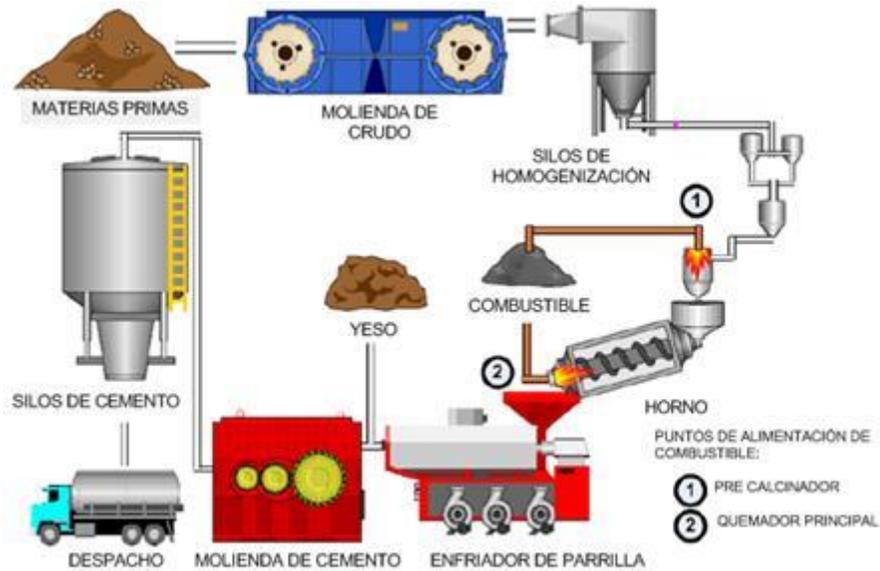


Figura 4. Proceso de producción del cemento.

Fuente: (Nithikul, 2007)

En primer lugar, implica la explotación de las materias primas en canteras, este material se somete a trituración el cual consta en reducir el tamaño de las rocas hasta un tamaño máximo de 30 mm. Luego se realiza la premezcla de calizas, arcilla y aditivos, el resultado debe estar acorde con las normas de calidad.

La molienda de crudo, el material triturado continúa en proceso de reducción de tamaño. En esta etapa se establece la diferencia entre los sistemas de producción de cemento, proceso húmedo y seco. El material resultante es sometido a homogeneización previamente a su alimentación al horno.

En el libro “Cementos del Caribe, 50 años de historia” se explica que es en los hornos donde se lleva a cabo el proceso de calcinación mediante el cual, y como consecuencia del aporte

calórico, se presentan las reacciones químicas que producen el Clinker, adicionado en pequeños porcentajes de yeso, pasa a los molinos, donde se transforma en cemento.

La captación del polvo que emite las chimeneas de los hornos se realiza por filtros especiales. Este polvo puede revolverse al horno y reincorporarse al proceso. También se utilizan estos recolectores en diferentes sitios para buscar un equilibrio en bienestar, el desarrollo industrial y su costo económico y social (Redacción EL TIEMPO, 1996).

### **5.3 Suelo-Cemento.**

“El suelo-cemento es la mezcla íntima y homogénea de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento portland y agua, y que luego de compactado, para obtener densidades altas, y curado, para que se produzca un endurecimiento más efectivo, se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión, prácticamente impermeable, termo aislante y estable en el tiempo” (Toirac Coral, 2008).

**5.3.1 Propiedades del material Suelo-Cemento.** Para la determinar el comportamiento de un material para construcción alguna es necesario el conocimiento de sus propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas. El suelo cemento comprimido fue sometido a los ensayos establecido en las normas con el fin de buscar su uso adecuado.

El suelo cemento comprimido puede diseñarse y fabricarse en función de sus necesidades, requerimientos arquitectónicos, estructural, ambiental y tecnológico para cada situación diferente. Sus propiedades físicas se harán en función de forma, textura, dimensiones, compacidad, porosidad y peso unitario dependerán de la compresión efectuado sobre este material.

Las fuerzas exteriores es función del sistema de compactación y dosificación de la mezcla adecuada para máxima economía. Tratándose de un material con tierra permite controlar las

propiedades requeridas permite fabricación de componentes y elementos constructivos como muros, pisos, techos etc. (Alderete & Mellace, 2014).

**5.3.2 Ladrillos de Suelo-Cemento.** La diferencia entre la producción de un ladrillo cocido tradicional y un ladrillo de suelo-cemento radica en el procedimiento de obtención. En el segundo de los casos, éste es realizado mediante estabilización y prensado del suelo utilizando la tierra no fértil como materia prima; a diferencia del proceso de extracción de la capa superficial del suelo, amasado, moldeo y cocción de los mismos con un elevado consumo energético. Esto nos lleva a afirmar que el ladrillo propuesto es un "ladrillo ecológico": la tierra no se cuece, sino que es estabilizada a partir de la adición de cemento; éste actúa sobre el suelo, modificando el comportamiento de sus partículas y mejorando su estabilidad, transformando la masa resultante en una estructura difícil de alterar y de mejor resistencia con respecto a un suelo natural (Gatina, 2000).

Los ladrillos de suelo-cemento se puede considerar un ecológicos, en este caso la tierra no se somete a procesos de cocción sino por el contrario se estabiliza a partir de adición de cemento. Sus dimensiones normalmente se encuentran entre 12,5x25,5x5,5cm.

La producción de ladrillos sometidos a cocción y suelo-cemento arraiga en su procedimiento de elaboración. En el caso de elaboración de ladrillos de suelo cemento estos son realizados mediante estabilización y prensado utilizando como materia prima suelo no fértil, a diferencia de los ladrillos cocidos que son extraídos de la capa superficial del suelo, amasado, moldeado y cocido.

Una de las características que cabe resaltar de los ladrillos de suelo-cemento es su implementación en técnicas de mampostería tradicional, a su vez su formación no interviene

tierra de la capa fértil del suelo, ya que ésta no suele entrar en reacción con el cemento, muy al contrario, en su composición contienen altos porcentajes de arena, poco material limoso y cero de humus. También el coste de estos ladrillos es reducido ya que se limita al costo del cemento, al mismo tiempo los ladrillos de suelo-cemento son ligeramente más pesado que un ladrillo sometido a cocción y absorbe diez veces menos agua que un ladrillo tradicional.

**5.3.2.1 Elaboración de ladrillos Suelo-Cemento.** Para que se dé la elaboración de este tipo de ladrillos es necesario tener en cuenta la organización en relación con la técnica seleccionada como lo es por ejemplo el diseño de los métodos, materiales, mano de obra y equipos. A continuación, se presenta las etapas generales para elaboración de ladrillos suelo-cemento:

- ✓ Selección del suelo: para esta etapa es eficaz el método de decantación más conocido como “método de la botella”, el cual consiste en una botella transparente en la que se mezcla una muestra de suelo (75% de agua, 25% de suelo) posteriormente se bate el recipiente dejándolo en reposo.

Primero es identificar el contenido de arena, granos gruesos en la que se asentarán el limo y la arcilla que son partículas más pequeñas. Esta prueba permite comprar fácilmente muestras de suelo.

- ✓ Extracción del suelo: El material a utilizar puede ser comprado en canteras o puede extraerse del lugar donde se va a realizar la actividad en efecto ahorrando en costes de material, transporte y descarga.

- ✓ Secado: Si el suelo se encuentra posiblemente con contenido de humedad se es difícil realizar el siguiente paso (Tamizado) debido a la cohesión en la que se encuentran las partículas por lo tanto es recomendable someter el material al aire libre o sol penetrante para disminuir su humedad.
- ✓ Tamizado: Esto se hace para eliminar partículas mayores a 5mm, esto no asegura excelente compactación del material sino el uso adecuado y mantenimiento de equipos. Todo esto inspiro al desarrollo de una máquina trituradora de terrones y tamizadora de tierra.
- ✓ Maquina tamizadora y trituradora de terrones: la cual consta de una tolva donde se vierte la tierra donde 3 martillos giran sobre su eje para aplastar los terrones de tierra. En la baja se encuentra una malla con perforaciones por donde se debe pasar la tierra.
- ✓ Dosificación y mezclado de componentes en seco: la cantidad de cemento para la estabilización dependerá de las características del suelo y de la compactación seleccionada.

Es recomendable que el suelo y el cemento sean mezclados en seco antes de la adición del agua, hasta obtener de esta una mezcla de color uniforme.

Compactación y moldeo preferiblemente mezclar esto en una mezcladora la mecánica consiste en un eje con paletas mezcladoras, que barren las paredes, impulsada por un motor.

Adición de agua: esta adición es necesaria para activar la acción cohesiva de las arcillas. Actuando como lubricante para mejora de la compresión y activa la reacción de cemento. El agua se agrega de forma lluvia hasta obtener una humedad uniforme.

- ✓ Compactación y moldeo: La mezcla suelta se comprime reduciendo su volumen y convirtiéndose en una masa compactada. Existen diversas maneras para realizar la compactación, entre las maquina moldeadoras se encuentra las CIMVA-RAM la cual produce ladrillos y bloques de suelo cemento.

- ✓ Curado y acopio: para asegurar el fraguado deben almacenarse con adecuada protección frente a sol y la lluvia. Se debe garantizar que en las primeras 24 horas no pierda su humedad bruscamente. Estos ladrillos podrán ser utilizados en construcciones a partir de 21 días de su fabricación (Gatani, 2000).

#### 5.4 Suelos Aptos Para Mezclas De Suelo-Cemento.

Se puede decir que todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo-cemento, sin embargo, cuando se habla de una mezcla con calidad y minio consumo de cemento, el número de suelos aptos para esto se reduce. Aquellos que se encuentran entre el 5% y 12% de sus pesos

Aquellos suelos aptos para la mezcla deben ser estable en la contracción, tener muy buen porcentaje de absorción de agua y alcanzar su resistencia en el menor tiempo posible

Por lo anteriormente mencionado es preciso decir que la mezcla de suelo-cemento se define en dos tipos de suelo:

*Tabla 3. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento (Toirac Coral, 2008).*

<b>5.4.1 Suelos eficientes</b>	<b>5.4.2 Suelos deficientes</b>
<p><b>Suelos arenosos y suelos con grava.</b> Entre un 10% y 35% de limo y arcilla combinados, presentan características más favorables y requieren mínimas cantidades de cemento para endurecimiento adecuado.</p>	<p><b>Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad.</b> Estos necesitan buena cantidad de cemento debido a su alta plasticidad y poca resistencia.</p>
<p><b>Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas.</b> Permiten obtener un</p>	<p><b>Suelos orgánicos.</b> Mucha materia orgánica lo que dificulta mucho el proceso además</p>

buen suelo cemento, aunque la cantidad de cemento es mayor que para los arenosos normales.	necesitan mucho cemento para poder endurecer.
<b>Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad:</b> preparación de la mezcla satisfactoriamente, entre más arcilloso mayor porcentaje de cemento.	

*Fuente: Propia*

## **6. Metodología**

### **6.1 Selección del Material.**

El material seleccionado para la realización de este proyecto fue tomado del km 2 Vereda Malpaso, cerca de la Ladrillera Bautista, con conocimiento previo del sitio y tipo de material en el lugar, el cual es arcilloso; se escoge este tipo de material ya que normalmente son los que presentan un mayor reto para estabilizarlos por sus cambios volumétricos y potencial de expansión, y economía, ya que el material fue suministrado gratuitamente de una cantera. El material se almacena en los lugares asignados por el personal del laboratorio.

### **6.2 Preparación de Material.**

El material utilizado se encontraba húmedo y compactado en grandes bloques, por ende, se fragmentó el material para eliminar sobre tamaños, y se secó al aire libre como se muestra en la figura 5 y luego en los hornos de los laboratorios de materiales y pavimentos de la Universidad Pontificia Bolivariana.

La metodología utilizada para este proyecto consistió en dos partes: inicialmente en caracterizar el suelo virgen y con diferentes porcentajes de cemento adicionando 3%, 5% y 7% del mismo, partiendo de lo dicho en el Art 350-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013), donde dice que el contenido mínimo de cemento no debe estar por debajo del 3% de la masa seca a mejorar, además se escogen estos porcentajes con el propósito de no aumentar en sobremanera los costos. Se realizó un análisis y se escogió el porcentaje óptimo de cemento para la mezcla, para posteriormente realizar los bloques con suelo inalterado y con el porcentaje óptimo de cemento, y seguidamente someterlos a los ensayos de compresión, absorción y abrasión.

Para el suelo con adición de diferentes porcentajes de cemento, se realizó la mezcla con el suelo inalterado secado en los hornos y pasado por el tamiz N°4. Se empacó en bolsas herméticas y se dejó en un cuarto sin humedad, curando por 7 días.



*Figura 5. Secado del material al aire libre.*

*Fuente: Propia*

### **6.3 Caracterización del Suelo.**

#### **6.3.1 Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino - INV E-213-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013).**

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados grueso y fino de un material, por medio de tamizado. Siguiendo este procedimiento:

Inicialmente la muestra se mezcló completamente y se redujo a un tamaño apropiado para el ensayo.

- ✓ Se tomó la cantidad de suelo según la masa mínima de la muestra para el ensayo indicada en la norma, el cual debe ser lavado en el tamiz N°10 para eliminar las impurezas que se encuentran en esta.
- ✓ La muestra se secó a una temperatura de 110°C en el horno hasta que se obtuvo una masa constante y después se seleccionó la muestra disponible para el ensayo. La cantidad de la muestra se indica en la norma INV E-214-07 (Instituto Nacional de Vías, 2013).
- ✓ Se procedió a seleccionar un grupo de tamices de tamaños adecuados para el suministro de la información requerida conforme a lo estipulado en la norma, estos fueron encajados en orden decreciente por el tamaño de abertura como se muestra en la figura 6.



*Figura 6. Tamices granulométricos.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Se agitaron los tamices a mano durante un periodo suficiente de tal modo que cuando haya finalizado no pase más del 1% del material por el tamiz, tras agitarlo manualmente durante un minuto.
- ✓ Se determinó la masa retenida en cada tamiz, y con los datos obtenidos se realizaron los cálculos correspondientes al porcentaje retenido y porcentaje que pasa.

### 6.3.2 Determinación del límite líquido de los suelos - INV E-125-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Interviene en varios sistemas de clasificación de suelos, se usa para establecer correlaciones sobre su comportamiento, compactibilidad, procesos de expansión, contracción y la resistencia al corte. El procedimiento para realizarlo fue el siguiente:

- ✓ La muestra debió ser procesada por el tamiz N°40 como se puede ver en la figura 7.



*Figura 7. Material pasado por el tamiz N°40.*

*Fuente: Propia*

Se obtuvo una porción de aproximadamente 150 a 200 gr. Para cada una de las muestras se realizó lo siguiente:

- ✓ Se ajustó con pequeños incrementos el contenido de agua a cada una de las muestras hasta que adquirió la consistencia adecuada para que fueran necesarios de 25 a 35 golpes para cerrar la ranura que se debió hacer en el suelo, todo esto realizado en un recipiente y con la ayuda de una espátula.

- ✓ Se colocó la muestra de suelo en la cazuela donde ésta descansa con la base como se muestra en la figura 8.



*Figura 8. Material puesto en la cazuela*

*Fuente: Propia*

- ✓ El suelo colocado sobre la cazuela de bronce se dividió con una pasada firme del ranurador, una línea que iba desde el punto más alto hasta el más bajo del borde de la cazuela. Se debió tener especial cuidado en evitar que la pasta de suelo se deslizara sobre la superficie.
- ✓ Se golpeó la cazuela girando la manija hasta que la pasta se unió en algún punto en el fondo, a lo largo de la ranura.
- ✓ Se registró el número de golpes que fueron requeridos para cerrar la ranura en los siguientes intervalos: 25-35; 20-30 y 15-25 golpes, y se tomó una porción para obtener su respectiva humedad.

- ✓ Se tomó el recipiente con la porción de suelo y se pesó anotando el valor obtenido, seguido se colocó dentro del horno a 110 °C hasta obtener una masa constante y se tomó su peso. Con esto se calculó el contenido de agua en porcentaje (%) y su respectiva curva de fluidez.

### **6.3.3 Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos - INV E-126-13 (Instituto Nacional de Vias, 2013).**

Este ensayo se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos, estos límites representan las fronteras entre diversos estados de consistencia de los suelos plásticos.

El procedimiento llevado a cabo se realizó para cada una de las muestras (suelo virgen, suelo con adición de 3%, 5% y 7% de cemento):

- ✓ Este límite se realizó con una porción de la misma muestra de límite líquido, preparada como se muestra en la figura 9.



*Figura 9. Preparación de la muestra.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Se formaron rollos entre la palma de la mano o dedos en una placa de vidrio hasta que alcanzaron un diámetro de aproximadamente 3.2 mm.
- ✓ Cuando la muestra llegó a su diámetro, este se dividió en varios trozos los cuales se volvieron a comprimir formando una masa uniforme. Se repitió este procedimiento hasta que el rollo de desmoronó bajo la presión requerida para el enrollamiento y no se pudo enrollar más.
- ✓ Se recogieron las porciones del suelo desmoronado, en la figura 10 se puede observar cómo se colocaron en un recipiente conociendo su masa previamente.



*Figura 10. Capsulas con suelo para determinación de humedad.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Finalmente se determinaron los contenidos de agua del suelo en los recipientes de acuerdo con la norma INV E-122-13 (Instituto Nacional de Vias, 2013).

#### **6.3.4 Determinación de los factores de contracción de los suelos - INV E-127-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013).**

Representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo, el concepto del límite de contracción se puede emplear para evaluar el potencial de contracción y/o la posibilidad de que se desarrollen grietas en obras que incluyan suelos cohesivos.

- ✓ Se tomó una muestra de material pasado por el tamiz N°40 que pesara aproximadamente 30 g.
- ✓ La muestra de suelo se mezcló con suficiente agua hasta darle una consistencia pastosa para que fuese fácil de colocarla en el recipiente para contracción.
- ✓ Se colocó el recipiente para contracción dentro de una bandeja para evitar derrame de mercurio. Se procedió a llenar el recipiente con mercurio hasta rebosar eliminando exceso con la placa de vidrio sobre la parte superior del recipiente. Se determinó el volumen de mercurio contenido en el recipiente, midiendo la masa de este en una balanza y dividiéndola en la densidad del mercurio.
- ✓ El recipiente debió revestirse con una capa delgada de vaselina para evitar la adhesión del suelo al recipiente y se anotó la masa en gramos del recipiente vacío.
- ✓ Se procedió a llenar el recipiente con la muestra de suelo en tres capas aproximadamente iguales como se muestra en la figura 11 y en cada capa se golpeó suavemente sobre una superficie firme hasta notar que dejaran de salir burbujas de aire hacia la superficie, con el fin de asegurar que la muestra libere aire. Luego de haber llenado el recipiente y sacado todas las burbujas de aire, se removió el excedente de suelo de los lados y la superficie con la espátula y se tomó su masa.



