



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL 7TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**TEMA: ESTUDIO DE ARCILLAS DISPERSIVAS Y
SENSITIVAS EN LA ZONA DEL CANAL SAN ANTONIO,
MANABÍ.**

AUTOR: CESAR PAUL ACUÑA CORREA

DIRECTOR: PhD. SANDOVAL, WASHINGTON

CODIRECTOR: ING. AGUILERA, EDUARDO

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICADO

Certificamos que el proyecto titulado “**ESTUDIO DE ARCILLAS DISPERSIVAS Y SENSITIVAS EN LA ZONA DEL CANAL SAN ANTONIO, MANABÍ**”, fue desarrollado en su totalidad por el señor **Cesar Paul Acuña Correa**, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, 27 de Julio de 2015



ING. SANDOVAL WASHINGTON PhD
ID: L00007117
DIRECTOR



ING. AGUILERA, EDUARDO
ID: L00007138
CODIRECTOR

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado “Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio, Manabí”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas a pie de página y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.

AUTORIZACIÓN

Yo, Cesar Paul Acuña Correa autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo "Estudio de arcillas dispersivas y sensitivas en la zona del canal San Antonio, Manabí", la cual es de mi propia autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Julio de 2015

CESAR ACUÑA CORREA.

171774207 - 4

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado va dedicado a mi pequeño hijo Cesar Augusto que ha sido la fuente de mi motivación, a mi esposa Natali Maldonado quien ha estado siempre apoyándome en todas mis decisiones.

A mi madre Inés Correa quien es mi gran amiga y consejera, quien me ayudo moral y económicamente a poder realizar mí sueño.

A mi padre Manuel Acuña quien nos enseña cómo trabajar día a día con esfuerzo y constancia para salir adelante sobre todas las adversidades.

A mis 3 queridos hermanos quienes me alegran la vida, me corrigen y enseñan cada día a quererlos como son.

A mis abuelitos Cesar, Carmela, Pedro, Elsa quienes siempre están junto a mí de una u otra manera.

A todos mis tíos, tías primos, primas por ser incondicionales y siempre han demostrado ser muy buenos amigos siempre.

A mis queridos amigos de universidad Henry García, Byron León, Carlos Curco, Edison Cueva, Henry Jacke, Diego Ortiz, Ángel Jácome, Pancho Ortiz, Jorge Pintado, Jorge Pacheco, entre muchos más con quienes compartí grandes momentos inolvidables, grandes experiencias, problemas, partidos de futbol.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios tan grande porque es el que me regala un día más de vida para conseguir paso a paso las ilusiones, sueños y metas.

Agradezco de todo corazón a mi mami Inés Correa por ayudarme a conseguir uno de mis sueños tan anhelados.

A mi papi Manuel Acuña por sacrificarse siempre por darnos lo mejor y que nos falte nada, por siempre sacar tiempo para acompañarme y apoyarme en todas las decisiones.

A mis hermanos por ser una gran inspiración y ayuda para superarme cuando más los necesitaba.

A mi hijo Cesar Augusto Acuña Maldonado por ser mi inspiración, mi primer hijo mí más soñada ilusión en mi vida.

A mi esposa Natali Maldonado quien con su amor y cariño me ha demostrado que es el amor de mi vida, superando grandes problemas pero siempre juntos y ahora mucho más ya que estamos esperando a nuestro nuevo hijo/a.

A mis amigos, amigas, compañeros de clase por ser siempre buenos en todo momento ayudándonos de diferentes maneras.

A todos mis maestros por enseñarme el camino correcto con sabiduría y mucha experiencia.

Al Ing. Fausto Unda por ser un gran amigo, profesor y sobre todo por ser siempre sincero y transparente en todos los aspectos de su vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. ÁREA DE INFLUENCIA	3
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.5. ESTUDIO TEÓRICO DE LAS ARCILLAS.....	6
1.5.1. Arcillas.....	6
1.5.2. Estructura de las arcillas	7
1.5.2.1. Propiedades Físico – Químicas	12
1.5.2.2. Capacidad de intercambio catiónico	12
1.5.2.3. Plasticidad	14
1.5.2.4. Tixotropía.....	14
1.5.2.5. La partícula de arcilla	15
1.5.3. DISPERSIVAS.....	16

1.5.3.1. Propiedades Químicas	19
1.5.3.2. Identificación de arcillas dispersivas	20
1.5.4. SENSITIVAS	21
1.5.4.1. Características de Arcillas sensitivas.....	23

CAPITULO II

CARACTERIZACION DE LOS SUELOS	24
2.1. Geología de la zona.....	24
2.2. Topografía	25
2.3. Condiciones Hidrológicas	27
2.4. Características de los suelos de la zona investigada.	29
2.4.1. Toma de Muestras	29
2.4.2. Análisis Granulométrico	31
2.4.2.1. Granulometría (ASTM D75)	31
2.4.2.2. Análisis Granulométrico por sedimentación (ASTM D-422).....	35
2.4.3. Contenido de Humedad (ASTM D2216).....	42
2.4.4. Densidad de los suelos (ASTM D128)	45
2.4.4.1. Límites de Consistencia de Atterberg (ASTM D 4318).....	50
2.4.5. Determinación de pH.....	58
2.4.6. Porosidad	62
2.4.7. Permeabilidad	65
2.4.8. Análisis por Difracción de Rayos X (DRX)	71
2.4.9. Materia Orgánica.....	74
2.4.10. Ensayo de Crumb (ASTM D6572 – 12).....	77
2.4.11. Ensayo del doble hidrómetro (ASTM D 4221 – 90).....	86
2.5. Determinación de los tipos de suelos.....	95

2.5.1.	Identificación de suelos	95
2.6.	Determinación de las características físico – mineralógicas.	99

CAPITULO III

MEJORAMIENTO DEL SUELO	102	
3.1	La Cal.....	102
3.1.1	Generalidades sobre la cal.....	103
3.1.2	Cale viva	103
3.1.3	Cales hidráulicas	104
3.2	Características Físicas de la cal.....	104
3.2.1	Propiedades Físicas de la cal.	105
3.3	Características químicas de la cal.....	106
3.4	Propiedades Químicas de la cal.....	107
3.5	Recomendaciones existentes en la bibliografía	107
3.5.1	Mecanismos de interacción de la cal sobre un suelo	109
3.5.2	Cales utilizadas para la estabilización de suelos.	110
3.5.2.1	Cal en forma de lechada	110
3.6	Diseño de pruebas de mejoramiento.....	110
3.6.1	Ensayo de Compactación (ASTM D1557-02)	111
3.6.2	Ensayo Triaxial (ASTM D 2850)	118
3.7	Análisis de resultados	127

CAPITULO IV

4.1	CONCLUSIONES.....	129
4.2	RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFIA	132	

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de capacidad de intercambio catiónico de las arcillas (en meq/100g).....	13
Tabla 2. Análisis Granulométrico Muestra #1 - #9 de Arcilla Canal San Antonio	33
Tabla 3. Análisis Granulométrico Muestra #10 - #16 de Arcilla Canal San Antonio.....	34
Tabla 4. Sedimentación Muestra #1 - #9.....	38
Tabla 5. Sedimentación Muestra #1	40
Tabla 6. Contenido de Humedad Canal San Antonio MUESTRA #1.....	44
Tabla 7. Contenido de Humedad Canal San Antonio.....	45
Tabla 8. Peso Específico Canal San Antonio MUESTRA #1.....	48
Tabla 9. Peso Específico Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16.....	49
Tabla 10. Limite Plástico Canal San Antonio MUESTRA #1	52
Tabla 11. Limite Plástico Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16	52
Tabla 12. Limite Líquido Canal San Antonio MUESTRA #1	55
Tabla 13. Limite Líquido a los 25 Golpes Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16.....	56
Tabla 14. Porosidad Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16	64
Tabla 15. Valores de Permeabilidad.....	67
Tabla 16. Permeabilidad Canal San Antonio MUESTRA #10	68
Tabla 17. Permeabilidad Canal San Antonio MUESTRA #10	69
Tabla 18. Análisis de Difracción de Rayos X de Canal San Antonio Muestra #7	72

Tabla 19. Interpretación de resultados de Materia Orgánica.....	75
Tabla 20. Materia Orgánica Canal San Antonio MUESTRA #1 - #10.....	76
Tabla 21. Crumb Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16	81
Tabla 22. Criterio de evaluación de resultados.....	87
Tabla 23. Doble Hidrómetro Canal San Antonio MUESTRA #1 - #4	90
Tabla 24. Doble Hidrómetro Canal San Antonio MUESTRA #5 - #9	91
Tabla 25. Evaluación de resultados Doble Hidrómetro Canal San Antonio MUESTRA #1 - #9	94
Tabla 26. Clasificación Método SUCS - Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16.....	98
Tabla 27. Ensayo de Compactación M # 9.....	113
Tabla 28. Descripción del ensayo de Compactación.....	113
Tabla 29. Resultados del ensayo de Compactación.....	114
Tabla 30. Resultados del ensayo de Compactación más cal	116
Tabla 31. Descripción del ensayo de Compactación.....	116
Tabla 32. Resultados del ensayo de Compactación con Cal.	117
Tabla 33. Resultados del Ensayo Triaxial Sin Cal.....	122
Tabla 34. Circulo de Mohr M#9 Sin Cal.....	123
Tabla 35. Datos obtenidos del Ensayo Triaxial M#9 – Sin Cal	124
Tabla 36. Resultados del Ensayo Triaxial Con Cal.....	125
Tabla 37. Circulo de Mohr M#9 Con Cal	126
Tabla 38. Datos obtenidos del Ensayo Triaxial M#9 – Con Cal.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto.	3
Figura 2. Tres maneras de dibujar el silicio tetraédrico: a) a la izquierda se muestra el catión silicio en color anaranjado, rodeado de 4 aniones de oxígeno, en azul; b) al centro, un modelo que llena el espacio; c) a la derecha, un esbozo geométrico.....	8
Figura 3. Estructura de los filosilicatos a) tetraédricos y b) octaédricos.....	9
Figura 4. Estructura de una lámina por apilamiento de capas tetraédricas y octaédricas.....	10
Figura 5. Estructura de una lámpina discontinua típica de minerales con hábito fibroso.	11
Figura 6. Capa de una partícula de arcilla. Pusch (1970)	15
Figura 7. Caolinita bien cristalizada, a través de un microscopio electrónico de barrido.....	16
Figura 8. Propiedad de dispersión.	17
Figura 9. Proceso de defloculación.....	20
Figura 10. Esquema de ubicación de fallas en la zona del Canal San Antonio.	25
Figura 11. Corte transversal de Canal San Antonio – Chone	26
Figura 12. Ubicación del problema del Deslizamiento San Antonio – Chone	26
Figura 13. Toma de muestras en canal San Antonio – Chone.....	30
Figura 14. Toma de muestras en canal San Antonio – Chone.....	30
Figura 15. Serie de Tamices utilizados para el Análisis Granulométrico.....	32

Figura 16. Análisis Granulométrico Muestra #1 - #9 de Arcilla Canal San Antonio.....	33
Figura 17. Análisis Granulométrico Muestra #10 - #16 de Arcilla Canal San Antonio.....	34
Figura 18. Ensayo de Sedimentación muestras Canal San Antonio.....	37
Figura 19. Sedimentación resume las Muestras #1 - #9.....	39
Figura 20. Ensayo Sedimentación Muestra #1.....	41
Figura 21. Curva Granulométrica completa (Granulometría y Sedimentación) Muestra #1 - #9.....	42
Figura 22. Picnómetro con suelo arcilloso Canal San Antonio.....	47
Figura 23. Bomba de Vacío para Peso Especifico.....	47
Figura 24. Muestra para Limite plástico de Canal San Antonio	51
Figura 25. Cuchara de Casa Grande para Limite Plástico	54
Figura 26. Gráfico de Limite Liquido Muestra #1.....	55
Figura 27. Gráfico de Límite Liquido Muestra #1 - #16	56
Figura 28. Gráfico de Índice de Plasticidad Muestra #1 - #16.....	58
Figura 29. Valores de pH de la muestra #16.....	61
Figura 30. Valores de pH de muestras #1 - #16.....	61
Figura 31. Relación de parámetros para calcular la Porosidad de la muestra. (Investigación Geotécnica)	63
Figura 32. Equipos utilizados para determinar la Porosidad de las muestras #1 - #16.....	63
Figura 33. Porosidad de las muestras #1 - #16.....	65

Figura 34. Equipo para determinar la Permeabilidad de las muestras #1 - #16.	67
Figura 35. Ensayo de permeabilidad de la muestras #10	69
Figura 36. Ensayo de porosidad de la muestras #10.....	70
Figura 37. Ensayo de Difracción de rayos X de la muestra #7	73
Figura 38. Ensayo de Materia Orgánica.....	76
Figura 39. Suelo Crumb muestras y los grados de dispersión de Asignación	79
Figura 40. Ensayo de Crumb a 2 minutos.....	82
Figura 41. Ensayo de Crumb a 1 Hora.....	82
Figura 42. Ensayo de Crumb a 6 Horas.....	83
Figura 43. Ensayo de Crumb a 2 minutos y a 5 minutos M # 1.....	84
Figura 44. Ensayo de Crumb a 1 Hora y a 6 Horas M # 1	84
Figura 45. Ensayo de Crumb a 2 minutos M # 4.....	85
Figura 46. Ensayo de Crumb a 1 Hora y a 6 Horas M #4	85
Figura 47. Representación de resultados de Doble Hidrómetro.....	87
Figura 48. Representación de resultados de Doble Hidrómetro.....	92
Figura 49. Representación de resultados de Doble Hidrómetro.....	93
Figura 50. Carta de Plasticidad. (Ángel R.).....	96
Figura 51. Clasificación de suelo con Carta de Plasticidad Muestra #1	97
Figura 52. Interpretación de símbolos de Carta de Plasticidad.....	97
Figura 53. Representación de resultados de Compactación.....	114
Figura 54. Ensayo de Compactación más cal.....	117
Figura 55. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr	121

Figura 56. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr	122
Figura 57. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr	123
Figura 58. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr	125
Figura 59. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr	126

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.1 Clasificación de las arcillas basada en la sensibilidad	22
CUADRO 2.1 Clasificación de los suelos según su Índice de Plasticidad...57	

RESUMEN

El proyecto de tesis “Estudio de Arcillas dispersivas y Sensitivas en La Zona del Canal San Antonio, Manabí”, tiene como finalidad brindar al lector una guía técnica acerca del uso de la “Cal”, su uso, dosificación, principales beneficios y ventajas de su incorporación con el suelo arcilloso, para el efecto se han obtenido áridos provenientes del Canal San Antonio, Manabí, que por su ubicación geográfica son de vital importancia en la conducción de agua para riego. Con las muestras obtenidas se identificara física y mecánicamente a este tipo de arcillas mediante los diferentes tipos de ensayos en el laboratorio, además de otro tipo de ensayos muy específicos para determinar la presencia o no de arcillas Dispersivas. Una forma económica y fácil de aplicar es el uso de la cal, la misma que mediante dosificaciones conjuntamente con las arcillas obtenidas del canal San Antonio Manabí se obtenga una mezcla que al tener contacto con el agua esta no produzca el deslizamiento sobre el canal, ocasionando un gran problema para la ciudad de Chone ya que el principal objetivo de la construcción del Canal San Antonio es el control de inundaciones de la ciudad de Chone.

PALABRAS CLAVES:

- **ARCILLAS DISPERSIVAS**
- **ARCILLAS SENSITIVAS**
- **ENSAYO DE CRUMB**
- **ENSAYO DE DOBLE HIDROMETRO**
- **CAL**

ABSTRACT

“ESTUDIO DE ARCILLAS DISPERSIVAS Y SENSITIVAS EN LA ZONA DEL CANAL SAN ANTONIO, MANABÍ”

The thesis project "Study of dispersive clays and sensitive in the Canal Zone San Antonio, Manabí", aims to provide the reader with a technical guide on using the "Cal", use, dosage, major benefits and advantages incorporation in the clay soil, to the effect aggregates were obtained from the San Antonio Canal, Manabí, which by its geographical location are vital in driving water for irrigation. With the samples obtained were physically and mechanically to identify such clays by different types of laboratory tests, besides other highly specific assays to determine the presence or absence of dispersive clay. An economical and easy way to apply is the use of lime, the same as using dosages in conjunction with clays obtained from the San Antonio channel Manabí a mixture on contact with water is no slippage occurs on the channel is obtained, causing a big problem for the city of Chone since the main purpose of the construction of the Canal San Antonio is flood control Chone city.

KEYWORDS:

- **DISPERSIVE CLAYS**
- **SENSITIVE CLAYS**
- **TEST CRUMB**
- **DOUBLE TEST HYDROMETER**
- **CAL**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

En la Planicie Costera como en la Amazonia del Ecuador se presentan con frecuencia serios problemas de estabilidad de pendiente y taludes por la presencia de suelos dispersivos y posiblemente sensitivos, que afectan a; terraplenes de caminos, obras de defensa contra inundaciones y en secciones de escurrimiento de canales. A pesar de que estos suelos pueden ser detectados mediante diferentes ensayos de laboratorio, para el caso de obras de considerable extensión sería útil contar con una guía para identificarlos con base en sus características físicas y químicas.

La erosión hídrica de los suelos se puede originar por fenómenos de distinta naturaleza. Según GHUMAN et al., (1976), los mecanismos de erosión se pueden generar por fuerzas exteriores, al incrementarse la velocidad del agua, o por degradación de las fuerzas internas del suelo, debido a la disolución química de cementos naturales o la dispersión de arcillas. La erosión continúa hasta cuando se equilibran las fuerzas externas e internas.

El presente trabajo se concentra en la erosión que se produce en los suelos arcillosos debido al fenómeno denominado dispersión.

La dispersión es un proceso por el cual un suelo deflocula espontáneamente cuando está expuesto al agua. Los suelos dispersivos no pueden ser identificados con una clasificación visual del suelo o con índice de normas de ensayos, tales como el análisis granulométrico o los límites de Atterberg.

Por lo tanto, a causa de esto, ha sido necesario establecer otros ensayos. Las arcillas deben ser ensayadas por características dispersivas como un procedimiento de rutina realizable durante los estudios para presas de tierra y otras estructuras hidráulicas en las cuales éstas puedan ser empleadas. (Hilda G. Jorge E., 1999)

En nuestro país, al existir únicamente dos estaciones climáticas anuales resulta que, en el verano, se presenta un marcado déficit de humedad junto a altas temperaturas y, en el invierno, incesantes lluvias. Este efecto aparece muy marcado en ciertas zonas de la Costa Ecuatoriana, por lo que en dichos extremos se producen alternadamente sequías e inundaciones, aparte que las características topográficas y geológicas representan otro factor que induce la inestabilidad. En las estructuras hidráulicas de almacenamiento y de conducción, como por ejemplo los canales, se torna una necesidad básica prever el comportamiento de los materiales respecto al contenido de humedad, para prevenir daños colaterales en la temporada en la que se presenta un exceso.

El problema de los suelos expansivos es bastante más conocido, porque existe prácticamente en todas partes del mundo (Jiménez Salas et al., 1981 y Das, 2000), por lo que Ecuador no está exento del mismo. Los resultados son devastadores, porque el hinchamiento se traduce en levantamiento, rotura y daño de pavimentos, edificaciones ligeras, revestimientos de canales y embalses, generando cuantiosas pérdidas materiales y humanas.

Es por esto, que los ingenieros se ven frecuentemente avocados a la necesidad de resolver este tipo de problemas que se presentan en la naturaleza, a través de investigaciones de campo y ensayos de laboratorio, para aplicarlos en la construcción de obras seguras y económicas.

1.2. ÁREA DE INFLUENCIA



Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto.

Fuente: www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador

CHONE

El Cantón Chone es una unidad territorial subnacional de la Provincia de Manabí, administrada por un municipio en sus instancias jurisdiccionales. Su sede y capital es Chone, donde residen todas sus principales instituciones públicas y privadas.

El desarrollo de nuevos proyectos influye directamente en la calidad de vida de su población, entendiéndose como calidad de vida no únicamente el nivel económico de la gente sino, sobre todo los riesgos y afecciones de salud comunitaria e individual de las personas. En este sentido, las bases legales y principios ambientales fundamentales tienden a garantizar el desarrollo de la vida de las personas en un medio ambiente sano saludable.

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1. Objetivo General

- Investigar la presencia, características físicas y el comportamiento mecánico de las arcillas dispersivas en los suelos en la zona del deslizamiento del Canal San Antonio, y proponer un posible tratamiento de mejora de sus condiciones físicas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir los suelos arcillosos.
- Determinar las características fisicoquímicas y mineralógicas de las arcillas de la zona del deslizamiento del canal San Antonio.
- Proponer un proceso de mejoramiento del comportamiento mecánico de los suelos, con base a los resultados de los ensayos de laboratorio químicos y mecánicos.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Considerando la problemática presente en los terraplenes y, específicamente, en cuanto a la erosión de los suelos arcillosos, que ocurre principalmente por la degradación de las fuerzas internas y la dispersión de arcillas, se propone realizar una investigación orientada a evaluar la presencia de suelos arcillosos dispersivos y, posiblemente, sensitivos, para proponer algún proceso orientado a mejorar su comportamiento mecánico, esperando que produzcan mejoras significativas tanto a nivel estructural como económico.

Dentro del grupo de los materiales que afectan negativamente a las obras que sobre ellos se construyen destacan, en la zona de la costa ecuatoriana, los materiales arcillosos, debido a su extensión y la tipología de sus daños.

Los fenómenos asociados a estos materiales, relacionados con sus características físicas, sus cambios de estado, su deformabilidad o sus cambios volumétricos todavía no son bien conocidos en el sector de la construcción. En consecuencia, el objetivo consiste en trabajar con diferentes dosificaciones de cal con muestras obtenidas la zona del canal San Antonio, Provincia de Manabí, para posteriormente recomendar procesos constructivos que permitan mejorar la estabilidad de los taludes, haciéndolos más estables.

El ingenio para resolver esta problemática ha llevado no sólo a buscar soluciones novedosas, sino incluso a rescatar del pasado algunas más tradicionales cuya práctica estaba casi abandonada, y éste es el caso de la mejora de los suelos arcillosos con cal.

A pesar de que el empleo de la cal en la mejora de los suelos es una solución empleada desde hace muchos siglos y de eficacia indudable, es posible pensar que la falta de conocimiento técnicos sobre los efectos de la misma, el carácter artesanal que parte de la industria de fabricación de cales ha transmitido al sector y, quizás, el elevado coste de la solución ante otras alternativas no tan denostadas hasta la fecha han hecho que el empleo de la mejora de suelos con cal no haya pasado en las últimas décadas de haberse ilustrado con simples pruebas o aventuras singulares que nunca han trascendido poco más allá del entorno directo de la obra en que se ha aplicado.

1.5. ESTUDIO TEÓRICO DE LAS ARCILLAS

1.5.1. Arcillas

Las rocas ígneas se originan por el enfriamiento de los magmas, que surgen de masas fundidas procedentes del interior de la Tierra. Las arcillas son el producto de la meteorización de las rocas ígneas por acción del agua, los agentes atmosféricos (fundamentalmente CO₂), las variaciones de temperatura y presión, durante largos períodos de tiempo (eras geológicas: millones de años). Es así que el término arcilla no corresponde a una determinada composición química o mineralógica, sino a mezclas de diversas especies minerales, que se relacionan con la composición química y mineralógica de la roca matriz y el proceso de meteorización que la ha afectado (Kingery W.D. et al., 1976; Mari E.A., 1998). Así resulta que el estudio de las arcillas y la evaluación de sus depósitos, que presentan una elevada heterogeneidad, sea bastante complejo.

En 1995 la AIPEA (Asociación Internacional Pour L'Etude des Argiles) y la CMS (Clay Minerals Society) redefinieron el término "arcilla", para referirse a un material "natural" compuesto fundamentalmente por "mineral de grano fino", generalmente "plástico", con una apropiada cantidad de agua, que se endurece cuando se lo seca al aire o se lo calcina. De manera general la arcilla está constituida por silicatos alumínicos hidratados, con una estructura reticular aplanada. Los minerales del tipo filosilicatos que componen las arcillas, pertenecen fundamentalmente a cuatro grupos: el del Caolín, el de la Montmorillonita, el de la Mica arcillosa (fundamentalmente illita), y el de la Clorita.

Grupo del Caolín

Incluye caolinita, dickita, nacrita y haloisita. Son los minerales con mayor contenido en alúmina.

Grupo de la Montmorillonita (o Esmectitas)

Comprende minerales arcillosos con una composición muy variada, porque tienen una elevada capacidad de intercambio catiónico, que provoca frecuentes sustituciones de iones en su estructura, y la presencia de cationes en el espacio interlaminar. El amplio espacio existente entre las capas favorece la entrada de líquidos, especialmente de agua, facilitando la dilatación o hinchamiento de las arcillas. Esta característica, a pesar de mejorar su plasticidad, ocasiona problemas durante el secado.

Grupo de la Illita

Agrupar minerales de estructura similar a las micas, pero con un mayor contenido de agua y menor contenido de potasio, sustituido en parte por calcio y magnesio.

Grupo de la Clorita

Está formado por filosilicatos de aluminio y magnesio hidratados, con un cierto porcentaje de hierro, lo que les confiere un color verdoso.

1.5.2. Estructura de las arcillas

Los minerales son pequeños componentes de la corteza terrestre, que se producen como cuerpos sólidos químicamente y físicamente homogéneos. Los silicatos, es decir, compuestos de silicio y oxígeno, representan más del 90% de la corteza continental de la Tierra. Los minerales de arcilla más comunes son; caolinita, Illita (mica hidratada), esmectitas (montmorillonita, saponita, etc.) y clorita. Los minerales de arcilla son los llamados minerales secundarios que se han formado por la meteorización de otros silicatos, tales como mica, feldspatos y anfíbolitas.

La unidad fundamental de todos los silicatos es un tetraedro regular con un ión oxígeno en cada uno de sus vértices, que rodean al ión silicio situado en el centro del tetraedro; conocido como ión silicato (SiO_4)⁴⁻. El silicio central puede estar formado en parte por cationes Al^{3+} o Fe^{3+} ; y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn.

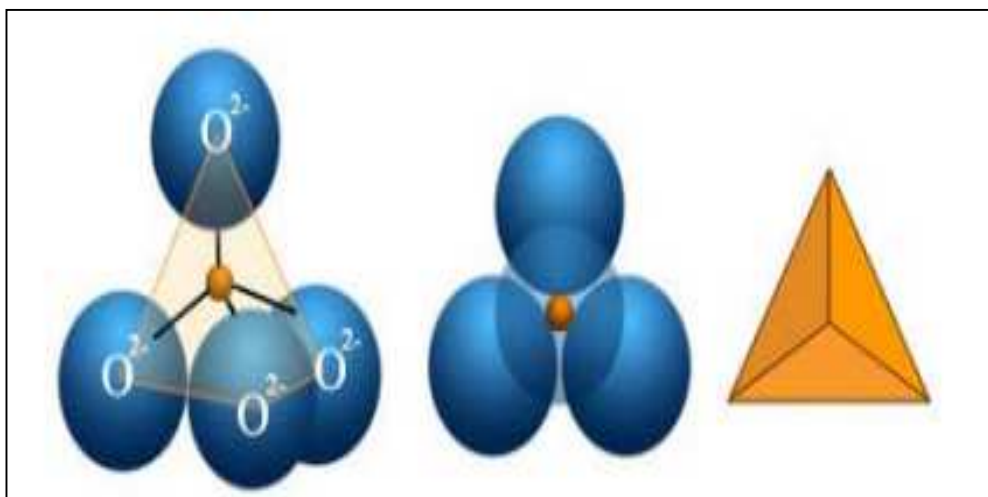


Figura 2. Tres maneras de dibujar el silicio tetraédrico: a) a la izquierda se muestra el catión silicio en color anaranjado, rodeado de 4 aniones de oxígeno, en azul; b) al centro, un modelo que llena el espacio; c) a la derecha, un esbozo geométrico.

Fuente: Cámara Oficial Minera de Galicia.pdf

El enlace que une los oxígenos y el ión central es mitad iónico y mitad covalente, ya que además de existir atracción electrostática se comparten electrones.

Varios iones silicato pueden compartir oxígenos de los vértices y unirse entre sí, formando distintos tipos de estructuras más complejas que dan lugar a las diferentes clases de silicatos.

Las arcillas se encuentran en el grupo de los filosilicatos ($(Si_2O_5)^{2-}$), en los que los iones silicato tetraédricos se unen formando hexágonos dispuestos en láminas o capas, generalmente con silicio, hierro o magnesio como ión central de los tetraedros (ver figura 3).

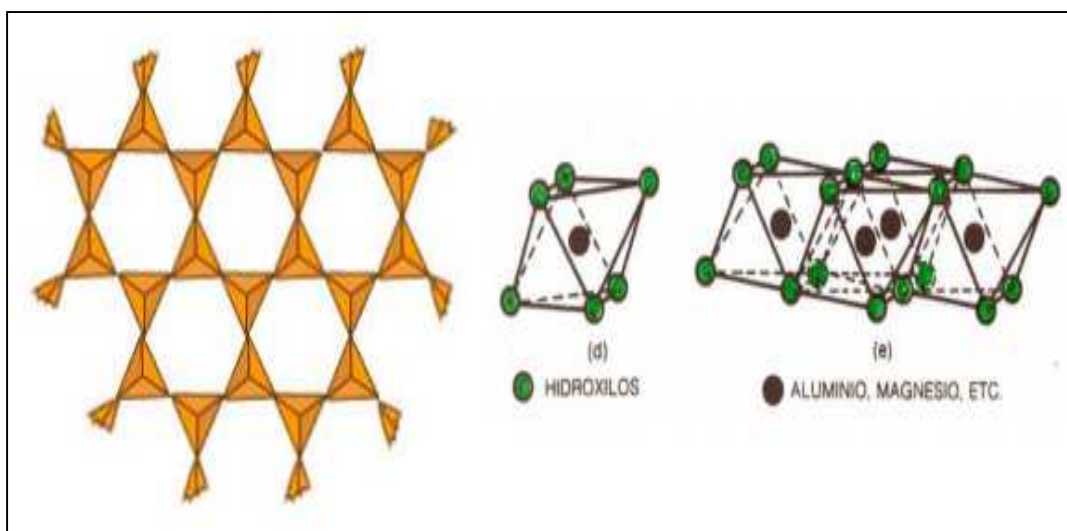


Figura 3. Estructura de los filosilicatos a) tetraédricos y b) octaédricos

Fuente: Cámara Oficial Minera de Galicia.pdf

Estas capas de tetraedros se unen a otras más complejas de tipo gibbsita o brucita, formadas por octaedros de aluminio, oxígeno y grupos OH en las que algunos iones Al^{3+} o Mg^{2+} pueden estar sustituidos por Fe^{2+} o Fe^{3+} . El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir (llamados oxígenos apicales), y por grupos (OH) de la capa brucítica o gibsítica, de forma que, en este plano, queda un (OH) en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los (OH) son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (figura 4).

Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan bilaminares, 1:1, o T:O; o bien por

tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose trilaminares, 2:1 o T:O:T. A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina lámina.

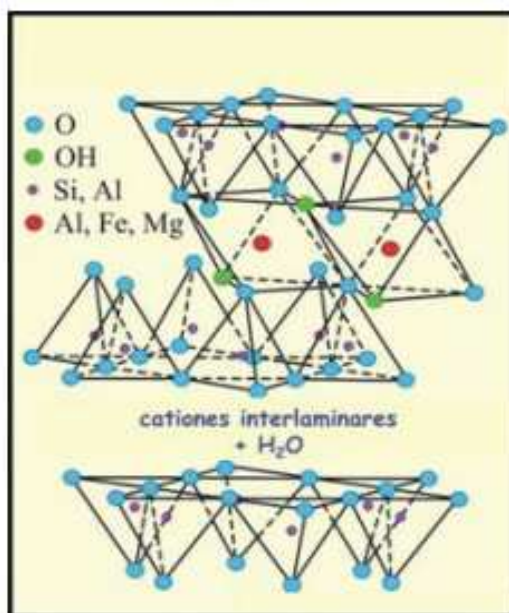


Figura 4. Estructura de una lámina por apilamiento de capas tetraédricas y octaédricas

Fuente: Cámara Oficial Minera de Galicia.pdf

En algunos filosilicatos (esmectitas, micas...) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga, por lo que se mantienen unidas mediante fuerzas electrostáticas. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar, de cationes (como en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las esmectitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas. La unidad formada por una lámina más la interlaminar es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca).

Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo

los filosilicatos tienen un hábito escamoso y una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas.

La sepiolita y la paligorskita, a pesar de pertenecer al grupo de los filosilicatos, presentan diferencias estructurales. Están formadas por láminas discontinuas de tipo mica, que tienen hábito fibroso en lugar de laminar (figura siguiente), ya que la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (sepiolita) o cada 5 posiciones (paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua.

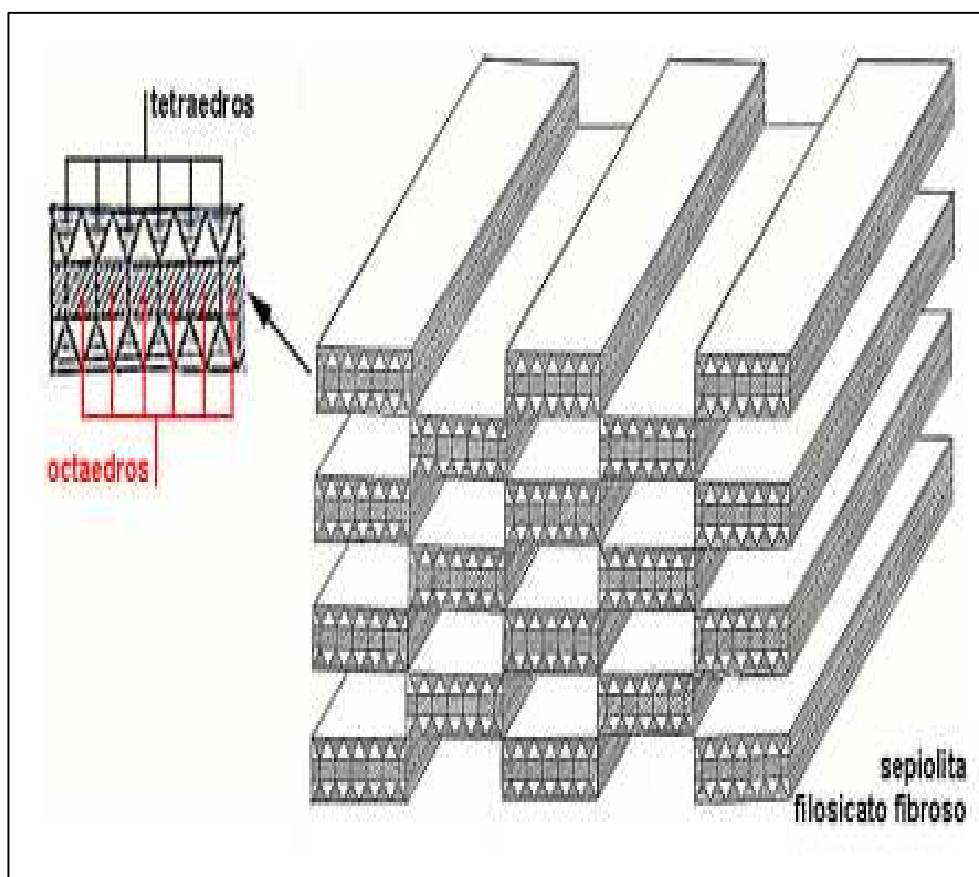


Figura 5. Estructura de una lámina discontinua típica de minerales con hábito fibroso.

Fuente: Cámara Oficial Minera de Galicia.pdf

1.5.2.1. Propiedades Físico – Químicas

Las múltiples aplicaciones en distintos campos de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico – químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μ m)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interactuar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla – agua con elevada proporción sólido / líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades geológicas (estudio de la deformación y el flujo de la materia) en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico.

1.5.2.2. Capacidad de intercambio catiónico

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales,

en los espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber en un determinado pH. Es equivalente a la media del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

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

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina. A continuación se muestra algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100g):

Tabla 1 Ejemplos de capacidad de intercambio catiónico de las arcillas (en meq/100g).

Caolinita	3 – 5
Illita	10 – 50
Montmorillonita	80 – 200
Sepiolita-paligorskita	20 – 35

Fuente: Ejemplos de capacidad de intercambio catiónico de las arcillas (en meq/100g).

1.5.2.3. Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma un recubrimiento sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Generalmente, esta plasticidad se la puede cuantificar mediante la determinación de los límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y el grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

1.5.2.4. Tixotropía

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento deberá poseer un contenido de agua

próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico. (Orbe, 2009)

1.5.2.5. La partícula de arcilla

El tamaño de una partícula de arcilla es de 0,002 mm, (2.00nm), o menos, aunque las partículas de caolinita e illita pueden tener tamaños hasta aproximadamente 10.000 nm (Mitchell, 1976). El diámetro máximo, (figura 2.) lo estudio Pusch (1970) mediante un microscopio electrónico de transición, en tres arcillas ílticos teniendo como resultado de menos de 0,002 nm.

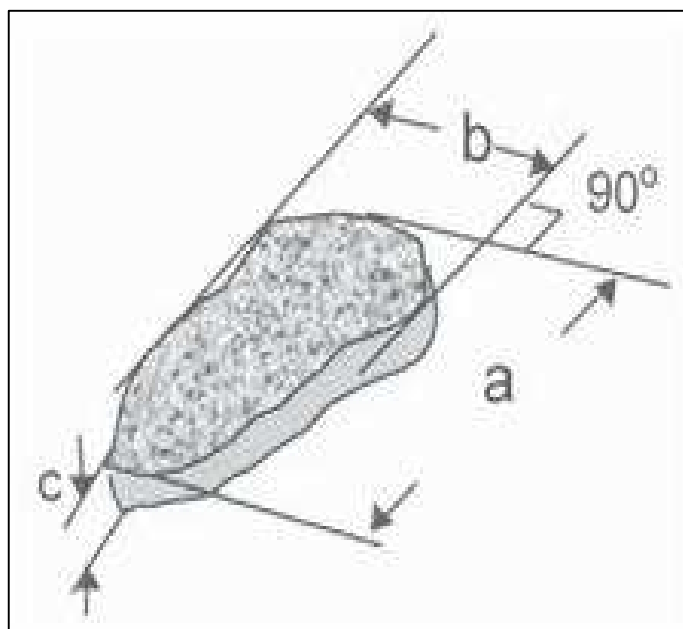


Figura 6. Capa de una partícula de arcilla. Pusch (1970)

Fuente: Cámara Oficial Minera de Galicia.pdf

En la figura 7 se observa una fotografía a través de un microscopio electrónico de barrido Tovey (1971).

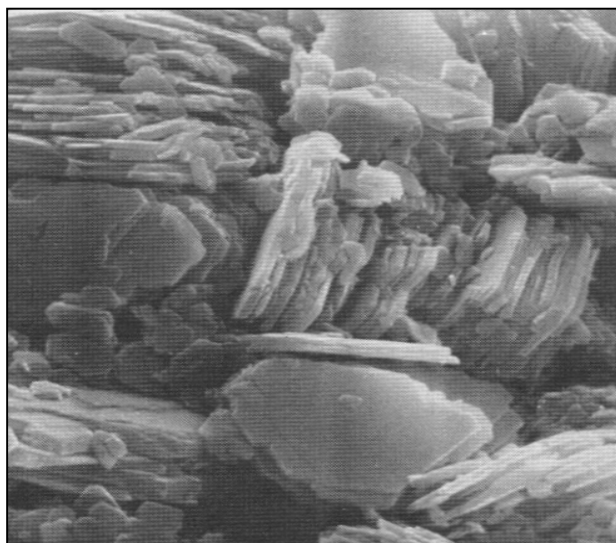


Figura 7. Caolinita bien cristalizada, a través de un microscopio electrónico de barrido.

Fuente: Instituto Geotécnico Sueco SE-581 93 Linköping

Las partículas de arcilla más comunes son planas, y una partícula del mineral de arcilla illita es algo más delgada en los bordes y tienen una superficie adosada.

1.5.3. DISPERSIVAS

Suelos arcillosos dispersivos pueden ser un problema para muchas prácticas o estructuras SCS. En apariencia, son como arcillas normales que son estables y poco resistente a la erosión, pero en realidad pueden ser altamente erosiva y sujeto a daños o fallas graves. Es importante comprender la naturaleza de estos materiales para poder identificarlos para que puedan ser evitados o tratados. (Juárez B, Rico R., 2004)

La tendencia a la erosión por dispersión en un suelo dado, depende de variables tales como la mineralogía y la química de la arcilla, así como las sales disueltas en el agua en los poros del suelo y en el flujo de agua erosionable. Tal flujo es de lento movimiento y erosiona rápidamente las arcillas, incluso más rápido en comparación con suelos no cohesivos, arenas

finas. Esta erosión puede comenzar en una grieta seca, una hendidura por asentamiento, una fractura hidráulica u otro canal de alta permeabilidad en una masa de suelo. (José H., 2012)

Debido al estado físico – químico de la fracción de arcilla, las arcillas dispersivas son fácilmente erosionables lo que causa que las partículas individuales de la arcilla se dispersen en la presencia de agua.

Las arcillas en este estado son altamente erosivas por los bajos gradientes hidráulicos del flujo del agua y en algunos casos por el agua en reposo.

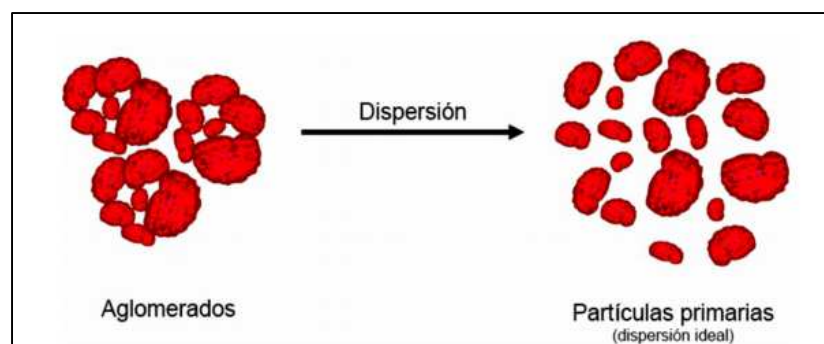


Figura 8. Propiedad de dispersión.

Fuente: Jaume. Estabilidad de la dispersión, mecanismos y aditivos

El mayor número de daños por suelos dispersivos se presentan en la obras de contención, terraplenes y estructuras donde el agua siempre está presente.

Juárez y Rico (1972), mencionan, que este fenómeno tiene lugar ante la liberación de las cargas actuantes sobre ellas, el fenómeno de dispersión está estrechamente ligado al de compresibilidad, puede decirse que las arcillas más dispersivas ante la descarga, son las más compresibles ante un proceso de carga.

En estado natural, la evaporación evita que el nivel freático llegue a la superficie del terreno, de la misma forma se impide que exista presión hidrostática ascendente en las capas superficiales. Los fenómenos de compresión y expansión se dan de manera periódica, provocados por cambios climáticos y por situaciones cercanas de exceso de agua.

Algunos suelos arcillosos pueden perder cohesión cuando se exponen al agua de una composición química particular (Arulanandan et ál. 1975). Dichos suelos arcillosos naturales se dispersan o defloculan en presencia de agua relativamente pura y son, por lo tanto, altamente susceptibles a la erosión y la tubificación, incluso cuando el agua a la que se encuentran expuestos tiene poca salinidad.

Durante el fenómeno de dispersividad las partículas de arcilla tienen un mínimo de atracción electroquímica, por lo cual no se adhieren estrechamente a otras partículas de suelo.

En general, la tendencia a la erosión de un suelo debido al fenómeno de la dispersividad depende de variables tales como la mineralogía y química de la arcilla, así como de las sales disueltas en el agua presente en los poros del suelo. La dispersividad de los suelos se debe principalmente a la presencia de iones de sodio en la estructura del suelo y no debido a la presencia de sodio en el agua de los poros.

La cantidad y el tipo de arcilla, pH, materia orgánica, temperatura, contenido de agua, tixotropía y el tipo y la concentración de iones en el poro y la erosión de fluidos son los factores que afectan al esfuerzo de corte crítica requerida para iniciar la erosión.

Para la determinación de la dispersividad de los suelos no basta con la realización de varios ensayos en el laboratorio como, Límites de Atterberg, análisis de granulometría, que no proporcionan una base para la

diferenciación entre arcillas dispersivas y arcillas resistentes a la erosión ordinaria.

Las pruebas de laboratorio convencionales efectuados para determinar las arcillas dispersivas incluyen la prueba de doble hidrómetro (ASTM A D 4221-90) y el ensayo de Crumb, los cuales se detallaran en el capítulo II.

1.5.3.1. Propiedades Químicas

La dispersión es una propiedad por el cual las partículas de suelo de muy pequeñas dimensiones, ven disminuidas sus fuerzas de atracción molecular por efecto de la presencia de iones de Sodio, lo que las vuelve susceptibles al arrastre o la dilución.

Los suelos dispersivos incluyen solo esos suelos donde la fracción coloidal (partículas menores a 0.2 micra) se deflocula y entra en dispersión. Esto como resultado de las fuerzas de repulsión (cargas eléctricas superficiales) entre las partículas de arcilla del suelo que exceden las fuerzas de atracción (fuerzas de Van Der Waals). Cuando esto ocurre los coloides se repelen unos a otros y se mueven dentro de la solución, donde permanecen en suspensión y la solución no esclarece con el tiempo.

Este fenómeno físico – químico de la repulsión de arcilla es la base de los suelos dispersivos, lo cual constituye una causa particular en la formación de procesos de erosión. (José H, Jorge G., 2012)

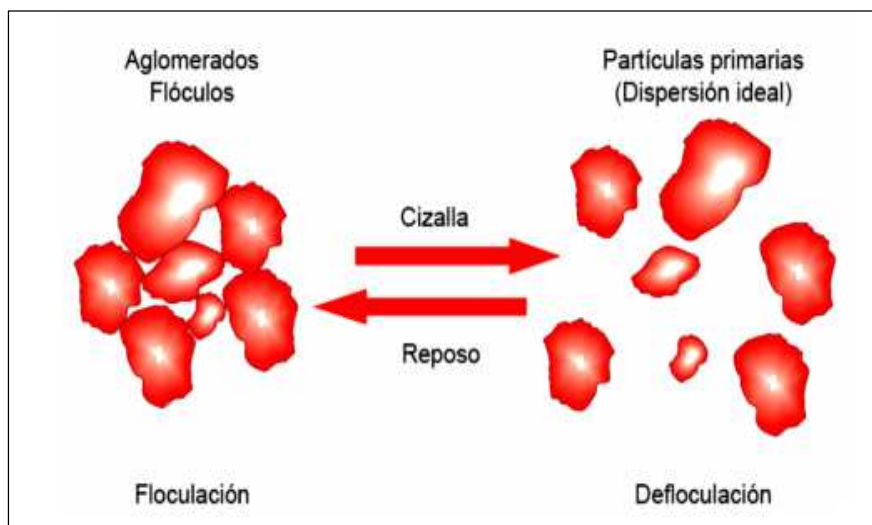


Figura 9. Proceso de defloculación.

Fuente: Jaume. Estabilidad de la dispersión, mecanismos y aditivos

1.5.3.2. Identificación de arcillas dispersivas

La identificación de estos suelos debe comenzar con las exploraciones de reconocimiento en campo, para determinar si hay indicios que revelen dispersión en la superficie.

Algunos patrones que indican este fenómeno pueden ser aspectos inusuales de erosión, con túneles y profundos barrancos, coincidiendo con una turbidez excesiva en cualquier tipo de almacenamiento de agua. Zonas con escasa producción agrícola y retrasos en el crecimiento vegetativo también pueden indicar suelos altamente salinos muchos de los cuales son dispersivos.

A pesar de que al realizar las exploraciones de reconocimiento en campo y no se tiene un claro índice de la presencia de arcillas dispersivas es necesario continuar con la exploraciones por la zona.

Las arcillas dispersivas no pueden ser identificadas por pruebas estándar de laboratorio, como granulometría, peso específico o límites de Atterberg, porque se clasificarían erróneamente como una arcilla cualquiera, por lo tanto, es necesario implementar otros tipos de ensayos de laboratorio creados específicamente para este fin.

Los ensayos para la determinación de las arcillas dispersivas son:

- Ensayo de Crumb.
- Ensayo de doble hidrómetro – SCS (Soil Conservation Service).

1.5.4. SENSITIVAS

El material de arcilla sensitiva es aquella que tiende a cambiar sus características físicas y químicas de condiciones relativamente duras a una masa líquida cuando se altera. Entre varias teorías se dice que el comportamiento de las arcillas sensitivas también llamadas marinas se debe a la mezcla de las sales contenidas en este tipo de suelo (material) y el agua dulce que se filtra en este, en consecuencia se convierten en arcillas rápidas o deslizamientos.

Hay que tener en cuenta las amenazas que produce estas arcillas rápidas ya que así podemos evitar consecuencias trágicas. Es un tipo de arcilla susceptible a las fallas, también son de muy alta resistencia sin alterarse, pero al ser re moldeadas su resistencia baja a tal punto que se convierte en un líquido.

Para la caracterización de las arcillas, dependen de su comportamiento, las arcillas rápidas tienen una sensibilidad mayor a 30, una resistencia a la falla de menor 0.5 KPa además su porosidad es muy alta y su contenido de agua supera el límite líquido de un suelo. El área de formación se encuentran en donde hubo glaciación hace 1500 millones de años, generalmente fueron

depositados en ambientes marinos. Los minerales encontrados en las arcillas marinas son los Feldespatos, Cuarzo, Anfíboles, Mica y Clorita.

El término llamado sensibilidad es una característica de los suelos cohesivos saturados generalmente expresadas cuantitativamente así:

La clasificación de las arcillas basadas en la sensibilidad se indica a continuación:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{qu \text{ (inalterada)}}{qu \text{ (remoldeada)}}$$

CUADRO 1.

Clasificación de las arcillas basada en la sensibilidad

SENSITIVIDAD	ARCILLA
>1	No sensitiva
1 - 2	Baja sensibilidad
2 - 4	Media sensibilidad
4 - 8	Sensitiva
8 - 16	Alta sensibilidad
> 16	Sensibilidad muy alta

La sensibilidad de la mayoría de las arcillas generalmente va comprendida en un rango de 1 – 8. Sin embargo existen sensibilidades altas como de 150 en depósitos de arcillas en St. Thurible, Canadá, fueron reportadas por Peck et al., 1951.

La pérdida de la resistencia de las arcillas saturadas puede ser debido a la ruptura de la estructura original de los depósitos naturales y tixotrópicos. (Braja M., 1997)

1.5.4.1. Características de Arcillas sensitivas

En su estado natural son arcillas muy duras y frágiles, pero al alterarse se comportan como una masa fluida. Esto se debe a que tienen una sensibilidad mayor de 30 y una resistencia a la falla de menor a 0.5 KPa.

Las arcillas Sensitivas de acuerdo con Brand y Brenner (1981) describen que las arcillas rápidas se encuentran en áreas donde hubo glaciación durante el periodo Pleistoceno (Hace 1.65 millones a 1000 años), siendo estos sedimentos jóvenes desde el punto de vista geológico, generalmente fueron depositados en ambientes marinos.

CAPITULO II

CARACTERIZACION DE LOS SUELOS

2.1. Geología de la zona

El Canal San Antonio se ubica en la llanura o planicie de la costa, correspondiente a la región geológica costanera, cuyo basamento constituido por rocas volcánicas fueron acrecionadas en el paleógeno por efecto del sistema de convergencia de las placas tectónicas Nazca y Sudamericana.

Los segmentos de la corteza oceánica fueron formados en la dorsal oceánica originada en el periodo Cretácico. Estas rocas conforman el real basamento geológico de la costa, constituido por el Terreno Piñon, que aflora principalmente en la Provincia de Manabí.

Depósitos marinos gruesos o continentales datados del fin del Eoceno medio y la base del Eoceno superior indican una fase de la colisión definitiva de la Costa con el margen andino. La Costa emergió desde el Eoceno Superior hasta el Mioceno Inferior, conforme se engrosaban los sedimentos de la formación Tosagua (conglomerados, lutitas y limolitas), encontradas en la provincia de Manabí. (Incop, 2011)

En la zona de estudio se encuentran fallas geológicas regionales, las mismas que han sido caracterizadas en el mapa de fallas y pliegues cuaternarios del Ecuador y regiones oceánicas adyacentes, del año 2003 (figura 2.1) y que, de alguna manera juegan un papel en la geodinámica de la zona donde se ubica el Canal San Antonio.



Figura 10. Esquema de ubicación de fallas en la zona del Canal San Antonio.

Fuente: Estudio Geológico, INCOP 2011

2.2. Topografía

El Canal San Antonio con un ancho de 16 metros (figura 11), y una longitud aproximada de 6.300 metros, es un proyecto con el cual se pretende regular las aguas del río Grande y desviarlo junto con el río Mosquito por el Canal San Antonio.

Pero aproximadamente a partir de la abscisa 1+120 hasta la abscisa 1+940 se produjo un deslizamiento del talud sobre este canal de desagüe, como se puede observar en la figura 11.

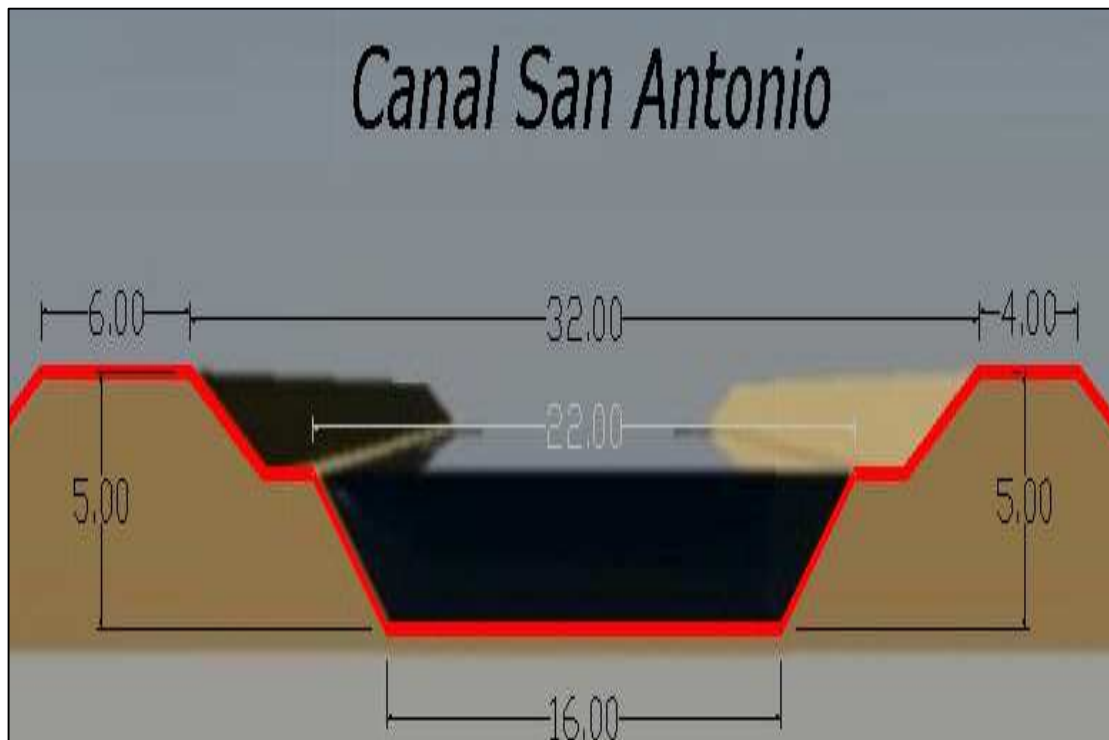


Figura 11. Corte transversal de Canal San Antonio – Chone

Fuente: Autor

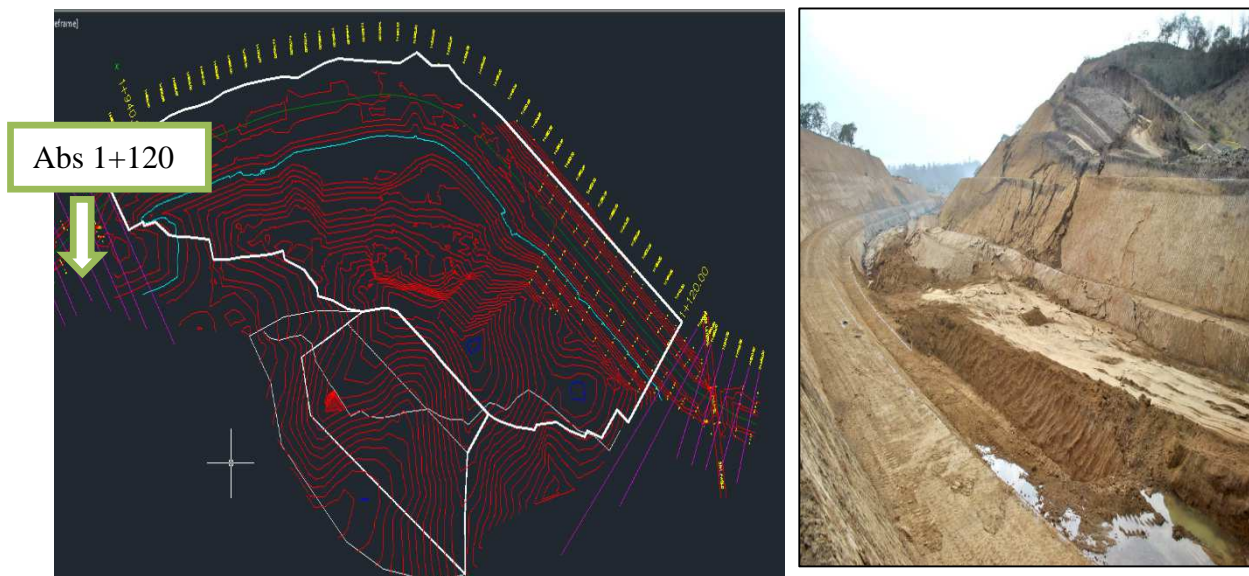


Figura 12. Ubicación del problema del Deslizamiento San Antonio – Chone

Fuente: Autor

Esta falla motivó la necesidad de realizar un estudio del tipo de arcillas existentes en esta zona, por lo que se procedió a realizar la toma de muestras en diferentes lugares para su análisis físico y químico y de esta manera establecer las posibles causas que motivaron el deslizamiento y encontrar las mejores soluciones de este problema presente no sólo en este sitio sino en otros de la provincia y el país.

2.3. Condiciones Hidrológicas

El cantón Chone se encuentra en la zona norte de la provincia de Manabí. Los límites del cantón son; al norte con el cantón Pedernales y la provincia de Esmeraldas, al sur los cantones Pichincha, Bolívar y Tosagua, al este con la provincia de Esmeraldas y los cantones El Carmen y Flavio Alfaro; y al oeste con los cantones San Vicente, Sucre (Parroquia San Isidro), Jama y Pedernales.

El cantón se encuentra ubicado en el centro representando el eje geográfico de la provincia de Manabí; mediante una división política administrativa de la república del Ecuador, se nombró con el mismo nombre al cantón, ciudad, parroquia urbana, y su río. (CADS – ESPOL, 2012)

➤ Orografía

El relieve de este cantón está determinado primordialmente por la Cordillera Chungón Colonche al este del cantón. El punto de mayor altitud es el Cerro Blanco y el relieve más bajo se encuentra en la zona sur-oeste, formando el valle del río Chone, donde se encuentra ubicada la zona urbana del cantón.

La variación de las costas del cantón están entre los 2 y 671 msnm, predominan las altitudes comprendidas entre los 50 y 250 msnm.

Las parroquias Chibunga, Convento y Eloy Alfaro, al norte del cantón, tienen altitudes entre los 105 y 671 msnm. Las parroquias de San Antonio, Chone y Canuto, ubicadas al sur, presentan cambios en su orografía, la cual fluctúa entre los 2 y 310 metros sobre el nivel del mar. Las parroquias de Boyacá, Rocafuerte y Santa Rita tienen un relieve más irregular, con altitudes que fluctúan entre los 11 y 658 msnm.

Chone es el cantón más grande de Manabí, eminentemente rural y agropecuario, con elevaciones de hasta 600 metros de altura, como el cerro Nause. (CADS – ESPOL, 2012)

➤ **Clima**

El clima es cálido seco en verano, entre los meses de Junio a Noviembre, y cálido lluvioso en época de invierno, que va de Diciembre a Mayo. La temperatura tiene altas variaciones durante el año que puede llegar desde un valor mínimo de 22,8 oC hasta un máximo de 33,7 oC, esto se debe a la geografía y ubicación del cantón.

La zona sur de Chone es una zona transitoria entre húmedo tropical y sabana, mientras que su zona norte y oriental es montañosa y húmeda tropical. La precipitación media anual es de 1113 mm/año, con excepción de periodos anormales como el fenómeno de El Niño.

➤ **Hidrografía**

La red hidrográfica del cantón se conforma de ríos cuyos terrenos están sujetos a inundación debido a la presencia de esteros, charcos y lagos intermitentes.