*Figura 11. Preparación de muestra para contracción*

*Fuente: Propia*

- ✓ Se introdujo en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}$  hasta que alcanzó una masa constante, se pesó la masa del suelo seco con el recipiente y se anotó.
- ✓ En la figura 12 se observan los especímenes de suelo secado en el horno, para determinar el volumen se colocó una taza de vidrio dentro de una bandeja. Se llenó la taza con mercurio y se removió el exceso presionando la placa de vidrio. El excedente que quedó en la bandeja se limpió completamente para volver a poner la tasa con mercurio en ella, y enseguida la pastilla de suelo seco sobre la superficie del mercurio. Empleando la placa de vidrio se forzó cuidadosamente la pastilla para sumergirla. Se anotó el peso del mercurio desplazado y se calculó el volumen de este dividiendo la masa entre la densidad de este. El volumen hallado será el correspondiente al volumen del suelo seco.



*Figura 12. Muestras de contracción secadas en el horno.*

*Fuente: Propia*

### **6.3.5 Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) - INV E-142-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013).**

Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos compactados en un molde, con un martillo que cae libremente desde una altura determinada.

- ✓ La muestra fue secada al aire hasta que estuviese lo suficientemente seca para ser desmenuzada, se desintegraron las partes conglomeradas. En la figura 13 se evidencia el tamizado del suelo que debe realizarse por el tamiz N°4.



*Figura 13. Material pasado por el tamiz N°4.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Se prepararon cuatro submuestras con humedades diferentes que abarcaron aproximadamente la humedad óptima, con variaciones entre porcentajes de humedad para que por lo menos dos de ellas fuesen superiores a la óptima y dos inferiores a ella. Y se mezcló uniformemente.
- ✓ Se registró la masa del molde con la placa base.
- ✓ Se ensambló y aseguró el collar, y el conjunto de estos a la placa base, de tal manera que cuando acabó la compactación fue fácil de retirar.
- ✓ El suelo se compactó en cinco capas más o menos iguales usando el martillo de operación manual, cuyo peso es de 10 Lb. La figura 14 muestra la altura aproximada de la que debe soltarse el martillo. Compactando con 25 golpes cada capa.



*Figura 14. Compactación de la muestra.*

*Fuente: Propia.*

- ✓ Los golpes se aplicaron con una velocidad lo más uniforme posible cubriendo toda la superficie de la capa.

- ✓ Terminada la compactación de la última capa, se removió el collar. Se usó un cuchillo para desbastar el suelo adyacente al collar para aflojarlo antes de removerlo, evitando alterar la probeta por debajo del collar. Se enrasó la probeta compactada con la regla metálica. Los pequeños orificios que quedaron en la superficie de la probeta se rellenaron con el suelo desbastado, presionándolo con los dedos y se enrasó nuevamente con la regla metálica.
- ✓ Se determinó y anotó la masa del molde (junto con su base), la figura 15 muestra cómo debe quedar el molde con el suelo para proceder a pesarlo.



*Figura 15. Molde con muestra compactada.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Se extrajo el suelo del molde y se tomó una porción de la muestra para determinar la humedad.
- ✓ Se compararon los pesos unitarios húmedos de todas las probetas, y se aseguró que hubiera datos a ambos lados de la humedad óptima, esto permitió la curva de compactación. Para cada probeta se dibujaron los puntos representativos del peso unitario húmedo y su respectiva humedad.

### 6.3.6 Compresión inconfiada en muestras de suelos - INV E-152-13 (Instituto Nacional de Vias, 2013).

El objetivo del ensayo es determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación.

- ✓ Las muestras fueron compactadas y realizadas en la máquina Harvard mostrada en la figura 16. Se hicieron 5 capas aplicando 25 golpes a cada una y se extrajeron unas probetas con unas medidas aproximadas de 7 cm de altura y con diámetro de 3 cm, en la Figura 17 se pueden observar los especímenes realizados. Las muestras compactadas se prepararon con la humedad optima hallada en el ensayo anteriormente mencionado, y se tomó la medida de la masa de cada probeta. Se dejaron curando por siete días en el cuarto de curado.



*Figura 16. Máquina Harvard.*

*Fuente: Propia*

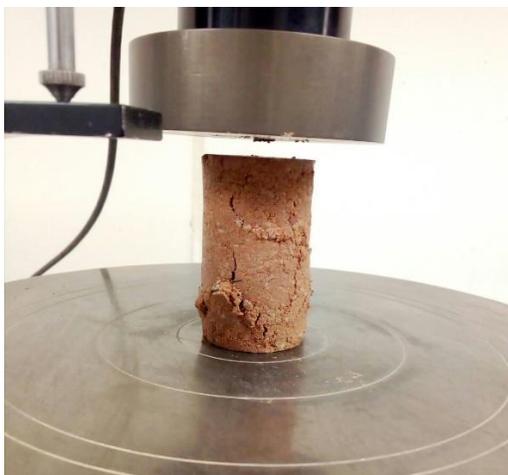


*Figura 17. Muestras compactadas.*

*Fuente: Propia*

Cada espécimen se colocó en el aparato de carga de tal manera que quedara centrado, se ajustó el instrumento de carga cuidadosamente, de modo que la platina superior apenas hiciera contacto con el espécimen y se llevó a cero el indicador de deformación.

- ✓ Se aplicó la carga a una velocidad entre 0.009843 a 1.039370 (in/min), hasta que los valores de carga decrecieron, mientras aumentaban los de deformación.
- ✓ Se registraron los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos para definir la curva de esfuerzo-deformación.
- ✓ Al terminar el ensayo, se determinó el contenido de agua de la muestra utilizando todo el espécimen.
- ✓ La figura 18 se muestra el espécimen ya fallado, en base a su forma se hace un esquema de las condiciones de falla, donde se aprecie el ángulo de inclinación de la superficie de rotura.



*Figura 18. Muestra ensayada a compresión inconfiada.*

*Fuente: Propia*

#### **6.4 Elaboración de los Bloques.**

Después de tener los resultados de la caracterización de las diferentes muestras de suelo (suelo inalterado, suelo con adición de 3%, 5% y 7% de cemento), se preparó la mezcla de suelo con la adición de porcentaje de cemento óptimo, y se procedió a dejarlo curando en bolsas herméticas por siete días.

Para esta segunda parte de la metodología se planteó realizar 45 bloques elaborados con suelo inalterado y 45 bloques con suelo-cemento, con la adición de humedad óptima y se compactaron manualmente en la máquina CINVA-RAM, dosificando la cantidad de suelo para cada uno, esto se realizó con un molde dosificador presente en la máquina que se desliza y deposita el material en el molde que se prensa, realizando tres pasadas; de esta manera el grado de compactación fue el más parecido posible, prensando con la palanca hasta un punto determinado; los bloques tenían unas medidas aproximadas de 30 x 15 x 9 cm. Se dejaron en el cuarto de curado ubicado en el Laboratorio de Materiales de la UPB, mientras se ensayaban en las fechas correspondientes. En la figura 19, se visualiza la organización de los bloques en el cuarto de curado.



*Figura 19. Bloques en cuarto de curado.*

*Fuente: Propio*

Los bloques fueron ensayados en diferentes tiempos después de su elaboración (a los 7, 14 y 28 días) con el fin de determinar el tiempo en el que alcanzan su mayor resistencia. En cada una de las tres fechas se destinaron 5 bloques para ensayos de compresión simple, 5 bloques para ensayos de abrasión y 3 bloques para ensayos de absorción, los que sobraron se usaron como respaldo por si alguna circunstancia afectaba la cantidad necesaria para cada ensayo. Se optó para el ensayo de abrasión partir un bloque en tres partes iguales para poder ensayarlo en la máquina de abrasión, obteniendo así, tres muestras de un solo bloque y utilizando en ese caso dos bloques para los ensayos de abrasión.

#### 6.4.1 Resistencia a la compresión de adoquines de concreto - INV E- 426-13 (Instituto Nacional de Vias, 2013).

Esta norma se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de adoquines de cemento. Se usó esta norma como referencia debido a que para adoquines de suelo-cemento aún no existe una.

Se midieron cada uno de los especímenes tomando el ancho, el espesor y longitud, cada una medida suficientes veces para sacar un promedio.

- ✓ Los especímenes se apoyaron verticalmente con el centro de empuje del bloque de carga de la máquina de ensayo como se muestra en la figura 20. Debido a que el área del bloque de carga no cubría totalmente la superficie del espécimen, se colocó una platina en la parte superior e inferior, de forma centrada.



*Figura 20. Ensayo de compresión simple.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Se aplicó la carga y se registró la carga máxima de compresión en Lbf, para cada uno de los especímenes. Luego se procedió a hacer los cálculos requeridos por la norma. En la figura 21 se observa el tipo de falla obtenido con el ensayo.



*Figura 21. Falla de la muestra luego de aplicar la carga.*

*Fuente: Propia*

#### **6.4.2 Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho - NTC 5147(Normas Tecnicas Colombianas, 2014).**

Esta norma establece procedimientos para la medición, en laboratorio, del desgaste de materiales para pisos y pavimentos utilizando un disco ancho metálico y un material abrasivo (arena).

- ✓ Para los especímenes que tenían irregularidades en la superficie, se corrigió de tal forma que la cara superior de este (cara de desgaste) se encontrara plana.

- ✓ El espécimen se debía encontrar limpio y seco, su superficie se pintó con pintura blanco, para que contrastara con el color del espécimen y así facilitar la determinación de la huella.
- ✓ Se fijó el espécimen firmemente al carro porta espécimen, y se verificó su alineación y libertad de desplazamiento como se muestre en la figura 22. La tolva de almacenamiento estaba llena con arena como material abrasivo y debajo de esta un recipiente vacío para recoger el material abrasivo usado en el ensayo.



*Figura 22. Máquina y colocación de adoquín.*

*Fuente: Propia*

- ✓ El espécimen se colocó en contacto con el disco metálico; luego se abrió la válvula de control del flujo y simultáneamente el motor, de tal manera que el disco metálico completara 75 vueltas. Inmediatamente se detuvo el flujo del material abrasivo y de igual forma el disco.
- ✓ Se tomó la medición marcando el límite superior e inferior de la huella con una regla, se trazó la línea AB, en medio de la huella, perpendicular a la línea central. Teniendo especial cuidado en las tolerancias requeridas por la norma. La figura 23 muestra el trazado de las líneas para verificar las tolerancias.



*Figura 23. Medición de huella de abrasión.*

*Fuente: Propia*

#### **6.4.3 Absorción de agua por los adoquines de concreto - INV E- 427-13(Instituto Nacional de Vías, 2013).**

Esta norma se refiere a la determinación de la cantidad de agua que absorben los adoquines de concreto cuando se someten a unas condiciones de inmersión especificadas. (Se toma esta norma como referencia para los bloques de suelo y suelo-cemento).

- ✓ Se escogieron tres especímenes para determinar la absorción y remover todo material suelto que contenga. Todos los especímenes contaban con dimensiones similares.
- ✓ Los especímenes se sumergieron en un balde con agua a una temperatura aproximada de 15.6 a 26.7° por un término de 24 horas. En la figura 24 se puede observar que quedaron completamente sumergidos.



*Figura 24. Bloques de 7% cemento sumergidos.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Cumplido el periodo de inmersión, se pesó cada espécimen suspendido de una balanza con un alambre como se muestra en la figura 25, de manera que se encontrara totalmente sumergido en el agua y se registró la masa.



*Figura 25. Peso de espécimen sumergido.*

*Fuente: Propia*

- ✓ Después de sacarse los especímenes del agua, se les drenó el exceso de agua libremente por aproximadamente un minuto, removiendo toda la humedad visible con una toalla, se determinó al final de todo el proceso la masa de cada espécimen saturado.

- ✓ Después de su saturación y drenaje, se dejaron los especímenes en un horno durante un periodo mayor a 24 horas, posteriormente se tomó la masa.

## 7. Resultados

### 7.1 Caracterización del suelo

#### 7.1.1. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino

En la tabla 4, se muestran los resultados del ensayo de granulometría del suelo en estudio, encontrando que este posee un alto contenido de finos del orden de arcillas y limos. Los datos completos y cálculos se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 4. Granulometría del suelo inalterado.

Tamiz	Apertura (mm)	Peso parcial (gr)	%Pasa
3/8	9.52	9.6	99.3
N° 4	4.75	42.5	96.3
N°10	2	63.4	91.8
N°20	0.84	94.2	85.1
N°40	0.42	212.6	70.1
N°60	0.25	83.5	64.2
N°140	0.106	34.2	61.8
N°200	0.075	4.9	61.4
Fondo	-	867.1	0.0
		1412.0	

Fuente: Propia

En la figura 26, se muestra la curva granulométrica en la cual se relaciona el diámetro de la abertura de la malla del tamiz, con el porcentaje de material que pasa por este.

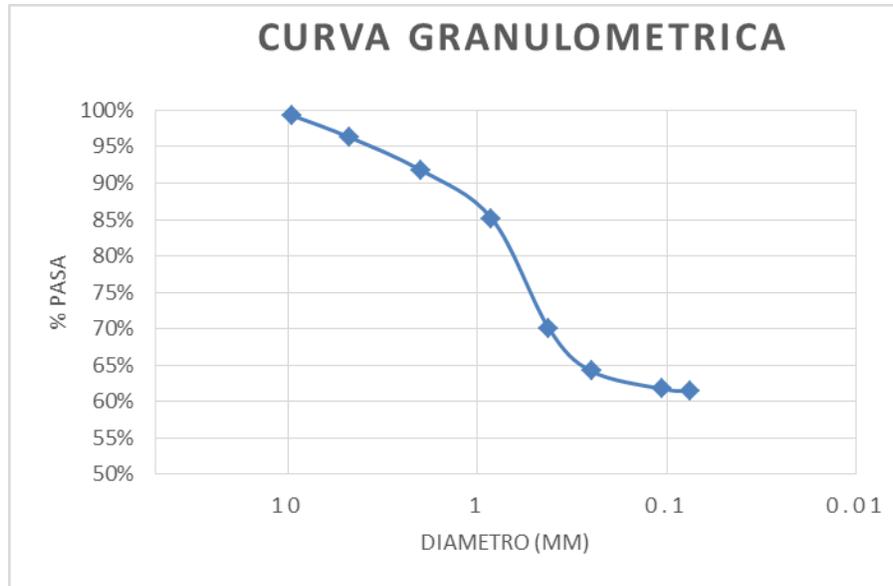


Figura 26. Curva granulométrica

Fuente: Propia

### 7.1.2. Límites de Atterberg

La figura 27, se realiza con los datos obtenidos de los cálculos del límite líquido, donde se representan los datos del número de golpes y su respectiva humedad. El límite líquido es marcado por el punto que cruza el eje “y” a los 25 golpes, y se indica el punto. Los cálculos correspondientes se pueden encontrar en el Anexo 2.

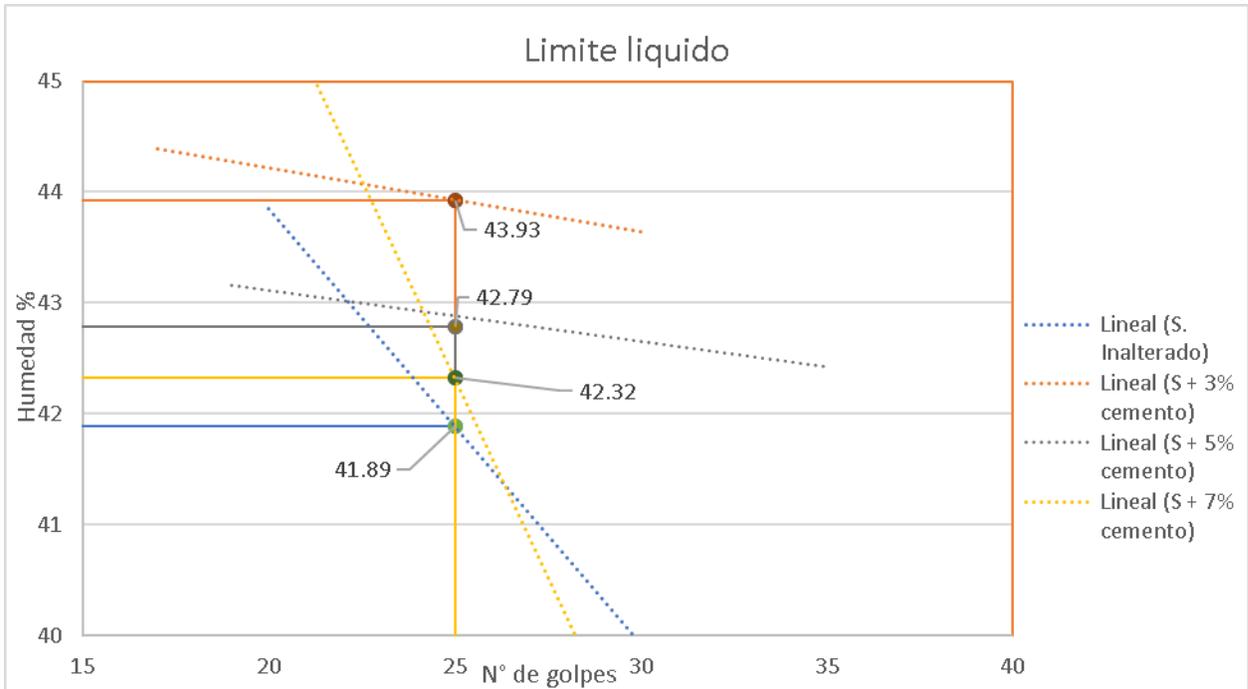


Figura 27. Límite líquido.

Fuente: Propia

El límite líquido, y límite plástico determinan el índice de plasticidad el cual indica la sensibilidad del suelo a cambios de humedad para pasar de estado semisólido a líquido.

El límite de contracción indica que tanto se contrae el suelo cuando su humedad varía. Los datos y cálculos se pueden encontrar en el Anexo 2. En la tabla 5, se muestran los valores correspondientes al cálculo de los límites para las diferentes mezclas de suelo.

Tabla 5. Valores de límites de Atterberg.

	S. Inalterado	S+3% cemento	S + 5% cemento	S+7% cemento
Límite Líquido (%)	41.9	43.9	42.8	42.3
Límite Plástico (%)	18.5	24.8	23.4	22.7
Índice de plasticidad (%)	23.4	19.1	19.4	19.6
Límite de contracción (%)	16.6	17.1	17.9	21.7

Fuente: Propia

### 7.1.3. Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)

Los resultados de peso unitario fueron graficados para asociar la humedad en porcentaje (eje x) y el peso específico seco (eje y), el punto más alto de la curva indica la cantidad de humedad óptima donde se obtiene la mejor compactación del suelo, es en este punto donde se toman los valores de humedad óptima y peso específico seco correspondiente. La figura 28, muestra esta correlación.

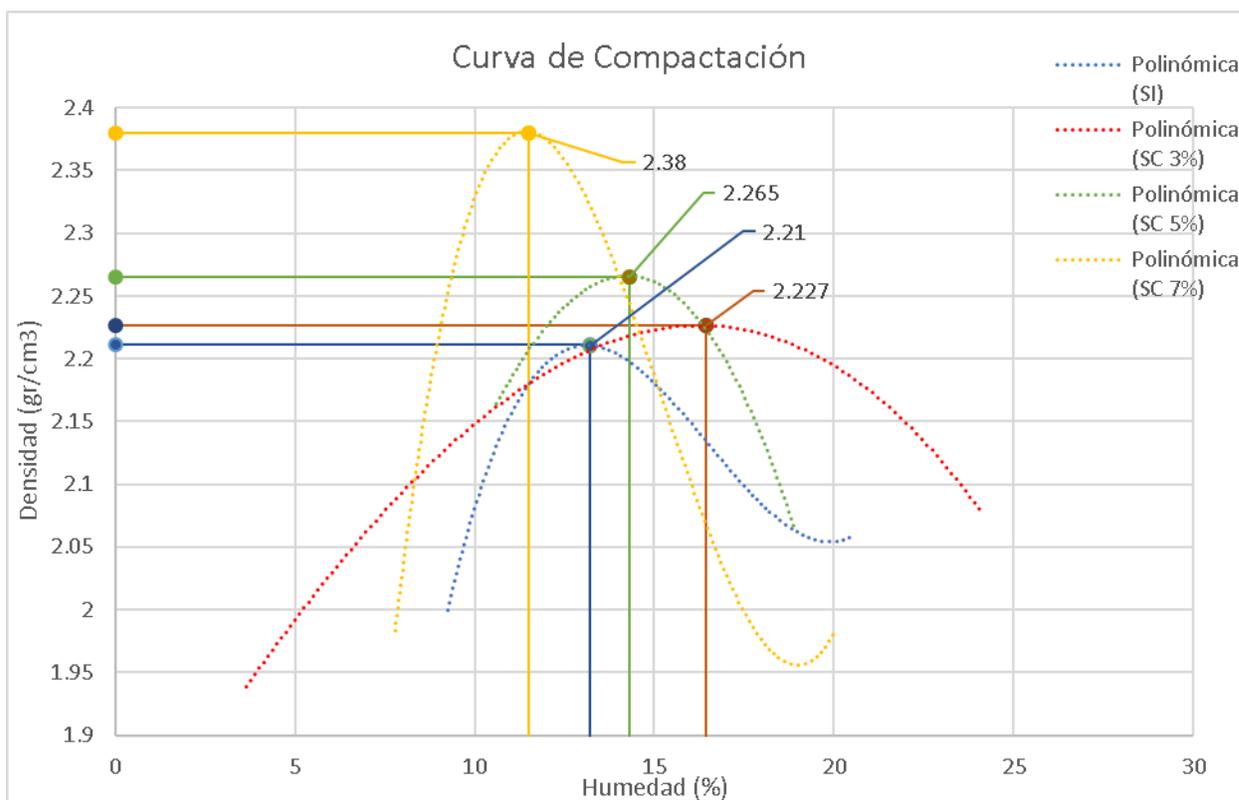


Figura 28. Curvas de compactación.

Fuente: Propia

La tabla 6, muestra los datos correspondientes a la humedad óptima y peso específico de todas las mezclas, donde se puede apreciar la comparación en los diferentes valores. Los datos y cálculos aparecen en el Anexo 3.

Tabla 6. Valores de humedad optima y peso específico.

	S. Inalterada	S + 3% cemento	S + 5% cemento	S + 7% cemento
Humedad Optima (%)	13.2	16.5	14.3	11.5
Densidad Seca (gr/cm3)	2.2	2.2	2.3	2.4

Fuente: Propia

#### 7.1.4. Compresión inconfiada en muestras de suelos

Los resultados de los cálculos sirvieron para conocer el mínimo esfuerzo de compresión al cual falla una muestra de suelo. Se realizó una gráfica de deformación (eje x) vs esfuerzo (eje y), como se muestra en la figura 29, la cual corresponde a los datos de suelo inalterado, el valor de esfuerzo máximo será la resistencia a la compresión inconfiada.

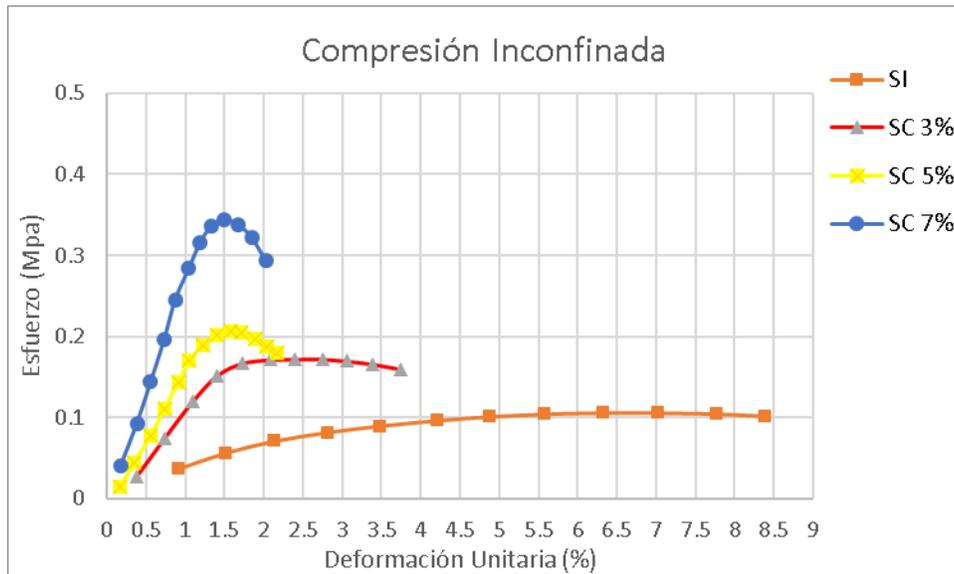


Figura 29. Compresión Inconfiada.

Fuente: Propia

En la tabla 7, se observan los valores de la resistencia a compresión de las diferentes mezclas. Los datos y cálculos se encuentran en el Anexo 4.

*Tabla 7. Valor de la resistencia a la compresión inconfiada*

Probeta	S. Inalterado	S + 3% cemento	S + 5% cemento	S + 7% cemento
1	0.07	0.17	0.13	0.25
2	0.11	0.17	0.21	0.28
3	-	0.17	0.16	0.34
Promedio	0.09 Mpa	0.17 Mpa	0.17 Mpa	0.29 Mpa

*Fuente: Propia*

## **7.2. Elaboración de bloques**

La elaboración de los bloques se hizo con suelo inalterado y con suelo con adición de 7% de cemento, se tomó este porcentaje debido a que fue el que mostró una mayor resistencia a la compresión inconfiada de las muestras en la caracterización de las diferentes mezclas. La tabla 4 muestra los datos de los diferentes tipos de mezcla y la resistencia significativamente mayor en las muestras elaboradas con 7% de cemento.

### **7.2.1. Resistencia a la compresión de adoquines de concreto**

La resistencia a la compresión se calculó tomando la carga máxima de compresión y relacionándola con el área neta y a esta multiplicándola por un factor de relación que depende del espesor. La falla de los bloques se hizo a lo largo del eje horizontal por el medio. Se realizó una gráfica que muestra la resistencia correspondiente a cada uno de los días que se realizaron los ensayos, como se puede ver en la figura 30; con el fin de evidenciar el tiempo que tarda en alcanzar su mayor resistencia estando en el cuarto de curado, los datos y cálculos respectivos están en el Anexo 5.

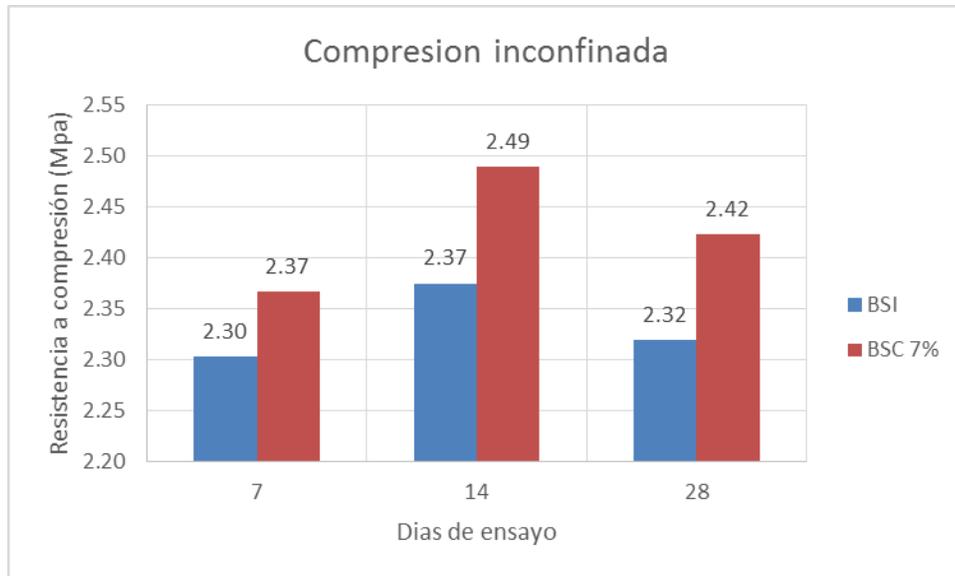


Figura 30. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días.

Fuente: Propia

### 7.2.2. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho

Como se muestra en la tabla 8, no se evidencian diferencias marcadas en las muestras de diferentes mezclas del material, ni en la diferencia de tiempos de los ensayos. Los cálculos y datos se encuentran en el Anexo 6.

Tabla 8. Valores de longitud de huella resultante

Tipo de suelo/días de ensayo	Suelo inalterado	Suelo + 7% cemento
7	34 mm	35 mm
14	35 mm	34 mm
28	34 mm	35 mm

Fuente: Propia.

### 7.2.3. Absorción de agua por los adoquines de concreto

Se escogieron tres bloques de cada una de las mezclas, que corresponden al número mínimo de muestras que exige la NTC 5324 (Normas Técnicas Colombianas, 2014). Los bloques elaborados con el suelo inalterado absorbieron tal cantidad de agua que no se logró llegar a concluir el ensayo. Por otro lado, los elaborados con suelo con adición de 7% de cemento absorbieron agua, pero no se vio comprometida la integridad del bloque, pudiéndose llevar a cabo el ensayo con normalidad. En la tabla 9, se observa el promedio del porcentaje de absorción en cada día de ensayo. Los cálculos y datos correspondientes se encuentran en el Anexo 7.

*Tabla 9. Valores de porcentaje de absorción.*

Absorción suelo + 7% cemento	
Días	% Absorción
7	15.3
14	18.3
28	10.5

*Fuente: Propia.*

## 8. Análisis de resultados

### 8.1. Respecto a la caracterización del suelo.

#### 8.1.1. Granulometría y clasificación (SUCS)

En la granulometría se evidencia que más de la mitad de la muestra pasa por el tamiz N°200, como se muestra en la tabla 10, indicando un alto contenido de finos, con un porcentaje de 61.4%, ubicándolo en la categoría de suelo fino.

Tabla 10. Granulometría y porcentaje que pasa por cada tamiz.

Tamiz	Apertura (mm)	Peso parcial (gr)	%Pasa
3/8	9.52	9.6	99.3
N°4	4.75	42.5	96.3
N°10	2	63.4	91.8
N°20	0.84	94.2	85.1
N°40	0.42	212.6	70.1
N°60	0.25	83.5	64.2
N°140	0.106	34.2	61.8
N°200	0.075	4.9	61.4
Fondo	-	867.1	0.0
		1412.0	

Fuente: Propia

Mediante el método de clasificación SUCS del suelo se mostró que el material utilizado para los ensayos es un suelo tipo CL, lo cual indicó que es una arcilla inorgánica de baja plasticidad. De acuerdo con la carta de plasticidad se evidencia que el suelo posee una plasticidad media, tal como se muestra en la figura 31.

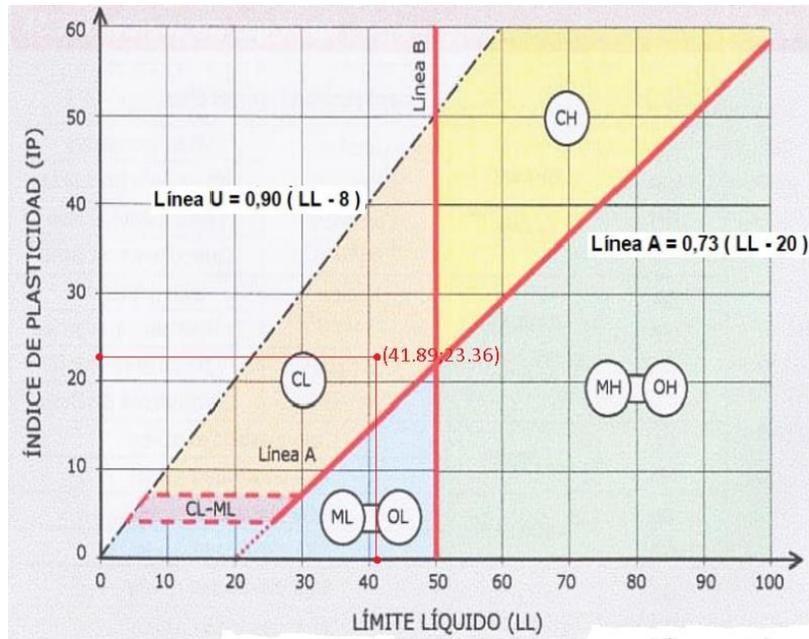


Figura 31. Carta de plasticidad utilizada para clasificación

Fuente: (Ingenieros geotecnistas asociados, s.f.)

### 8.1.2. Límites de Atterberg.

Para los cuatro tipos de muestra que fueron suelo inalterado, suelo con adición de 3%, 5% y 7% de cemento, se aplicaron los ensayos correspondientes para la determinación de estos límites, con el fin de comparar y diferenciar el comportamiento de estos, y poder determinar el cambio en este tipo de propiedades para cada mezcla. Se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5, (presente en el numeral 7.1.2), en esta se observa la comparación de valores obtenidos para cada aspecto en las diferentes mezclas. Según esto, la adición de cemento al suelo arcilloso produce una mejora en la plasticidad del suelo ya que como lo indican los índices de plasticidad para cada tipo de muestra esta disminuye en un 3%. El límite líquido indica que el suelo inalterado resulta ser el más susceptible a cambios volumétricos como lo indica su bajo porcentaje.

### **8.1.3. Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)**

Estas relaciones se hacen con el fin de conocer la humedad necesaria para alcanzar la mayor densidad seca del suelo, que es el momento en que la compactación es la óptima. En la tabla 6, (presente en el numeral 7.1.3), muestra la comparación de los valores de humedad óptima y densidad seca máxima para cada una de las muestras de las diferentes mezclas de material, donde se puede ver que el suelo con adición de 7% de cemento, es el que tiene un menor porcentaje de humedad óptima el cual es de 11.5% y un mayor valor de densidad seca de 2.4 gr/cm<sup>3</sup>. Y de manera inversa el suelo con adición de 3% de cemento es el que tiene un mayor porcentaje de humedad con un valor de 16.5%. Pero el que tiene el menor valor de densidad seca de 2.21 gr/cm<sup>3</sup> es el suelo inalterado.

### **8.1.4. Compresión inconfiada en muestras de suelos**

Con este ensayo se permitió conocer la resistencia a la compresión inconfiada de las diferentes muestras, fallando 3 probetas de cada tipo de mezcla. Los valores promedio pueden ser observados en la tabla 7 (presente en el numeral 7.1.4), y donde se observa una variación creciente en el valor de la resistencia, siendo así el suelo con adición de 7% de cemento el que alcanza una mayor resistencia con un valor promedio de 0.29 (Mpa).

## **8.2. Con respecto a la elaboración de los bloques.**

La NTC 5324 (Normas Técnicas Colombianas, 2014), se refiere a bloques de suelo cemento, contiene los valores que deben cumplir los ensayos de caracterización de los bloques. Se tomó como referencia guía para realizar comparaciones y clasificaciones del tipo de bloque elaborado.

### 8.2.1. Resistencia a la compresión de adoquines de concreto

Para este ensayo se tomó una muestra de cinco bloques, a los cuales se les aplicó una carga distribuida por una platina a lo largo del eje horizontal. Con el fin de hacer una comparación entre la resistencia a la compresión en bloques elaborados con suelo inalterado y con suelo con adición de 7% de cemento, también encontrar el tiempo en el que los bloques alcanzan la mayor resistencia en condiciones de curado. Los valores se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Valores de resistencia a la compresión para bloques de suelo inalterado y de suelo cemento con 7%, a los 7,14 y 28 días.

Días	BSI	BSC7%
7	2.30 (Mpa)	2.37 (Mpa)
14	2.37 (Mpa)	2.49 (Mpa)
28	2.32 (Mpa)	2.42 (Mpa)

Fuente: Propia

Se dedujo que los bloques elaborados con suelo con adición de 7% obtuvieron una resistencia mayor que los elaborados con suelo inalterado, se evidencia de manera más clara esta comparación a los 14 días, que es cuando alcanza la mayor resistencia, con valores de 2.37 Mpa para el suelo inalterado y 2.49 Mpa para el suelo- cemento. En la figura 30 (presente en el numeral 7.2.1), se evidencia la comparación mediante diagrama de barras, donde es evidente que los valores correspondientes a la adición de 7% de cemento son superiores que los de suelo inalterado.

La NTC 5324(Normas Tecnicas Colombianas, 2014), señala los valores mínimos de resistencia a la compresión a cumplir para bloques implementados en muros de mampostería, mostrados en la tabla 12. Estos valores corresponden a la fracción de 0.05, lo que quiere decir

que el 95% tiene una resistencia igual o superior a los valores de esta tabla. Además, ningún resultado debe estar por debajo de 0.8 veces el valor de la resistencia.

*Tabla 12. Clases de resistencia a la compresión húmeda*

Bloques llenos	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima (R), para la fracción 0.05 - en Mpa	1	2	3

*Fuente:(Normas Tecnicas Colombianas, 2014)*

De acuerdo con la tabla 12, la clasificación en la que están los bloques elaborados es BSC 40, debido a que el valor máximo de resistencia para suelo cemento es de 2.49 Mpa.