Los ríos principales cercanos a la cabecera cantonal son el Rio Grande y el rio Rancho Viejo que alimentan al Rio Chone. El Rio Chone recorre del sur-

este del cantón al oeste, atravesando completamente la zona urbana. El sistema fluvial del cantón se conforma por cinco cuencas hidrográficas principales que son:



- ✓ Río Quinde
- ✓ Río Coaque
- ✓ Río Jama
- ✓ Río Guayas
- ✓ Río Chone

El río Chone, el río Mosquito, el río Santo y el río Yescas son ríos pequeños que atraviesan en varios puntos una de las vías colectoras principales del cantón. La cuenca que tiene influencia directa en la cabecera urbana del cantón es la del río Chone. (CADS – ESPOL, 2012)

2.4. Características de los suelos de la zona investigada.

2.4.1. Toma de Muestras

Las muestras se recolectaron en dos fechas, en la primera se tomaron 9 muestras como se ve en la (figura 12) y en la segunda toma de muestras se obtuvo 7, (figura 13). En las figuras 12 y 13 se tienen la siguiente simbología:

	Punto de recolección de la muestra
	Número de muestra

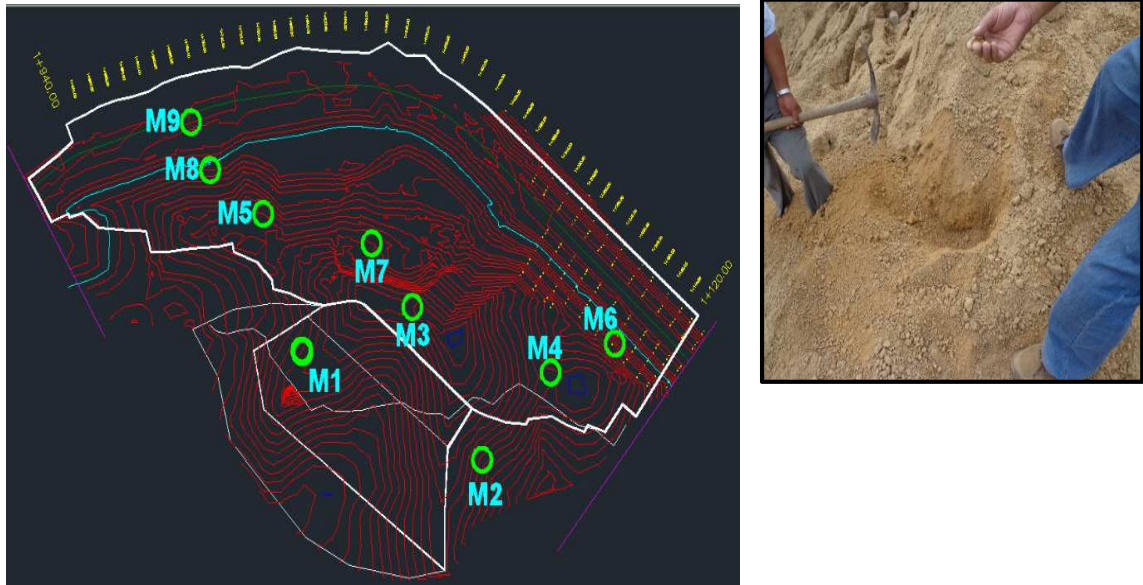


Figura 13. Toma de muestras en canal San Antonio – Chone

Fuente: Autor

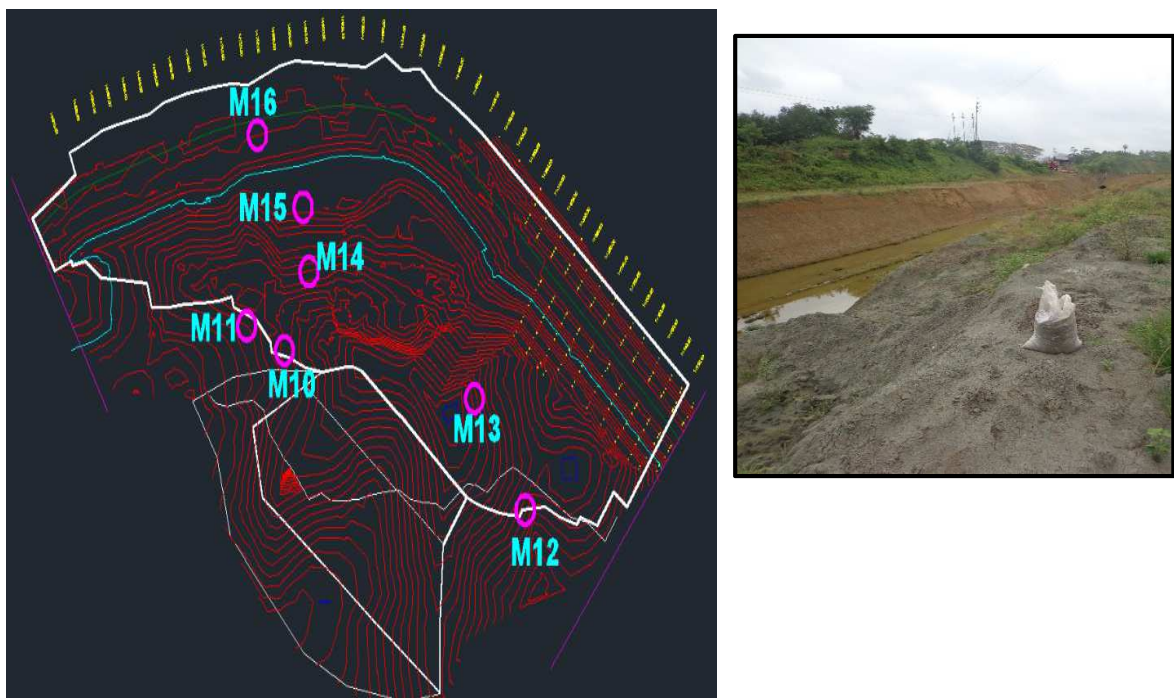


Figura 14. Toma de muestras en canal San Antonio – Chone

Fuente: Autor

2.4.2. Análisis Granulométrico

2.4.2.1. Granulometría (ASTM D75)

La granulometría de una base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

El análisis o prueba de tamices se lleva a cabo tamizando las muestras a través de una serie de tamices enumerados. Estos tamices están en números ascendentes, esto es, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y bandeja para agregados finos y en orden de tamaño descendente 1- ½ ", 1", ¾ ", ½ ", 3/8", #4, #8 y bandeja, para agregado grueso. El número de los tamices nos indica las aperturas del tamiz por pulgada lineal.

El uso de todos los tamices dependerá de la precisión que se requiera o de las especificaciones, ya que en ocasiones sólo se utilizaran algunos de ellos. Se conoce como agregado fino a todo aquel que pasa a través del tamiz de 3/8" y el #4 y es retenido casi completamente en el tamiz #200. Agregado grueso es aquel que se retiene en el tamiz #4.

Los resultados de un análisis granulométrico también se representan en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas.

Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

Se han establecido ciertas normas y límites tanto para el tamaño de los agregados como para su granulometría, de esta manera el ingeniero puede seguir un guía o patrón al seleccionar la combinación más adecuada de sus agregados. (Braja M., 1999)



Figura 15. Serie de Tamices utilizados para el Análisis Granulométrico



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado ENSAYO : GRANULOMETRIA (ASTM D75).
MATERIAL : Arcilla RESPONSABLE : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 2. Análisis Granulométrico Muestra #1 - #9 de Arcilla Canal San Antonio

GRANULOMETRÍA			1	2	3	4	5	6	8	9
Tamiz	RETENIDO		PASA	PASA	PASA	PASA	PASA	PASA	PASA	PASA
#	Parcial	Total	%	%	%	%	%	%	%	%
3"										
2"										
1½"										
1 "										
¾"	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
½"	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3/8"	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nº 4	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nº10	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nº 40	0.8	0.8	0.4%	100%	99%	100%	100%	98%	100%	92%
Nº 200	11.8	12.6	6.3%	94%	91%	92%	96%	88%	95%	79%

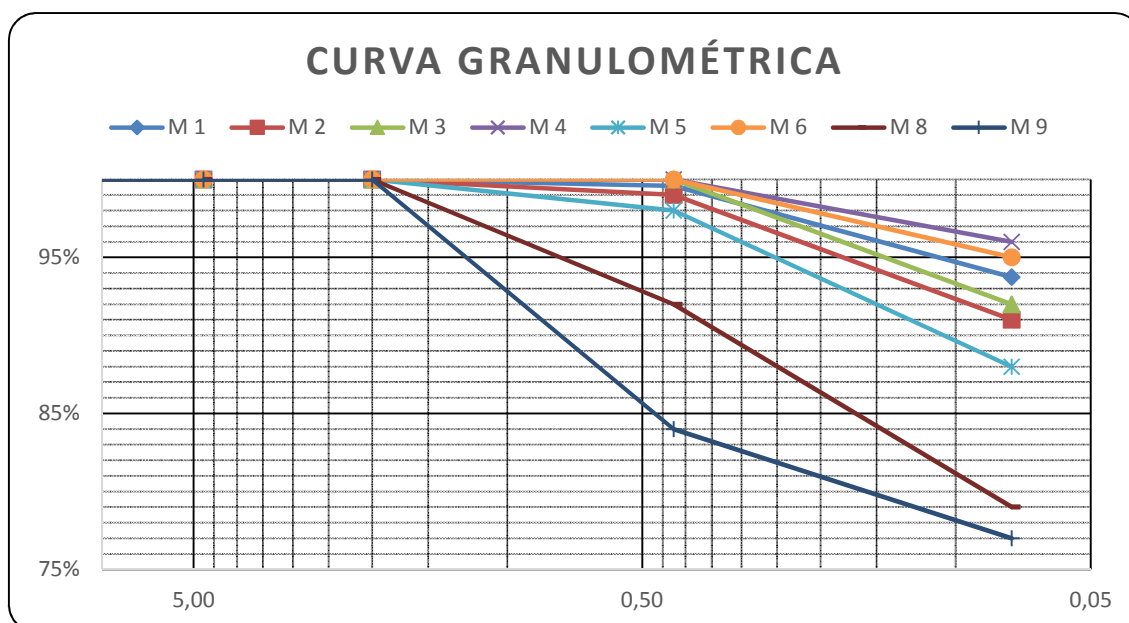


Figura 16. Análisis Granulométrico Muestra #1 - #9 de Arcilla Canal San Antonio



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado ENSAYO : GRANULOMETRÍA (ASTM D75).
MATERIAL : Arcilla RESPONSABLE : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 3. Análisis Granulométrico Muestra #10 - #16 de Arcilla Canal San Antonio

GRANULOMETRÍA			10	11	12	13	14	15	16
Tamiz	RETENIDO		PASA	PASA	PASA	PASA	PASA	PASA	PASA
#	Parcial	Total	%	%	%	%	%	%	%
3"									
2"									
1½"									
1 "									
¾"	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
½"	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
⅜"	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nº 4	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nº10	0.0	0.0	0.0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nº 40	0.8	0.8	0.4%	100%	98%	100%	99%	98%	99%
Nº 200	11.8	12.6	6.3%	94%	89%	97%	87%	94%	83%

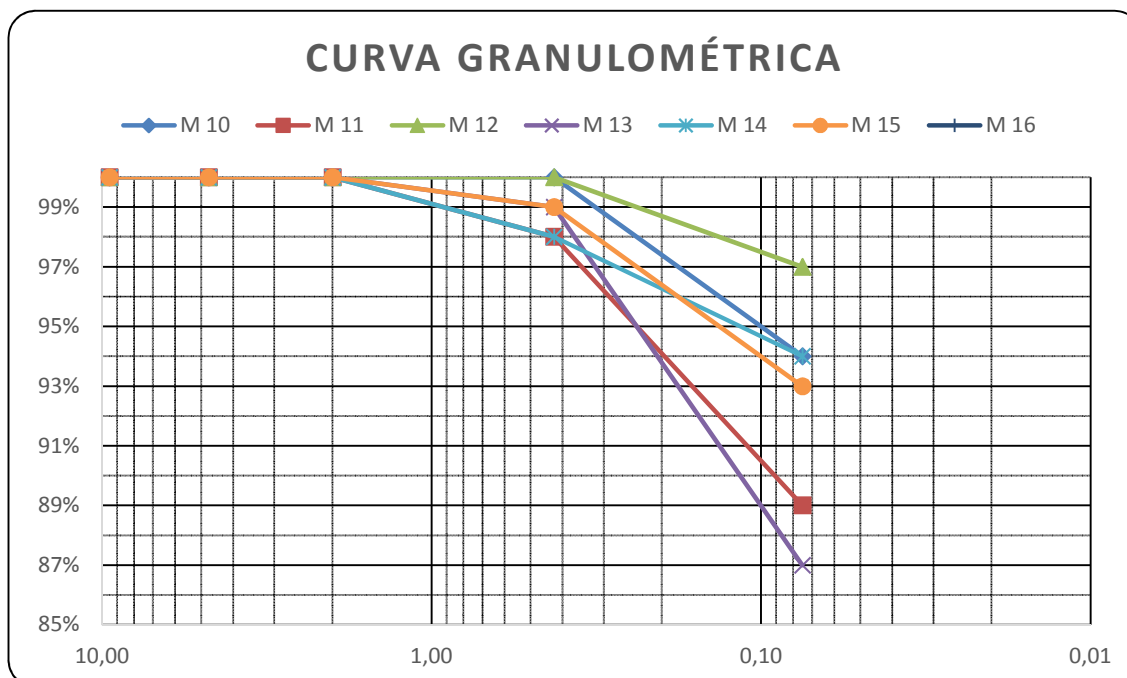


Figura 17. Análisis Granulométrico Muestra #10 - #16 de Arcilla Canal San Antonio

Mediante el ensayo de análisis granulométrico se observa que del 90% al 100% de material que fue ensayado pasa a través del tamiz de 3/8" y el #4 y es retenido en el tamiz #200 dando como resultado que el material del Canal San Antonio posee en su gran mayoría agregado fino, de esta manera se tiene que estas partículas de suelo al clasificarlas de acuerdo a su tamaño pueden ser arenas, limo, o arcillas; es por esta razón que se realizara un análisis más profundo mediante el análisis granulométrico por sedimentación.

2.4.2.2. Análisis Granulométrico por sedimentación (ASTM D-422)

De acuerdo a lo visto anteriormente, la obtención de la granulometría consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas. El ensayo por tamizado mecánico no es aplicable a la fracción fina del suelo (partículas menores que el tamiz No200), por lo que en este caso, usamos el ensayo hidrométrico descrito a continuación.

Consiste en determinar la cantidad de partículas menores que un cierto tamaño, llamado diámetro equivalente, empleando un procedimiento indirecto basado en la Ley de Stokes.

G.G. Stokes encontró que la velocidad de caída de un cuerpo esférico sólido y homogéneo en un medio viscoso de extensión infinita, era función del cuadrado diámetro de la esfera, la viscosidad del medio y la diferencia de densidades solido – medio. Así:

$$V = \frac{2(\gamma_g - \gamma_a)}{9\eta} \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Donde:

V= velocidad de sedimentación (cm/s).

D= diámetro de la esfera (cm).

$\Delta\gamma$ = diferencia de densidad entre el sólido y el medio fluido (g/cm³).

n = coeficiente de viscosidad del medio disperso; varía con la temperatura (g. seg/cm²).

L= distancia recorrida por el cuerpo (cm).

T= tiempo empleado en el recorrido (s).

La preparación del suelo para la ejecución del ensayo de sedimentación consiste en secar el material al aire, machacarlo con un mazo de goma y tamizarlo. Se pesan exactamente 50 gramos de material que pasa por el tamiz N°200 y se deja reposar en agua destilada durante 24 horas aproximadamente.

Una vez transcurrido este tiempo se mezclan en una probeta 125 centímetros cúbicos de dispersante en una concentración de 40 g/l con los 50 gramos de material y con agua destilada. Esta mezcla se bate durante un minuto exactamente en la batidora. Una vez batido se coloca en una probeta en posición vertical, se rellena ésta con agua destilada y se agita, evitando que se pierda material, justo hasta el momento en el que se inicia la medición. Esta probeta se coloca en un recipiente con agua a 25 °C.

Se considera un punto situado a 10 centímetros de profundidad bajo la superficie y mediante una pipeta se toman muestras del material en cada uno de los tiempos preestablecidos por el método de ensayo (1min, 5min, 30 min, 1h, 2h, 4h, 8h).

El diámetro D de la partícula que tarda el tiempo t en caer desde la superficie a la profundidad z se puede hallar mediante la ley de Stokes escrita del siguiente modo:

$$\frac{z}{t} = \frac{D^2 (\gamma_s - \gamma_w)}{18\eta}$$

es decir:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{\gamma_s - \gamma_w} \cdot \frac{z}{t}}$$

A la profundidad z no habrá partículas de diámetro mayor que D , ya que todas las partículas más gruesas habrán descendido en el tiempo t a una profundidad mayor que z . (José A., 2005)

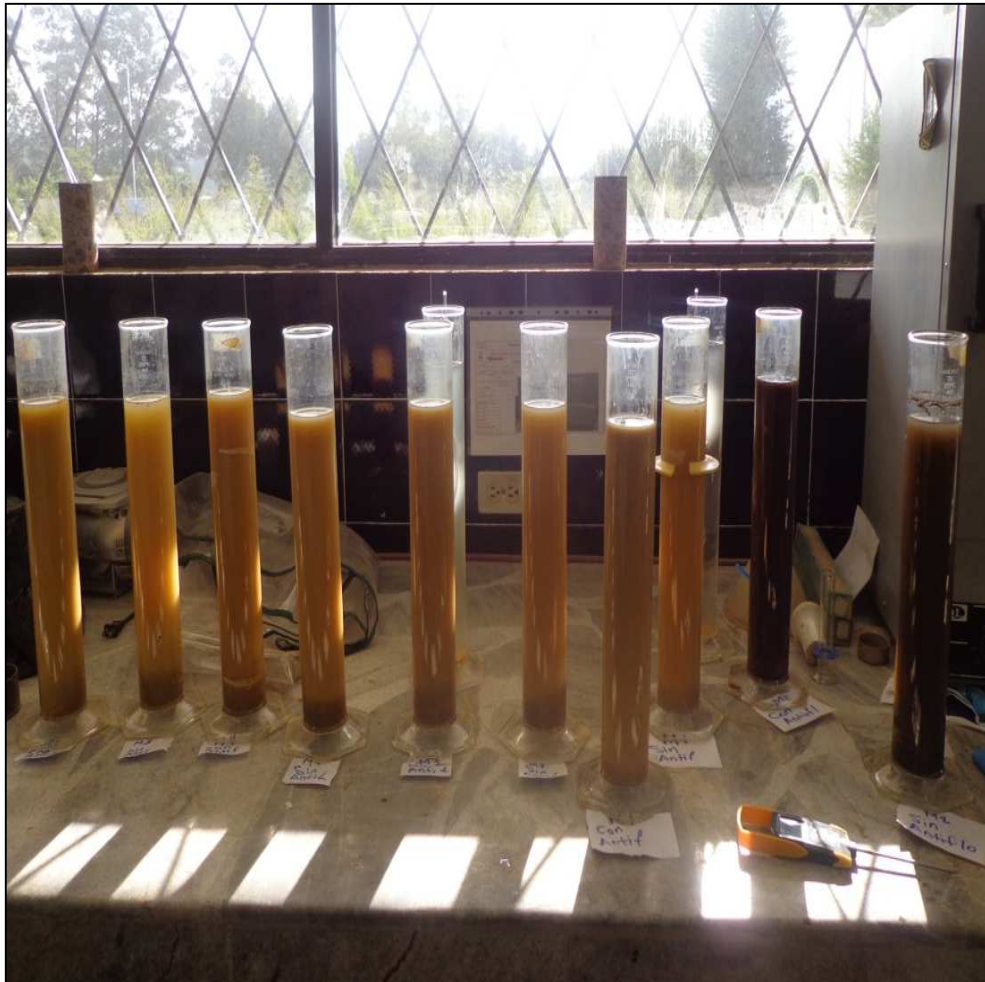


Figura 18. Ensayo de Sedimentación muestras Canal San Antonio



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado **ENSAYO** : SEDIMENTACION (ASTM D422).
MATERIAL : Arcilla **RESPONSABLE** : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí **RECEPCIÓN** : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 4. Sedimentación Muestra #1 - #9

M #1		M #2		M #3		M #4	
CORRESPONDIE NTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENT E (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDI ENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDI ENTE (mm)	% ACUMULADA
0.02951	48.70	0.0381	64.9	0.0288	52.6	0.0301	54.81
0.01894	46.21	0.0244	61.6	0.0183	51.4	0.0190	54.81
0.01119	42.28	0.0145	56.3	0.0107	49.7	0.0110	53.52
0.00802	39.37	0.0103	54.4	0.0077	47.5	0.0081	47.93
0.00580	35.85	0.0074	49.9	0.0055	46.4	0.0057	47.93
0.00415	33.16	0.0053	47.0	0.0039	45.2	0.0041	46.64
0.00298	30.67	0.0038	45.3	0.0027	45.2	0.0029	44.92
0.00216	25.70	0.0027	43.0	0.0020	43.5	0.0021	40.84
0.00155	24.87	0.0016	43.0	0.0011	42.3	0.0012	38.47

M #5		M #6		M #8		M #9	
CORRESPONDI ENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDI ENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDI ENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDI ENTE (mm)	% ACUMULADA
0.0328	59.12	0.0341	61.39	0.0346	62.23	0.0302	54.97
0.0207	59.12	0.0216	61.39	0.0219	62.23	0.0191	54.97
0.0122	55.64	0.0125	61.39	0.0126	62.23	0.0110	54.97
0.0087	52.86	0.0088	61.39	0.0089	62.23	0.0078	53.46
0.0062	52.86	0.0063	59.94	0.0064	60.28	0.0056	51.74
0.0044	50.54	0.0045	57.30	0.0046	55.89	0.0040	50.88
0.0032	48.45	0.0032	55.13	0.0033	54.67	0.0029	47.86
0.0023	47.29	0.0023	53.69	0.0023	52.96	0.0021	42.68
0.0013	44.05	0.0013	52.24	0.0014	49.79	0.0012	40.96

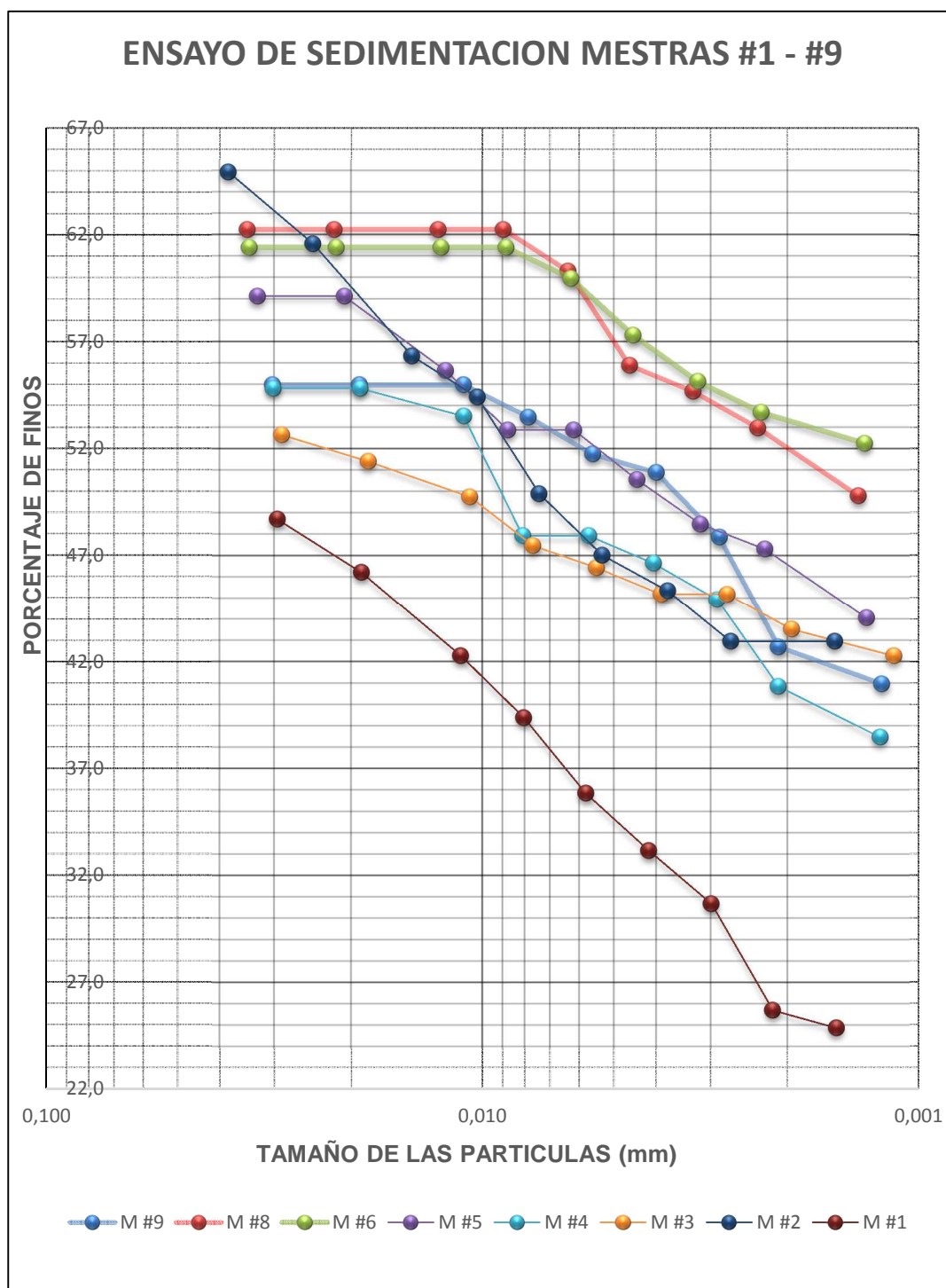


Figura 19. Sedimentación resume las Muestras #1 - #9



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado **ENSAYO** : SEDIMENTACION (ASTM D422).
MATERIAL : Arcilla **RESPONSABLE** : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí **RECEPCIÓN** : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 5. Sedimentación Muestra #1

HIDRÓMETRO No.		15-1469							
PROVETA No.					PESO DEL SUELO PRETRATADO $P_b =$	80.00 g			
ANTI-FLOCULANTE		(Na P O ₃) ₆			CORRECCIÓN DEL MENISCO $C =$	1.00			
PESO ESPECÍFICO DE LOS GRA	2.52 g/cm ³				CORRECCIÓN DEL ANTI-FLOCULANTE C'	20.00			
100 G/ P_b (G-1)									
SEDIMENTACIÓN					MUESTRA No.				
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMPERATURA °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA	LECTURA L_s	$L_s + C - C' + C''$ L_c	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	
2014-02-04	0:02:00	8:00	19.5	-0.0002	57.00	38.00	1.0235	48.70	0.0295
2014-02-04	0:05:00	8:03	19.4	-0.0002	55.00	36.00	1.0223	46.21	0.0189
2014-02-04	0:15:00	8:13	20.3	0.0000	52.00	33.00	1.0204	42.28	0.0112
2014-02-04	0:30:00	8:28	20.1	0.0000	50.00	31.00	1.0190	39.37	0.0080
2014-02-04	1:00:00	8:58	20.4	0.0000	47.00	28.00	1.0173	35.85	0.0058
2014-02-04	2:00:00	9:58	20.4	0.0000	45.00	26.00	1.0160	33.16	0.0042
2014-02-04	4:00:00	11:58	21	0.0002	43.00	24.00	1.0148	30.67	0.0030
2014-02-04	8:00:00	15:58	22.8	0.0004	39.00	20.00	1.0124	25.70	0.0022
2014-02-05	24:00:00	7:58	18.9	-0.0003	39.00	20.00	1.0120	24.87	0.0015

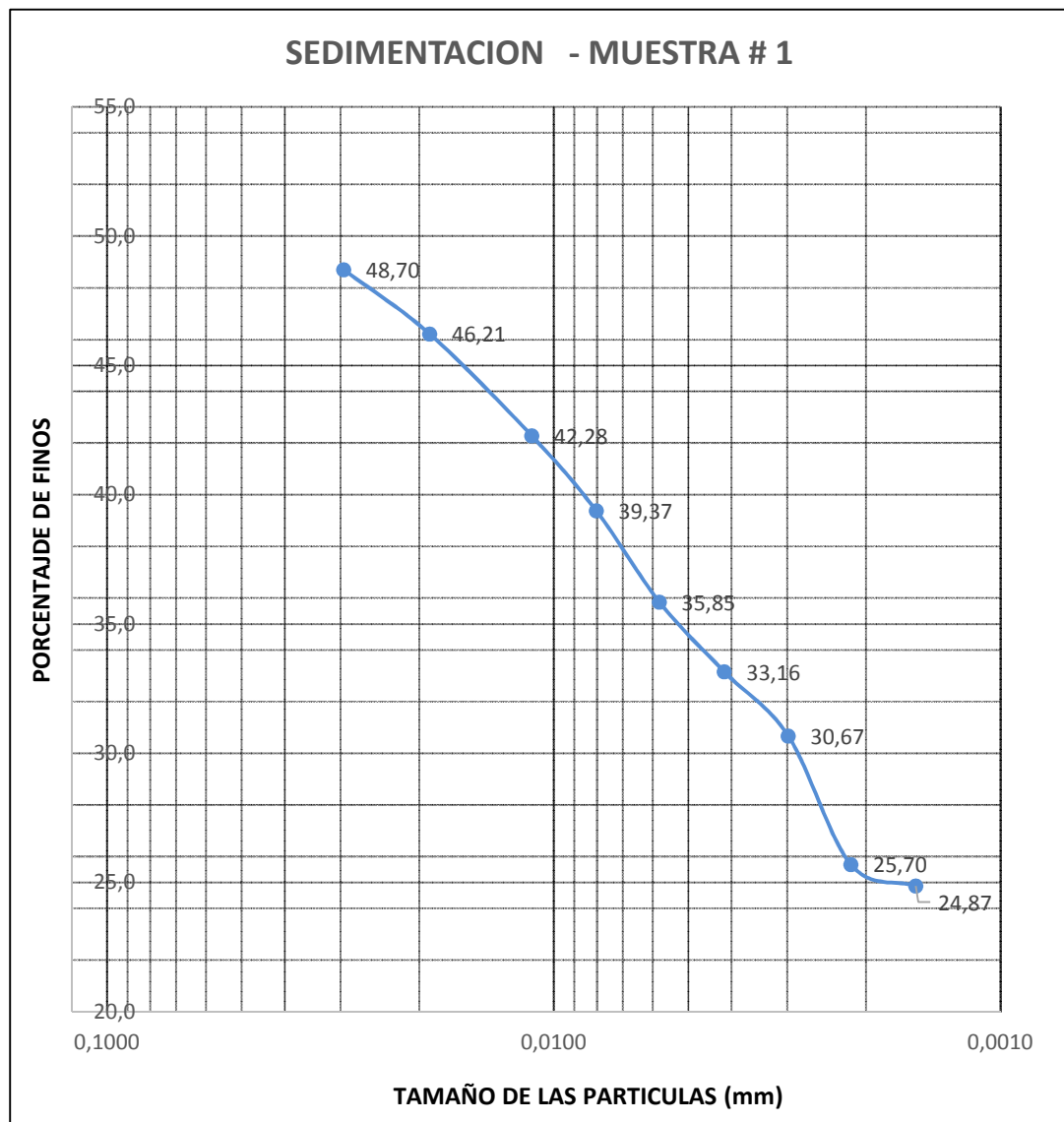


Figura 20. Ensayo Sedimentación Muestra #1

Mediante el ensayo de sedimentación (partículas de tamaño inferior a 0.08 mm) se realizó un análisis más detallado sobre el material que pasó el tamiz #200 del análisis granulométrico y, como se observa en la figura 2.10, se pueden clasificar en limos y arcillas, los que se los identificará de una manera más específica mediante la utilización de la Carta de Plasticidad en el punto 2.5.1 correspondiente a la Identificación de suelos.