### **8.2.2. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho**

Se hizo teniendo en cuenta lo enmarcado en la NTC 5147 (Normas Tecnicas Colombianas, 2014) y las tolerancias para la realización de este ensayo. Se realizó a cinco muestras de cada tipo de mezcla y se promediaron los valores obtenidos, con el fin de tener un menor margen de error. Se calculó la longitud de la huella resultante, en base a la huella medida. Estos valores se pueden ver en la tabla 8 (presente en el numeral 7.2.2). En esta se puede observar que los valores no varían significativamente y se mantienen entre 34 y 35 mm para todas las muestras, tanto para el suelo inalterado y el de adición de cemento los valores son prácticamente constantes, como a lo largo de los días.

La Norma Europea UNE – E 1338 (Comité técnico AEN/CTN 127, 2004), establece unos requisitos para la clasificación de resistencia al desgaste para adoquines de concreto, se pueden ver en la tabla 13. Los valores obtenidos para abrasión de suelo inalterado y de suelo-cemento no

alcanzan a entrar en estos requerimientos, debido a que la huella hallada para estos esta entre 34 – 35 mm.

*Tabla 13. Clases de resistencia al desgaste por abrasión.*

Clase	Marcado	Requisito Longitud de huella (mm)
1	F	Sin medición de esta característica
3	H	$\leq 23$
4	I	$\leq 20$

*Fuente: (Comité técnico AEN/CTN 127, 2004).*

### **8.2.3. Absorción de agua por los adoquines de concreto**

Se evidencia claramente que los bloques de suelo cemento resultan menos susceptibles al agua, ya que absorben agua, pero esta no afecta la integridad del bloque como se muestra en la figura 32, lo que por el contrario se presentó en los bloques de suelo inalterado, haciendo que no se pudiera concluir con el ensayo, en la figura 33 se evidencia el estado del bloque después de 24 horas de estar sumergido.



*Figura 32. Bloque de suelo cemento sumergido por 24 horas*

*Fuente: Propia*



*Figura 33. Bloque de suelo inalterado sumergido por 24 horas*

*Fuente: Propia*

Por otro lado, en base a los datos observados en la tabla 9 (presente en el numeral 7.2.3) referente a los valores de suelo con adición de 7% de cemento, se puede ver que los bloques ensayados a los 14 días logran una absorción de 18.3%, siendo esta la máxima alcanzada.

## 9. Conclusiones

De acuerdo con la granulometría obtenida del suelo utilizado, se clasificó mediante clasificación SUCS como una arcilla inorgánica de media plasticidad ubicada en la carta de plasticidad como CL.

La mezcla de suelo con adición de 7% de cemento mejoró las características del suelo inalterado, produciendo la disminución de la humedad en un 15%, la cual era necesaria para la compactación óptima, aumentó la resistencia a compresión en un 229%, optimizó su plasticidad y su cambio volumétrico en un 31%; así mismo, tuvo un mejor comportamiento en todos los aspectos que componían la caracterización de las mezclas al compararse principalmente con el suelo inalterado.

Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión inconfiada muestran una relación entre la resistencia a la compresión y el porcentaje de cemento adicionado, siendo 7% el que obtuvo la mayor resistencia.

Respecto a la comparación de la caracterización de los bloques de suelo inalterado y suelo cemento. Los bloques elaborados con suelo cemento, mostraron mejoras notables. En cuanto a la compresión simple aumentó en un promedio de 4%, alcanzó su mayor resistencia a los 14 días.

En cuanto a la abrasión no se observó una mejora significativa, los valores se mantuvieron en el mismo rango entre 34 y 35mm.

El aspecto que tuvo una mejora más significativa fue la absorción ya que los bloques elaborados con suelo inalterado a las 24 horas estaban completamente desintegrados, mientras que los de suelo cemento mantuvieron la integridad del bloque. Esto se debe al agrietamiento al que es susceptible el suelo arcilloso compactado, y por allí se filtra el agua causando su

desintegración. El porcentaje de cemento añadido al suelo en los bloques de suelo cemento y su respectivo curado ayudó a la disminución de estas grietas y por ende a que la absorción de agua a través del tiempo disminuya de igual manera.

Según la NTC 5324, los bloques de suelo cemento ensayados se clasifican en BSC 40 utilizando la mayor resistencia alcanzada, lo cual indica según la norma que se encuentra en las categorías S y H, que son bloques destinados a ser utilizados en medio seco o húmedo.

Para la utilización de los bloques como adoquines para pavimento articulado supera en 10 mm que corresponden a un 52% el límite máximo de un valor de 23 mm, planteado en la Norma Europea UNE-E 1338, para un tránsito vehicular. Estos bloques podrían utilizarse para paso peatonal, en un medio seco, donde la abrasión sea la mínima posible.

## **10. Recomendaciones.**

En la elaboración de los bloques es necesario que la cantidad de tierra utilizada para cada bloque sea lo más exacta posible ya que de esta depende que tan bien quede compactado el bloque; se debe asegurar una compactación uniforme y lo más parecida posible entre los bloques, ya que de esto depende la alteración del comportamiento mecánico evaluado. La máquina CINVA-RAM tiene un dosificador, pero este no es 100% exacto, debido a que hay partículas con diferentes tamaños.

Otro aspecto a tener especial cuidado es la distribución del agua agregada y el mezclado uniforme, puesto que se realizó en un suelo arcilloso tiende a compactarse cuando entra en contacto con el agua, por ello se recomienda que el riego del agua se haga con un atomizador y en cantidades de muestra lo suficientemente esparcidas para que la mayor cantidad de las partículas tengan una misma humedad y mezclándolo constantemente. Durante este proceso de mezclado con el agua, se pueden generar pérdidas, estas se deben tener en cuenta al momento de calcular la humedad necesaria para aplicar al suelo.

El secado del suelo después de extraerlo de su lugar de origen también influye en la humedad que este tenga. Dado que para elaboración bloques las cantidades suelen ser grandes para ser secadas en su totalidad al aire libre, se recomienda por ahorro de tiempo y esfuerzo, secar una parte al aire libre y la demás en la mayor cantidad de hornos posible, y después mezclarlas de tal manera que se asegure la uniformidad del secado de toda la muestra.

Se recomienda evaluar el comportamiento de este tipo de suelo con adiciones de cemento con porcentajes mayores al 7%, con el propósito de determinar si se mantiene la relación entre la cantidad de cemento adicionado y la resistencia a la compresión.

## Bibliografía

- Alderete , E. J., & Mellace, R. (2014). El suelo-cemento, un recurso tecnologico para la construcción de edificios. ResearchGate, 56-64. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Rafael\\_Mellace/publication/242719207\\_EL\\_SUELO-CEMENTO\\_UN\\_RECURSO\\_TECNOLOGICO\\_PARA\\_LA\\_CONSTRUCCION\\_DE\\_EDIFICIOS/links/544984c70cf244fe9ea60aa0/EL-SUELO-CEMENTO-UN-RECURSO-TECNOLOGICO-PARA-LA-CONSTRUCCION-DE-EDIFICIOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Mellace/publication/242719207_EL_SUELO-CEMENTO_UN_RECURSO_TECNOLOGICO_PARA_LA_CONSTRUCCION_DE_EDIFICIOS/links/544984c70cf244fe9ea60aa0/EL-SUELO-CEMENTO-UN-RECURSO-TECNOLOGICO-PARA-LA-CONSTRUCCION-DE-EDIFICIOS.pdf)
- alfa. (s.f.). comfer S.A.S. Recuperado el 2018, de <http://www.comferconstruccionyseguridad.com/cuales-son-las-clases-de-cemento-mas-utilizadas/>
- Barros, L., & Imhoff, F. (Diciembre de 2010). Resistencia sísmica del suelo cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. Revista de la construcción, 9(2), 26-38. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2010000200004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2010000200004)
- Bedoya Montoya, C. M. (1 de Agosto de 2017). Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento del residuo al material. 20. Obtenido de [http://www.colmayor.edu.co/archivos/317\\_serpio\\_vascoempleo\\_de\\_bsc\\_\\_mmtuf.pdf](http://www.colmayor.edu.co/archivos/317_serpio_vascoempleo_de_bsc__mmtuf.pdf)
- Calderón Peñafiel, J. C. (2013). Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

- Comité técnico AEN/CTN 127. (2004). Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayos. En Una Norma Española. Madrid: AENOR.
- Crosara, A. (s.f.). Edafología. Obtenido de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%201.pdf>
- Cruz Velasco, L. E. (30 de Septiembre de 2015). civilgeeks.com. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2015/09/30/tipos-de-suelos-mecanica-de-suelos/>
- De la Fuente Lavalle, E. (2013). Suelo-Cemento. Mexico: IMCYC.
- DeGomez, T., Kolb, P., & Kleinman, S. (21 de Enero de 2015). Basic soil components extension. Obtenido de <https://articles.extension.org/pages/54401/basic-soil-components>
- EFE. (21 de Noviembre de 2013). Pobreza rural en Colombia, relacionada con atraso en infraestructura. El Espectador. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/pobreza-rural-colombia-relacionada-atraso-infraestructu-articulo-459782>
- Federación Interamericana del Cemento. (8 de Marzo de 2008). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm>
- Fernández Estecche, S. (s.f.). lifeder.com. Obtenido de <https://www.lifeder.com/composicion-del-suelo/>
- Figueiredo, D., Correia, A. A., Hunkeler, D., & Rasteiro, M. (2015). Surfactants for dispersion of carbon nanotubes applied in soil stabilization. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 480, 405-412.
- Franch, J. (6 de Enero de 2013). Estudios Geotécnicos. Obtenido de <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>

- Gatani, M. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible. *Informes de construcción*, 51(466), 36-47.
- Guardo Polo, J. M. (1999). *Estudios Geotécnicos: Una necesidad en obras civiles*. Barranquilla: Ingeniería y Desarrollo.
- Hans, J. (1994). *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. Nueva York: General Publishing Company. Obtenido de <http://web.msu.ac.zw/elearning/material/1235306390factors%20of%20soil%20formation%20reading%20material%20very%20critical.pdf>
- Hurtado, O. (2016). *Laboratorio de Investigación de construcciones en tierra y bio-materiales*. Tercer encuentro internacional Universidad. Obtenido de <http://service.udes.edu.co/eisi/memorias/conferencias/ec4.pdf>
- Ibañez , J. J. (2 de Octubre de 2008). *Madrimasd*. Recuperado el 2018, de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/10/02/102439>
- Ingenieros geotecnistas asociados. (s.f.). INGEAS S.A.S. Obtenido de <https://www.dropbox.com/s/1dmlvdo89nu72oc/1.%20INTRODUCCION%20Y%20GENERALIDADES%20%20SOBRE%20LOS%20SUELOS.pdf?dl=0>
- Instituto Nacional de Vias. (2013). Absorción de agua por los adoquines de concreto. En *Normas de ensayo de materiales para carreteras* (págs. E-427). Bogotá: INVIAS.
- Instituto Nacional de Vias. (2013). Analisis granulometrico de los agregados gruesos y finos. En *Normas de Ensayo de materiales para carreteras* (págs. E-213). Bogotá: INVIAS.
- Instituto Nacional de Vias. (2013). Compresión inconfiada en muestras de suelos. En *Normas de ensayo de materiales para carreteras* (págs. E-152). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Determinación de la cantidad de material que pasa por el tamiz N°200 en los agregados petreos mediante lavado. En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-214). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Determinación de los factores de contracción de los suelos. En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-127). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Determinación del limite liquido de los suelos. En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-125). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestra de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-122). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Indice plastico e indice de plasticidad de los suelos. En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-126). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Relaciones humedad-peso unitario seco (ensayo modificado de compactación). En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-142). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Resistencia a la compresión de adoquines de concreto. En Normas de ensayo de materiales para carreteras (págs. E-426). Bogotá: INVIAS.

Instituto Nacional de Vias. (2013). Suelo-cemento. En Especificaciones Generales de Construcción de carreteras (págs. Art 350-13). Bogotá: INVIAS.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellin: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

- Jordan López, A. (2005-2006). Manual de edafología. Sevilla. Obtenido de <https://librosagronicosperu.blogspot.com/2015/11/manual-de-edafologia-antonio-jordan.html>
- Latorre Cañon, A. (2008). La industria del cemento en Colombia: Determinantes y comportamiento de la demanda. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana. Obtenido de <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis16.pdf>
- López Arce, P. (2012). Caracterización de Ladrillos Históricos. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de [https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fdigital.csic.es%2Fbitstream%2F10261%2F46792%2F1%2FCurso\\_Geomateriales\\_75\\_84.pdf&h=AT0dt91HonNTD\\_fQ-vHBC\\_tZ4fMcf7SEUnkAFygeJUVqwZDF4urd-yHoVqvyuzgVlcUrLXt2V8twBFUW0clCsczsmfR9NaKCiCNJWPNzGQ6ugJO-8yrNO3J\\_-lmFCTMx](https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fdigital.csic.es%2Fbitstream%2F10261%2F46792%2F1%2FCurso_Geomateriales_75_84.pdf&h=AT0dt91HonNTD_fQ-vHBC_tZ4fMcf7SEUnkAFygeJUVqwZDF4urd-yHoVqvyuzgVlcUrLXt2V8twBFUW0clCsczsmfR9NaKCiCNJWPNzGQ6ugJO-8yrNO3J_-lmFCTMx)
- Manso, J., Ortega López, V., Polanco, J., & Setién, J. (2013). The use of ladle furnace slag in soil stabilization. *Construcción and Building Materials*, 40, 126-134.
- Merchan Mejía, J. F., & Galvis Rueda, C. A. (2015). Evaluación del comportamiento de suelos al estabilizarlos con cemento. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Microsoft, I. (2012). Producción de Cemento en Bolivia. Bolivia. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/104584655/PROYECTO-CEMENTO>
- Narvaez Quiñonez, C. O. (2016). Análisis del mejoramiento de estabilización de suelos con cal. Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga. Obtenido de [http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital\\_31738.pdf](http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_31738.pdf)

Nithikul, J. (2007). Potential of Refuse Derived Fuel production from Bangkok Municipal Solid Waste. Asian Institute of Technology. Tailandia: Institute of Technology School of Environment. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.501.4998&rep=rep1&type=pdf>

Normas Tecnicas Colombianas. (2014). Bloques de suelo-cemento para muros y divisiones, definiciones, especificacione, metodos de ensayo y condicion de entrega. En Normas Tecnicas Colombianas. Bogotá: ICONTEC.

Normas Tecnicas Colombianas. (2014). Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho. En Normas Tecnicas Colombianas. Bogotá: ICONTEC.

Normas Tecnicas Colombianas. (2014). NTC 31. Cementos. Definiciones. Terminología relacionada con el cemento hidráulico. Bogotá: ICONTEC.

Ortega Miranda, G. (7 de Octubre de 2014). Composición y clasificación de los suelos. Color abc. Obtenido de <http://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/composicion-y-clasificacion-de-los-suelos-1293271.html>

Pacheco Rivas, I. (8 de Julio de 2016). About-haus. Obtenido de <https://about-haus.com/estudio-de-suelo/>

Redacción EL TIEMPO. (20 de Abril de 1996). Proceso de fabricación del cemento. EL TIEMPO. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-281313>

Rivero Bolaños, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. Revista de estudios sobre patrimonio cultural, 20, 354-363. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a15.pdf>

Scribd. (7 de Septiembre de 2010). Perfil del suelo. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/37053487/Perfil-Del-Suelo>

Toirac Coral, J. (2008). EL suelo-cemento como material de construcción. Republica Dominicana: INTEC. Obtenido de <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1281>

Universidad Autonoma Juan Misael Sarocho. (28 de Febrero de 2016). docsity. Obtenido de <https://www.docsity.com/es/aplicacion-de-suelos-en-las-diferentes-obras-de-ingenieria-civil/642682/>

Universidad de Murcia. (s.f.). um. Obtenido de [https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema\\_6.pdf](https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf)

Vasco Correa, S. A. (s.f.). Colmayor. Obtenido de [http://www.colmayor.edu.co/archivos/317\\_serpio\\_vascoempleo\\_de\\_bsc\\_\\_mmtuf.pdf](http://www.colmayor.edu.co/archivos/317_serpio_vascoempleo_de_bsc__mmtuf.pdf)

## Anexos

### *Anexos 1. Ensayo de granulometría del suelo.*

<b>Suelo a secar</b>	<b>Peso Platón (gr)</b>	189.6
	<b>Suelo Húmedo (gr)</b>	1500
	<b>Suelo seco + Platón (gr)</b>	1601.64
	<b>Suelo Seco (gr)</b>	1412.04

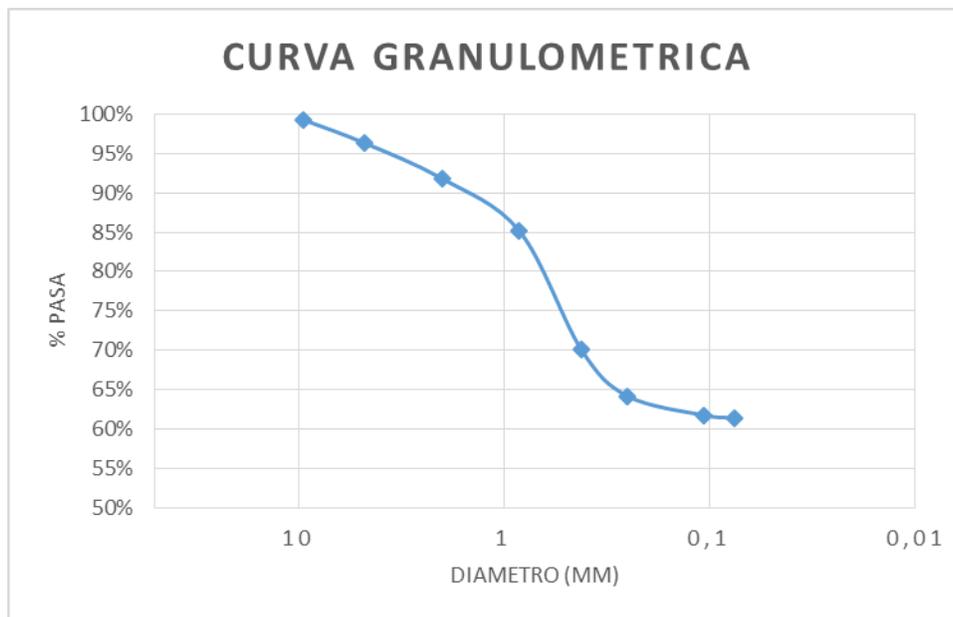
<b>Granulometría</b>	
<b>Peso Muestra Seca (gr)</b>	547.57

Tamiz	Peso pasa (gr)
3/8	9.64
N°4	42.45
N°10	63.42
N°20	94.21
N°40	212.62
N°60	83.46
N°140	34.21
N°200	4.93
Fondo	2.63
<b>Sumatoria</b>	547.57

<b>Peso de muestra(gr)</b>	1412.0
<b>Peso muestra lavada con tamiz N°200 (gr)</b>	547.57
<b>Muestra retenida en tamiz N°200 (gr)</b>	2.63
<b>Peso de material pasa N°200 (gr)</b>	864.5

Tamiz	Apertura (mm)	Peso parcial (gr)	%Parcial	%Acumulado	%Pasa
3/8	9.52	9.6	0.7	0.7	99.3
N° 4	4.75	42.5	3.0	3.7	96.3
N°10	2	63.4	4.5	8.2	91.8
N°20	0.84	94.2	6.7	14.9	85.1
N°40	0.42	212.6	15.1	29.9	70.1
N°60	0.25	83.5	5.9	35.8	64.2
N°140	0.106	34.2	2.4	38.2	61.8
N°200	0.075	4.9	0.3	38.6	61.4
Fondo	-	867.1	61.4	100.0	0.0
		1412.0	100.0		

<b>Gravas %</b>	3.7
<b>Arenas %</b>	34.9
<b>Finos %</b>	61.4



Anexos 2. Límites de Atterberg.