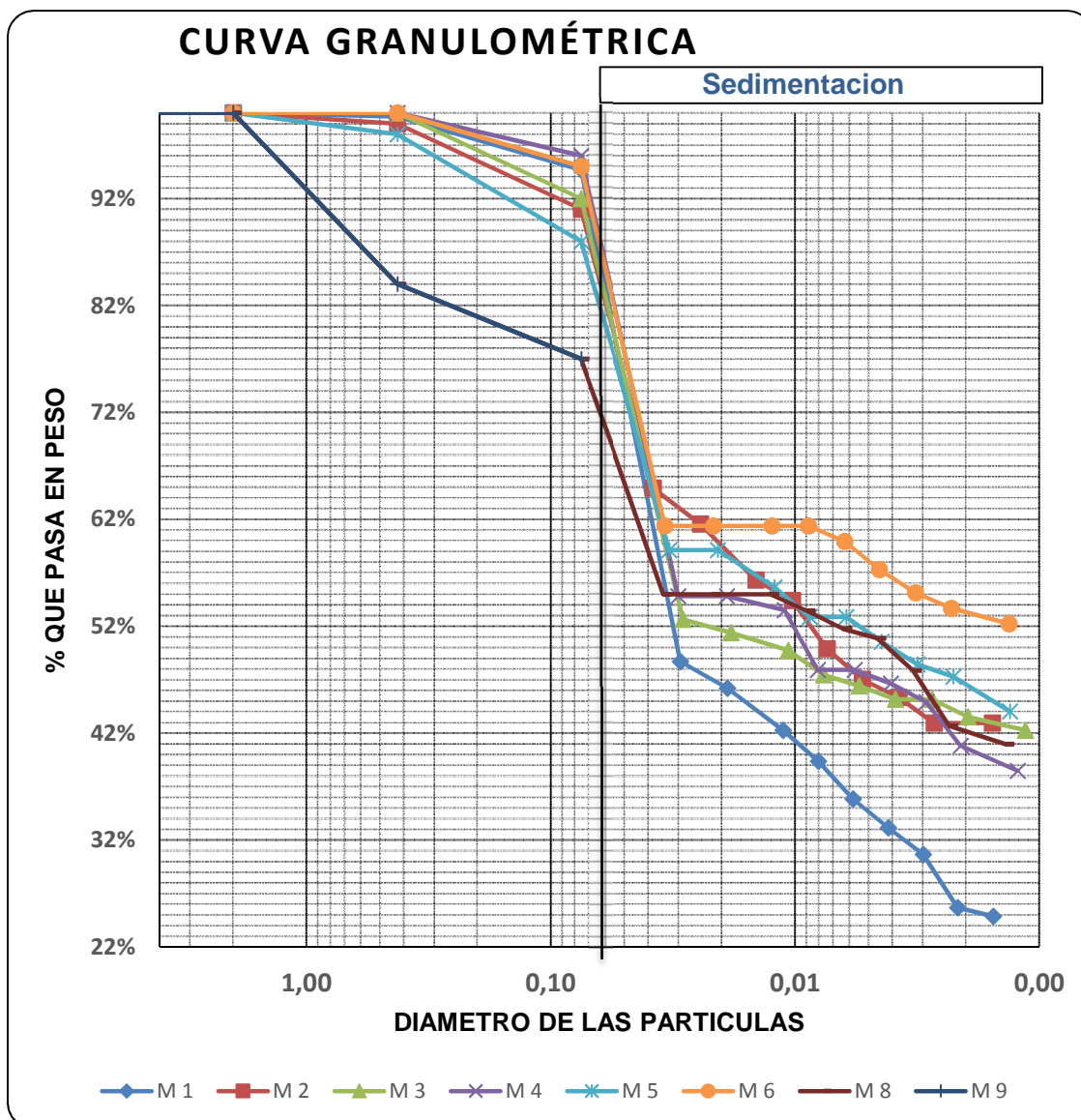


Figura 21. Curva Granulométrica completa (Granulometría y Sedimentación) Muestra #1 - #9

Fuente: Autor

2.4.3. Contenido de Humedad (ASTM D2216)

El contenido de humedad del suelo se lo define como la relación porcentual (%h) del peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca o peso de los sólidos.

Para encontrar el contenido de humedad de un suelo aplicamos la siguiente fórmula:

$$\% h = \frac{P_a}{P_s} * 100$$

$$P_a = P_h - P_s$$

%h = Contenido de humedad

Pa = Peso del agua que contiene una muestra.

Ps = Peso del suelo seco

Ph = Peso del suelo húmedo

EQUIPO UTILIZADO

- Balanza analítica. .
- Horno de sacado.
- Capsulas metálicas.
- Espátulas.

PROCEDIMIENTO

El ensayo inicia tomando dos capsulas metálicas, las cuales deben estar completamente limpias, secas y numeradas. A estas capsulas metálicas se las procede a pesarlas en una balanza digital de precisión. Una vez pesadas las capsulas se coloca la muestra para de esta manera determinar el peso del mismo (30 gr Para suelos finos).

Se procede a colocar la muestra de suelo en el horno a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener la condición de peso constante, es decir hasta que pierda la humedad que posee en un lapso de tiempo aproximado de 18 a 24 horas.

Estas capsulas se las extrae del horno y se las pesa para de esta manera obtener el peso de la muestra seca. Con estos valores se realiza los cálculos con las formulas antes mencionadas y obtener el contenido de humedad de la muestra. Es recomendable que se realice 2 capsulas por cada muestra para de esta manera evitar errores.



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado

ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216).

MATERIAL : Arcilla

RESPONSABLE : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí

RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 6. Contenido de Humedad Canal San Antonio MUESTRA #1

MUESTRA		1	
PROFUNDIDAD DE ENSAYO		(m)	
NÚMERO DE LA CÁPSULA		A-101	L4
PESO DE LA CÁPSULA	(g)	13.47	13.57
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	(g)	65.75	61.42
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO	(g)	58.06	53.96
PESO DEL AGUA	(g)	7.69	7.46
PESO DEL SUELO SECO	(g)	44.59	40.39
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.25	18.47
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIO	(%)	17.86	

Tabla 7. Contenido de Humedad Canal San Antonio

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Muestra	Humedad
#	%
1	17.86
2	17.49
3	16.57
4	15.19
5	14.68
6	10.01
8	26.59
9	32.05
10	10.65
11	14.55
12	9.11
13	15.65
14	13.24
15	16.18
16	12.48

2.4.4. Densidad de los suelos (ASTM D128)

El objetivo principal de este ensayo es determinar el peso específico aparente, así como la cantidad de agua que puede absorber el agregado fino cuando es sumergida por un periodo de 24 horas la misma que se expresa como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire que tiene el agregado sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente del mismo.

MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO

- Agregado fino.
- Balanza A \pm 0.01gr.
- Tamiz N° 4.
- Matraz aforado.
- Bandeja de metal.
- Bomba de vacíos.

PROCEDIMIENTO

Se procede a homogenizar la muestra eliminando el material de y tamaño superior a los 4.75 mm (tamiz No.4), se selecciona una cantidad aproximada de 1000gr, a continuación se sumerge la muestra en agua durante 24 ± 4 horas.

Después de este periodo se pone la muestra cuidadosamente sobre la bandeja metálica con mucho cuidado para lo finos presenta el agregado no se pierdan.

A continuación se dirige la bandeja para que se seque al ambiente, se recomienda secar en un lugar donde le llegue el sol, se debe controlar todo el tiempo este proceso de secado para que no exceda y agitar continuamente para sea uniforme.

Cuando se logra el estado óptimo del materia se introduce en el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad, para la eliminación de burbujas de aire se somete el picnómetro a la bomba de vacío por 10 minutos hasta observar ya no existan burbujas, si aún existieran, prolongar este proceso hasta no se visualicen.

Por último se saca todo el material del picnómetro con el mayor cuidado posible sin despreciar nada para secarlo en el horno hasta obtener un peso constante, el cual luego se debe tomar para realizar los cálculos respectivos.



Figura 22. Picnómetro con suelo arcilloso Canal San Antonio



Figura 23. Bomba de Vacío para Peso Especifico



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado **ENSAYO** : PESO ESPECÍFICO (ASTM D128)

MATERIAL : Arcilla **RESPONSABLE** : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí **RECEPCIÓN** : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 8. Peso Específico Canal San Antonio MUESTRA #1

NUMERO DEL PICNOMETRO			18
A	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	225.98
B	PESO DEL PIGNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	698.43
C	PESO DEL PIGNÓMETRO	(g)	164.98
D	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	661.59
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	61.00
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm ³)	496.61
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	472.45
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	24.16
= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm ³)	2.52
MEDIA			2.52

Tabla 9. Peso Específico Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16

MUESTRA	Peso
#	Específico
	(g/cm³)
1	2.52
2	2.10
3	2.52
4	2.39
5	2.17
6	2.08
8	2.05
9	2.38
10	2.67
11	2.13
12	2.06
13	2.20
14	2.04
15	2.31
16	2.44

2.4.4.1. Límites de Consistencia de Atterberg (ASTM D 4318)

Se pueden definir como la separación arbitraria entre los estados que puede presentar un suelo y que son: sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso. Así se define:

- Limite plástico: entre semisólido y plástico.
- Limite líquido: entre plástico y semilíquido o viscoso.
- Índice de plasticidad: entre líquido y plástico.

Pertenecen junto al análisis granulométrico al tipo de ensayos de identificación. Los límites de Atterberg, indican cualitativamente el comportamiento de la fracción fina, completando así el conocimiento del suelo.

Del material que pasa por el tamiz No 10 se calculan los límites siguiendo el procedimiento detallado. (José A., 2005)

Limite plástico (LP).

Se seca el material al aire durante un día y se machaca con un mazo de goma para no romper los posibles nódulos que haya. Se tamiza el material machacado y se reserva para el ensayo aquella fracción de suelo que ha pasado por el tamiz No 40. A continuación se coloca parte de este material sobre una baldosa y se añade agua poco a poco mezclando bien. Cuando el material presente un contenido de humedad algo superior al del límite plástico será posible formar fácilmente una bola con el suelo sin que resquebraje. Se reserva este material protegido de la humedad ambiental durante 24 horas para obtener una distribución uniforme y homogénea de su contenido de agua.

Una vez transcurrido este tiempo se toman unos 8 gramos de este suelo, se forma con él una especie de elipsoide, y se rueda entre la palma de la mano

y la superficie lisa de la baldosa para que no se absorba mucha humedad, hasta llegar a un diámetro de 3 milímetros. Si al llegar a este diámetro no se ha cuarteado el cilindro de modo que quede dividido en trozos de unos 6 milímetros de longitud como media, se vuelve a formar el elipsoide y a rodar hasta llegar a este tipo de resquebrajamiento.

Según la norma A.S.T.M. el suelo se encuentra en su límite plástico cuando se cuarte, y no importa que haya sido antes de llegar a los 3 milímetros de diámetro siempre y cuando antes se haya llegado como mínimo una vez sin resquebrajarse.

El procedimiento se repite hasta reunir unos 10 gramos de suelo, se coloca en un bote de cristal cerrado, se secan al horno a 100 °C durante 24 horas y se determina su humedad. El proceso se repite 2 veces más y si la diferencia no es grande (10-15% aproximadamente) se halla la media de los tres ensayos y se da este valor como resultado.

El límite plástico representa el punto en el cual el suelo empieza a perder su cohesión por falta de humedad, de modo que es muy sensible al operador por la apreciación del punto crítico.

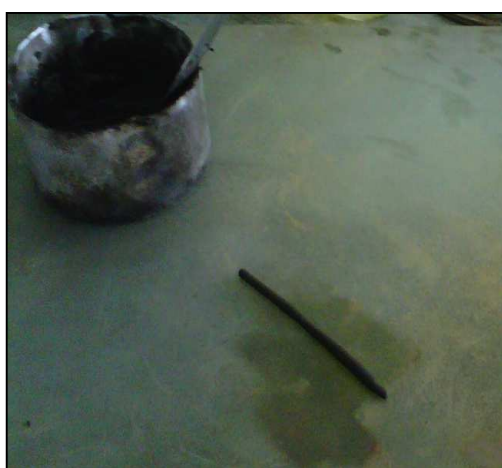


Figura 24. Muestra para Limite plástico de Canal San Antonio

Tabla 10. Limite Plástico Canal San Antonio MUESTRA #1

LIMITE PLÁSTICO					
Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	L P
#	#	gr.	gr.	gr.	%
	C2b3	7.75	7.49	6.63	30.23%
	803	7.10	6.89	6.22	31.34%
	403	7.49	6.94	5.16	30.90%
Limite Plástico					31%

Tabla 11. Limite Plástico Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16

MUESTRA	L P
#	%
1	31%
2	29%
3	53%
4	6%
5	34%
6	26%
8	33%
9	29%
10	36%
11	34%
12	33%
13	42%
14	33%
15	24%
16	37%

La variación de la consistencia en función de la humedad (plasticidad) es propia de los suelos finos, ya que los suelos gruesos (arenas y gravas) no retienen agua y se mantienen inalterables en presencia de ésta.

A medida que se evapora el agua, el suelo se endurece y para un cierto límite líquido pierde su capacidad de fluir, pero puede ser moldeado fácilmente y conservar su forma.

Como se observa en la tabla 2.10 estos valores pueden ayudar a predecir la magnitud de su capacidad portante, la cual crece rápidamente a medida que la cantidad de agua disminuye y viceversa. (Uningenierocivil.blogspot.com, 2011)

Límite líquido (LL).

El ensayo para la determinación del límite líquido de un suelo se encuentra regulado por la norma A.S.T.M.

Se comienza amasando, con agua destilada, unos 100 gramos de suelo que pasen por el tamiz no 40 de la A.S.T.M. Se añade la cantidad de agua necesaria para acercarse al límite líquido.

La masa se coloca con una espátula en la cuchara de Casagrande (figura 3.15) de modo que ocupe sólo la parte inferior de ella. Se abre un surco con un acanalador (figura 3.15), y se comienza a dar vueltas a la manivela, a razón de dos por segundo aproximadamente, con lo cual por medio de una excéntrica, se levanta la cuchara y se deja caer desde la altura de un centímetro. Se prosigue hasta que las paredes del surco se unan por su fondo en una longitud de unos 12 milímetros.



Figura 25. Cuchara de Casa Grande para Limite Plástico



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado ENSAYO : LIMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318)
MATERIAL : Arcilla RESPONSABLE : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 12. Limite Liquido Canal San Antonio MUESTRA #1

LIMITE LIQUIDO						
Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	L L	
#	#	gr.	gr.	gr.	%	
32		29.86	23.37	14.10	70.01%	
28		24.56	19.14	11.21	68.35%	
17		22.69	17.98	11.32	70.72%	
Limite Liquido					70%	

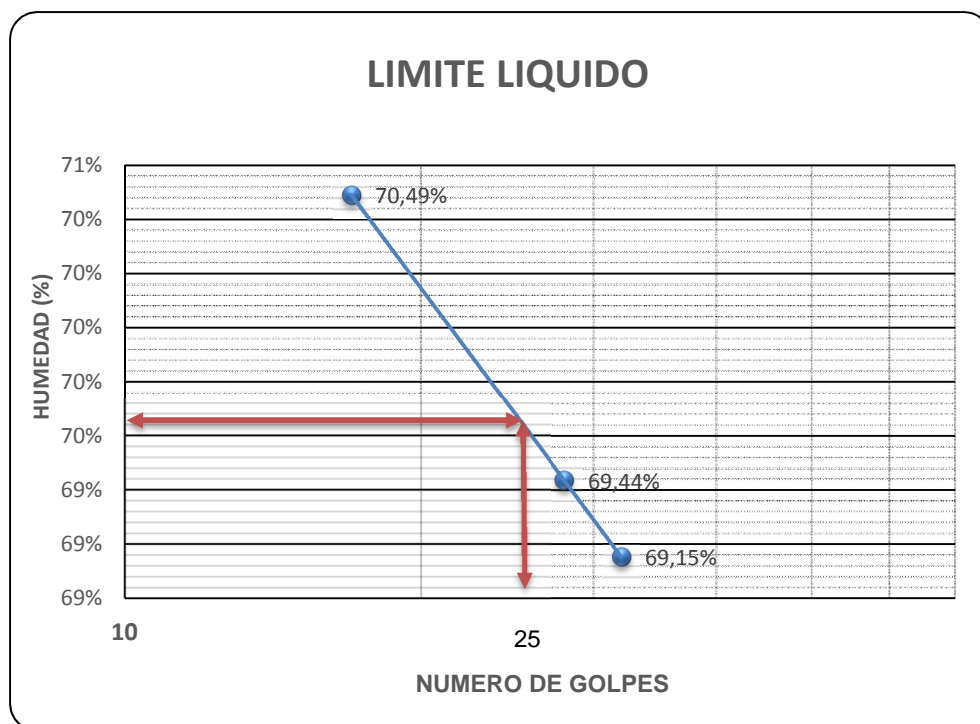


Figura 26. Gráfico de Limite Liquido Muestra #1

Tabla 13. Limite Líquido a los 25 Golpes Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16

MUESTRA	L L
#	%
1	70%
2	46%
3	62%
4	24%
5	77%
6	53%
8	57%
9	59%
10	56%
11	51%
12	50%
13	53%
14	51%
15	64%
16	59%

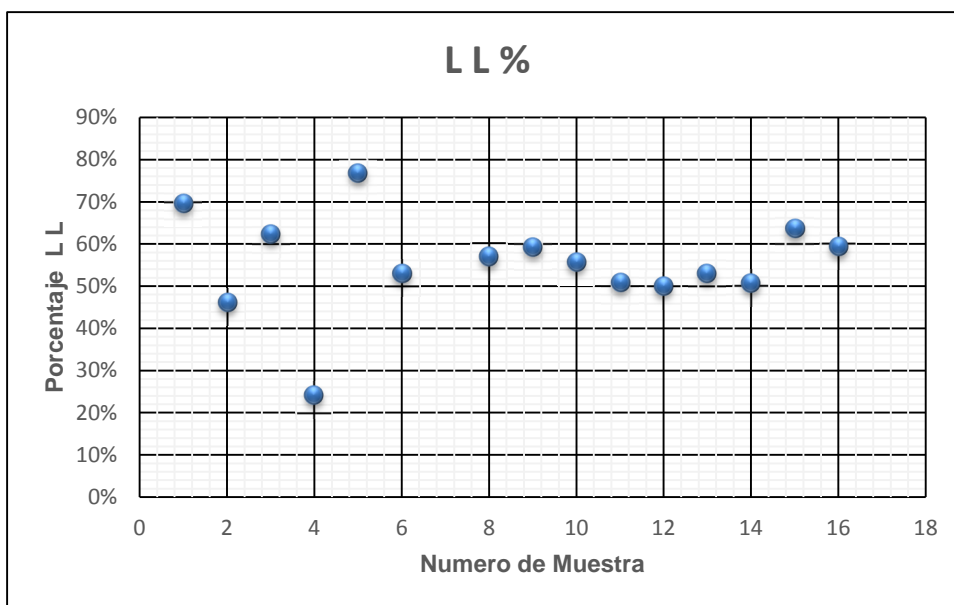


Figura 27. Gráfico de Límite Líquido Muestra #1 - #16

De acuerdo a la figura 2.18 los valores corresponde un Limite Liquido del 50% al 70%. Y cuando el valor del Límite Liquido es muy elevado, la capacidad portante del suelo es muy baja. Si es del 100% significa que los sólidos del suelo pesan igual que la humedad contenida, y si es del 50%, que los sólidos pesan el doble de la humedad.

Índice de plasticidad (IP).

El Índice de Plasticidad (IP) es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. Generalmente la cal reacciona con suelos plástico que tengan un IP entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo material con resistencia estructural. Suelos con IP menores a 10, usualmente, no reaccionan tan fácilmente con la cal.

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

$$IP = wL - wP, \%$$

WL= limite líquido, %

WP= limite plástico, %

Se sabe todavía más que las arcillas son tanto más compresibles cuanto mayor es el IP, según Jenkins los suelos pueden ser clasificados en: (Ángel R.)

CUADRO 2. Clasificación de los suelos según su Índice de Plasticidad.

Poco Plásticos	1 < IP < 7
Medianamente Plásticos	7 < IP < 15
Altamente Plásticos	IP > 15

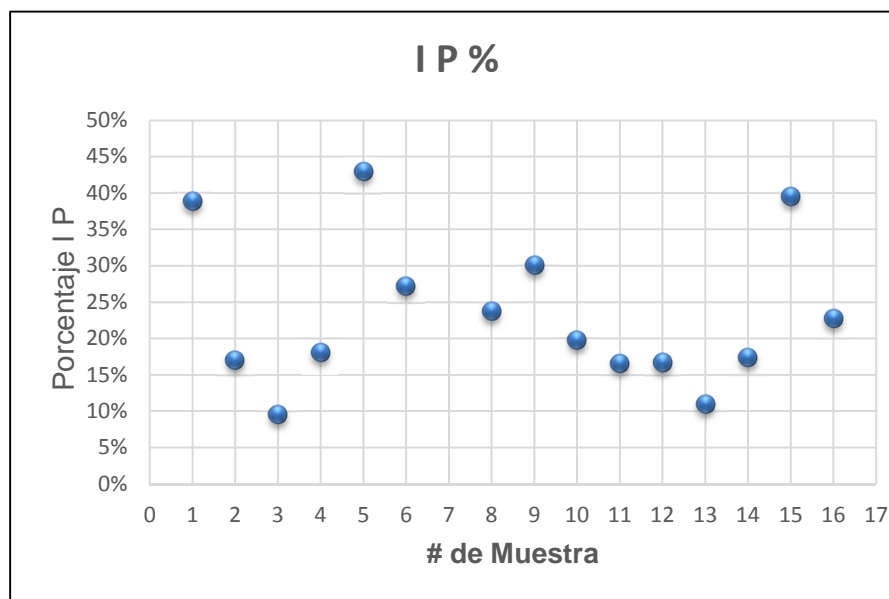


Figura 28. Gráfico de Índice de Plasticidad Muestra #1 - #16

De acuerdo a los valores obtenidos en la figura 2.19 se puede afirmar que la gran mayoría de las muestras presentan valores de IP mayores a 15 obteniendo de acuerdo al cuadro 2.1 suelos altamente plásticos.

Mediante estos resultados en el punto 2.5.1 se establecerá la identificación de estos suelos mediante la carta de plasticidad.

2.4.5. Determinación de pH

El pH es un indicador de la cantidad de $[H^+]$ en la disolución que se forma al poner una determinada cantidad de agua destilada en contacto con una cantidad de suelo. Por tanto, el pH se utiliza como un indicador de la concentración de los iones hidrógeno en el suelo.

El pH se mide en una escala logarítmica y representa el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en disolución, expresado en moles/L $pH = -\log [H^+]$.

Por ejemplo, un pH de 2 representa una concentración de 1×10^{-2} moles/L de iones H^+ , y un pH 8 representa una concentración de 1×10^{-8} moles /L de iones H^+ . Un pH 7 se considera neutro. La escala de pH se encuentra en un rango de 1 a 14, siendo 1 extremadamente ácido y 14 extremadamente básico. (Erick Z., Angélica S., 2007)

Interpretación

Cuando el suelo presenta una alta concentración de iones hidrógeno, se considera ácido y cuando presenta una baja concentración se considera básico.

El valor del pH de un suelo está influido por la capacidad de cambio del suelo y nos va a reflejar muchas condiciones de éste, entre otras de la disponibilidad de nutrientes.

El valor del pH suele oscilar entre 4 y 9. Los suelos que menos problemas dan para cultivo son los de pH comprendido entre 5,8 y 7,0, ya que los nutrientes de las plantas en general presentan su máxima solubilidad en este intervalo. A medida que el valor del pH se aparta de dicho intervalo pueden aumentar los problemas.

Así, un suelo con pH inferior a 5,7, a menos que sea muy rico en materia orgánica, nos indica un bajo contenido en bases, por lo que puede presentar deficiencias de Ca, Mg, PO_4^{3-} , Mo o B y provocar toxicidad por Mn, Zn, Al, Fe o Ni, estos casos se suelen enmendar añadiendo bases, generalmente cal, abonos y oligoelementos.

También pH bajo puede indicar elevada presencia de sales en el suelo, por lo que este efecto se corrige haciendo la medida del pH en disolución de $CaCl_2$ 0,01M y, más aún en disolución de KCl 1M.

Valores altos de pH indican suelos calcáreos (de 8 a 8,3), situación normal que no da grandes problemas, salvo la clorosis inducida por exceso de cal. Ahora bien, si la concentración de iones alcalinotérreos presentes corresponde exclusivamente a Ca nos encontraremos con una aguda falta de Mg.

Si el pH es elevado y el suelo no contiene CaCO_3 libre, nos indica grandes cantidades de Na y Mg en el complejo de cambio.

La medida del pH depende también de la relación suelo: agua, al aumentar la cantidad de agua, en general aumenta el pH. Se suelen usar relaciones 1:1; 1:2; y 1:5.

Procedimiento

Suelo seco a $T < 40^\circ\text{C}$ y con tamaño de partícula < 2 mm, la relación suelo: agua 1:5 en volumen (5mL de suelo en 25 mL de agua, o disolución 0,01M en CaCl_2 , o disolución 1M en KCl) La medida se efectúa mediante un electrodo de membrana de vidrio combinado y un electrodo compensador de temperatura, introducidos en la disolución y conectados a un pHmetro que nos indicará el valor del pH de la disolución. La medida se toma en unidades y décimas.

La temperatura del líquido no ha de variar más de 1°C de la temperatura de las disoluciones de calibrado usadas. (Erick Z., Angélica S., 2007)

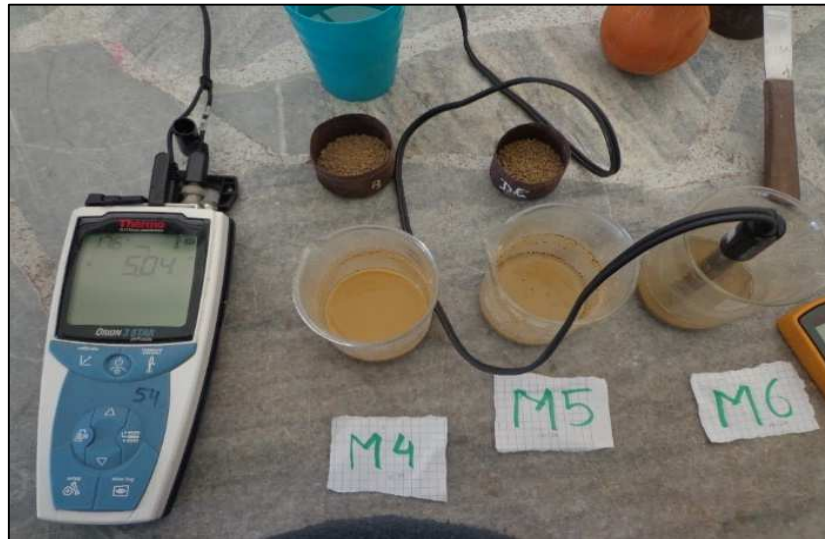


Figura 29. Valores de pH de la muestra #16.

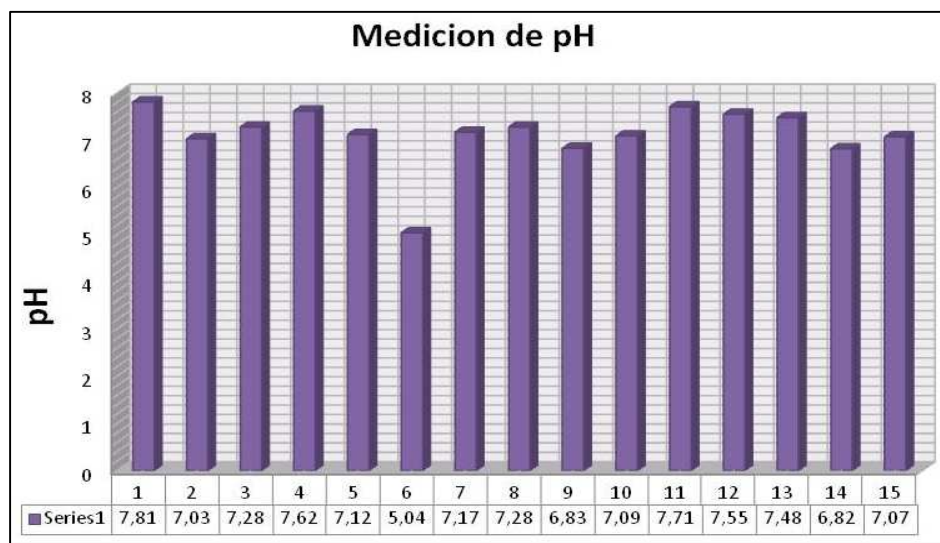


Figura 30. Valores de pH de muestras #1 - #16.

Los valores de pH presentes en la figura 20 indican que el valor mínimo es de 5.04 y el valor máximo es de 7.81, dando como resultado un bajo contenido en bases, por lo que puede presentar deficiencias de Ca, Mg, PO₄,³⁻

Mo ó B y provocar toxicidad por Mn, Zn, Al, Fe o Ni, estos casos se suelen enmendar añadiendo bases, generalmente cal. (Erick Z., Angélica S., 2007)

2.4.6. Porosidad

En el suelo, se encuentran espacios que quedan entre las partículas, o entre los agregados, que son ocupados por aire y agua, son los poros. La porosidad del suelo es la suma de los poros de diferentes tamaños. El tamaño de los poros está relacionado directamente con la textura y la estructura del suelo.

Los poros grandes y medianos (macroporos) abundan en suelos arenosos y sueltos y en suelos con estructura granular. Son ocupados por aire y sirven para la infiltración, permiten la rápida circulación de aire y agua.

Los poros finos y muy finos los encontramos en suelos de texturas medias y finas. Y los microporos, en suelos arcillosos. La circulación de agua y aire en los poros finos y microporos es lenta. La cantidad de poros grandes, medianos y finos es más importante, que la cantidad total de espacios (porosidad total), ya que los poros grandes, permiten establecer el equilibrio aire-agua en el suelo.

La determinación del índice de poros o de la porosidad se hace siempre en laboratorio y de una manera indirecta, ya que se determina el peso específico de las partículas sólidas por una parte y el peso específico seco (o densidad seca) por otra. La relación entre estos parámetros se recoge en la figura 31.

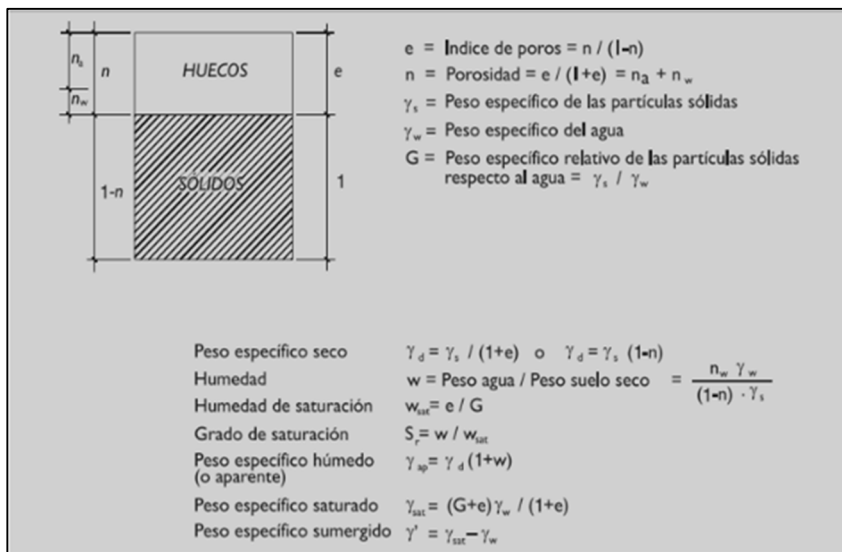


Figura 31. Relación de parámetros para calcular la Porosidad de la muestra. (Investigación Geotécnica)



Figura 32. Equipos utilizados para determinar la Porosidad de las muestras #1 - #16.



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado

ENSAYO : POROSIDAD

MATERIAL : Arcilla

RESPONSABLE : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí

RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 14. Porosidad Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16

Mue stra	Peso Seco	Prese rvativ o	Muestra + Preservati vo	Peso Sumergido	Peso Saturado	POROSI DAD	Indice de Porosidad
#	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	%	
1	76.52	1.87	78.31	21.80	101.87	41.69	0.715
2	61.14	2.09	63.26	17.57	84.98	47.53	0.906
3	57.75	2.02	59.68	11.25	64.94	10.86	0.122
4	37.97	2.10	39.97	6.40	48.20	24.51	0.325
5	107.0	2.06	109.05	33.90	113.82	6.34	0.068
6	46.45	2.03	48.45	13.30	49.42	2.76	0.028
8	117.2	2.01	119.05	38.00	149.79	37.92	0.611
9	78.16	2.02	79.31	13.50	93.89	22.15	0.285
10	64.55	2.09	66.62	19.23	77.98	23.97	0.315
11	17.40	2.06	19.75	4.21	29.03	59.71	1.482
12	120.4	1.99	122.28	52.08	130.98	12.393	0.141
13	66.81	2.09	68.84	12.49	97.98	51.71	1.071
14	38.34	2.00	40.25	8.32	40.98	2.28	0.023
15	51.70	2.12	53.77	20.90	71.54	54.06	1.177
16	80.45	2.13	82.48	30.55	112.75	58.29	1.398

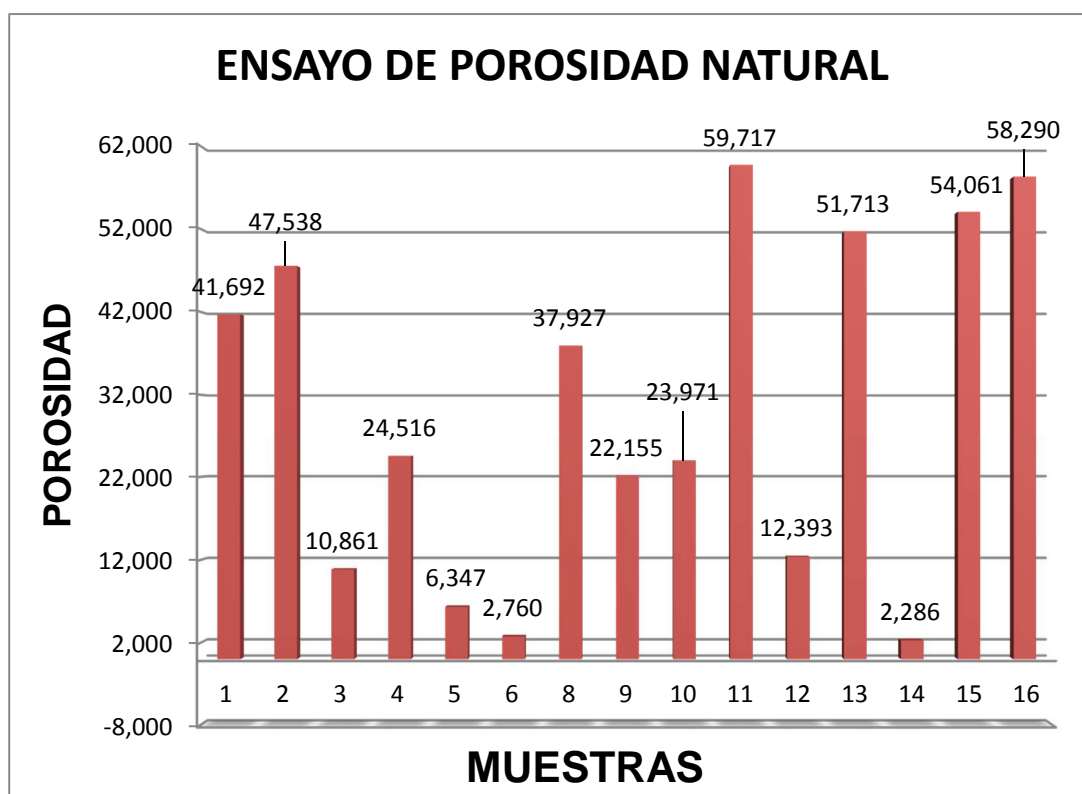


Figura 33. Porosidad de las muestras #1 - #16.

En la figura 2.24 se muestra la distribución de los tamaños de poros presentes en las muestras del Canal San Antonio. Las muestras 1, 2, 11, 13, 15, 16 presentan el mayor porcentaje acumulado de poros que va desde el 40% al 60%, siguiendo 4, 8, 9, 10 con un rango de 20% al 40% y finalmente 3, 5, 6, 12, 14 con porcentajes de 2% al 15%. (Matilde C., 2001)

2.4.7. Permeabilidad

El ensayo determina el coeficiente de permeabilidad (K) de una muestra de suelo granular o cohesiva, entendiendo por permeabilidad, la propiedad de un suelo que permite el paso del agua a través de sus vacíos, bajo la acción de una carga hidrostática. No todos los suelos tienen la misma permeabilidad, de ahí que se los haya dividido en suelos permeables e impermeables, estos

últimos son generalmente suelos arcillosos, donde la cantidad de escurrimiento del agua es pequeña y lenta.

El grado de permeabilidad de un suelo, se mide por su coeficiente de permeabilidad, el cual se basa en la ley propuesta por Darcy en el siglo XIX, la cual señala:

$$V = K * i$$

Donde:

V = velocidad de escurrimiento de un flujo a través del suelo.

K= coeficiente de permeabilidad propio y característico

i = gradiente hidráulico, el cual representa la relación entre la diferencia de niveles (H) y la distancia (L) que el agua recorre.

Independientemente de lo anterior, existen factores que influyen en la permeabilidad de un suelo, como por ejemplo la viscosidad del fluido (varía según la temperatura), el tamaño, continuidad de poros y grietas a través de los cuales pasa el fluido o la presencia de discontinuidades.

El método conocido como ensayo de nivel de agua variable, se aplica generalmente a suelos finos arcillosos o limo arcilloso. El ensayo en si es de larga duración, ya que generalmente la cantidad de flujo que atraviesa la muestra es muy pequeña.

Tabla 15. Valores de Permeabilidad

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 * 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 * 10^{-1}$ a $1 * 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 * 10^{-3}$ a $1 * 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 * 10^{-5}$ a $1 * 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 * 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: Terzaghi K. y Peek R. 1980



Figura 34. Equipo para determinar la Permeabilidad de las muestras #1 - #16.



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado

ENSAYO : PERMEABILIDAD

MATERIAL : Arcilla

RESPONSABLE : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí

RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 16. Permeabilidad Canal San Antonio MUESTRA #10

PESO DEL PERMEÁMETRO	(g)	2036.26	2036.25	2036.27
PESO DEL PERMEÁMETRO + MUESTRA	(g)	3096.8	3096.7	30,96,8
DIÁMETRO INTERIOR DE LA CÁMARA	(cm)	7.6	7.6	7.6
DENSIDAD DE LA MUESTRA	(g/cm³)	2.67	2.67	2.67
Q = VOLUMEN MEDIDO	(cm³)	2.5	2.5	2.5
L = LONGITUD DE LA MUESTRA	(cm)	15.9	15.9	15.9
A = SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MUESTRA	(cm²)	45.36	45.36	45.36
H = CARGA BAJO LA CUAL SE PRODUCE LA FILTRACIÓN	(cm)	114.90	114.90	114.90
t = TIEMPO EN EL QUE SE EFECTÚA EL ENSAYO	(seg)	5880	7524	8364
K = PERMEABILIDAD	(cm/seg)	1.30E-06	1.01E-06	9.12E-07
K = PROMEDIO DE LA PERMEABILIDAD	(cm/seg)	1.07E-06		

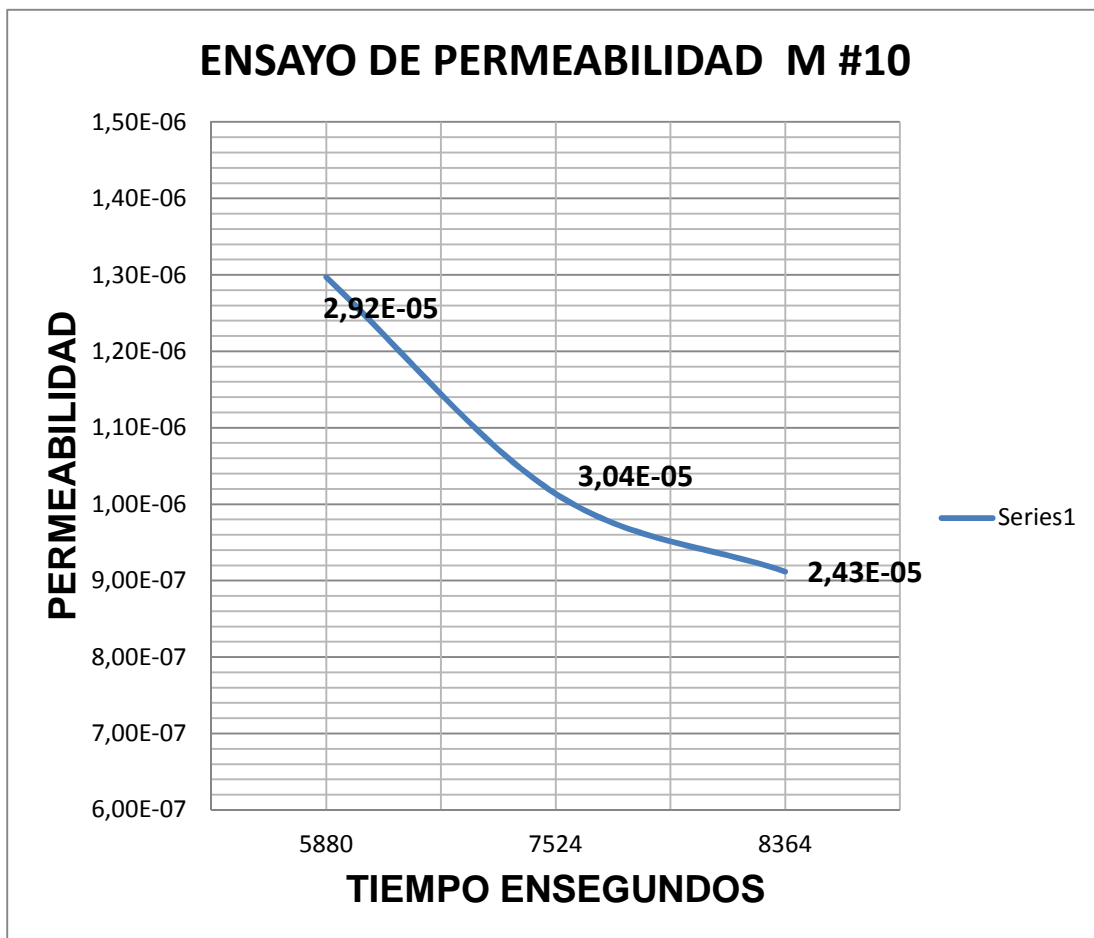


Figura 35. Ensayo de permeabilidad de la muestras #10

Tabla 17. Permeabilidad Canal San Antonio MUESTRA #10

MUESTRA #	TIEMPO (S)	K (cm/seg)
10	6751	1.07E-06
14	6490	1.39E-06
6	5498	1.18E-06
3	7256	1.14E-06

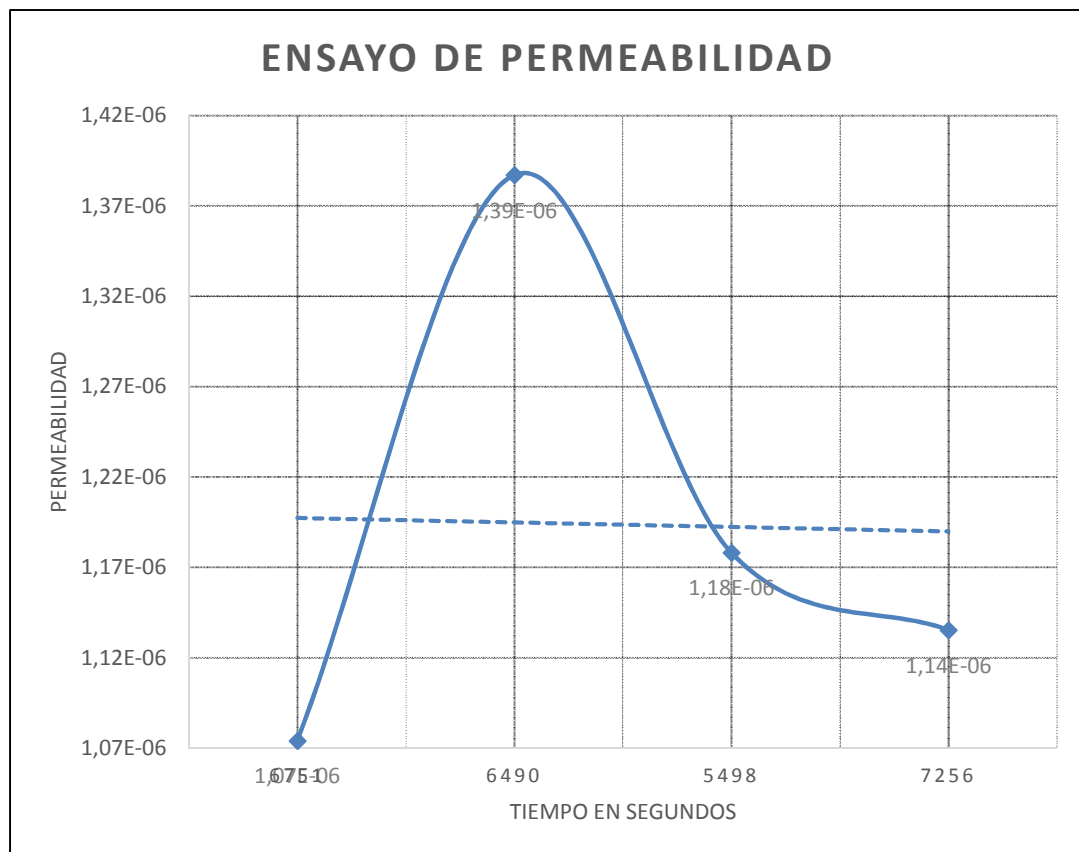


Figura 36. Ensayo de porosidad de la muestras #10

De acuerdo a los valores de Permeabilidad (K) presentados en la Tabla 15 las muestras corresponden a un Limo y Arenisca fina.

2.4.8. Análisis por Difracción de Rayos X (DRX)

La DRX permite conocer la estructura interna de los minerales y por lo tanto el medio más seguro para identificarlos. En los casos en que han sido posible separa los minerales tal identificación es directa. Sin embargo, cuando están presentes varios minerales de arcilla, las líneas dadas por uno pueden denominar a las de los demás en una fotografía directa de polvo. Por ejemplo Keppeler ha demostrado que pequeñas cantidades de montmorillonita de grano muy fino presentes en la caolinita no son detectables por los rayos x aunque su influencia por las relaciones arcilla – agua puede ser suficiente para detectarlas por tal camino.

El aparato requerido para investigaciones por difracción de rayos X se compone esencialmente de una fuente de rayos X monocromáticos, un sistema adecuado para el montaje de la muestra y una cámara para recibir y registrar los rayos difractados. La longitud de onda está parcialmente determinada por el anticátodo del tubo de rayos X de tal forma que debe disponer de una serie de éstos para obtener una gama completa. Son también necesarios filtros adecuados para selección anterior. Además deben ser ajustables el voltaje y la corriente. La difracción de rayos X en muestras de polvo se hace en una cámara circular.

Existen numerosos instrumentos utilizables para trabajos de difracción de rayos X. Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuyas longitudes de onda son del orden de 1 \AA ($10E^{-8} \text{ cm}$) o menor. La difracción de los rayos X por los cristales es un fenómeno importante porque puede emplearse para revelar las ubicaciones de los átomos en un sólido. Los diagramas de difracción se producen cada vez que la luz pasa a través de una estructura periódica que posee características que se repiten regularmente. Para que un diagrama de difracción resulte observable, la distancia que se repite en la estructura periódica debe ser aproximadamente igual a la longitud de onda de la luz utilizada. Una red cristalina es una estructura periódica tridimensional de donde la distancia que se repite es de aproximadamente 10^{-9} cm (distancia

interatómica), actuando como una rejilla de difracción de donde dos conjuntos de ondas llegan a interferirse consecutivamente para producir los puntos de máxima intensidad a lo largo de una línea denominada rayo.

Para que 2 ondas lleguen al mismo punto del detector y producir la máxima intensidad en este luego de ser difractadas por la celda deben llegar en fase (interferencia constructiva) y para ello las distancias recorridas deben diferir en un número entero de longitudes de onda. (Manuel G., 2011)

La ecuación de Difracción de Bragg permite determinar los espacios interplanares característicos de un cristal a partir de las medidas de los ángulos de difracción y conociendo la longitud de onda de los rayos X. (Julio T., 2011)

El factor más importante que interviene en la deducción de la ecuación que interviene en la deducción de la ecuación de Bragg es la distancia regular que hay entre los planos de la red.

Tabla 18. Análisis de Difracción de Rayos X de Canal San Antonio Muestra #7

Mineral	Formula	Mue 7 Cont. (%)
Cuarzo	SiO ₂	18
Gr. plagioclasa (Albita, andesita, anortita)	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	45
Montmorillonita (Grupo esmectitas)	(Na,Ca) _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) _{2n} H ₂ O (Al,Mg,Na)(OH) ₂ Si ₄ O ₁₀ 4H ₂ O	3
Cordierita	Mg ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈	1
Gypsum	CaSO ₄ 2H ₂ O	1
Muscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	13
Pirofilita	Al(OH)Si ₂ O ₅	11
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	8

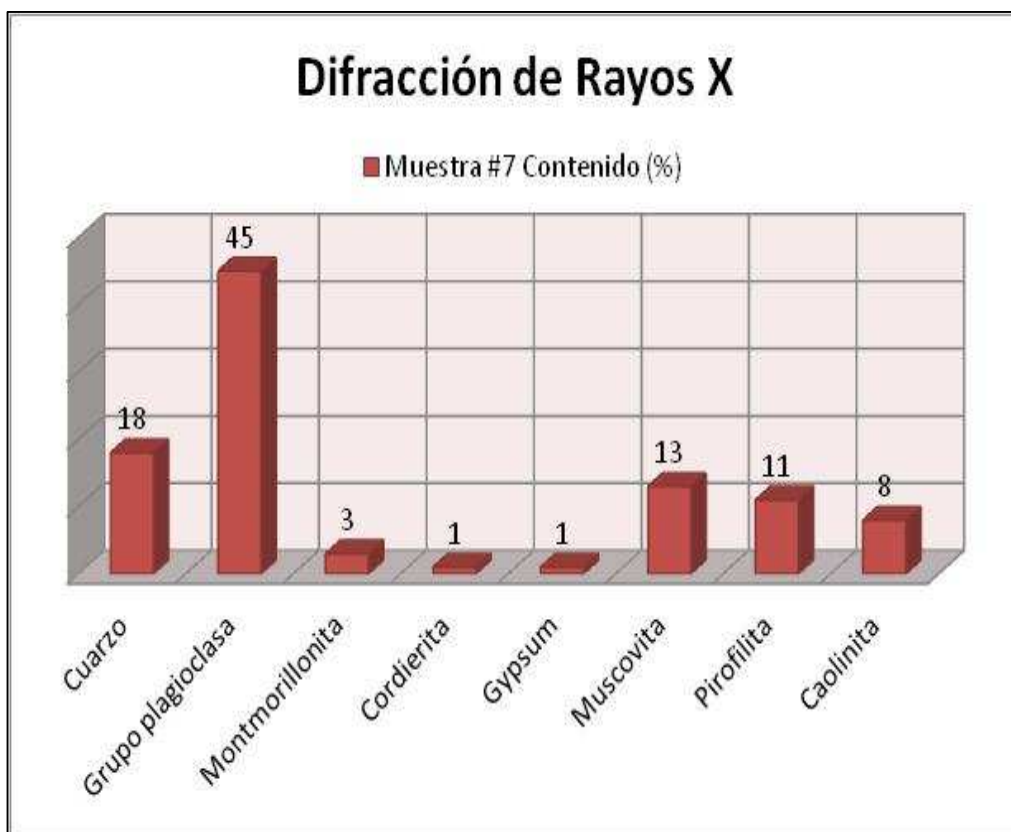


Figura 37. Ensayo de Difracción de rayos X de la muestra #7

El ensayo de Difracción de rayos X en la figura 2.28 muestra cómo se encuentra estructurado internamente los minerales, dando como resultado un gran contenido del grupo Plagioclasas con un 45% el cual tiene como propiedad deshacerse en forma oblicua diferencia de otros feldespatos. En relación con el 18% de Cuarzo, el 13% de Muscovita, seguido del 11% de Pirofilita y un 8% de Caolinita y en n porcentajes muy pequeños se tiene un 3% de montmorillonita y con tan solo el 1% Gypsum y Cordierita, los cuales juegan un papel en la textura y en la físico – química del suelo, brindando plasticidad e impermeabilidad.

2.4.9. Materia Orgánica

La materia orgánica de los suelos y sedimentos está ampliamente distribuida en la superficie de la tierra, se producen en casi todos los ambientes terrestres y acuáticos. Los suelos y sedimentos contienen una gran variedad de materiales orgánicos que van a partir de azúcares simples e hidratos de carbono a las más complejas proteínas, grasas, ceras, y ácidos orgánicos.

Algunas características importantes de la materia orgánica incluyen su capacidad de ser soluble en agua y formar complejos insolubles con los iones metálicos y óxidos hidratados; interactuar con minerales de arcilla y partículas; absorber y liberar nutrientes de las plantas. La materia orgánica se comporta como una esponja, con la capacidad de absorber y retener hasta el 90 por ciento de su peso en agua. Una gran ventaja de la capacidad de retención de agua de la materia orgánica es que la materia proporcionará la mayor parte del agua que absorben plantas; hace que se agrupen los agregados que forman el suelo, lo que mejora la estructura del suelo. Con una mejor estructura del suelo, la permeabilidad o infiltración de agua a través del suelo aumenta, a su vez mejora la capacidad del suelo de absorber y retener el agua.

Para la determinación del humus o materia orgánica hay varios métodos, si es un suelo con un alto contenido de arena se aplica la calcinación a una temperatura promedio de 500 – 600°C, aplicando este método se puede obtener resultados de manera simple y rápida. (Steubing, Godoy, & Alberdi, 2001).

El método por ignición o calcinación para la determinación de la materia orgánica implica la destrucción climatizada de toda la materia orgánica en el suelo o sedimento. Un peso conocido de la muestra se coloca en un crisol de cerámica (o recipiente similar) que luego se calienta un promedio de 6 a 8

horas entre 350 y 440°C. (Nelson y Sommers, 1996; ASTM, 2000.: Blume et al, 1990). La muestra se enfría a continuación en un desecador y se pesa. Contenido de materia orgánica se calcula como la diferencia entre los pesos inicial y final de la muestra dividido por el peso de la muestra inicial multiplicado por 100% veces. Todos los pesos deben corregirse, no debe contener humedad o agua antes de calcular el contenido de materia orgánica, a continuación se muestra la interpretación de los resultados de materia orgánica. (Renato A.)

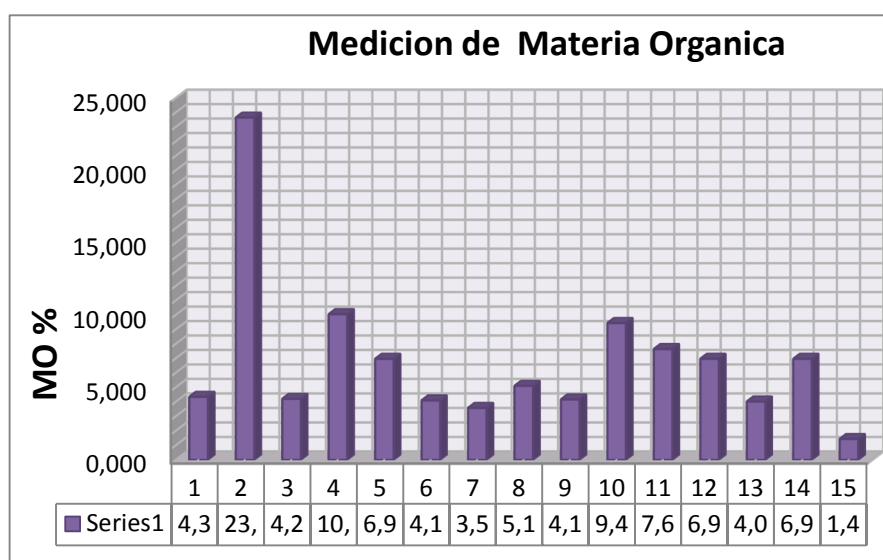
La temperatura por el método de calcinación debe mantenerse por debajo de 440°C para evitar la destrucción de los carbonatos inorgánicos que pueden estar presentes en la muestra. Una preocupación con esta técnica es que algunos minerales de arcilla se pierda agua estructural (es decir, agua que es parte de su matriz) o grupos hidroxilo a las temperaturas usadas para la combustión de las muestras. La pérdida de agua estructural aumentará el total de la pérdida de peso de la muestra que lleva a una sobreestimación en el contenido de materia orgánica.

Tabla 19. Interpretación de resultados de Materia Orgánica

Clase	Materia orgánica (%)	
	suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy alto	>16.0	>6.0

Tabla 20. Materia Orgánica Canal San Antonio MUESTRA #1 - #10

MUESTRA	Peso suelo	Peso recipiente	Peso Tara + suelo a 105	Calcinacion + recipiente	Mat. Organ (%)
1	15	120	135	134.347	4.353
2	15	121	136	132.452	23.653
3	15	120	135	134.368	4.213
4	15	121	136	134.491	10.060
5	15	122	137	135.954	6.973
6	15	120	135	134.384	4.107
8	15	121	136	135.462	3.587
9	15	122	137	136.234	5.107
10	15	120	135	134.374	4.173
11	15	122	137	135.583	9.447
12	15	121	136	134.852	7.653
13	15	122	137	135.954	6.973
14	15	120	135	134.396	4.027
15	15	122	137	135.954	6.973
16	15	120	135	134.783	1.447

**Figura 38.** Ensayo de Materia Organica

De acuerdo al ensayo de Materia Orgánica se obtiene que la muestra # 2 tuvo un contenido relativamente alto por lo que es de suponer que es un suelo fértil debido también, a su color oscuro característico de los suelos orgánicos. Pero al analizar las otras muestras no poseen mayor cantidad de materia orgánica y su coloración es típica de suelos limo arcillosos.

No obstante, dado que el principal efecto de la materia orgánica es la reducción del efecto de estabilización, se debe realizar ensayos específicos para ponderar la eficiencia del tratamiento.

2.4.10. Ensayo de Crumb (ASTM D6572 – 12)

El método de ensayo de la miga proporciona un método simple, rápido para el campo o en el laboratorio de identificación de un suelo de arcilla dispersiva. Los fracasos de erosión interna de una serie de presas homogéneas de tierras, la erosión a lo largo de los bancos del canal o canal, y las lluvias de la erosión de las estructuras de tierra se han atribuido a la erosión coloidal lo largo de grietas u otros canales de flujo formados en masas de arcilla dispersiva.

El método de ensayo de la miga, desarrollado originalmente por Emerson, que se llamó la prueba de la coherencia global y tuvo siete categorías diferentes de reacciones con el agua del suelo. Sherard más tarde simplifica la prueba mediante la combinación de algunas de las reacciones con el agua del suelo por lo que sólo cuatro categorías o grados, de la dispersión del suelo se observan durante la prueba. La prueba de la miga es un indicador positivo relativamente precisa de la presencia de propiedades de dispersión en un suelo. La prueba de la miga, sin embargo, no es un indicador negativo completamente fiable que los suelos no son dispersivos. La prueba de migas rara vez puede ser considerada como un único método de ensayo para determinar la presencia de arcillas dispersivas.

La prueba de doble hidrómetro (método de prueba D4221) y la prueba del agujero de alfiler (Método de Ensayo D4647) son los métodos de prueba que proporcionan valiosa información adicional sobre el comportamiento dispersivo probable de los suelos arcillosos. (ASTM D6572-12)

PROCEDIMIENTO

Un cubo, aproximadamente 15 ± 5 mm ($\sim 5/8 \pm 1/4$ pulgadas) en cada lado, está preparado a partir de suelo húmedo que ha pasado un 2 mm (No. 10) de tamiz.