**Suelo inalterado**

LIMITE LIQUIDO								
Prueba	Capsula	Golpes	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso agua	Peso Capsula	Peso Suelo Seco	Humedad
(#)	(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	56	35	35.6	33.18	2.42	26.7	6.48	37.346
2	19	30	39	36.97	2.03	32	4.97	40.845
3	141	20	29.9	27.2	2.7	21	6.2	43.548

LIMITE PLASTICO							
Prueba	Capsula	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Agua	Peso Capsula	Peso Suelo Seco	Humedad
(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(%)	(%)
1	774	24.8	24.26	0.54	21.2	3.06	17.65
2	17	25.2	24.55	0.65	21.2	3.35	19.40

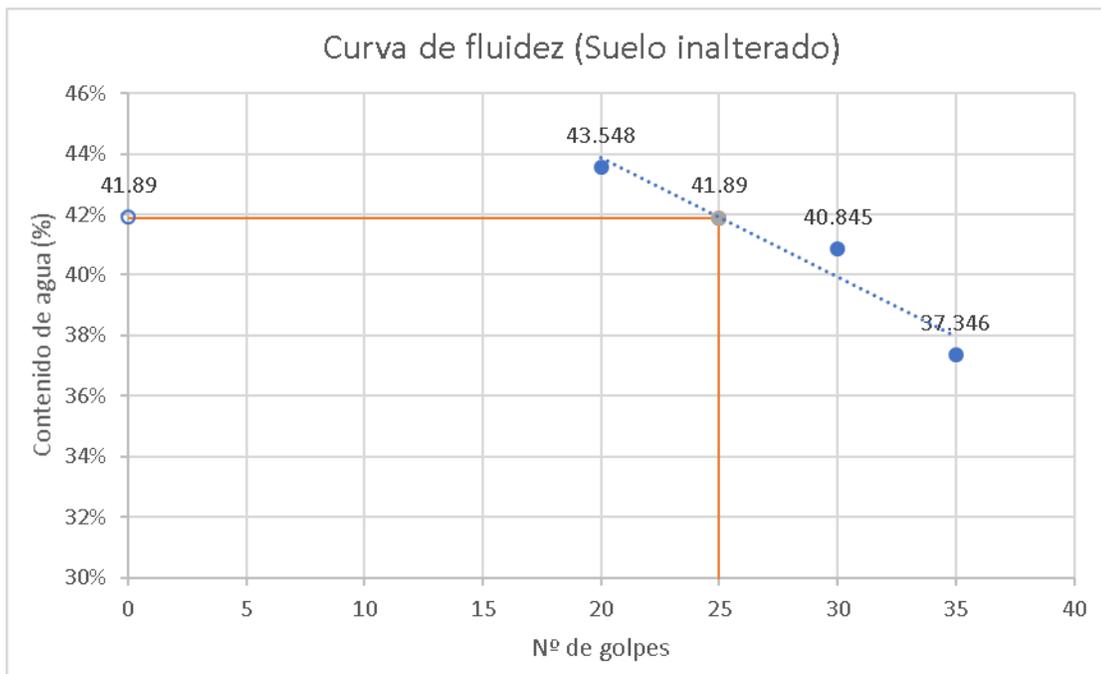
LIMITE DE CONTRACCIÓN							
Capsula	Peso	Peso Mercurio	Peso Capsula + Vaselina	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Mercurio Desplazado	Masa Húmeda (M)
(#)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
11	22.27	277.64	22.34	59.42	49.08	199.55	37.08
12	24.35	297.58	24.42	63.82	52.78	211.32	39.4

LIMITE DE CONTRACCIÓN					
Masa Pastilla (Mo)	Contenido de agua (w)	Volumen (V)	Volumen pastilla (Vo)	Límite de contracción (LC)	Relación de Contracción (R)
(gr)	(%)	(cm3)	(cm3)	(%)	
26.81	38.31	20.41	14.67	16.89	1.83
28.43	38.59	21.88	15.54	16.28	1.83

<b>Densidad Mercurio (gr/cm3)</b>	13.6
-----------------------------------	------

<b>Densidad del agua (gr/cm3)</b>	1
-----------------------------------	---

<b>Limite Liquido (%)</b>	41.89
<b>Limite Plástico (%)</b>	18.53
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	23.36



**Suelo + 3% cemento**

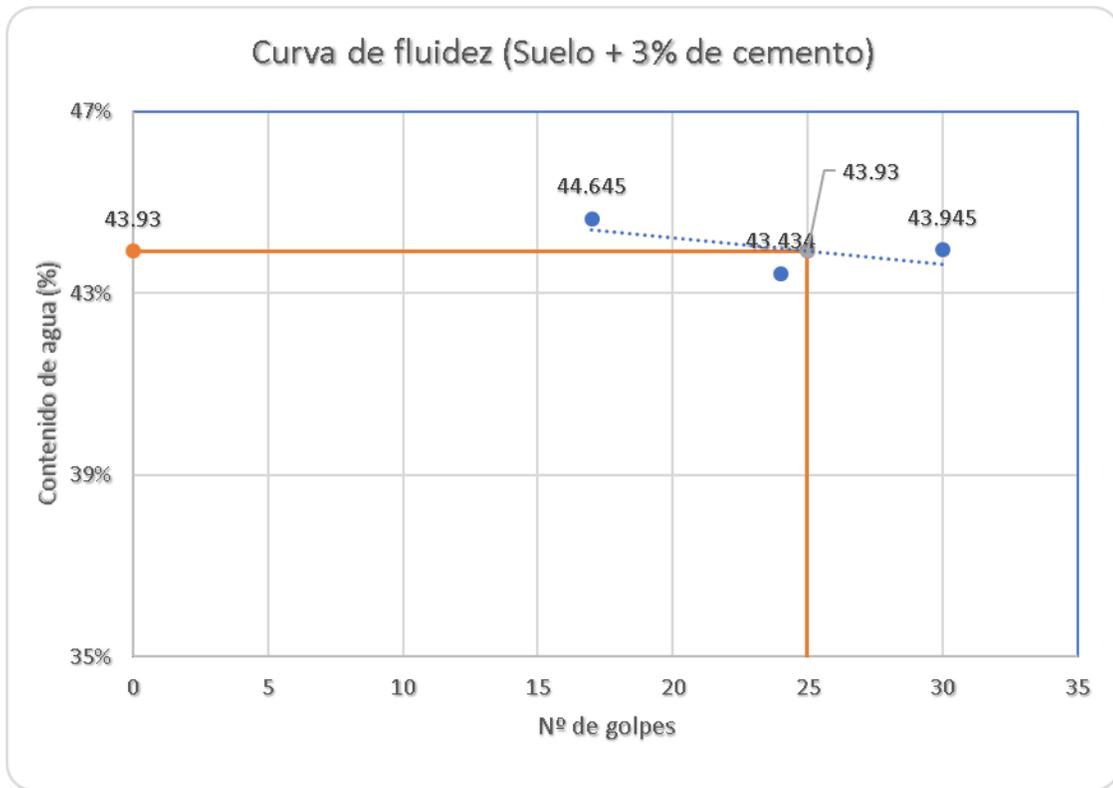
LÍMITE LÍQUIDO								
Prueba	Capsula	Golpes	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso agua	Peso Capsula	Peso Suelo Seco	Humedad
(#)	(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	142	17	31.51	28.3	3.21	21.11	7.19	44.645
2	17	24	26.92	25.2	1.72	21.24	3.96	43.434
3	726	30	28.45	26.2	2.25	21.08	5.12	43.945

LÍMITE PLÁSTICO							
Prueba	Capsula	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Agua	Peso Capsula	Peso Suelo seco	Humedad
(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	0	27.56	26.3	1.26	21.31	4.99	25.25
2	20	28.88	28.5	0.38	26.94	1.56	24.36

LÍMITE DE CONTRACCIÓN							
Capsula	Peso	Peso Mercurio	Peso Capsula + Vaselina	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Mercurio Desplazado	Masa Húmeda (M)
(#)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
1	19.16	202.52	19.54	44.18	36.54	141.1	24.64
2	19.38	205.07	19.68	44.89	37.06	147.04	25.21

LÍMITE DE CONTRACCIÓN					
Masa Pastilla (Mo)	Contenido de agua (w)	Volumen (V)	Volumen pastilla (Vo)	Límite de contracción (LC)	Relación de Contracción (R)
(gr)	(%)	(cm3)	(cm3)	(%)	
17.38	41.77	14.89	10.38	15.79	1.68
17.68	42.59	15.08	10.81	18.46	1.64

Límite Líquido (%)	43.93
Límite Plástico (%)	24.80
Índice de plasticidad (%)	19.13



**Suelo + 5% cemento**

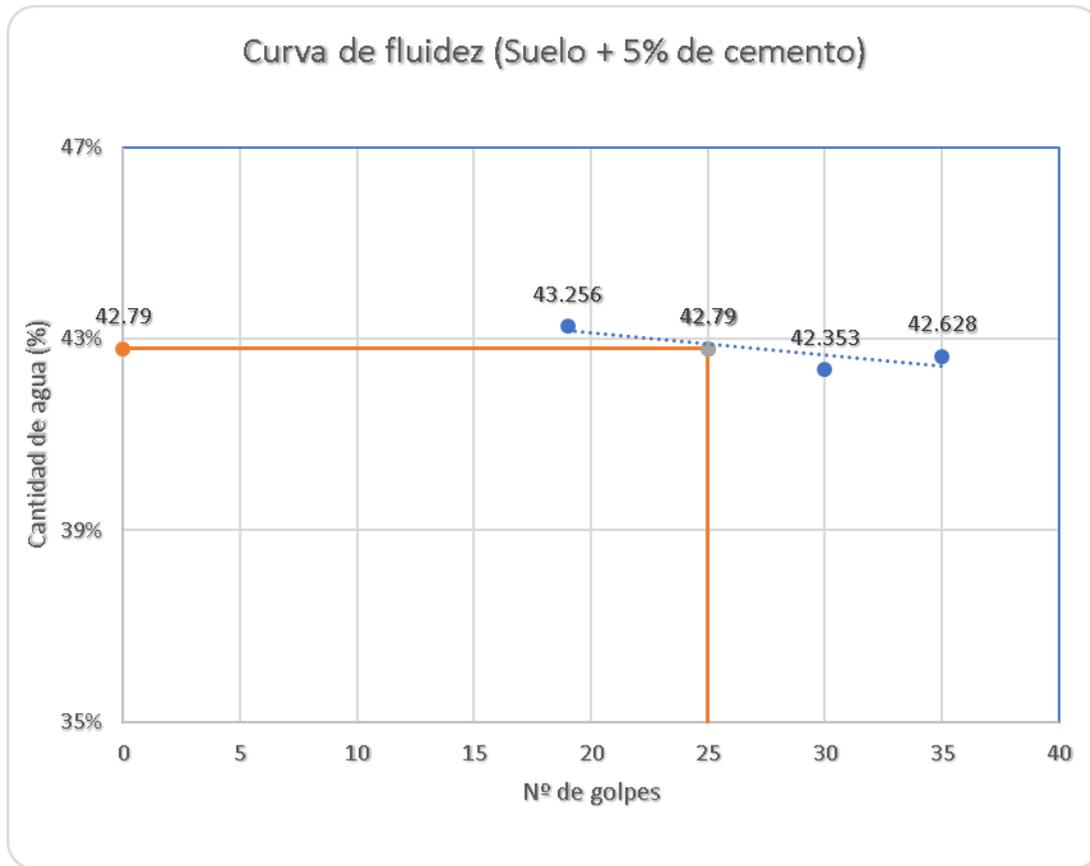
<b>LIMITE LIQUIDO</b>								
<b>Prueba</b>	<b>Capsula</b>	<b>Golpes</b>	<b>Peso Capsula + Suelo Húmedo</b>	<b>Peso Capsula + Suelo Seco</b>	<b>Peso agua</b>	<b>Peso Capsula</b>	<b>Peso Suelo Seco</b>	<b>Humedad</b>
(#)	(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	19	19	24.23	23.3	0.93	21.15	2.15	43.256
2	30	30	24.48	23.4	1.08	20.85	2.55	42.353
3	12	35	31.83	30.5	1.33	27.38	3.12	42.628

LÍMITE PLÁSTICO							
Prueba	Capsula	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Agua	Peso Capsula	Peso Suelo seco	Humedad
(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	9	22.38	22.1	0.28	20.9	1.2	23.3333
2	140	24.24	23.63	0.61	21.02	2.61	23.3716

LÍMITE DE CONTRACCIÓN							
Capsula	Peso	Peso Mercurio	Peso Capsula + Vaselina	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Mercurio Desplazado	Masa Húmeda (M)
(#)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
1	19.18	202.52	19.56	44.66	36.9	139.7	25.1
2	19.39	205.07	19.67	45.41	37.4	149.6	25.74

LÍMITE DE CONTRACCIÓN					
Masa Pastilla (Mo)	Contenido de agua (w)	Volumen (V)	Volumen pastilla (Vo)	Límite de contracción (LC)	Relación de Contracción (R)
(gr)	(%)	(cm3)	(cm3)	(%)	
17.72	41.64	14.89	10.27	15.580	1.72
18.01	42.92	15.07	11	20.27	1.63

<b>Límite Líquido (%)</b>	42.79
<b>Límite Plástico (%)</b>	23.35
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	19.44



**Suelo + 7% cemento**

<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
<b>Prueba</b>	<b>Capsula</b>	<b>Golpes</b>	<b>Peso Capsula + Suelo Húmedo</b>	<b>Peso Capsula + Suelo Seco</b>	<b>Peso agua</b>	<b>Peso Capsula</b>	<b>Peso Suelo Seco</b>	<b>Humedad</b>
(#)	(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	14	20	24.72	23.6	1.12	21.2	2.4	46.67
2	10	27	25.51	24.3	1.21	21.18	3.12	38.78
3	24	31	37.19	35.8	1.39	32.27	3.53	39.38

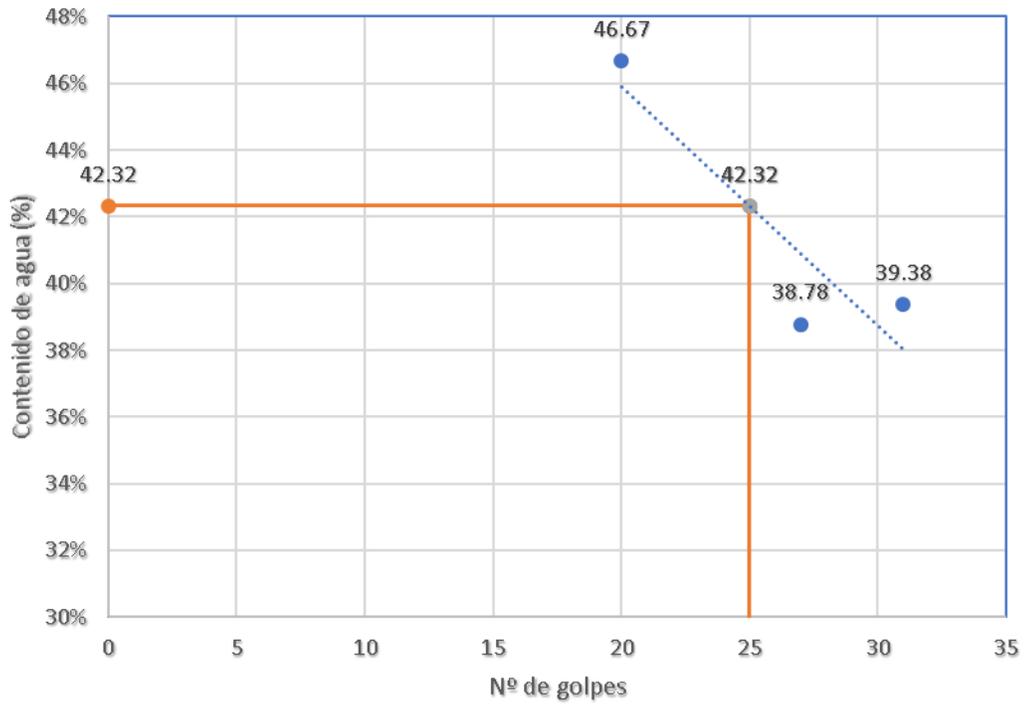
LÍMITE PLÁSTICO							
Prueba	Capsula	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Agua	Peso Capsula	Peso Suelo seco	Humedad
(#)	(#)	(gr)	(gr)	(ml)	(gr)	(gr)	(%)
1	129	22.29	22.1	0.19	21.2	0.9	21.11
2	23	22.34	22.1	0.24	21.11	0.99	24.24

LÍMITE DE CONTRACCIÓN							
Capsula	Peso	Peso Mercurio	Peso Capsula + Vaselina	Peso Capsula + Suelo Húmedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso Mercurio Desplazado	Masa Húmeda (M)
(#)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
6	23.34	193.32	23.45	48.82	41.3	149.1	25.37
3	21.22	194.94	21.38	46.53	39	143.9	25.15

LÍMITE DE CONTRACCIÓN					
Masa Pastilla (Mo)	Contenido de agua (w)	Volumen (V)	Volumen pastilla (Vo)	Límite de contracción (LC)	Relación de Contracción (R)
(gr)	(%)	(cm3)	(cm3)	(%)	
17.96	41.26	14.21	10.96	23.15	1.64
17.78	41.45	14.33	10.58	20.34	1.68

<b>Limite Liquido (%)</b>	42.32
<b>Limite Plástico (%)</b>	22.68
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	19.64

Curva de fluidez (Suelo + 7% de cemento)

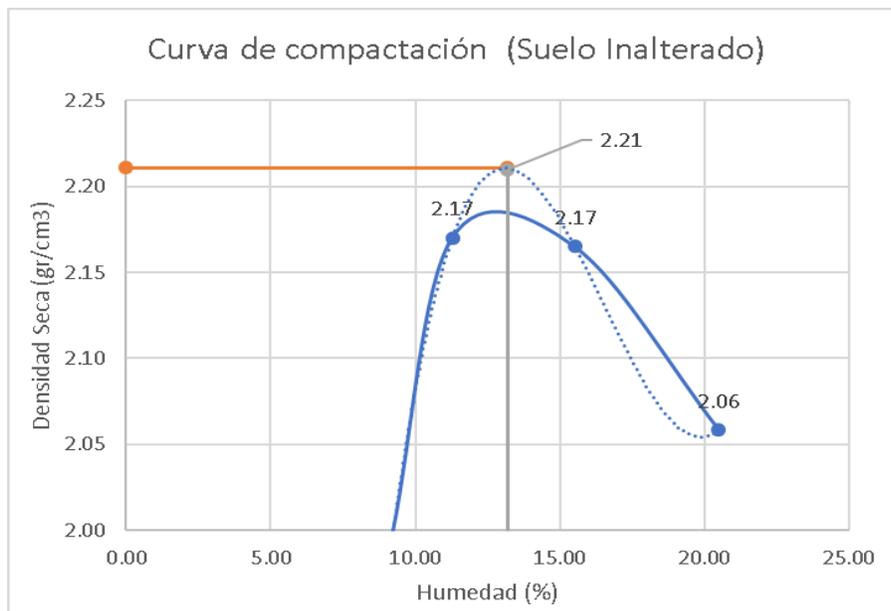


Anexos 3.Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado).