Si el método de ensayo de la miga se está haciendo en conjunto con el método de ensayo del agujero de alfiler (Método de Ensayo D4647), el cubo se puede preparar a partir de material curado a la humedad contenido deseado para la compactación de la muestra del agujero de alfiler.

Alternativamente, el suelo se seca al aire o en el suelo a la humedad natural se pueden pasar a través de una de 2 mm (N^o 10) de tamiz y se forman en el cubo. Si se necesita la humedad adicional para formar el cubo, Tipo Agua IV, de acuerdo con la Especificación D1193 se puede añadir hasta que se puede formar el cubo.

Resultados de los métodos de ensayo de la miga se pueden alterar mediante la mezcla de porciones de una muestra que tienen propiedades de dispersión con una porción de la muestra con propiedades no dispersivas. Si migas remodelar se utilizan para la prueba, minimizar la mezcla de suelo visualmente no homogénea para obtener el material para la miga remodelar para evitar la mezcla de los segmentos dispersivos y no dispersivos de la muestra.

INTERPRETACION

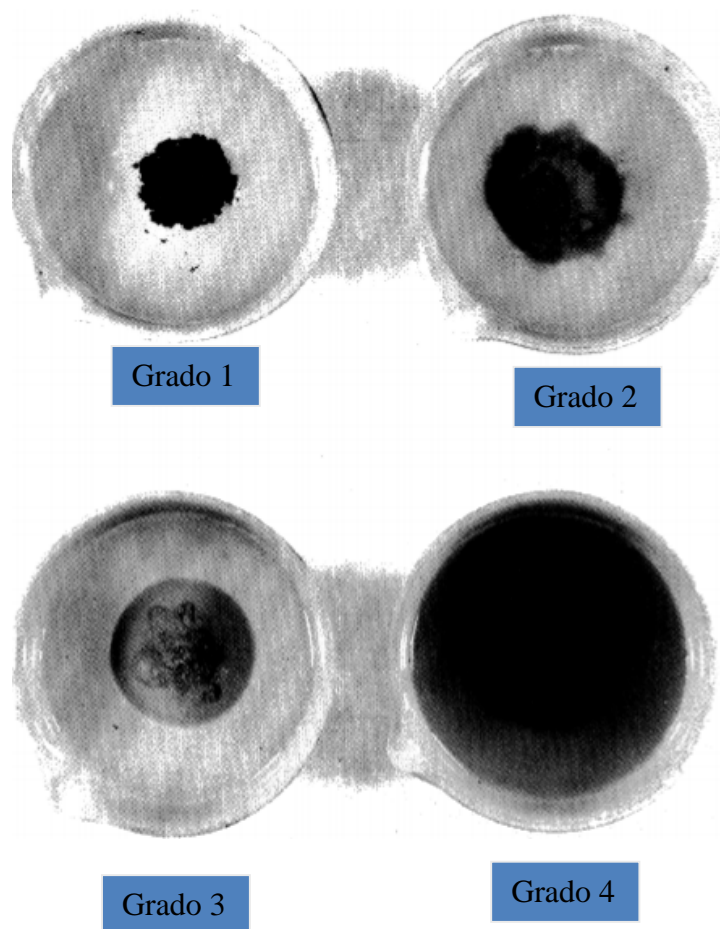


Figura 39. Suelo Crumb muestras y los grados de dispersión de Asignación

Grado 1, (no dispersiva)-No hay reacción, el suelo puede desmoronarse, saciar, difusa, y hacia fuera, pero no hay agua turbia creado por coloides en suspensión en el agua. Todas las partículas se depositan durante la primera hora.

Grado 2, (Intermedio)-Ligera reacción; este es el grado de transición. Una suspensión coloidal débil, apenas visible hace que el agua turbia cerca de partes de la superficie del suelo de la miga. Si la nube es fácilmente visible, asignar de grado 3. Si la nube se ve ligeramente sólo en un área pequeña, asigne grado 1.

Grado 3, (dispersivo) - Moderado reacción; una nube fácilmente visibles de los coloides de arcilla suspendidas se ve alrededor del exterior de la superficie de la miga del suelo. La nube puede extenderse hasta 10 mm (3/8 pulgadas) de distancia de la masa de la miga del suelo a lo largo de la parte inferior del plato.

Grado 4, (altamente dispersiva) - Fuerte reacción; una densa nube, profusa de los coloides de arcilla en suspensión es visto por todo el fondo del plato. De vez en cuando, la dispersión de la miga del suelo es tan amplia que es difícil determinar la interfaz de la miga suelo original y la suspensión coloidal. A menudo, la suspensión coloidal es fácilmente visible en los lados del plato.

Se utiliza los siguientes criterios para clasificar los resultados de las pruebas de la miga:

Grado 1 - no dispersiva

Grado 2 -intermedio.

Grado 3 -dispersivo.

Grado 4 - altamente dispersiva.



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado

ENSAYO : Ensayo de Crumb

MATERIAL : Arcilla

RESPONSABLE : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí

RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 21. Crumb Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16

MUESTRA #	2 minutos		1 hora		6 horas	
	Grado	c^o	Grado	c^o	Grado	c^o
1	1	19.5	2	19.8	2	20.4
2	2	19.6	2	19.9	2	20.1
3	1	19.6	1	19.5	1	20.2
4	2	21.7	2	21.5	3	20.7
5	2	23.5	2	20	2	20.7
6	2	19.9	2	19	2	20.7
8	2	19.7	2	19.5	2	20.4
9	1	19.7	1	19.4	1	20.2
10	1	19.9	2	19.5	3	20.3
11	1	19.8	2	21	2	20.5
12	1	19.7	1	19.3	2	20.5
13	2	23.1	2	19.3	2	20.5
14	2	23.3	2	19.7	2	20.1
15	1	22.8	1	20.3	1	20.2
16	2	19.8	2	20.4	2	20.5



Figura 40. Ensayo de Crumb a 2 minutos

El ensayo de Crumb a los 2 minutos muestra que están en el grado 1 (no dispersiva) y como máximo en grado 2 (intermedio).



Figura 41. Ensayo de Crumb a 1 Hora

Crumb a la hora indica que la mayoría de las muestras alcanzan el grado 2.

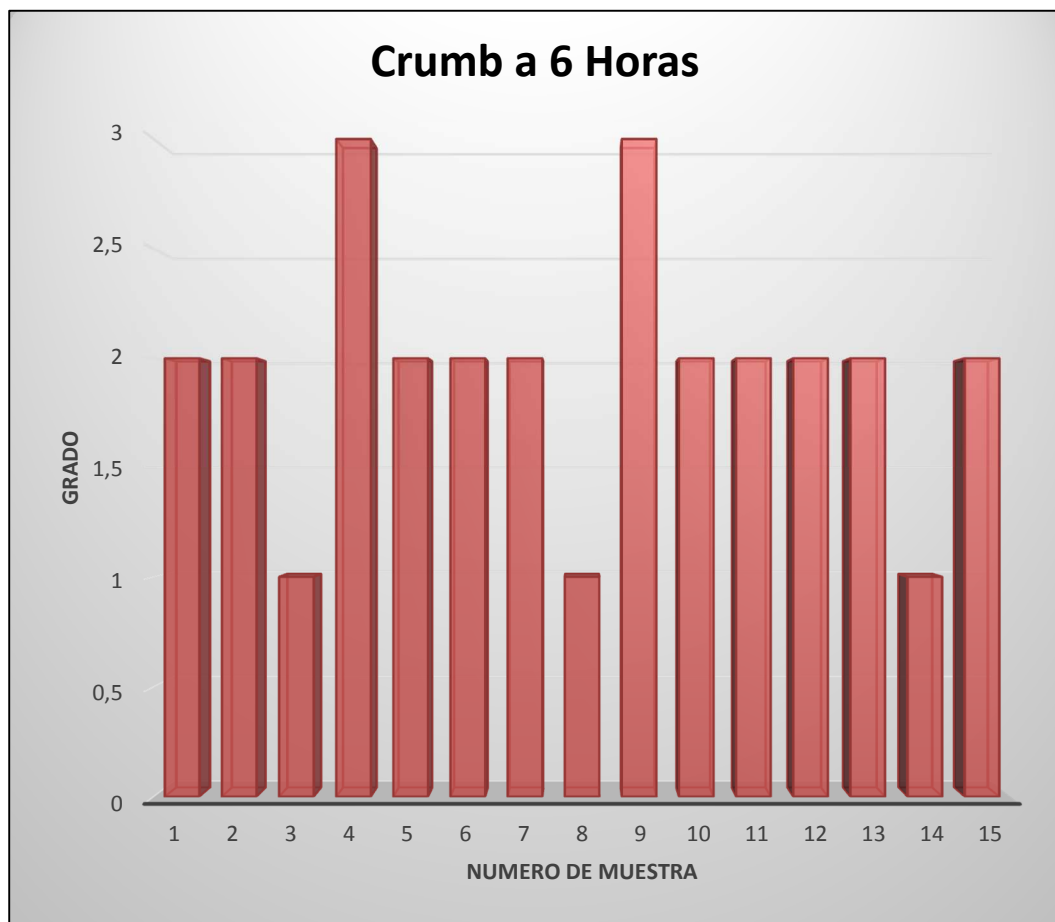
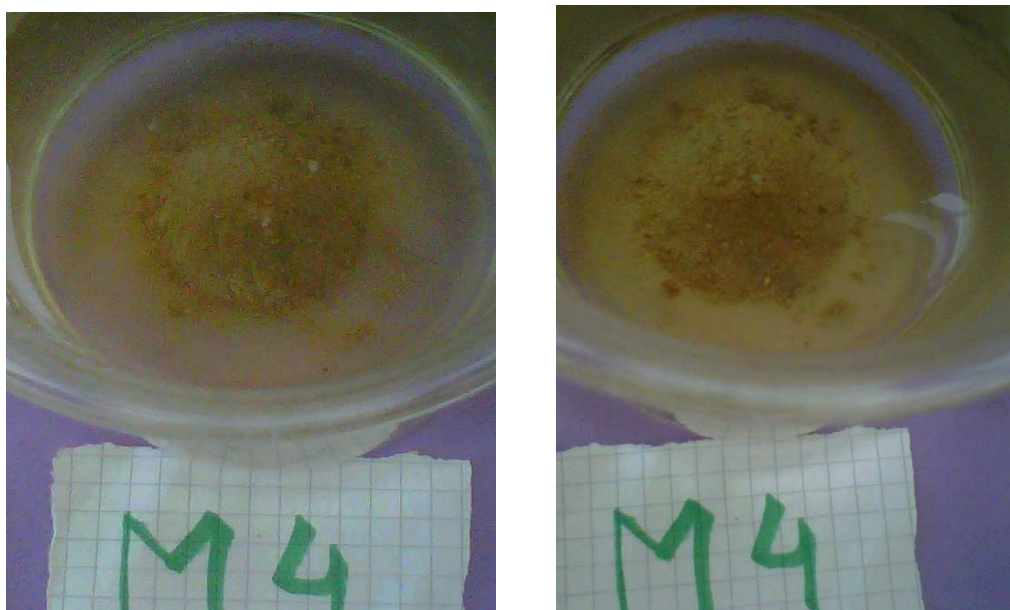


Figura 42. Ensayo de Crumb a 6 Horas

Finalmente el ensayo de Crumb a las 6 horas se observa que únicamente las muestras #4 y #9 son de grado 3 (dispersivo) moderada reacción.

En cuanto a las demás muestras se tiene que son de máximo grado 2 (intermedio) y dado que este ensayo es un indicador positivo relativamente preciso de la presencia de propiedades de dispersión en el suelo.

MUESTRA 1**Figura 43.** Ensayo de Crumb a 2 minutos y a 5 minutos M # 1**MUESTRA 1****Figura 44.** Ensayo de Crumb a 1 Hora y a 6 Horas M # 1

MUESTRA 4**Figura 45.** Ensayo de Crumb a 2 minutos M # 4**MUESTRA 4****Figura 46.** Ensayo de Crumb a 1 Hora y a 6 Horas M #4

2.4.11. Ensayo del doble hidrómetro (ASTM D 4221 – 90)

El principal objetivo del análisis del doble hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más de 12 % del material pasa a través del tamiz No. 200 no es utilizada con criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva. La conducta de la fracción de suelo cohesivo depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla presente, de su historia geológica y del contenido de humedad más que de la distribución misma de los tamaños de la partícula.

El método es absolutamente aproximado y utiliza la Ley de Stokes que ya fue definida anteriormente.

La ley de Stokes es aplicable solamente a partículas esféricas por lo tanto los diámetros medidos son “diámetros equivalentes” a partículas de suelos que sedimentan la misma velocidad que una esfera del mismo peso específico.

La distribución del tamaño de partículas es determinada empleando primero el Ensayo Estándar del Hidrómetro en el que la muestra de suelo es dispersado en agua destilada con una fuerte agitación mecánica y con un dispersante químico (HexaMetaFosfato de Sodio). Un ensayo paralelo al hidrómetro es realizado después en un espécimen duplicado, pero sin agitación mecánica y sin dispersante químico. El “porcentaje de dispersión” es la relación de transformación de las partículas de 0.005 mm de diámetro del segundo ensayo al primero, expresado en porcentaje.

El criterio para la evaluación del grado de dispersión usando los resultados del ensayo del Doble Hidrómetro es:

Tabla 22. Criterio de evaluación de resultados

Porcentaje de Dispersión	Grado de Dispersión
<30	No Dispersivo
30 a 50	intermedio
>50	Dispersivo

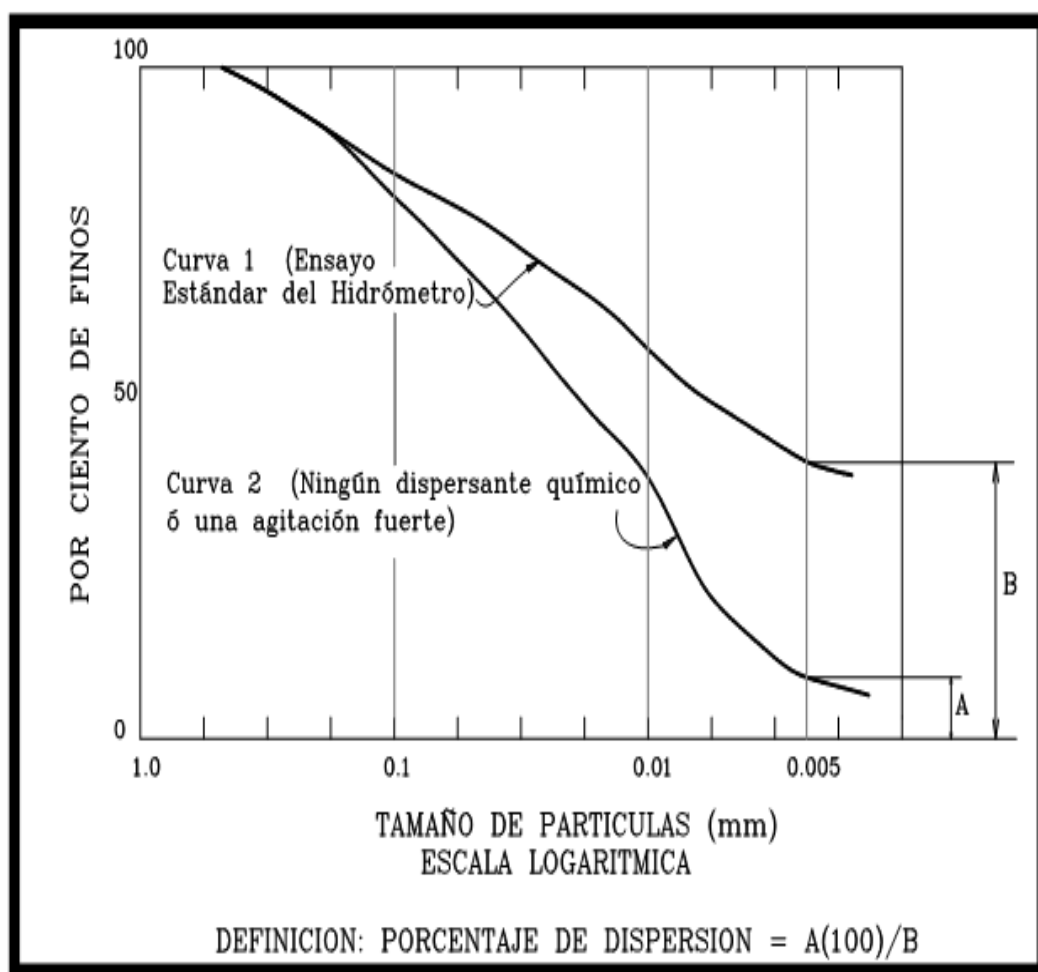


Figura 47. Representación de resultados de Doble Hidrómetro

EQUIPO UTILIZADO

- Probeta.
- Hidrómetro.
- Material fino.
- Tamiz #4.
- Mezclador.
- HexaMetaFosfato de Sodio.
- Termómetro.
- Tazas de porcelana.
- Espátula.
- Embudo.

PROCEDIMIENTO

Mediante la norma ASTM D4221, la prueba estándar para las características de arcilla del suelo dispersivo por el doble hidrómetro.

La prueba mide el porcentaje en peso seco de partículas de tamaño de arcilla en dos muestras de arcilla que se han preparado de manera diferente. Una muestra de arcilla se dispersa artificialmente mediante la adición de hexametáfosfato de sodio a la muestra y agitándola bien la suspensión. La otra muestra sólo se agita mientras se empapa de vacío para saturar la muestra, y se añade ningún agente dispersante artificial.

El porcentaje de tamaño de arcilla en cada muestra preparada de manera diferente se mide usando un hidrómetro. En esta prueba, el porcentaje de tamaño de arcilla se refiere al porcentaje, en peso seco, de una muestra que de partículas más finas que 0,005 milímetros. Un valor del porcentaje de dispersión se define como sigue:

$$\% \textit{Dispersion} = \frac{\% \textit{Arcilla (0.005 mm) sin agente dispersante}}{\% \textit{Arcilla (0.005 mm) con agente dispersante}} \times 100$$

Una modificación de la prueba de laboratorio está disponible para uso en el campo. Esta prueba es la prueba de turbidez de dilución. Procedimientos de prueba más detallados están disponibles a partir de SCS Laboratorios de Mecánica de Suelos. En esta prueba, el porcentaje de partículas de arcilla en suspensión no se mide directamente como lo es en la prueba del hidrómetro doble. Más bien, la turbidez de dos muestras, una preparada con un agente dispersante químico y el otro en estado natural, se compara.

La turbidez de la muestra dispersada químicamente se ajusta mediante dilución con unidad de agua destilada tiene la misma turbidez como la muestra que se prepara sin agente dispersante químico o agitación. Una relación de dilución expresa el volumen de la muestra diluida requerido para obtener igualdad de turbidez de la muestra preparada de forma natural. Si la muestra dispersada químicamente tiene la misma turbidez que el de la muestra natural sin dilución, una relación de dilución de 1 está implícita.



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado **ENSAYO** : Ensayo de Doble Hidrómetro
MATERIAL : Arcilla **RESPONSABLE** : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí **RECEPCIÓN** : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 23. Doble Hidrómetro Canal San Antonio MUESTRA #1 - #4

M #1			M #2			M #3		M #4
CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	
0.02951	48.70	0.0381	64.9	0.0288	52.6	0.0301	54.81	
0.01894	46.21	0.0244	61.6	0.0183	51.4	0.0190	54.81	
0.01119	42.28	0.0145	56.3	0.0107	49.7	0.0110	53.52	
0.00802	39.37	0.0103	54.4	0.0077	47.5	0.0081	47.93	
0.00580	35.85	0.0074	49.9	0.0055	46.4	0.0057	47.93	
0.00415	33.16	0.0053	47.0	0.0039	45.2	0.0041	46.64	
0.00298	30.67	0.0038	45.3	0.0027	45.2	0.0029	44.92	
0.00216	25.70	0.0027	43.0	0.0020	43.5	0.0021	40.84	
0.00155	24.87	0.0016	43.0	0.0011	42.3	0.0012	38.47	

Tabla 24. Doble Hidrómetro Canal San Antonio MUESTRA #5 - #9

M #5		M #6		M #8		M #9	
CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA	CORRESPONDIENTE (mm)	% ACUMULADA
0.0328	59.12	0.0341	61.3	0.0346	62.23	0.0302	54.97
0.0207	59.12	0.0216	61.3	0.0219	62.23	0.0191	54.97
0.0122	55.64	0.0125	61.3	0.0126	62.23	0.0110	54.97
0.0087	52.86	0.0088	61.3	0.0089	62.23	0.0078	53.46
0.0062	52.86	0.0063	59.9	0.0064	60.28	0.0056	51.74
0.0044	50.54	0.0045	57.3	0.0046	55.89	0.0040	50.88
0.0032	48.45	0.0032	55.1	0.0033	54.67	0.0029	47.86
0.0023	47.29	0.0023	53.6	0.0023	52.96	0.0021	42.68
0.0013	44.05	0.0013	52.2	0.0014	49.79	0.0012	40.96

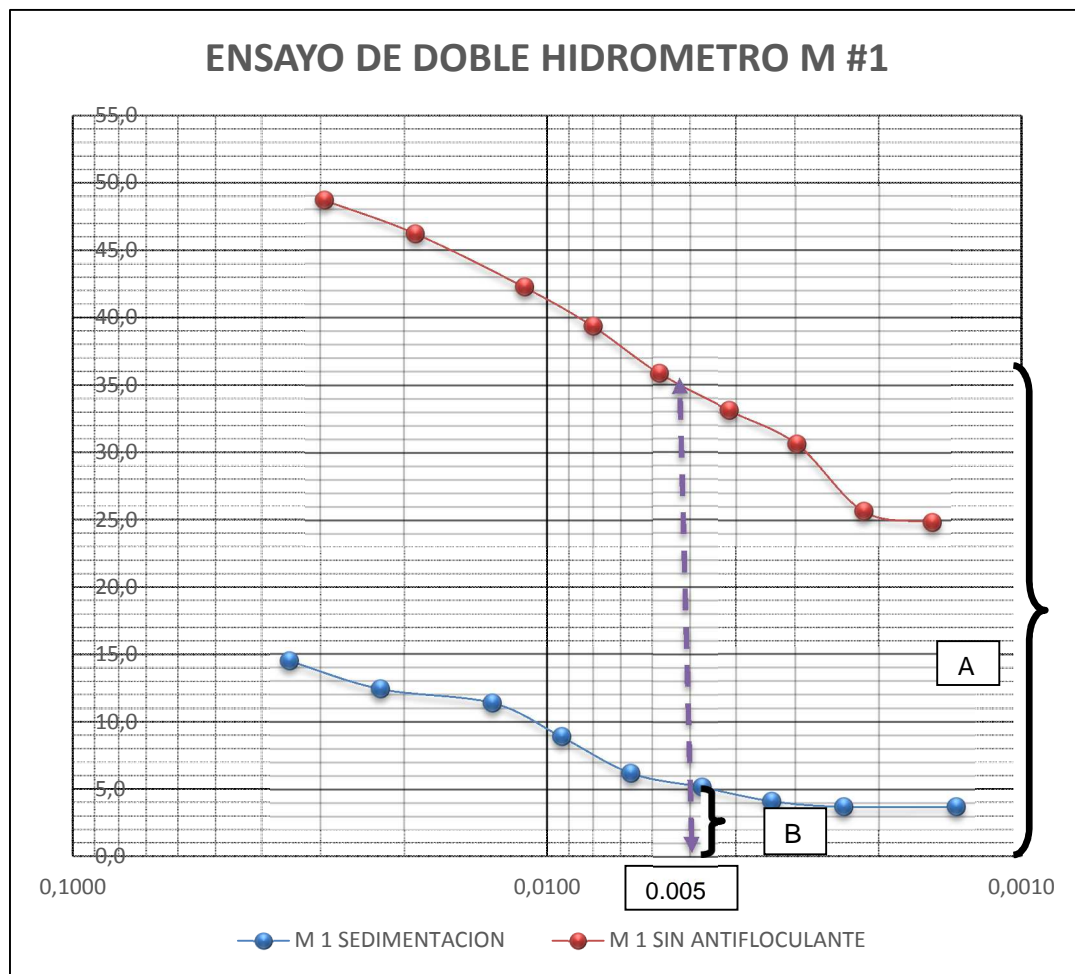


Figura 48. Representación de resultados de Doble Hidrómetro

$$\% \text{ DISPERSION} = \frac{A (100)}{B}$$

$$\% \text{ DISPERSION} = \frac{5.18 (100)}{34.5} = 15.63$$

De acuerdo a la tabla 22 con el valor de 15.63 es un valor menor que 30 por la tanto es un suelo no dispersivo.

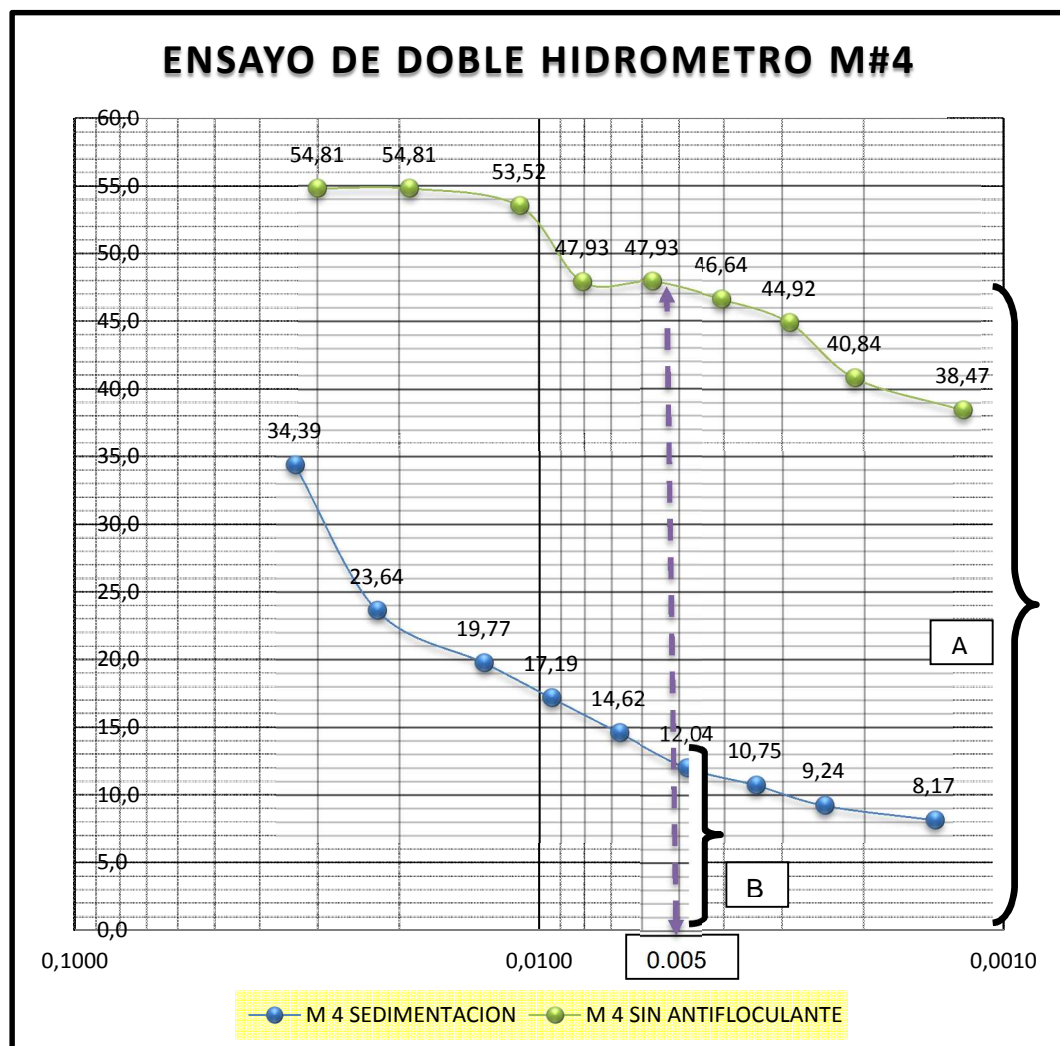


Figura 49. Representación de resultados de Doble Hidrómetro

$$\% \text{ DISPERSION} = \frac{A (100)}{B}$$

$$\% \text{ DISPERSION} = \frac{14.5 (100)}{48.0} = 30.21$$

De acuerdo a la tabla 22 con el valor de 30.21 es un valor mayor que 30 por la tanto es un suelo INTERMEDIO.

En la tabla 25 se muestra en resumen la evaluación de resultados del ensayo de Doble Hidrómetro de las muestras de la numero 1 a la numero 9.

Tabla 25. Evaluación de resultados Doble Hidrómetro Canal San Antonio
MUESTRA #1 - #9

# Muestra	A	B	$\% \text{ Dispersion} = \frac{A * 100}{B}$	Observación
1	5.18	33.16	15.62	No Dispersivo
2	4.77	47.01	10.15	No Dispersivo
3	9.33	46.42	20.09	No Dispersivo
4	13.07	48.00	28.00	Intermedio
5	13.45	50.54	26.61	No Dispersivo
6	12.04	57.30	21.01	No Dispersivo
8	19.28	55.89	34.50	Intermedio
9	19.62	51.74	37.92	Intermedio

2.5. Determinación de los tipos de suelos.

2.5.1. Identificación de suelos

El procedimiento consiste en clasificar el material en estudio según sus características granulométricas (tamaño y graduación) y de plasticidad (límite líquido e índice de plasticidad). Para ello, se seguimos el procedimiento general del "Sistema de Clasificación Unificado de Suelos", basado en el esquema de clasificación para aeropuertos desarrollado por A. Casagrande a principios de la década de 1940.

Este sistema propone nombrar a cada tipo de suelo según un símbolo de grupo. Este símbolo combina dos letras: la primera designa la fracción de suelo predominante en la muestra (G, S, M, C, O y Pt), definiendo así dos grandes grupos de acuerdo a su tamaño: suelos grueso-granulares (G, S), suelos fino-granulares (M, C y O). Aparte tenemos los suelos con importante contenido orgánico (Pt).

La segunda letra (W, P, H y L) designa datos relevantes del suelo: W y P tipifican a los suelos gruesos según se presenten bien o pobremente graduados; mientras que la denominación H y L se reserva a los suelos finos según manifiesten alta o baja plasticidad, respectivamente.