**Suelo inalterado**

<b>Peso suelo + cemento (gr)</b>	3500
<b>Cilindro</b>	
<b>Peso (gr)</b>	4339
<b>Diámetro (cm)</b>	10
<b>Altura (cm)</b>	12
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	926.77
<b>k</b>	1

Prueba N°	1	2	3	4
<b>Suelo + cilindro (gr)</b>	6216	6395	6415	6297
<b>Suelo (gr)</b>	1877	2056	2076	1958
<b>Peso Capsula (gr)</b>	20.9	31.9	27.45	31.97
<b>Cap + suelo húmedo (gr)</b>	35.9	53.9	53.2	47.43
<b>Cap + suelo seco (gr)</b>	34.63	51.67	49.74	44.8
<b>Peso Suelo seco (gr)</b>	13.73	19.77	22.29	12.83
<b>Suelo húmedo (gr)</b>	15	22	25.75	15.46
<b>Agua (gr)</b>	1.27	2.23	3.46	2.63
<b>Humedad (%)</b>	9.25	11.28	15.52	20.50
<b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.03	2.22	2.24	2.11
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.00	2.17	2.17	2.06

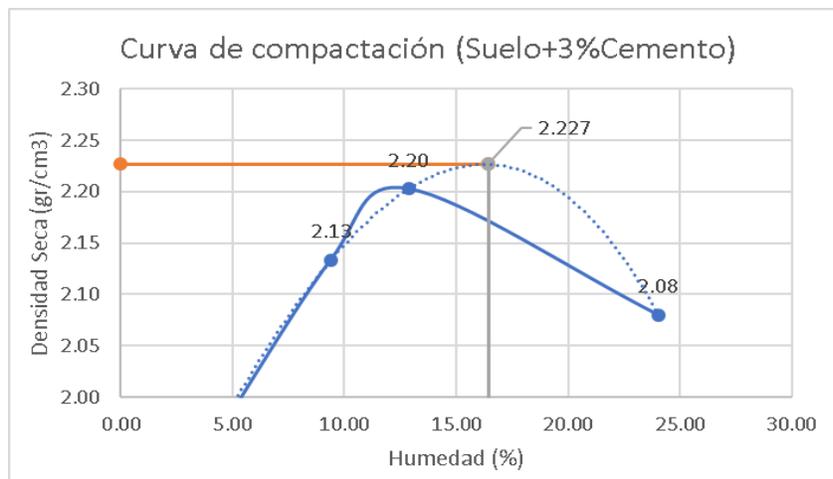


<b>Humedad óptima (%)</b>	13.2
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.211

**Suelo + 3% de cemento**

<b>Peso suelo + cemento (gr)</b>	3500
<b>Cilindro</b>	
<b>Peso (gr)</b>	4366
<b>Diámetro (cm)</b>	10
<b>Altura (cm)</b>	12
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	926.77
<b>k</b>	1

<b>Prueba N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Suelo + cilindro (gr)</b>	6166	6359	6442	6342
<b>Suelo (gr)</b>	1800	1993	2076	1976
<b>Peso Capsula (gr)</b>	21	21.2	20.8	27.1
<b>Cap + suelo húmedo (gr)</b>	26.7	30.5	35.7	40
<b>Cap + suelo seco (gr)</b>	26.5	29.7	34	37.5
<b>Peso Suelo seco (gr)</b>	5.5	8.5	13.2	10.4
<b>Suelo húmedo (gr)</b>	5.7	9.3	14.9	12.9
<b>Agua (gr)</b>	0.2	0.8	1.7	2.5
<b>Humedad (%)</b>	3.64	9.41	12.88	24.04
<b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.94	2.15	2.24	2.13
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.94	2.13	2.20	2.08

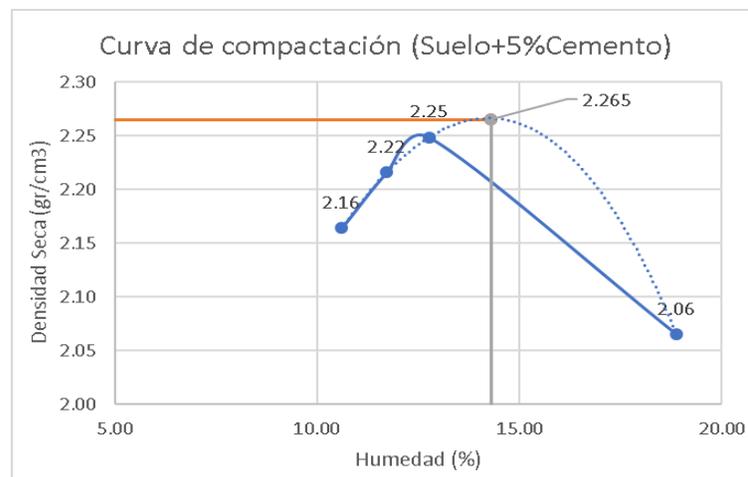


<b>Humedad óptima (%)</b>	16.45
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.227

### Suelo + 5% cemento

<b>Peso suelo + cemento (gr)</b>	3500
<b>Cilindro</b>	
<b>Peso (gr)</b>	4369
<b>Diámetro (cm)</b>	10
<b>Altura (cm)</b>	12
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	911.06
<b>k</b>	1

Prueba N°	1	2	3	4
<b>Suelo + cilindro (gr)</b>	6368	6422	6442	6344
<b>Suelo (gr)</b>	1999	2053	2073	1975
<b>Peso Capsula (gr)</b>	20.9	20.9	21.1	40.65
<b>Cap + suelo húmedo (gr)</b>	35.5	37.1	31.7	72.05
<b>Cap + suelo seco (gr)</b>	34.1	35.4	30.5	67.06
<b>Peso Suelo seco (gr)</b>	13.2	14.5	9.4	26.41
<b>Suelo húmedo (gr)</b>	14.6	16.2	10.6	31.4
<b>Agua (gr)</b>	1.4	1.7	1.2	4.99
<b>Humedad (%)</b>	10.61	11.72	12.77	18.89
<b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.19	2.25	2.28	2.17
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.16	2.22	2.25	2.06

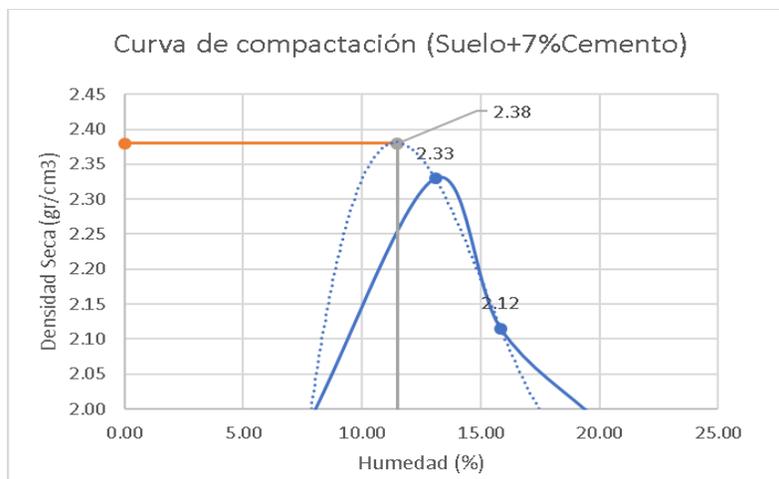


<b>Humedad óptima (%)</b>	14.3
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.265

### Suelo + 7% cemento

<b>Peso suelo + cemento (gr)</b>	3500
<b>Cilindro</b>	
<b>Peso (gr)</b>	4366
<b>Diámetro (cm)</b>	10
<b>Altura (cm)</b>	12
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	945.40
<b>K</b>	1

Prueba N°	1	2	3	4
<b>Suelo + cilindro (gr)</b>	6255	6641	6430	6319
<b>Suelo (gr)</b>	1889	2275	2064	1953
<b>Peso Capsula (gr)</b>	21.1	21.2	21.1	27.2
<b>Cap + suelo húmedo (gr)</b>	31.2	49.8	44.5	52.7
<b>Cap + suelo seco (gr)</b>	30.47	46.49	41.3	48.45
<b>Peso Suelo seco (gr)</b>	9.37	25.29	20.2	21.25
<b>Suelo húmedo (gr)</b>	10.1	28.6	23.4	25.5
<b>Agua (gr)</b>	0.73	3.31	3.2	4.25
<b>Humedad (%)</b>	7.79	13.09	15.84	20.00
<b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.00	2.41	2.18	2.07
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.98	2.33	2.12	1.98



<b>Humedad óptima (%)</b>	11.5
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.38

Anexos 4. Compresión Incofinada.

**Suelo inalterado**

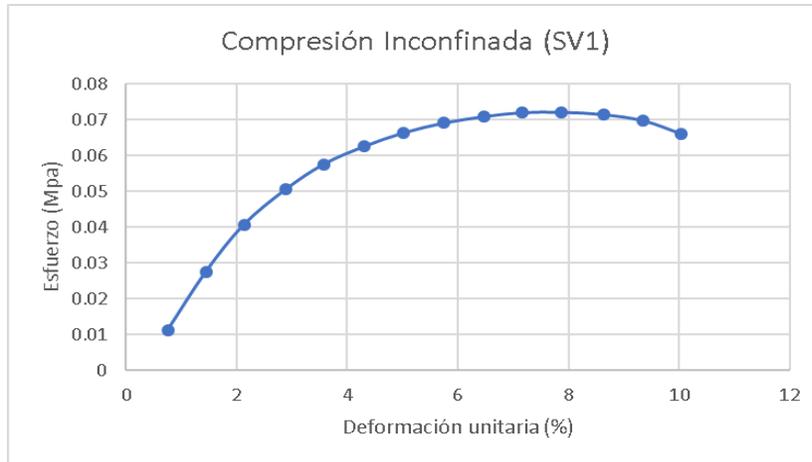
**Muestra 1**

<b>Alturas (cm)</b>	7.03	7.03	7.03	7.03
<b>Diámetro (cm)</b>	3.32	3.35	3.35	3.34
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.66	8.81	8.81	8.76
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	60.85	61.96	61.96	61.59
<b>Peso Probeta (gr)</b>	125.44	125.44	125.45	125.44

<b>Whum+rec (gr)</b>	165.53
<b>Wseco+rec (gr)</b>	146.4
<b>Wrecipiente (gr)</b>	40.55
<b>Wseco (gr)</b>	105.85
<b>Whúmedo (gr)</b>	124.98
<b>Peso agua (gr)</b>	19.13
<b>Humedad (%)</b>	18.072

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación unitaria(%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	10.0084986	0.5334	0.7587	882.8733	0.0113363
1.00000002	24.50970102	1.016	1.4452	889.0230	0.0275693
1.50000003	36.47541712	1.4986	2.1317	895.2589	0.0407429
2.00000004	45.68323583	2.032	2.8905	902.2539	0.0506324
2.50000005	52.40005045	2.5146	3.5770	908.6775	0.0576663
2.66666672	57.29309421	3.0226	4.2996	915.5387	0.0625786
3.50000007	61.29649365	3.5306	5.0222	922.5044	0.0664457
4.00000008	64.27680212	4.0386	5.7448	929.5769	0.0691463
4.50000009	66.4564307	4.5466	6.4674	936.7586	0.0709430
5.00000001	68.01330826	5.0292	7.1539	943.6849	0.0720721
5.50000011	68.63605929	5.5372	7.8765	951.0871	0.0721659
6.00000012	68.59157707	6.0706	8.6353	958.9855	0.0715251
6.50000013	67.43503946	6.5786	9.3579	966.6308	0.0697630
7.00000014	64.41024877	7.0612	10.0444	974.0075	0.0661291

<b>Resistencia a compresión incofinada (Mpa)</b>	0.07
--	------



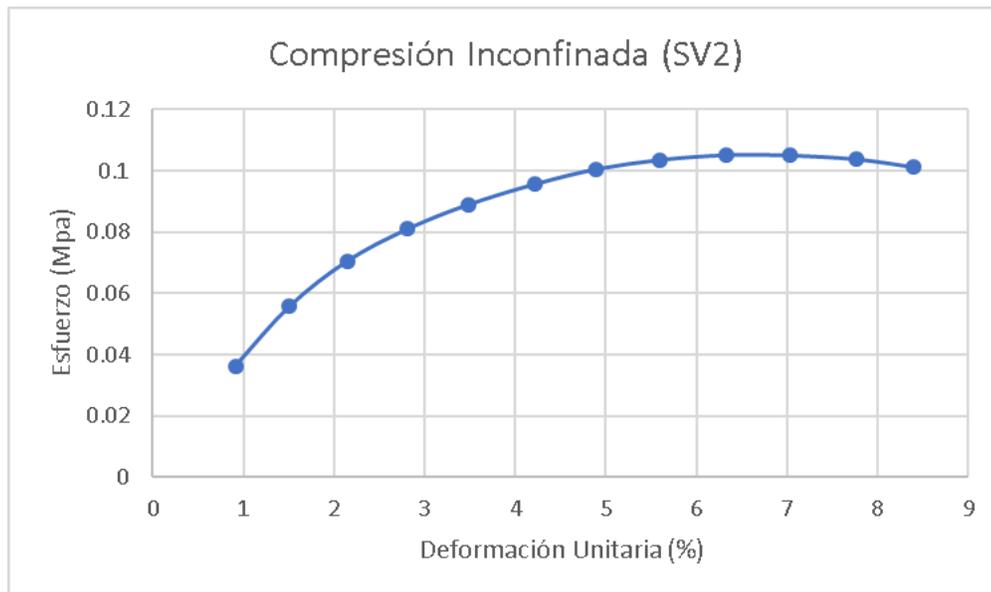
**Muestra 2.**

<b>Alturas (cm)</b>	7.23	7.21	7.24	7.23
<b>Diámetro (cm)</b>	3.3	3.34	3.34	3.33
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.55	8.76	8.76	8.69
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	61.84	63.17	63.43	62.81
<b>Peso Probeta (gr)</b>	125.12	125.09	125.1	125.10

<b>Whum+rec (gr)</b>	157
<b>Wseco+rec (gr)</b>	138.56
<b>Wrecipiente (gr)</b>	32.24
<b>Wseco (gr)</b>	106.32
<b>Whúmedo (gr)</b>	124.76
<b>Peso agua (gr)</b>	18.44
<b>Humedad (%)</b>	17.344

Tiempo (min)	Carga Axial (N)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria (%)	Área corregida (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Mpa)
0.50000001	31.80478444	0.6604	0.9138	877.2218	0.03626
1.00000002	49.1973309	1.0922	1.5113	882.5437	0.05574
1.50000003	62.58647791	1.5494	2.1440	888.2495	0.07046
2.00000004	72.41704765	2.032	2.8118	894.3529	0.08097
2.50000005	80.0679888	2.5146	3.4796	900.5407	0.08891
2.66666672	86.78480342	3.048	4.2177	907.4803	0.09563
3.50000007	91.81129382	3.5306	4.8855	913.8518	0.10047
4.00000008	95.32538889	4.0386	5.5885	920.6560	0.10354
4.50000009	97.54949969	4.572	6.3266	927.9103	0.10513
5.0000001	98.17225071	5.08	7.0295	934.9262	0.10501
5.50000011	97.77191077	5.6134	7.7676	942.4081	0.10375
6.00000012	95.99262213	6.0706	8.4003	948.9170	0.10116

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.105
--	-------



## Suelo + 3% cemento

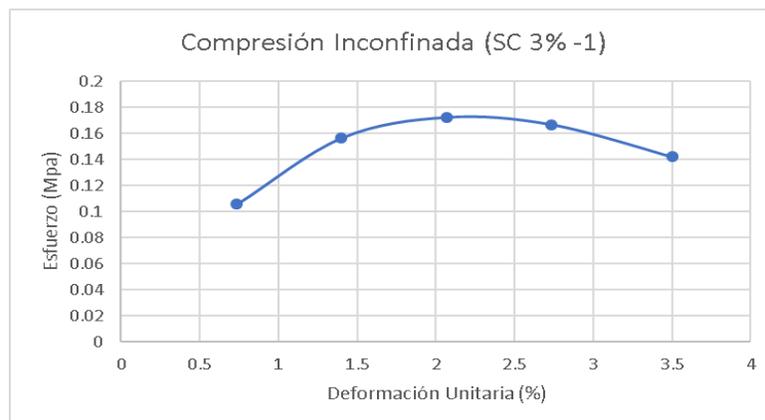
### Muestra 1

<b>Alturas (cm)</b>	7.26	7.23	7.26	7.25
<b>Diámetro (cm)</b>	3.29	3.33	3.31	3.31
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.50	8.71	8.60	8.60
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	61.72	62.97	62.47	62.39
<b>Peso Probeta (gr)</b>	131.1	131.2	131.3	131.20

<b>Whum+rec (gr)</b>	171.5
<b>Wseco+rec (gr)</b>	151.15
<b>Wrecipiente (gr)</b>	40.6
<b>Wseco (gr)</b>	110.55
<b>Whúmedo (gr)</b>	130.9
<b>Peso agua (gr)</b>	20.35
<b>Humedad (%)</b>	18.4079602

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación Unitaria (%)</b>	<b>Área Corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	91.85577604	0.5334	0.7357	866.8889	0.10596
1.00000002	136.738332	1.016	1.4014	872.7414	0.15668
1.50000003	151.5509099	1.4986	2.0670	878.6735	0.17248
2.00000004	147.6809571	1.9812	2.7327	884.6868	0.16693
2.50000005	126.6853512	2.54	3.5034	891.7531	0.14206

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.17247693
--	------------



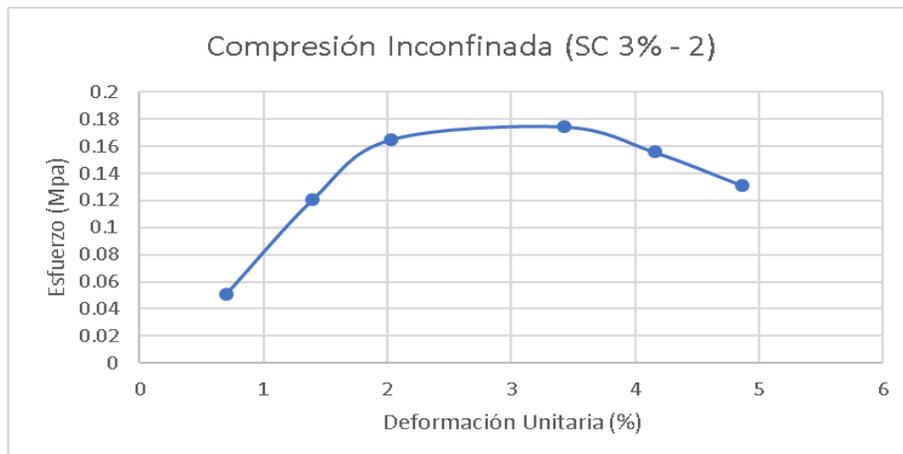
## Muestra 2

<b>Alturas (cm)</b>	7.28	7.25	7.26	7.26
<b>Diámetro (cm)</b>	3.35	3.36	3.33	3.35
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.81	8.87	8.71	8.80
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	64.17	64.28	63.23	63.89
<b>Peso Probeta (gr)</b>	130.9	131	131	130.97

<b>Whum+rec (gr)</b>	162.4
<b>Wseco+rec (gr)</b>	142.17
<b>Wrecipiente (gr)</b>	31.9
<b>Wseco (gr)</b>	110.27
<b>Whúmedo (gr)</b>	130.5
<b>Peso agua (gr)</b>	20.23
<b>Humedad (%)</b>	18.3458783

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación Unitaria (%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	44.83807373	0.508	0.70	885.8679	0.051
1.00000002	107.6469627	1.016	1.40	892.1516	0.121
1.50000003	148.0812971	1.4732	2.03	897.8836	0.165
2.50000005	158.9349578	2.4892	3.43	910.8890	0.174
2.66666672	142.92136	3.0226	4.16	917.8688	0.156
3.50000007	121.4364497	3.5306	4.86	924.6164	0.131

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.174
--	-------



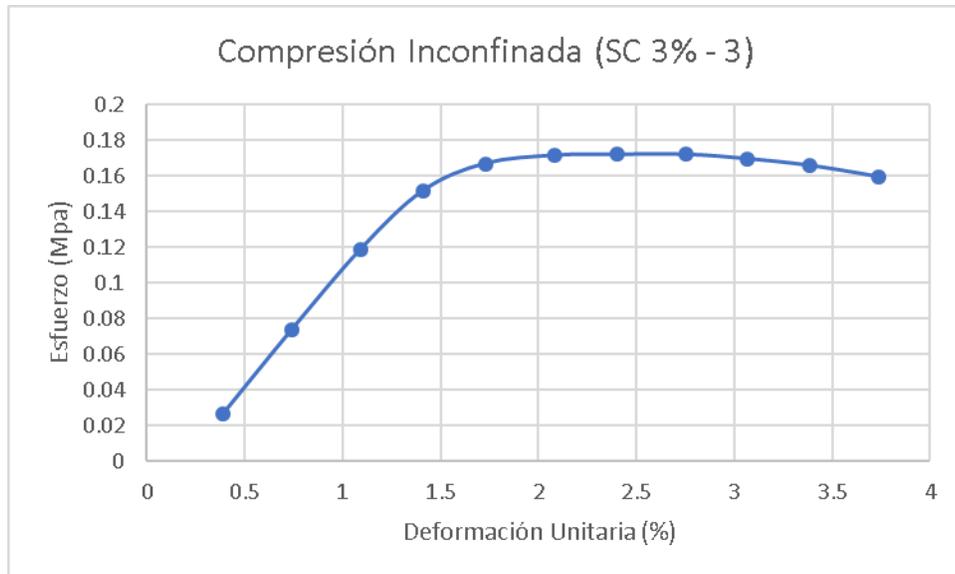
### Muestra 3

<b>Alturas (cm)</b>	7.2	7.19	7.21	7.2
<b>Diámetro (cm)</b>	3.34	3.35	3.35	3.35
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.76	8.81	8.81	8.80
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	63.08	63.37	63.55	63.34
<b>Peso Probeta (gr)</b>	127.3	127.3	127.3	127.30

<b>Whum+rec (gr)</b>	158.8
<b>Wseco+rec (gr)</b>	139.36
<b>Wrecipiente (gr)</b>	32.1
<b>Wseco (gr)</b>	107.26
<b>Whúmedo (gr)</b>	126.7
<b>peso agua (gr)</b>	19.44
<b>Humedad (%)</b>	18.124

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación Unitario (%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	23.57557448	0.2794	0.3881	883.0885	0.02670
1.00000002	65.65575082	0.5334	0.7408	886.2271	0.07408
1.50000003	106.0011207	0.7874	1.0936	889.3881	0.11918
2.00000004	135.4483477	1.016	1.4111	892.2523	0.15180
2.50000005	149.4602458	1.2446	1.7286	895.1351	0.16697
2.66666672	154.1308784	1.4986	2.0814	898.3600	0.17157
3.50000007	155.065005	1.7272	2.3989	901.2824	0.17205
4.00000008	155.6432738	1.9812	2.7517	904.5519	0.17207
4.50000009	153.9084674	2.2098	3.0692	907.5148	0.16959
5.00000001	151.0171233	2.4384	3.3867	910.4972	0.16586
5.50000011	145.8571863	2.6924	3.7394	913.8340	0.15961

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.172
--	-------



**Suelo + 5% cemento**

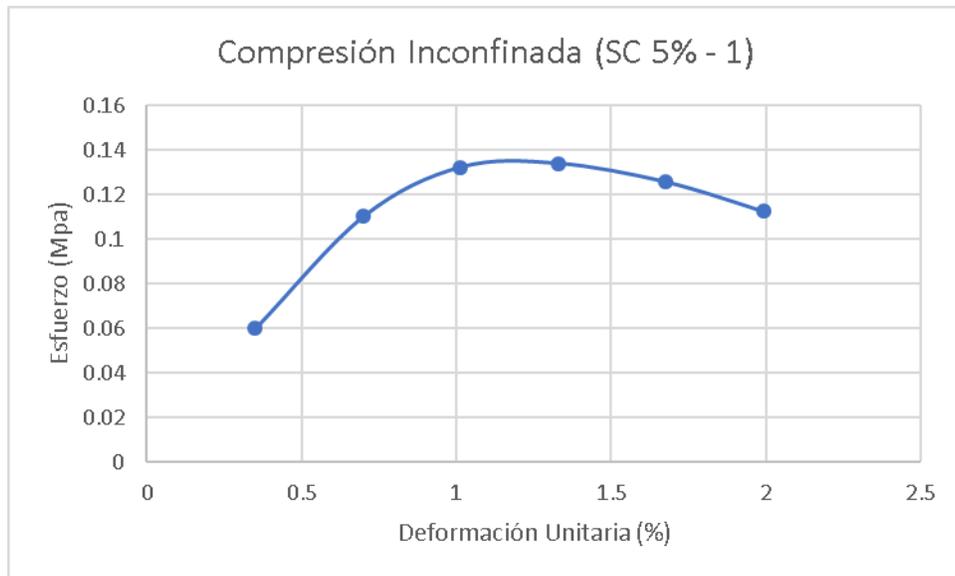
**Muestra 1**

<b>Alturas (cm)</b>	7.3	7.26	7.25	7.27
<b>Diámetro (cm)</b>	3.37	3.37	3.34	3.36
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.92	8.92	8.76	8.87
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	65.11	64.76	63.52	64.46
<b>Peso Probeta (gr)</b>	128.5	128.5	128.5	128.50

<b>Whum+rec (gr)</b>	155.4
<b>Wseco+rec (gr)</b>	136.02
<b>Wrecipiente (gr)</b>	27.4
<b>Wseco (gr)</b>	108.62
<b>Whúmedo (gr)</b>	128
<b>peso agua (gr)</b>	19.38
<b>Humedad (%)</b>	17.842

Tiempo (min)	Carga Axial (N)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria (%)	Área corregida (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Mpa)
0.50000001	53.42314142	0.254	0.3494	889.8076	0.06004
1.00000002	98.43914401	0.508	0.6988	892.9383	0.11024
1.50000003	118.5895879	0.7366	1.0132	895.7749	0.13239
2.00000004	120.5023231	0.9652	1.3276	898.6295	0.13410
2.50000005	113.3851686	1.2192	1.6770	901.8226	0.12573
2.66666672	101.8642746	1.4478	1.9915	904.7160	0.11259

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.134
--	-------



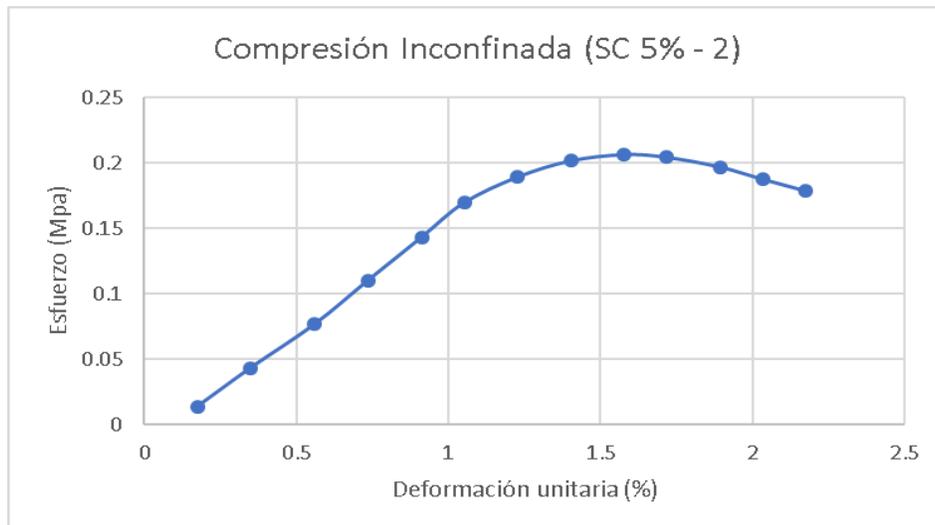
### Muestra 2

<b>Alturas (cm)</b>	7.26	7.22	7.26	7.25
<b>Diámetro (cm)</b>	3.36	3.35	3.33	3.35
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.87	8.81	8.71	8.80
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	64.37	63.64	63.23	63.75
<b>Peso Probeta (gr)</b>	131	131	131.8	131.27

<b>Whum+rec (gr)</b>	162.5
<b>Wseco+rec (gr)</b>	142.41
<b>Wrecipiente (gr)</b>	31.9
<b>Wseco (gr)</b>	110.51
<b>Whúmedo (gr)</b>	130.6
<b>peso agua (gr)</b>	20.09
<b>Humedad (%)</b>	18.179

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación unitaria (%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	12.36605605	0.127	0.1753	881.2165	0.01403
1.00000002	38.43263462	0.254	0.3505	882.7663	0.04354
1.50000003	68.05779048	0.4064	0.5608	884.6332	0.07693
2.00000004	97.77191077	0.5334	0.7361	886.1951	0.11033
2.50000005	127.1301733	0.6604	0.9113	887.7624	0.14320
2.66666672	150.7947122	0.762	1.0515	889.0203	0.16962
3.50000007	168.5431164	0.889	1.2268	890.5977	0.18925
4.00000008	179.9305637	1.016	1.4020	892.1807	0.20168
4.50000009	184.5567142	1.143	1.5773	893.7693	0.20649
5.0000001	182.9998366	1.2446	1.7175	895.0443	0.20446
5.50000011	176.683362	1.3716	1.8927	896.6432	0.19705
6.00000012	168.5875986	1.4732	2.0329	897.9264	0.18775
6.50000013	160.8476931	1.5748	2.1731	899.2133	0.17888

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.206
--	-------



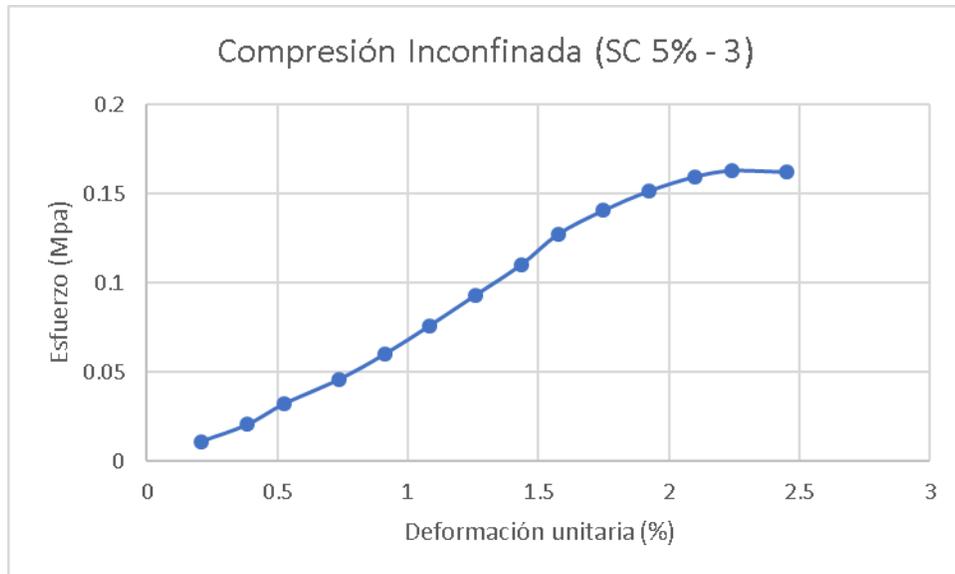
### Muestra 3

<b>Alturas (cm)</b>	7.25	7.27	7.26	7.26
<b>Diámetro (cm)</b>	3.35	3.38	3.33	3.35
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.81	8.97	8.71	8.83
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	63.90	65.23	63.23	64.12
<b>Peso Probeta (gr)</b>	130.6	130.6	130.6	130.60

<b>Whum+rec (gr)</b>	162.2
<b>Wseco+rec (gr)</b>	141.97
<b>Wrecipiente (gr)</b>	32.1
<b>Wseco (gr)</b>	109.87
<b>Whúmedo (gr)</b>	130.1
<b>peso agua (gr)</b>	20.23
<b>Humedad (%)</b>	18.4126695

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación unitaria (%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	10.0084986	0.1524	0.2099	885.0591	0.01131
1.00000002	18.41563742	0.2794	0.3848	886.6133	0.02077
1.50000003	28.69102932	0.381	0.5248	887.8606	0.03231
2.00000004	40.92363872	0.5334	0.7347	889.7382	0.04600
2.50000005	53.60107028	0.6604	0.9096	891.3089	0.06014
2.66666672	68.14675491	0.7874	1.0846	892.8852	0.07632
3.50000007	83.53760165	0.9144	1.2595	894.4670	0.09339
4.00000008	98.9729306	1.0414	1.4344	896.0545	0.11045
4.50000009	114.3192951	1.143	1.5744	897.3285	0.12740
5.00000001	126.5963867	1.27	1.7493	898.9262	0.14083
5.50000011	136.6493676	1.397	1.9242	900.5296	0.15174
6.00000012	144.0334154	1.524	2.0992	902.1386	0.15966
6.50000013	147.3250994	1.6256	2.2391	903.4300	0.16307
7.00000014	147.0137239	1.778	2.4490	905.3741	0.16238
7.50000015	145.5458108	1.8796	2.5890	906.6748	0.1605
8.00000016	143.3217	2.0066	2.7639	908.3060	0.1578

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.1596
--	--------



**Suelo + 7% cemento**

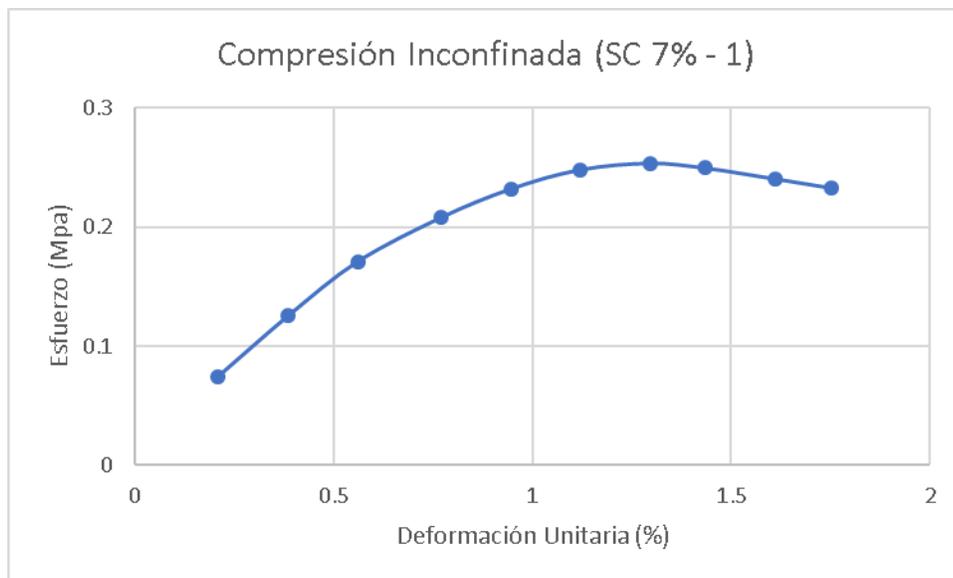
**Muestra 1**

<b>Alturas (cm)</b>	7.28	7.27	7.21	7.25
<b>Diámetro (cm)</b>	3.35	3.37	3.34	3.35
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.81	8.92	8.76	8.83
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	64.17	64.85	63.17	64.06
<b>Peso Probeta (gr)</b>	127.4	127.4	127.4	127.40

<b>Whum+rec (gr)</b>	167.2
<b>Wseco+rec (gr)</b>	147.55
<b>Wrecipiente (gr)</b>	40.5
<b>Wseco (gr)</b>	107.05
<b>Whúmedo (gr)</b>	126.7
<b>Peso agua (gr)</b>	19.65
<b>Humedad (%)</b>	18.3559085