Además el sistema contempla una doble denominación cuando la porción de suelo fino sea lo suficientemente importante (entre un 5 y 12%) como para modificar sensiblemente las características del material (por ejemplo, GP-GM, CM-CL). Cuando los resultados de ensayos de laboratorio indican que el suelo está muy cercano a otro grupo en la clasificación de suelos, la condición límite puede indicarse con dos símbolos separados por una barra, por ejemplo, CL/CH, GM/SM, SC/CL. Los símbolos límites son particularmente útiles cuando el valor del límite líquido de los suelos arcillosos es cercano a 50. Estos suelos pueden tener características expansivas y el uso de un

símbolo límite (CL/CH, CH/CL), pondrá sobre aviso al usuario sobre el potencial expansivo.

Carta de plasticidad

Casagrande ideó un gráfico denominado Carta de Plasticidad para calificar a los suelos finos según sus valores de límite líquido e índice de plasticidad. Su uso es muy sencillo, se determina a cual zona del gráfico pertenece el punto definido por los valores antes indicados:

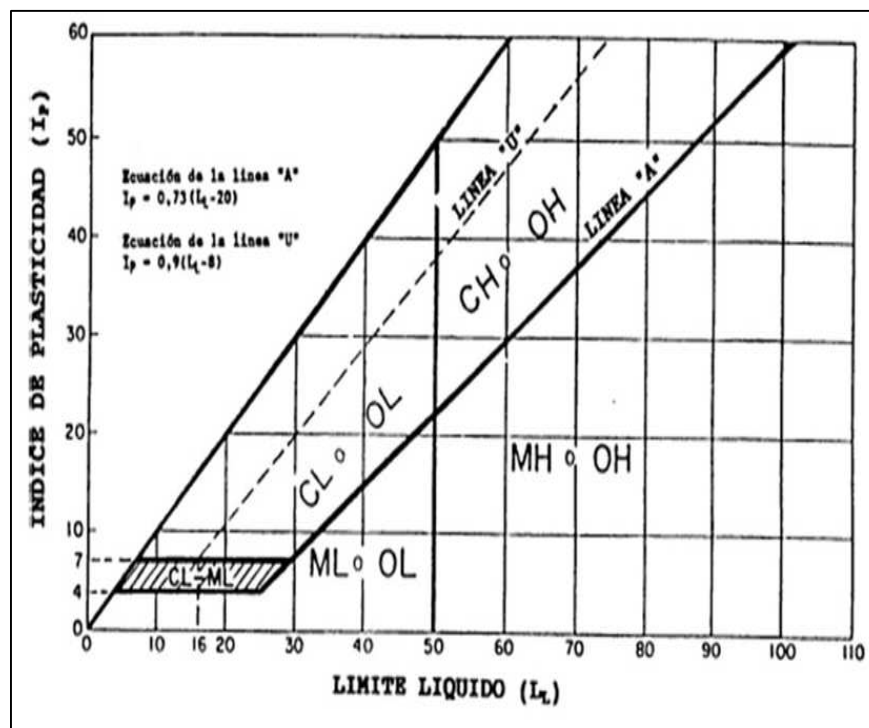


Figura 50. Carta de Plasticidad. (Ángel R.)

Fuente: (Das, 1999)

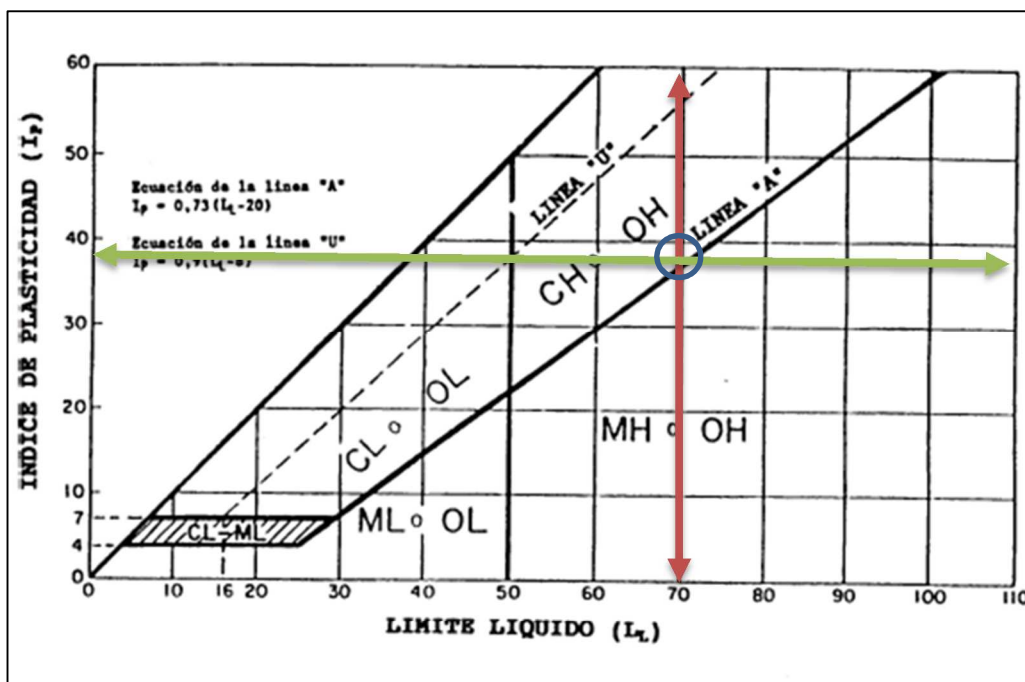


Figura 51. Clasificación de suelo con Carta de Plasticidad Muestra #1

Fuente: (Das, 1999)

		Símbolo	Nombres Típicos
<p>SUELOS DE PARTICULAS FINAS.</p> <p>MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR LA MALLA NÚMERO 200</p> <p>LAS PARTICULAS DE DIÁMETRO ENTRE LA MALLA N.º 800, SON APROXIMADAMENTE LAS MISMAS MEDIDAS VOLUMÉTRICAS A SIMPLE VISTA</p>	<p>LIMOS Y ARCILLAS</p> <p>LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50.</p>	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
		CL	Arcillas inorgánicas de bajo a medio plasticidad, arcillosos con grava, arcillosos arenosos, arcillosos limosos, arcillosos pobres.
	<p>LIMOS Y ARCILLAS</p> <p>LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50.</p>	OL	Limos orgánicos y arcillosos limosos orgánicos de bajo plasticidad.
		MH	Limos inorgánicos, limos microscópicos o diatomáceos, limos elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
	<p>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</p>	OH	Arcillos orgánicos de medio a alta plasticidad, limos orgánicos de alta plasticidad.
		PJ	Turbos y otros suelos altamente orgánicos.

Figura 52. Interpretación de símbolos de Carta de Plasticidad.

Fuente: (Das, 1999).

Tabla 26. Clasificación Método SUCS - Canal San Antonio MUESTRA #1 - #16

# Muestra	L L	Ip	Classification (SUCS)
1	70%	39%	OH
2	46%	17%	OL
3	62%	10%	MH
4	24%	18%	CL
5	77%	43%	OH
6	53%	27%	CH
8	57%	24%	MH
9	59%	30%	CH
10	56%	20%	MH
11	51%	17%	MH
12	50%	17%	OL
13	53%	11%	MH
14	51%	17%	MH
15	64%	40%	OH
16	59%	23%	MH

La clasificación de grano fino se hace en relación con el límite líquido y plástico, y se representa en el diagrama de plasticidad de Casagrande (figura 2.39). De acuerdo a esta descripción se tiene que en la clasificación SUCS la primera letra (M, C, O), corresponde al tipo de suelo, y la segunda a su característica de plasticidad, baja o alta (L o H): (Matilde G., 2001)

M: Corresponde a limo inorgánico, suelo de poca a casi nula plasticidad.

C: Corresponde a arcillas inorgánicas de plasticidad

O: Corresponde a limos o arcillas con gran componente orgánico.

En conclusión se tiene suelos limos arcillosos con alta compresibilidad y muy plásticos.

2.6. Determinación de las características físico – mineralógicas.

Mediante los diferentes ensayos mecánicos realizados en el laboratorio se determinó las características tanto físicas como mineralógicas obteniéndose los siguientes resultados:

Mediante el ensayo Granulométrico se determinó que del total de las 16 muestras obtenidas en el Canal San Antonio Manabí, todas pasan el tamiz N° 200 dando como resultado que en un 97% de las muestras son de agregados finos. Es por esta razón que se procedió a realizar el ensayo de Sedimentación, el cual consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas. Obteniendo como resultado que se los puede clasificar en limos y arcillas.

Otro ensayo físico muy importante es el ensayo de Contenido de Humedad obteniéndose valores desde 9% que es el valor más bajo al 32% como valor más alto. En cuanto al ensayo de Peso Específico tenemos valores de 2.04 (g/cm³) a 2.67 (g/cm³) los cuales reflejan la cantidad de agua que puede absorber el agregado fino cuando es sumergido por un periodo de 24 horas.

Otro factor físico muy importante es la consistencia, es por esto que se realizó los ensayos de Límites de Consistencia de Atterberg, teniendo como primer ensayo el Limite Liquido el cual permite conocer el contenido de humedad límite que tiene el suelo al pasar del estado líquido al plástico dando como resultado 24% y 77%. El Limite Plástico es el contenido de humedad límite que tiene el suelo para pasar del estado plástico al semisólido teniendo 6% como valor mínimo y 53% como valor máximo.

Con estos dos ensayos se procede a caracterizar las muestras mediante el Indice Plástico el cual mediante la resta porcentual del Límite Liquido y el

Limite Plástico se obtiene que los suelos son altamente plásticos con un Índice de Plasticidad mayor a 15.

Dentro de la mecánica de suelos un ensayo también importante es el de Permeabilidad el cual mediante sus resultados permite establecer de una manera más precisa el tipo de suelo que es, obteniéndose que corresponden a un Limo y arenisca Fina.

En la parte química el ensayo de Difracción de Rayos X permite conocer la estructura interna de los minerales y por lo tanto el medio más seguro para identificarlos, es por esa razón que al realizar este ensayo en la muestra #7 se obtuvo un 45% de grupo de plagioclasa, un 18% de cuarzo y un 13% de Muscovita, los cuales juegan un papel muy importante brindando plasticidad e impermeabilidad.

En cuanto al ensayo de Contenido de Materia Orgánica se puede decir que no poseen mayor cantidad debido a su coloración típica de suelos limo arcillosos, no obstante se tiene que mencionar que la muestra #2 de color oscuro si presenta un alto contenido de Materia orgánica característico de un suelo fértil.

Los ensayos anteriormente descritos ayudan en la identificación de los suelos dándonos sus propiedades características de cada material, es por esto que Casagrande ideó un gráfico denominado Carta de Plasticidad, el cual mediante el Limite Líquido (LL) y el Índice de Plasticidad (IP) se determina el tipo de suelo que pertenece. Obteniendo que la mayoría de las muestras son Suelos Limosos arcillosos con alta compresibilidad y muy plásticos.

Una vez definidos los tipos de suelos presentes en las muestras es importante realizar dos ensayos con un solo objetivo, demostrar si son o no dispersivos y estos son El ensayo de Crumb y de Doble Hidrómetro.

En cuanto al ensayo de Crumb es muy simple de realizar y se obtuvo que únicamente las muestras #4 y #9 son de grado 3 (dispersivo) moderada reacción.

Y mediante el ensayo de Doble Hidrómetro se obtuvo como resultado que las muestras #4, #8 y #9 tienen el Grado de Dispersión Intermedio corroborando con el ensayo de Crumb.

CAPITULO III:

MEJORAMIENTO DEL SUELO

3.1 La Cal

La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO_3) en óxido de calcio.

La cal hidratada; se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

La lechada de cal; es la suspensión de la cal hidratada en agua. Su empleo en tratamiento de suelo permite por un lado, evitar el polvo producido durante el extendido de cal y por otro, controla mejor la humedad de los suelos secos.

El uso vial más importante de la cal es el de estabilizar suelos, para estos fines se emplea la cal hidratada en polvo, que viene envasada en bolsas de papel facilitando de esta manera su manipuleo y transporte.

3.1.1 Generalidades sobre la cal

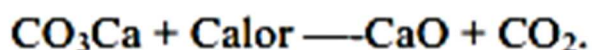
La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas a temperaturas entre 880 y 900 C, constituido principalmente por óxido de calcio (CaO) y otros componentes.

La adición de cal en los materiales arcillosos para terracerías, revestimientos, sub-base y bases, por sus diferentes reacciones, en mayor y menor grado, produce aumento en su límite líquido y mayor incremento en su límite plástico para generar así una disminución en su índice plástico; aumentando la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos y la resistencia a la compresión simple y el CBR.

Para el tratamiento de suelos se puede utilizar: cal viva (óxido de calcio – CaO), cal hidratada (hidróxido de calcio – Ca [OH]₂) o una lechada de cal (es una suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o de cal viva).

3.1.2 Cale viva

Son cales aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de magnesio producidas por calcinación de la caliza.



Se comercializan en grano (diferentes granulometrías) o molidas, incluso micronizadas.

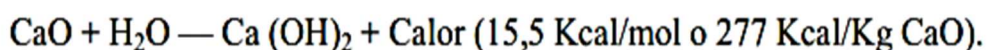
En contacto con el agua se hidratan siendo la reacción fuertemente exotérmica.

Cuando se utilizan calizas que también contienen en su composición carbonato de magnesio, una vez calcinadas se obtienen a la vez óxidos de calcio y de magnesio.

Si el porcentaje de óxido de magnesio es > 5%, la cal se denomina “cal dolomítica o dolomía calcinada” (hay que tener en cuenta en la estabilización de suelos, que la hidratación de la cal dolomítica es más lenta que el de la cal viva con porcentaje de óxido de magnesio <5%).

3.1.3 Cales hidráulicas

Son cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.



Este tipo de cal presenta menor reacción exotérmica que la cal viva al entrar en contacto con el agua. (Heber M., 2009)

3.2 Características Físicas de la cal.

Finura.

Es una característica importante en la medida que interviene en las condiciones de almacenamiento, transporte y mezcla con el suelo. La

hidratación de la cal viva con el agua produce la cal hidratada lo que lleva, además, una auto pulverización muy fina, incluso micronizada del producto. Además la finura puede intervenir en la reactividad de la cal. (Heber M., 2009)

3.2.1 Propiedades Físicas de la cal.

Color.

Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris, a veces un color rojizo debido al óxido de hierro que se encuentra en el yacimiento.

Densidad.

Esta propiedad depende de la temperatura de calcinación, cuando más alta es la temperatura de calcinación mayor será la densidad de la cal viva.

Dureza.

La dureza de las cales varía entre muy blandas y una dureza que se aproxima a la de la piedra original de donde se obtuvo. La dureza de la cal viva dependerá de la temperatura de calcinación.

Porosidad.

Depende del origen de la caliza y de las condiciones en que se lleve a cabo la calcinación. La porosidad en la cal viva es importante porque influye en la actividad química de la sustancia.

Plasticidad.

Es una propiedad física importante, la cual se define como la capacidad que posee una masa de cal para cambiar su forma cuando ésta es sometida a presión sin que se produzca la ruptura y para mantener la forma alterada.

3.3 Características químicas de la cal.**El contenido en óxido de calcio (CaO).**

Es el componente fundamental de la cal. Puede estar, en forma de óxido CaO en las cales vivas, en forma de hidróxido Ca (OH)₂ en la cal hidratada.

El contenido en óxido de magnesio (MgO).

Es igualmente interesante, ya que el óxido de magnesio (MgO) posee en general una acción análoga a la del óxido de calcio (CaO). De igual manera puede estar en forma de óxido (MgO), o como hidróxido (Mg (OH)₂).

Reactividad de la cal viva.

Indica la velocidad o cinética de la reacción de hidratación. Es función de las características físicas y químicas del producto y depende de la porosidad de la cal, del grado de calcinación, de la materia prima (caliza) utilizada y de la finura de la cal en el momento del ensayo.

3.4 Propiedades Químicas de la cal.

Impureza.

La composición química y las propiedades de la cal, depende de la naturaleza y cantidad de impureza de la piedra original.

Reacción de la cal con agua.

La cal viva reacciona vigorosamente con el agua formando hidróxido de calcio y hay desprendimiento de calor; a este proceso se le conoce como hidratación o apagado de la cal. Utilizando la cantidad de agua exacta necesaria para la hidratación, se obtiene cal hidratada.

Recarbonatación.

La humedad del aire cataliza la reacción entre el óxido de calcio y el dióxido de carbono del aire. La reacción general se produce mediante la formación del hidróxido de calcio que luego reacciona con el dióxido de carbono.

3.5 Recomendaciones existentes en la bibliografía

La adición de cal a un suelo con una fracción de partículas finas relevante modifica su comportamiento por una conjugación de sus propiedades, que en resume fundamentalmente en dos manifestaciones típicas:

- Una modificación de la textura del suelo; y
- Un incremento de su resistencia.

Estos hechos se producen en mayor o menor medida según el tipo de suelo, su análisis granulométrico y mineralogía, y el de la cal empleada, en función de su riqueza y actividad. Su justificación está en la alteración del estado natural de ambos materiales por las reacciones químicas que se producen en la interacción de sus estructuras. (Juan D., 2003)

En la construcción de carreteras, el aprovechamiento de los suelos naturales de la traza puede presentar dificultades debido a:

- El alto contenido de agua,
- La presencia de arcilla en los mismos,
- A la combinación de ambos elementos.

La importancia del contenido de agua es conocida por todos ya que, si es demasiado elevado, hace que la circulación de máquinas en obra sea difícil cuando no imposible y si es demasiado bajo la compactación resulta una operación difícil. Los materiales que tienen arcillas en su composición, son conocidos por sus mediocres propiedades geotécnicas que, además, varían según las condiciones climáticas.

3.5.1 Mecanismos de interacción de la cal sobre un suelo

En la mezcla de la cal con un suelo arcilloso se producen dos tipos de reacción que se pueden agrupar según sus manifestaciones en:

- Una modificación “inmediata” de las condiciones de granulometría, textura y compacidad originada por:
 - Intercambio de iones entre la arcilla y la cal
 - Floculación de las partículas de arcilla
 - Reducción de la cantidad de agua adsorbida por la arcilla

- Una mejora de las características resistentes del suelo a medio y largo plazo, producida por:
 - Reacción puzolánica de cementación
 - Carbonatación.

Una primera diferencia entre ambos grupos de mecanismos es, su carácter temporal, ya que las modificaciones de texturas son casi inmediatas, mientras que las resistentes suelen conllevar un plazo mayor. (Juan D., 2003)

La segunda diferencia consiste en su generalización. Mientras que el primer grupo de modificaciones es aplicable a casi todos los tipos de suelos arcillosos, las mejoras de resistencia se producen en mayor o menor medida, o incluso no llegan a ocurrir, en función de la mineralogía y tipos de suelos.

3.5.2 Cales utilizadas para la estabilización de suelos.

Las cales utilizadas en la estabilización de suelos son Cales Aéreas. Estas presentan las siguientes formas:

3.5.2.1 Cal en forma de lechada

Es la suspensión de cal hidratada en agua, también puede obtenerse a partir de la cal viva que al mezclarla con agua dará cal hidratada, formándose a continuación con el resto del agua la suspensión de lechada de cal.

La cal puede ser utilizada bajo forma de lechada en el tratamiento de los suelos cuando se quieran conseguir las siguientes ventajas:

- Supresión del polvo producido en el extendido de la cal,
- Humidificación de los suelos secos.

La lechada de cal puede ser preparada en la fábrica o in situ, en depósitos o cubos equipados de un sistema de agitación, a partir de cal viva o de cal hidratada. Una vez preparada la misma, ésta se aplica directamente sobre el suelo.

3.6 Diseño de pruebas de mejoramiento

Para el diseño de las pruebas de mejoramiento se realizó el ensayo de Compactación y el ensayo Triaxial, con la muestra #9 del Canal San Antonio,

la cual mostro un grado de Dispersión Intermedio. Posteriormente se realizó los 2 ensayos ya mencionados pero con el aumento de Cal para de esta manera comparar los resultados obtener conclusiones y recomendaciones.

3.6.1 Ensayo de Compactación (ASTM D1557-02)

La Compactación es la operación o procedimiento de estabilización mecánica, cuyo objetivo fundamental es aumentar la Densidad del suelo, por medio de una mayor aproximación de sus partículas, lo que se consigue con una disminución del Índice de Vacíos. Además mueve las partículas de suelo, reacomodándolas más cerca, unas de otras, y obliga a salir el aire que estaba atrapado entre ellas.

Mediante el proceso de Compactación del suelo se persiguen los siguientes objetivos prácticos:

- Aumentar la Resistencia a la Compresibilidad y al Corte.
- Obtener de mayor uniformidad y homogeneidad.
- Conseguir que el suelo sea menos susceptible a las variaciones de humedad.

Al incrementar la densidad, el suelo es más capaz de soportar una carga, sin asentarse ni ahuellarse.

El ensayo de compactación en el laboratorio proporciona la base para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua necesarios para conseguir las propiedades geotécnicas requeridas. (Grupo de Geotecnia)

EQUIPO UTILIZADO

- Molde Metálico.
- Martillo con un peso adecuado de acuerdo al método de Compactación (10lbs).
- Balanza.
- Horno.
- Taras.

Se determina el Peso Específico Húmedo y el Peso Específico Seco de cada muestra antes de la compactación, mediante las siguientes expresiones:

$$\gamma_h = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \%h}$$

Donde:

W = Peso húmedo de la muestra compactada.

V = Volumen del molde

%h = Contenido de Humedad.

Además se determina el Contenido de Humedad antes de la Compactación, de la siguiente forma:

$$\%h = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} * 100$$

Con los valores de Contenido de Humedad y Peso Específico Seco de cada muestra, se traza la Curva de Compactación, como se muestra a continuación:



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado **ENSAYO** : Ensayo de Compactación Sin cal

MATERIAL : Arcilla **RESPONSABLE** : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí **RECEPCIÓN** : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 27. Ensayo de Compactación M # 9

DATOS PARA LA CURVA								
PUNTO	1		2		3		4	
DENSIDAD								
suelo húmedo + molde (g)	5920		6010		6052		6014	
molde (g)	4281		4281		4281		4281	
suelo húmedo (g)	1639		1729		1771		1733	
Vol del molde (cm ³)	947		947		947		947	
Den húmeda (g/cm ³)	1.731		1.826		1.870		1.830	
Den seca (g/cm ³)	1.441		1.480		1.472		1.400	
HUMEDAD								
Tara No.	B6	A4	A2	B3	B2	A3	B5	B1-1
tara + suelo húmedo (g)	32.3	33.2	36.6	31.0	27.2	24.6	29.6	34.0
tara + suelo Seco (g)	29.6	30.3	32.7	28.1	24.9	22.7	26.4	29.4
Peso de agua (g)	2.7	2.9	3.9	2.9	2.3	1.9	3.2	4.7
Peso del tara (g)	16.2	16.0	15.8	16.0	16.2	16.0	16.3	14.0
Peso del suelo seco (g)	13.4	14.3	16.9	12.1	8.7	6.7	10.1	15.4
Cont de agua (%)	19.97%	20.25%	23.16%	23.60%	26.20%	27.83%	31.23%	30.28%
Cont promedio (%)	20.11%		23.38%		27.01%		30.75%	

Tabla 28. Descripción del ensayo de Compactación

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	Peso inicial muestra
5	25	10 lb	18"	3087

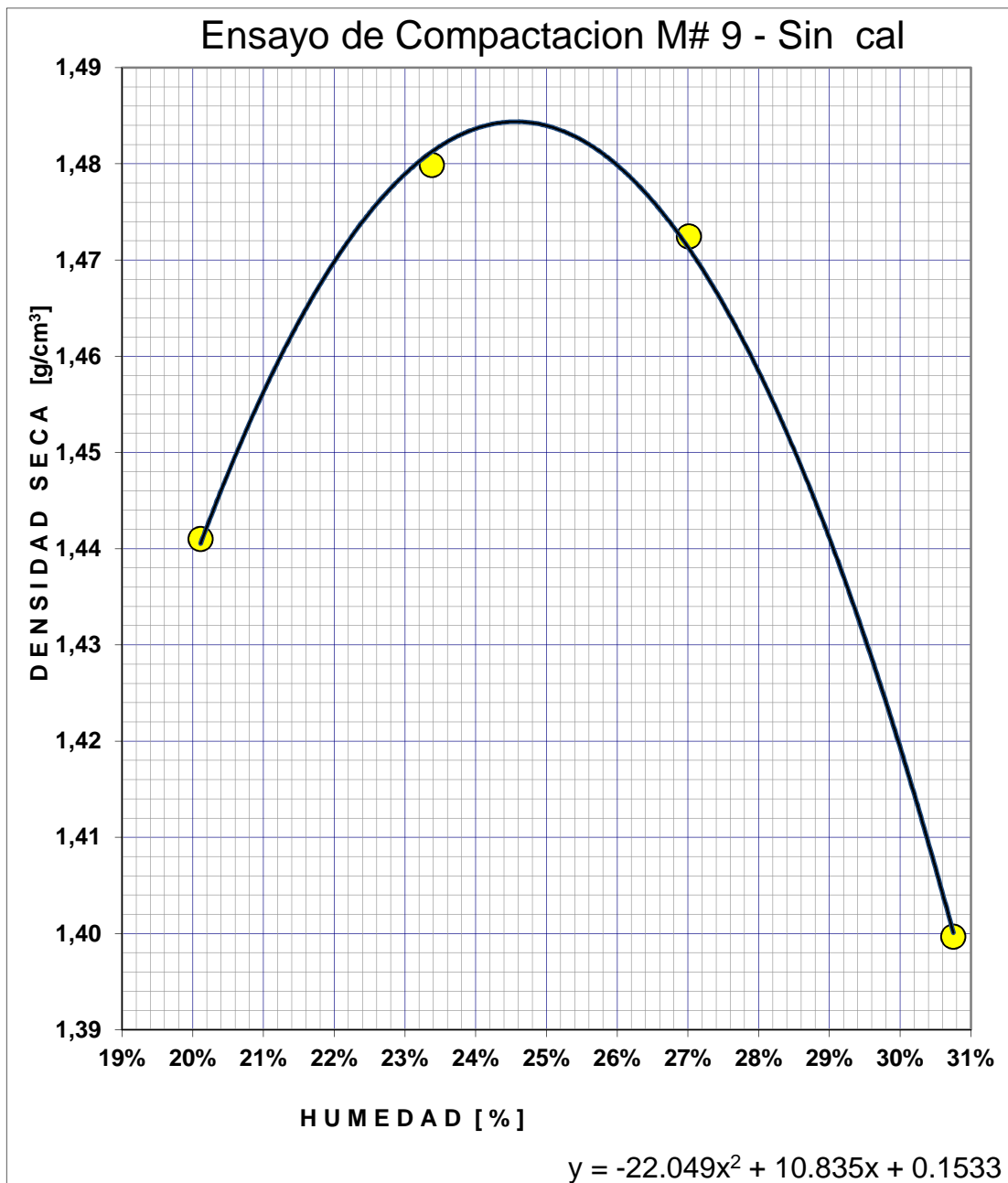


Figura 53. Representación de resultados de Compactación

Tabla 29. Resultados del ensayo de Compactación

Densidad Máxima:	1.484	g/cm³
Humedad óptima:	24.57%	%

En la figura 53 ilustra el efecto de la humedad en la densidad del suelo. Muestra que el contenido óptimo de humedad corresponde a la mayor densidad seca. A medida que se incrementa la humedad, yendo de cero hacia el porcentaje óptimo, se incrementa la densidad. Si se adiciona mucha humedad al suelo, se reduce su densidad y no se alcanzará el nivel de densidad óptima. La relación entre la densidad del suelo, y la humedad óptima, varía según el tipo de suelo. De acuerdo con la tabla 29 con una densidad de 1.484 g/cm³ se obtuvo una Humedad óptima de 24.57%.



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado **ENSAYO** : Ensayo de Compactación Con cal
MATERIAL : Arcilla **RESPONSABLE** : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí **RECEPCIÓN** : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 30. Resultados del ensayo de Compactación más cal

DATOS PARA LA CURVA								
PUNTO	1	2	3	4	5	6	7	8
DENSIDAD								
suelo húmedo + molde (g)	4867	5018	5098	5004				
molde (g)	3330	3330	3330	3330				
suelo húmedo (g)	1537	1688	1768	1674				
Vol molde (cm3)	947	947	947	947				
D húmeda (g/cm3)	1.623	1.783	1.867	1.768				
D.seca (g/cm3)	1.393	1.487	1.516	1.387				
HUMEDAD								
Tara No.	B6	A4	A2	B3	B2	A3	B5	B1-1
tara + suelo húmedo (g)	37.7	45.0	39.1	38.3	53.1	41.1	54.9	41.8
tara suelo seco (g)	34.4	40.7	35.0	34.1	45.4	35.6	45.7	35.4
Peso de agua (g)	3.3	4.3	4.1	4.2	7.7	5.5	9.2	6.5
Peso del tara (g)	14.4	14.4	14.3	13.2	12.2	11.7	13.2	11.2
suelo seco (g)	20.0	26.3	20.7	20.9	33.2	23.9	32.5	24.2
Cont de agua (%)	16.73%	16.31%	19.58%	20.21%	23.27%	23.12%	28.15%	26.71%
Contenido promedio (%)	16.52%	19.89%	23.19%	27.43%				

Tabla 31. Descripción del ensayo de Compactación

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	Peso inicial muestra
5	25	10 lb	18"	2498

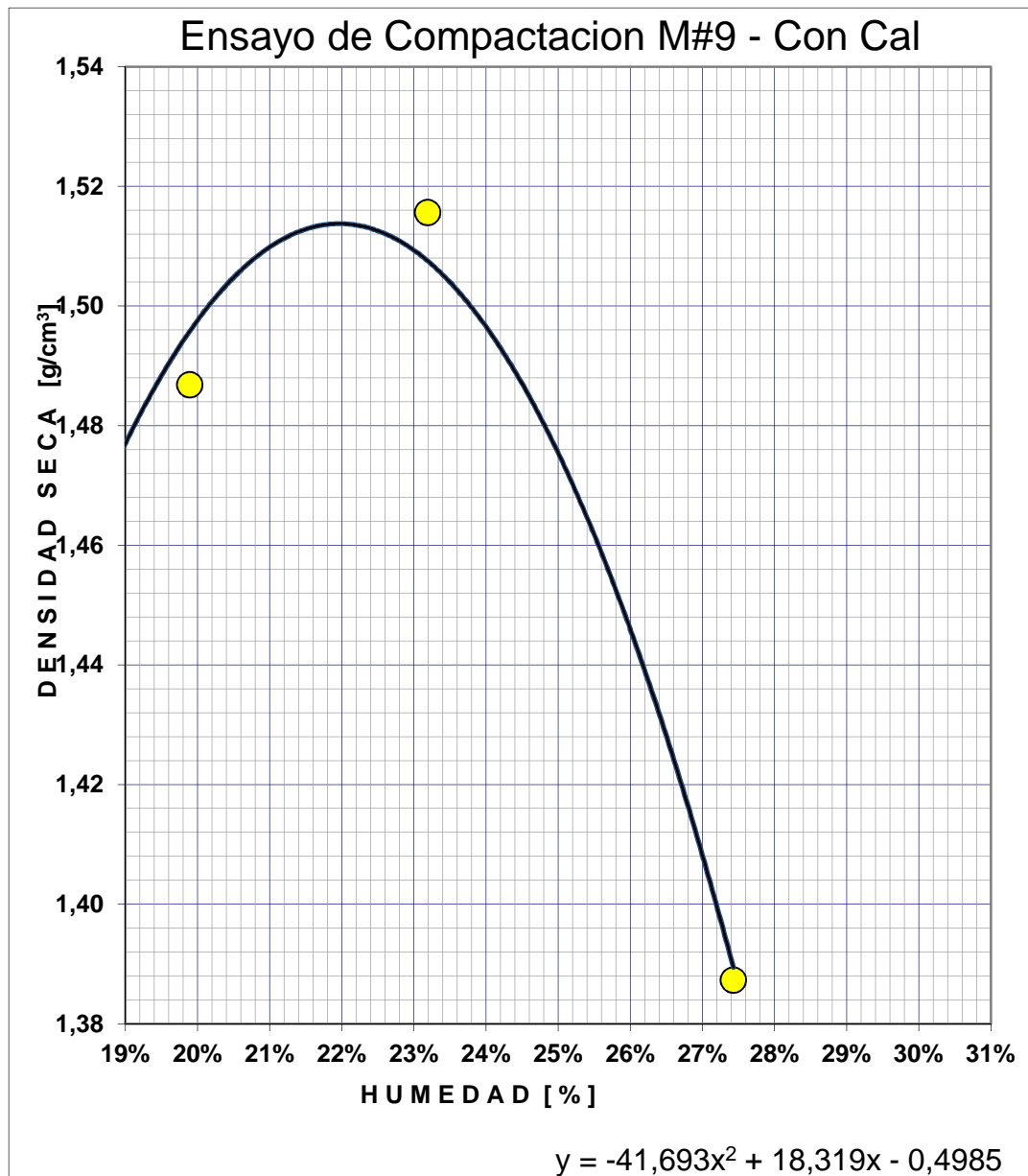


Figura 54. Ensayo de Compactación más cal

Tabla 32. Resultados del ensayo de Compactación con Cal.