Tiempo (min)	Carga Axial (N)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria (%)	Área Corregida (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Mpa)
0.50000001	66.18953741	0.1524	0.2101	885.0398	0.07479
1.00000002	111.20554	0.2794	0.3852	886.5954	0.12543
1.50000003	151.9067676	0.4064	0.5603	888.1565	0.17104
2.00000004	185.134983	0.5588	0.7704	890.0371	0.20801
2.50000005	206.8423044	0.6858	0.9455	891.6104	0.23199
2.66666672	221.5659179	0.8128	1.1206	893.1892	0.24806
3.50000007	226.8148194	0.9398	1.2957	894.7736	0.25349
4.00000008	223.5231354	1.0414	1.4358	896.0452	0.24946
4.50000009	215.7832298	1.1684	1.6108	897.6398	0.24039
5.0000001	209.2443441	1.27	1.7509	898.9196	0.23277

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.253
--	-------



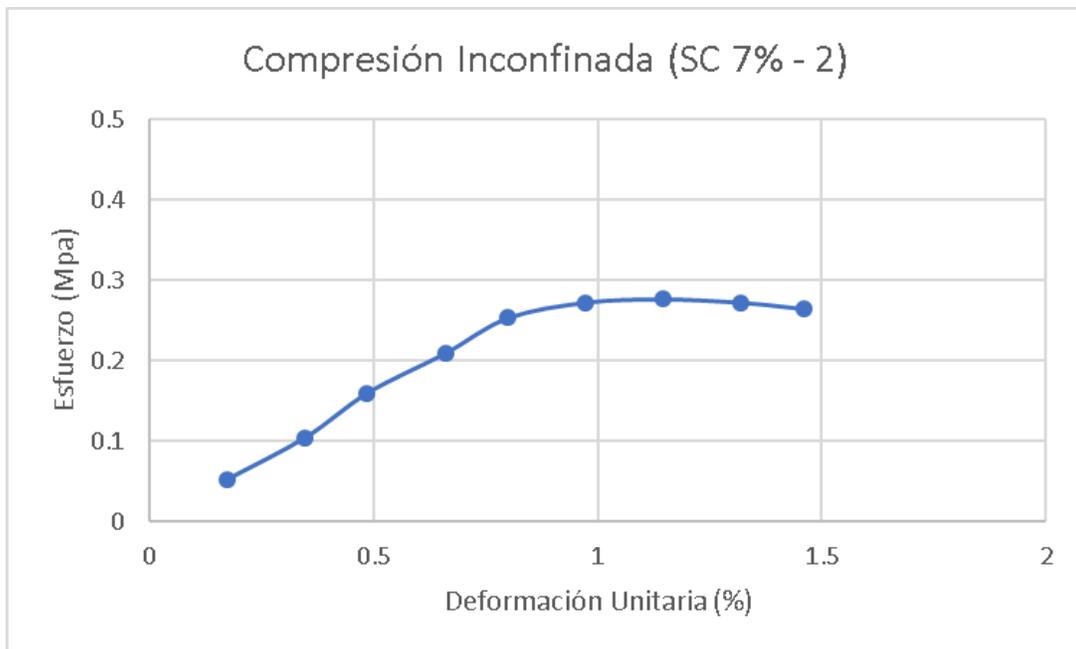
### Muestra 2

<b>Alturas (cm)</b>	7.32	7.31	7.3	7.31
<b>Diámetro (cm)</b>	3.36	3.36	3.3	3.34
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.87	8.87	8.55	8.76
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	64.91	64.82	62.44	64.05
<b>Peso Probeta (gr)</b>	126.7	126.7	126.7	126.70

<b>Whum+rec (gr)</b>	147.2
<b>Wseco+rec (gr)</b>	129.82
<b>Wrecipiente (gr)</b>	21.1
<b>Wseco (gr)</b>	108.72
<b>Whúmedo (gr)</b>	126.1
<b>Peso agua (gr)</b>	17.38
<b>Humedad (%)</b>	15.9860

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación unitaria (%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	46.4394335	0.127	0.1737	877.7466	0.05291
1.00000002	92.21163377	0.254	0.3475	879.2768	0.10487
1.50000003	141.275518	0.3556	0.4865	880.5049	0.16045
2.00000004	185.0460186	0.4826	0.6602	882.0448	0.20979
2.50000005	223.8789931	0.5842	0.7992	883.2806	0.25346
2.66666672	241.4049862	0.7112	0.9729	884.8302	0.27283
3.50000007	245.4083857	0.8382	1.1466	886.3853	0.27686
4.00000008	242.1611839	0.9652	1.3204	887.9459	0.27272
4.50000009	235.5333337	1.0668	1.4594	889.1983	0.26488

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.277
--	-------



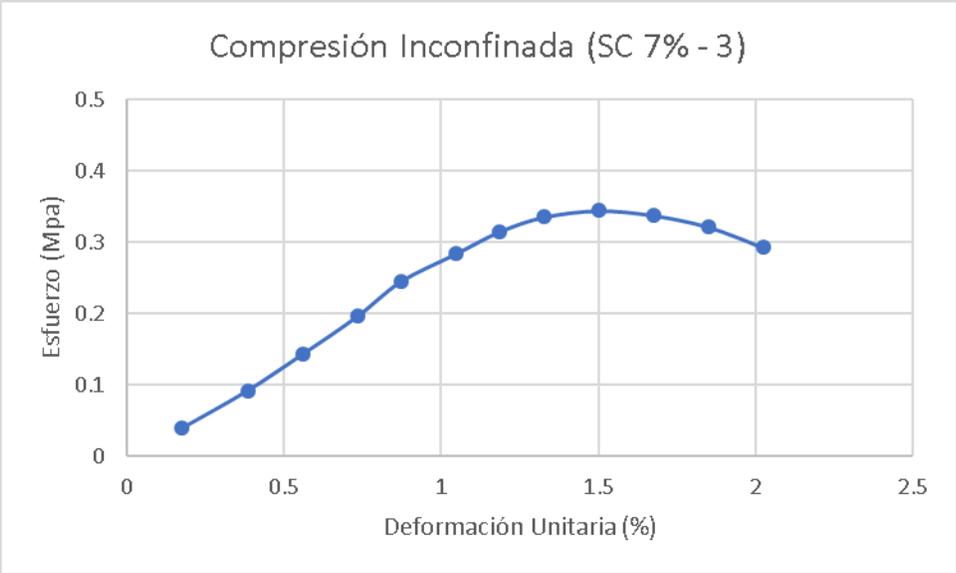
### Muestra 3

<b>Alturas (cm)</b>	7.29	7.27	7.27	7.28
<b>Diámetro (cm)</b>	3.34	3.37	3.37	3.36
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	8.762	8.920	8.920	8.87
<b>Volumen (cm<sup>2</sup>)</b>	63.872	64.846	64.846	64.52
<b>Peso Probeta (gr)</b>	125.3	125.3	125.3	125.30

<b>Whum+rec (gr)</b>	151.9
<b>Wseco+rec (gr)</b>	135.45
<b>Wrecipiente (gr)</b>	27.2
<b>Wseco (gr)</b>	108.25
<b>Whúmedo (gr)</b>	124.7
<b>Peso agua (gr)</b>	16.45
<b>Humedad (%)</b>	15.196

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Carga Axial (N)</b>	<b>Deformación total (mm)</b>	<b>Deformación unitaria (%)</b>	<b>Área corregida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
0.50000001	35.49680837	0.127	0.1745	888.2491	0.03996
1.00000002	82.47002846	0.2794	0.3840	890.1166	0.09265
1.50000003	128.0198176	0.4064	0.5585	891.6788	0.14357
2.00000004	175.4378599	0.5334	0.7330	893.2466	0.19640
2.50000005	219.6087004	0.635	0.8727	894.5047	0.24551
2.66666672	254.6606866	0.762	1.0472	896.0824	0.28419
3.50000007	282.8624115	0.8636	1.1868	897.3486	0.31522
4.00000008	301.5449423	0.9652	1.3264	898.6184	0.33557
4.50000009	310.3079388	1.0922	1.5010	900.2106	0.34471
5.00000001	305.0145551	1.2192	1.6755	901.8086	0.33823
5.50000011	290.9581749	1.3462	1.8500	903.4122	0.32207
6.00000012	265.647794	1.4732	2.0246	905.0215	0.29353

<b>Resistencia a compresión inconfiada (Mpa)</b>	0.345
--	-------



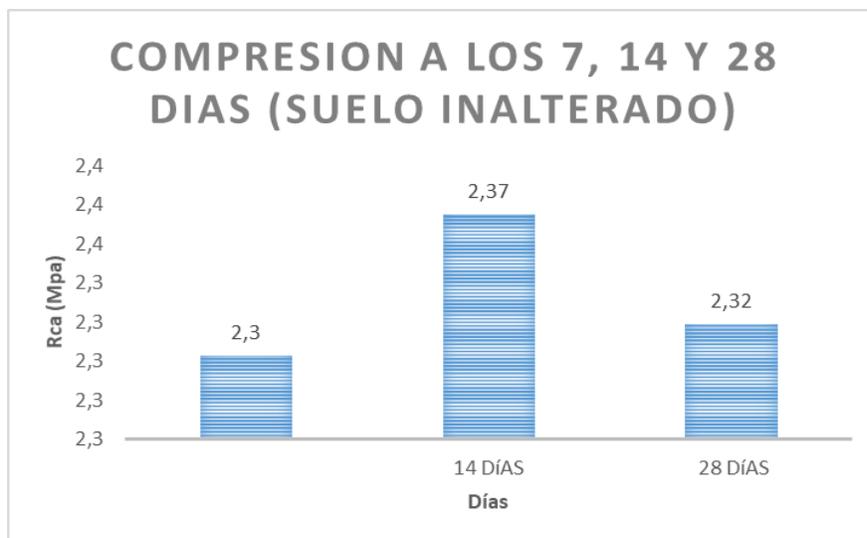
Anexos 5. Resistencia a la compresión simple.

**Suelo inalterado**

COMPRESIÓN SV 7 DIAS								
# Muestras	Dimensiones					Ra	Fa	Rca (Mpa)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura(mm)	Carga (KN)	área (mm <sup>2</sup> )			
1	292	145	90	113000	42340	0.62	1.01	2.7
2	292	145	91	67800	42340	0.63	1.02	1.6
3	292	147	91	122700	42924	0.62	1.01	2.9
4	291	145	90	79100	42195	0.62	1.01	1.9
5	292	146	91	102400	42632	0.62	1.01	2.4
Promedio								2.3

COMPRESIÓN SV 14 DIAS								
# Muestras	Dimensiones					Ra	Fa	Rca (Mpa)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura(mm)	Carga (KN)	área (mm <sup>2</sup> )			
1	295	146	93	94500	43070	0.637	1.0238602	2.25
2	292	146	93	93300	42632	0.637	1.0238602	2.24
3	297	146	93	96200	43362	0.637	1.0238602	2.27
4	290	145	92	104400	42050	0.6345	1.0215435	2.54
5	292	146	90	107600	42632	0.6164	1.0042889	2.53
Promedio								2.37

COMPRESIÓN SV 28 DIAS								
# Muestras	Dimensiones					Ra	Fa	Rca (Mpa)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura(mm)	Carga (KN)	área (mm <sup>2</sup> )			
1	300	150	92	103200	45000	0.6133	1.0012174	2.30
2	290	145	93	90500	42050	0.6414	1.0278817	2.21
3	291	146	91	101500	42486	0.6233	1.010956	2.42
4	290	145	93	90400	42050	0.6414	1.0278817	2.21
5	291	145	91	101500	42195	0.6276	1.0150659	2.44
Promedio								2.32

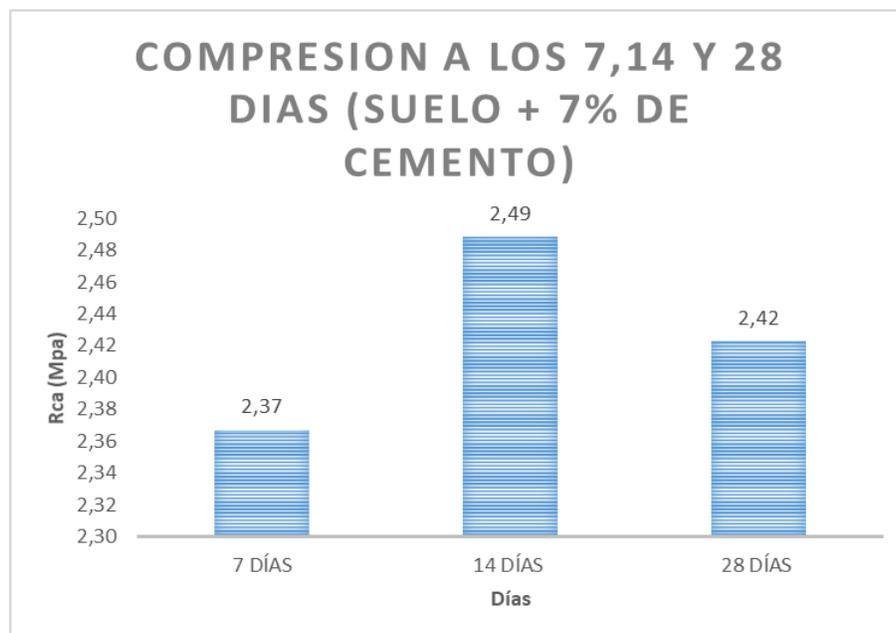


#### Suelo + 7% cemento

COMPRESIÓN SC7% 7 DIAS								
# Muestras	Dimensiones					Ra	Fa	Rca (Mpa)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura(mm)	Carga (KN)	área (mm <sup>2</sup> )			
1	300	150	94	93500	45000	0.63	1.01	2.11
2	300	150	98	101500	45000	0.65	1.04	2.34
3	300	150	95	104600	45000	0.63	1.02	2.37
4	300	150	95	109100	45000	0.63	1.02	2.47
5	300	150	96	111300	45000	0.64	1.03	2.54
Promedio								2.37

COMPRESIÓN SC7% 14 DIAS								
# Muestras	Dimensiones					Ra	Fa	Rca (Mpa)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura(mm)	Carga (KN)	área (mm <sup>2</sup> )			
1	300	150	94.3	117000	45000	0.63	1.02	2.64
2	295	150	95	112700	44250	0.63	1.02	2.60
3	300	150	93	106300	45000	0.62	1.01	2.38
4	300	150	94	113900	45000	0.63	1.01	2.57
5	300	150	91	102000	45000	0.61	0.99	2.25
Promedio								2.49

COMPRESIÓN SC7% 28 DIAS								
# Muestras	Dimensiones					Ra	Fa	Rca (Mpa)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura(mm)	Carga (KN)	área (mm <sup>2</sup> )			
1	300	150	93	105300	45000	0.62	1.01	2.4
2	300	150	93	102300	45000	0.62	1.01	2.3
3	300	150	93	109400	45000	0.62	1.01	2.5
4	300	150	94	103000	45000	0.63	1.01	2.3
5	300	150	95	118800	45000	0.63	1.02	2.7
Promedio								2.42



Anexos 6.Abrasión.

**Suelo inalterado**

<b>Abrasión 7 Días</b>			
<b># de muestra</b>	<b>Lh (mm) Longitud de la huella resultante</b>	<b>Fc (mm) Factor de calibración</b>	<b>AB (mm) Longitud de la huella medida</b>
1	34.55	20.43	34.98
2	33.1	20.43	33.53
3	34.63	20.43	35.06
4	33.27	20.43	33.7
5	34.52	20.43	34.95
<b>Promedio (mm)</b>	34.014		

<b>Abrasión 14 Días</b>			
<b># de muestra</b>	<b>Lh (mm) Longitud de la huella resultante</b>	<b>Fc (mm) Factor de calibración</b>	<b>AB (mm) Longitud de la huella medida</b>
1	33.54	20.43	33.97
2	34.65	20.43	35.08
3	35.7	20.43	36.13
4	35.78	20.43	36.21
5	34.65	20.43	35.08
<b>Promedio (mm)</b>	34.864		

<b>Abrasión 28 Días</b>			
<b># de muestra</b>	<b>Lh (mm) Longitud de la huella resultante</b>	<b>Fc (mm) Factor de calibración</b>	<b>AB (mm) Longitud de la huella medida</b>
1	33.01	20.43	33.44
2	33.99	20.43	34.42
3	34	20.43	34.43
4	34.39	20.43	34.82
5	33.33	20.43	33.76
<b>Promedio (mm)</b>	33.744		

Suelo + 7% cemento

Abrasión 7% 7 días			
# de muestra	Lh (mm) Longitud de la huella resultante	Fc (mm) Factor de calibración	AB (mm) Longitud de la huella medida
1	35.89	20.43	36.32
2	36.12	20.43	36.55
3	36.12	20.43	36.55
4	34.24	20.43	34.67
5	34.5	20.43	34.93
<b>Promedio (mm)</b>	35.374		

Abrasión 7% 14 días			
# de muestra	Lh (mm) Longitud de la huella resultante	Fc (mm) Factor de calibración	AB (mm) Longitud de la huella medida
1	33.12	20.43	33.55
2	33.67	20.43	34.1
3	35.24	20.43	35.67
4	35.51	20.43	35.94
5	33.46	20.43	33.89
<b>Promedio (mm)</b>	34.2		

Abrasión 7% 28 días			
# de muestra	Lh (mm) Longitud de la huella resultante	Fc (mm) Factor de calibración	AB (mm) Longitud de la huella medida
1	36.92	20.43	37.35
2	33.85	20.43	34.28
3	36.4	20.43	36.83
4	36.25	20.43	36.68
5	33.8	20.43	34.23
<b>Promedio (mm)</b>	35.444		

Anexos 7.Absorción.

**Suelo + 7% cemento**

ABSORCIÓN (7 DIAS)						
# De muestras	Sumergido kg	Saturada kg	Seco kg	Absorción		
				Kg/m3	lb/pie3	%
1	4.602	8.807	7.663	272.057	16.976	14.93
2	4.433	8.633	7.496	270.714	16.893	15.17
3	4.567	8.804	7.604	283.219	17.673	15.78
					<b>Promedio (mm)</b>	15.29

ABSORCIÓN (14 DIAS)						
# De muestras	Sumergido kg	Saturada kg	Seco kg	Absorción		
				Kg/m3	lb/pie3	%
1	4.363	8.492	7.399	264.713	16.518	14.77
2	4.533	8.715	7.142	376.136	23.471	22.02
3	4.533	8.72	7.377	320.755	20.015	18.21
					<b>Promedio (mm)</b>	18.33

ABSORCIÓN (28 DIAS)						
# De muestras	Sumergido kg	Saturada kg	Seco kg	Absorción		
				Kg/m3	lb/pie3	%
1	4.522	8.732	7.964	182.423	11.383	9.643
2	4.469	8.655	7.899	180.602	11.270	9.571
3	4.326	8.46	7.529	225.206	14.053	12.366
					<b>Promedio (mm)</b>	10.527