Densidad Máxima:	1.514	g/cm³
Humedad óptima:	21.97%	%

Al tener muy poca humedad implica una reducción en la densidad; demasiada humedad también significa una reducción en la densidad. Todos los suelos tienen una densidad óptima; esto quiere decir un balance entre el contenido de agua y el peso por unidad de volumen.

Al comparar los resultados de la muestra #9 con y sin cal se obtiene que al adicionar la cal la densidad aumento de 1.484 g/cm^3 a 1.514 g/cm^3 , por lo contrario en la muestra con cal disminuyo la Humedad optima de 24.57% a 21.97%.

3.6.2 Ensayo Triaxial (ASTM D 2850)

Este método cubre la determinación de la resistencia a la compresión no – consolidada de especímenes cilíndricos de suelos cohesivos en condiciones inalteradas, remoldeadas o compactadas, utilizando la aplicación de deformaciones controladas o esfuerzos controlados de la carga de compresión axial, donde el espécimen está sujeto a la presión de confinamiento de un fluido en una cámara Triaxial. El método proporciona la medición de esfuerzos totales aplicados al espécimen, es decir, los esfuerzos no son corregidos por la presión de poros.

El ensayo Triaxial es uno de los métodos más confiables que proporciona datos para la determinación de las propiedades de resistencia y las relaciones esfuerzo – deformación de los suelos.

En el ensayo Triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. En estas pruebas se pueden variar las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre el espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Los especímenes usualmente están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua.

El ensayo se divide en dos etapas:

- ✓ La primera, en la que la probeta de suelo es sometida a una presión hidrostática de fluido, con esfuerzos verticales iguales a los horizontales. Durante esta etapa, se dice que la probeta es "consolidada" si se permite el drenaje del fluido de los poros. Alternativamente, si el drenaje no puede ocurrir se dice que la probeta es "no consolidada".
- ✓ En la segunda etapa, llamada de aplicación del *Esfuerzo Desviador*, se incrementan los esfuerzos verticales (desviadores) a través del pistón vertical de carga, hasta la falla. En esta etapa el operador tiene también la opción de permitir el drenaje y por lo tanto eliminar la presión neutra o mantener la válvula correspondiente cerrada sin drenaje. Si la presión neutra es disipada se dice que el ensayo es "drenado", en caso contrario se dice que el ensayo es "no drenado".
- ✓ Una vez realizado el ensayo Triaxial se procede a realizar los gráficos a través del siguiente procedimiento:

- ✓ Con los resultados obtenidos y codificados, se construye, para cada esfuerzo confinante (σ_3), una gráfica a escala aritmética; ubicando, en las abscisas las deformaciones unitarias (ϵ), en porcentaje, y en las ordenadas el esfuerzo desviador ($\Delta\sigma$), en Kg/cm².
- ✓ La gráfica permite determinar el Esfuerzo Desviador de falla ($\Delta\sigma$) para cada esfuerzo confinante (σ_3), aplicado a la probeta.
- ✓ Con los esfuerzos desviadores de falla, correspondientes a cada esfuerzo confinante (σ_3), se determina (σ) y se obtiene el centro y radio de los correspondientes círculos de Mohr, mediante las siguientes expresiones:

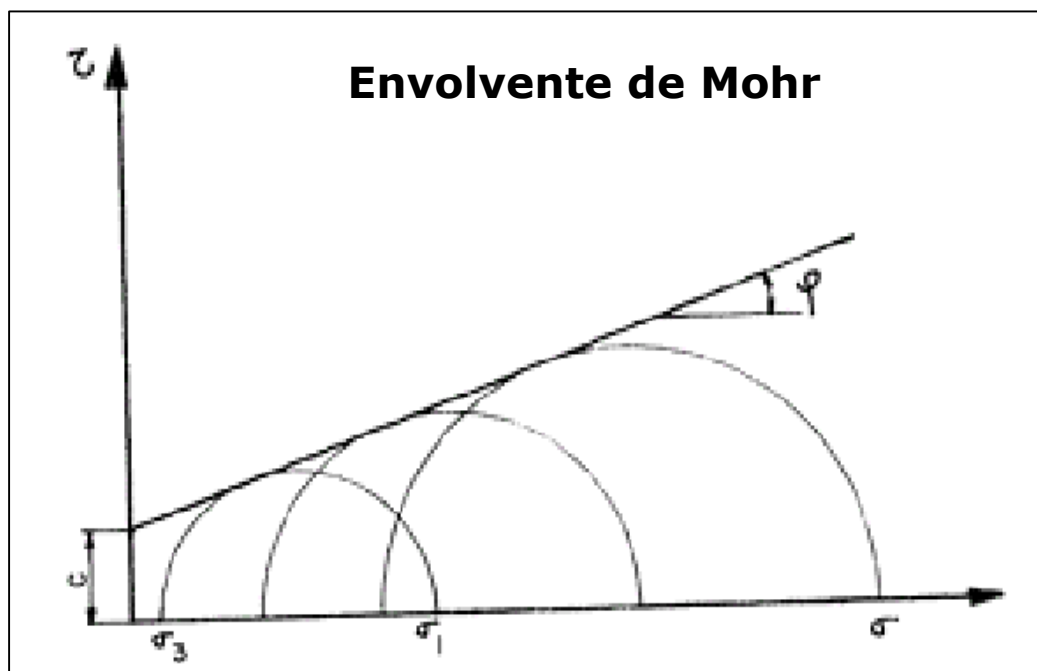
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f$$

$$\text{Centro} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$\text{Radio} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

- ✓ Trazar los Círculos de Mohr, para ello, elegir una escala de esfuerzos. A partir del origen y sobre el eje de las abscisas, llevar el valor del esfuerzo confinante (σ_3), y desde este punto marcar el valor del esfuerzo desviador de falla ($\sigma_1 - \sigma_3$); este valor es el diámetro del círculo; por lo tanto, con centro en el punto medio del segmento así determinado, trazar el semicírculo correspondiente.
- ✓ Una vez trazados los semicírculos del estado de esfuerzos de falla de todas las probetas ensayadas, dibujar la envolvente que mejor se ajuste a ellos, esta recibe el nombre de Línea de Resistencia

- ✓ Intrínseca o Envolvente de Mohr y representa aproximadamente, la variación de la resistencia al esfuerzo cortante en función de los esfuerzos normales aplicados.
- ✓ El Ángulo de Fricción Interna del suelo (ϕ), es el que forma la envolvente con la horizontal (abscisas) y se determina en la gráfica por la pendiente de la envolvente. El valor de la cohesión (c), está dado por la ordenada al origen de dicha envolvente, medida a la misma escala con que se trazaron los círculos.



Círculos de Mohr

Figura 55. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado ENSAYO : Ensayo Triaxial Sin Cal
MATERIAL : Arcilla RESPONSABLE : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 33. Resultados del Ensayo Triaxial Sin Cal

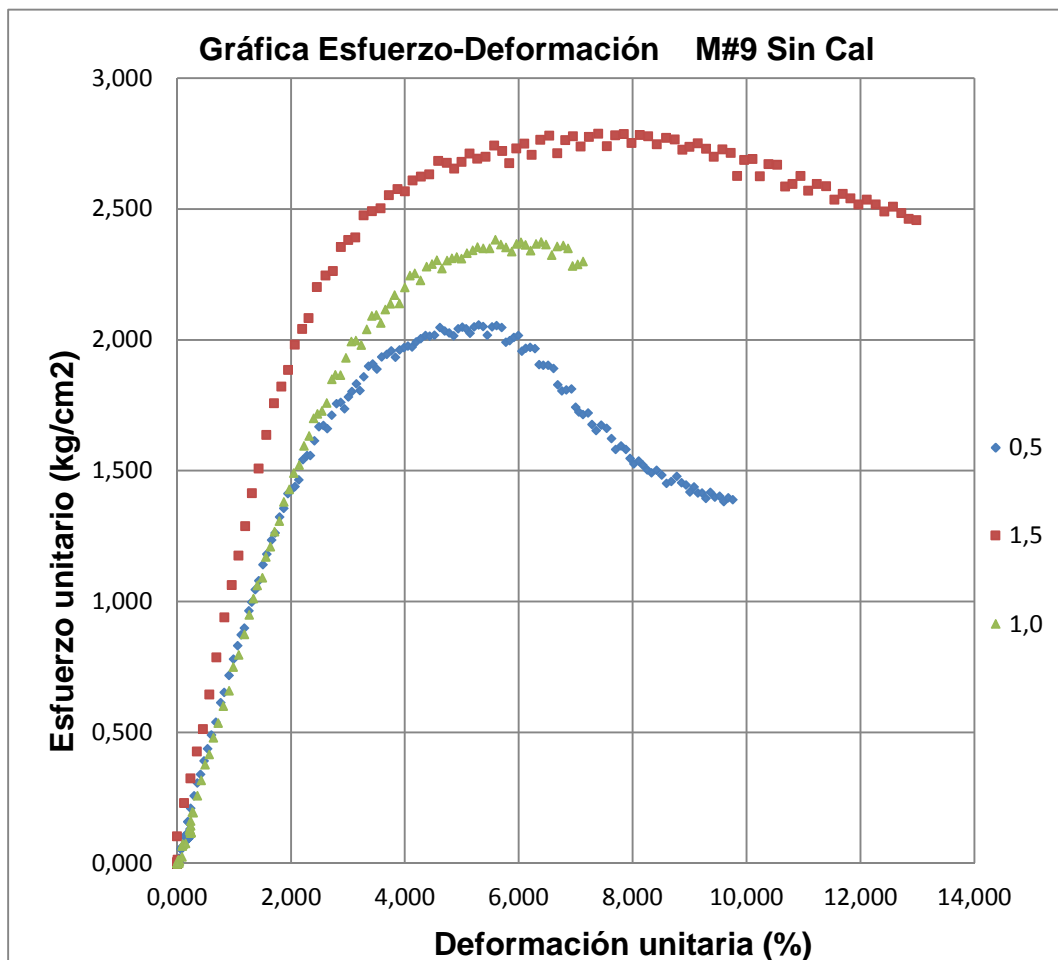


Figura 56. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr

Entonces se obtiene el valor del Esfuerzo Máximo de Rotura, que nos permitirá graficar los Círculos de Mohr para cada probeta y determinar ϕ y c como se muestra a continuación:



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado ENSAYO : Ensayo Triaxial Sin Cal
MATERIAL : Arcilla RESPONSABLE : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 34. Circulo de Mohr M#9 Sin Cal

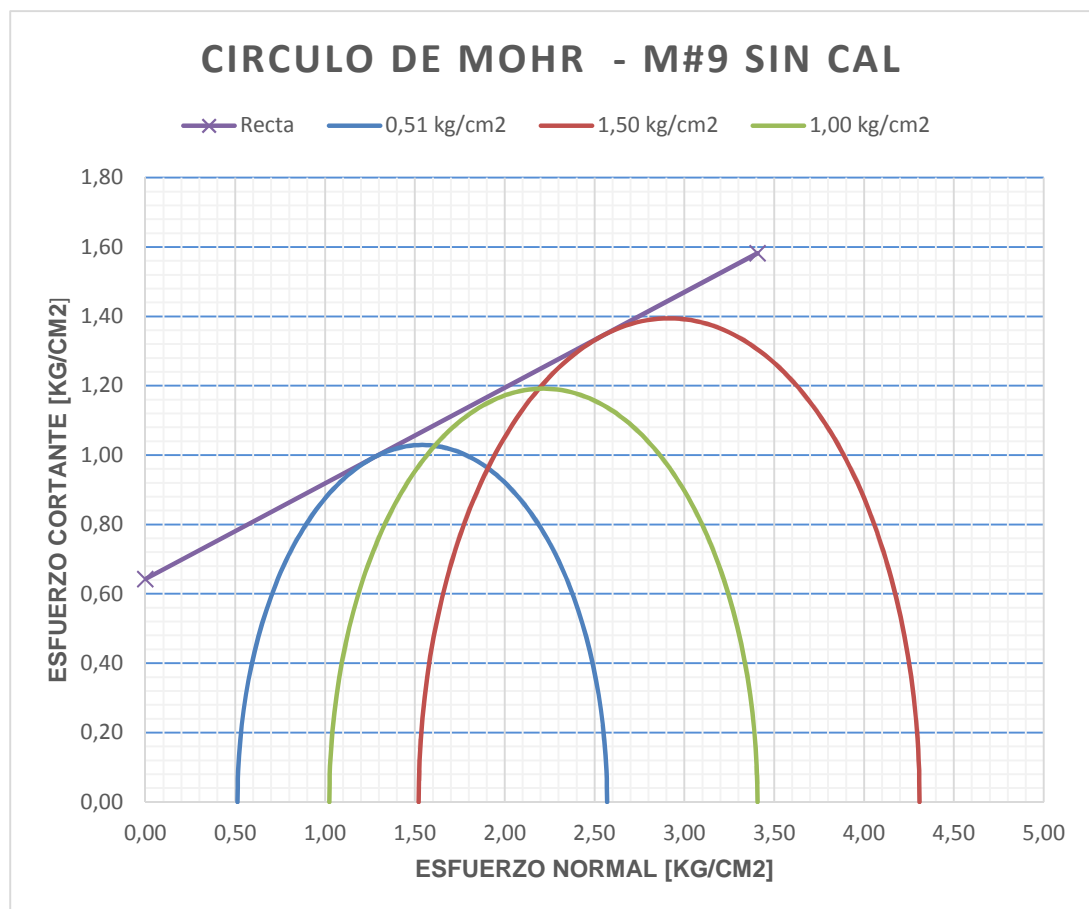


Figura 57. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr

Finalmente se muestra una tabla que contiene los datos de Cohesión y el Angulo de Rozamiento Interno.

Tabla 35. Datos obtenidos del Ensayo Triaxial M#9 – Sin Cal

DATOS DEL CÍRCULO DE MOHR			
σ_1	2.57 kg/cm ³	4.31 kg/cm ³	3.41 kg/cm ³
σ_3	0.51 kg/cm ³	1.52 kg/cm ³	1.02 kg/cm ³
Esfuerzo desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$)	2.06 kg/cm ³	2.79 kg/cm ³	2.38 kg/cm ³

Ángulo de fricción:	15.41 °	Compresión no confinada:	1.73 kg/cm²
Cohesión:	0.64 kg/cm ²		



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado

ENSAYO : Ensayo Triaxial Con Cal

MATERIAL : Arcilla

RESPONSABLE : Cesar Acuña

UBICACIÓN : San Antonio, Manabí

RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 36. Resultados del Ensayo Triaxial Con Cal

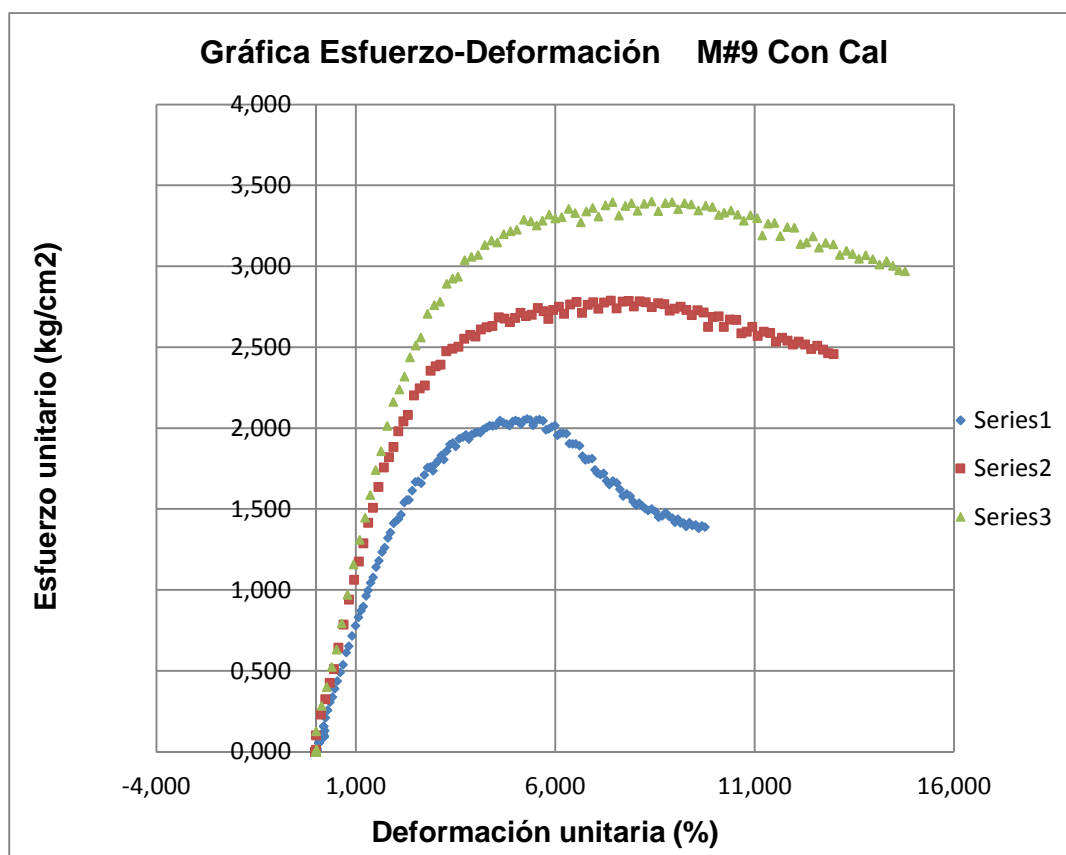


Figura 58. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr

Entonces se obtiene el valor del Esfuerzo Máximo de Rotura, que nos permitirá graficar los Círculos de Mohr para cada probeta y determinar ϕ y c como se muestra a continuación:



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO : Tesis de Grado ENSAYO : Ensayo Triaxial Con Cal
MATERIAL : Arcilla RESPONSABLE : Cesar Acuña
UBICACIÓN : San Antonio, Manabí RECEPCIÓN : Ing. Hugo Bonifaz

Tabla 37. Circulo de Mohr M#9 Con Cal

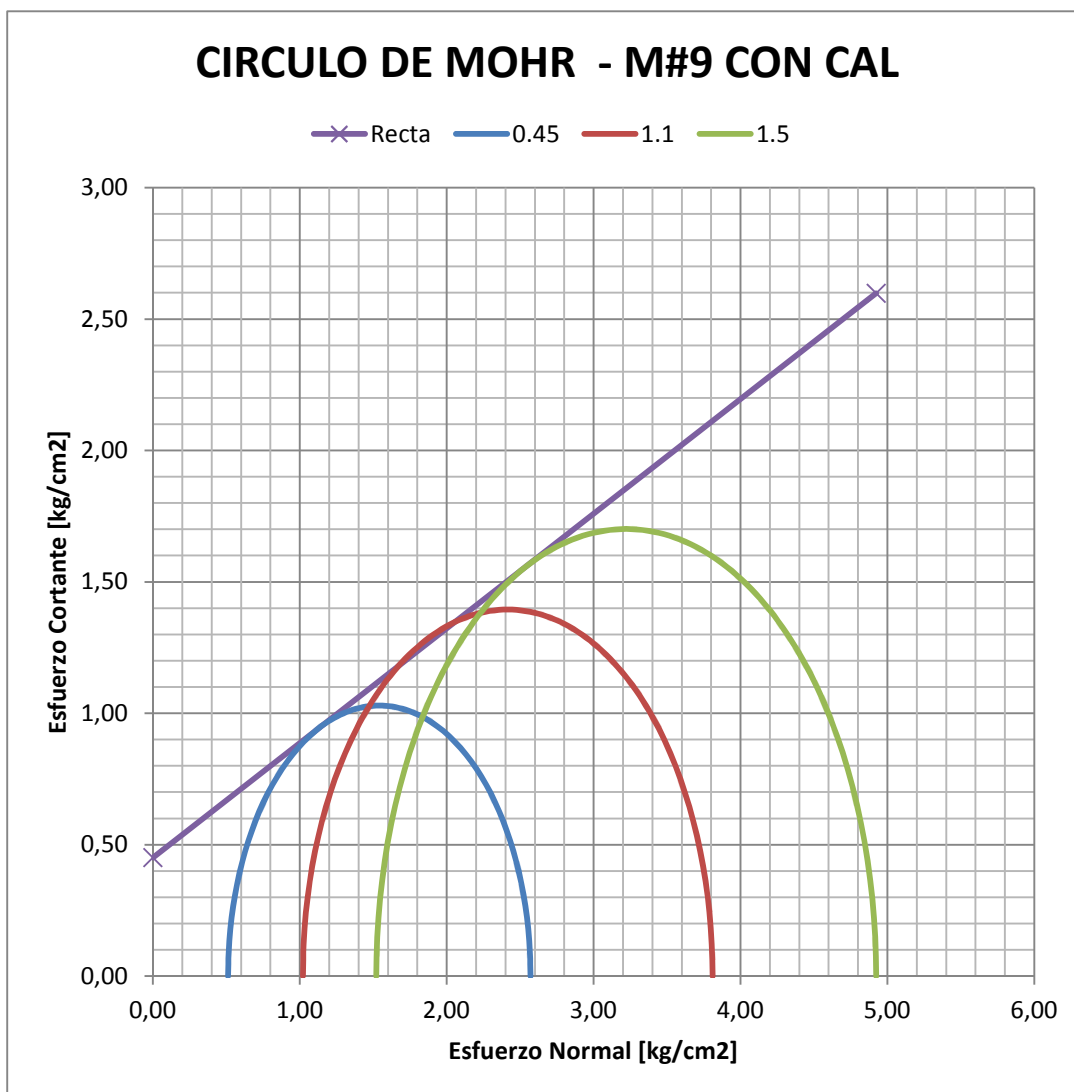


Figura 59. Ensayo Triaxial – Círculos de Mohr

Finalmente se muestra una tabla que contiene los datos de Cohesión y el Angulo de Rozamiento Interno.

Tabla 38. Datos obtenidos del Ensayo Triaxial M#9 – Con Cal

DATOS DEL CÍRCULO DE MOHR			
σ_1	2.57 kg/cm ³	3.81 kg/cm ³	4.92 kg/cm ³
σ_3	0.51 kg/cm ³	1.02 kg/cm ³	1.52 kg/cm ³
Esfuerzo desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$)	2.06 kg/cm ³	2.79 kg/cm ³	3.40 kg/cm ³

Ángulo de fricción:	23.56 °
Cohesión:	0.45 kg/cm ²

3.7 Análisis de resultados

Al realizar una comparación del ensayo Triaxial de la muestra #9 Con Cal y Sin Cal es evidente la diferencia, en cuanto al ángulo de fricción interna la muestra sin cal tiene un valor de 15.41° aumento su valor al añadir cal en la muestra obteniendo un valor de 23.56°.

En cuanto a la cohesión la muestra #9 Sin cal tiene un valor de 0.64 kg/cm² y notándose una disminución en la muestra #9 ensayada con Cal con una valor de 0.45 kg/cm².

Como consecuencia de la combinación de los mecanismos descritos en el apartado anterior, la aplicación de la cal a un suelos arcilloso origina una modificación en las propiedades físicas características de su comportamiento inicial.

Un efecto adicional importante que se produce en la aplicación de la cal a suelos arcillosos es la modificación de su granulometría. Este hecho se justifica en los mecanismos de floculación y aglomeración de las partículas que se originan por el intercambio iónico en la superficie de las mismas.

CAPITULO IV:

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ A través de la recolección de 15 muestras en el Canal san Antonio de la provincia de Manabí se determinó la presencia, características físicas y el comportamiento mecánico de las arcillas dispersivas.
- ✓ Mediante los ensayos de Granulometría y Sedimentación se obtuvo que el material que compone este tipo de suelos son limos y arcillas, provocando que exista una mayor probabilidad de deslizamiento.
- ✓ La clasificación de grano fino se realizó en relación con el límite líquido y plástico, y es representado en el diagrama de plasticidad de Casagrande. De acuerdo a esta descripción se tiene que el suelo es Limo Arcilloso con alta compresibilidad y muy plásticos, provocando que la velocidad del drenaje de agua sea muy lento.
- ✓ Respecto al ensayo de Ph se concluye que es un suelo con un bajo contenido de bases, por lo que puede presentar deficiencias de Calcio, magnesio, fosfatos, molibdeno y boro.

- ✓ Los resultados de difracción de rayos X evidencian que la muestra número 7 tiene alto contenido del grupo plagioclasas, cuarzo, muscovita, pirofilita, y caolinita.
- ✓ Para la determinación de la dispersividad de las arcillas se realizó dos ensayos específicos, el primero es el ensayo de Crumb obteniendo que las muestras número 4 y 9 son de grado 3(dispersivo) moderada reacción. Y mediante el segundo ensayo que es el de Doble Hidrómetro se obtuvo que las muestras número 4,8 y 9 son intermedias, afirmando que el Canal San Antonio, Manabí presenta características dispersivas.
- ✓ Los resultados del ensayo Triaxial indican que mediante la adición de Cal en la muestra número 9 aumento el valor del ángulo de rozamiento interno, lo que genera que tenga mayor estabilidad.
- ✓ Al añadir la cal en la muestra número 9 se evidencio que disminuyo el valor de la Cohesión esto comprobado mediante el ensayo Triaxial.
- ✓ De acuerdo al estudio realizado en las 16 muestras recolectadas es muy notable que el 38% de las muestras son dispersivas.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar la investigación mediante otro tipo de estabilización ya que dado la cantidad de ensayos necesarios para la determinación de los tipos de suelo son varios, implicando mayor tiempo para dar un tipo de solución.
- ✓ Se recomienda continuar la investigación con la realización del ensayo de Pinhole para de esta manera tener un análisis más profundo sobre las arcillas dispersivas.
- ✓ Tomar muy en cuenta la propiedad de dispersividad en los estudios que se realizan especialmente en los suelos de la costa ecuatoriana.
- ✓ Dotar de nuevos equipos al laboratorio de Mecánica de Suelos para simplificar los procesos de análisis y de esta manera realizar los ensayos con mayor efectividad, eficiencia y eficacia.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Hilda Garay Porteros, Jorge E. Alva Hurtado, Identificación y ensayos en suelos dispersivos .pdf
- ✓ Laboratorio Geotécnico CISMID - Ponencia presentada en el XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 16 al 20 de Noviembre de 1999, Huánuco.
- ✓ Pedro Alejandro orbe sabay – análisis de la inhibición de las arcillas reactivas y tutitas inestables de las formaciones ortegueza, tiyuyacu, tena y napo (shale) con fluidos base amina en un campo del oriente ecuatoriano Quito, junio 2009
- ✓ Juárez B, Rico R. (2004), Mecánica de suelos, Tomo III Flujo de Agua en suelo, p.401, México D.F. Limusa
- ✓ José Hernández, Jorge Gómez (2012), Estudio y caracterización de suelos dispersivos. Pdf
- ✓ Braja M.Das, Advanced soil Mechanics, Taylor & Francis, 2ed, Washington, 1997, 457p, pag 369
- ✓ Estudio Geológico, INCOP 2011, pag 5
- ✓ Centro del Agua y Desarrollo Sustentable. CADS – ESPOL, 2012
- ✓ Braja M. Das, "Principles of Foundation Engineering ", 4th Ed., 1999)
- ✓ Actualización de procedimientos de ensayos de la Mecánica de Suelos, Ing. Civil José A. Gómez Voltan, 2005.pdf
- ✓ 14Uningenierocivil.blogspot.com/2011/03/consistencia-limites-de-atterberg.html
- ✓ Protocolo de Métodos de análisis para suelos y lodos, Erick Zagal, Angélica Sadzawka, 2007.

- ✓ Capítulo II de Investigación Geotécnica. Pdf
- ✓ Matilde González Caballero, El terreno, 2001
- ✓ Universidad Católica de Valparaíso, Manual determinación del coeficiente de Permeabilidad, Laboratorio de Mecánica de Suelos.
- ✓ Caracterización y valorización de residuos generados en la industria de producción de dióxido de titanio, Manuel Jesús G. González, 2011
- ✓ Julio Tremolada Payano, caracterización, influencia y Tratamiento de arcillas en procesos de Cianuración en pilas, Oviedo 2011.
- ✓ Renato Andrade Cevallos, ESPE IASA II Santo Domingo.
- ✓ Manual de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, Ángel muelas Rodríguez.
- ✓ El terreno, Matilde González Caballero, 2001.
- ✓ Heber M. Huevo, Alber C. Orellana, Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador, 2009
- ✓ Estabilización de suelos con cal, Juan D. Bauza Castello, 2003
- ✓ Grupo de Geotecnia (<http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-17.pdf>).