



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN

CONSTRUCCIONES

**Evaluación de la resistencia a compresión simple del
material extraído de la mina de Musmus sector Chordeleg,
estabilizada con cemento tipo MH.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE

CONSTRUCCIONES

Autoras:

LISSETH ANTONIETA ALVARADO TENEZACA

DIANA ANDREA PORTILLA DELGADO

Director:

ROLANDO ARMAS NOVOA

CUENCA – ECUADOR

2020

DEDICATORIA

Quiero dedicar el proyecto de tesis primeramente a Dios, por ser quien me ha permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por ayudarme siempre en los momentos más duros y ser un apoyo incondicional. También quiero dedicar este trabajo a mi pequeña hija y a mi esposo, por ser mi motivación y estar presente en mis sueños y en mis metas.

Diana Andrea Portilla Delgado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y a toda mi familia, en especial, a mi abuelita Violeta, quien siempre fue una fuente de inspiración y de fuerza, en momentos difíciles. A mis compañeros y amigos, que han estado conmigo desde el inicio del caminar universitario, con quienes hemos superado obstáculos y hoy podemos llamarnos colegas.

Lisbeth Antonieta Alvarado Tenezaca

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer al Ingeniero Rolando Armas Novoa, por ser el mentor en este proceso de trabajo de titulación, por su paciencia, su apoyo y por dedicar parte de su valioso tiempo a la realización de este proyecto; al Ingeniero Jorge León Llanes, quién solventó dudas e inquietudes con respecto a varios aspectos de este trabajo y de igual manera a los miembros de nuestro tribunal: el Ing. Esteban Cabrera y el Ing. José Vázquez.

A la Universidad del Azuay y a cada miembro del equipo docente, personas de gran trayectoria, con su esfuerzo diario nos ayudaron en esta larga travesía, mediante conocimientos y valores.

Un agradecimiento especial a la empresa Holcim Ecuador S.A. y al GAD de Chordeleg por facilitar los materiales empleados en este proyecto de titulación.

Por último y no menos importante, queremos agradecer a nuestros padres, hermanos compañeros y parejas, quienes, de diferentes formas, poco a poco nos apoyaron y nos ayudaron a culminar esta etapa de nuestras vidas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática.....	1
1.2 Motivación de la investigación.....	1
1.3 Objetivos	1
1.3.1 Objetivo general.....	1
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Alcances y resultados esperados	2
1.5 Supuestos y riesgos	2
CAPITULO 2.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Generalidades	3
2.2 Compactación de suelos	4
2.3 Estabilización de suelos.....	5
CAPITULO 3	7
MATERIALES Y MÉTODOS	7

3.1 Descripción general de la mina Musmus.....	7
3.2 Toma de muestras de la mina	8
3.3 Ensayos para obtener los parámetros físicos y mecánicos del material	8
3.3.1 Contenido de agua (ω).....	8
3.3.2 Análisis granulométrico.....	9
3.3.3 Límites de consistencia.....	9
3.3.4 Gravedad específica del suelo	9
3.3.5 Clasificación de los suelos.....	10
3.3.6 Ensayo de compactación Proctor Modificado.....	10
3.3.7 Compresión simple.....	10
CAPÍTULO 4.....	11
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	11
4.1 Propiedades físicas del suelo natural.....	11
4.1.1 Contenido de agua	11
4.1.2 Granulometría del suelo natural.....	12
4.1.3 Límites de consistencia del suelo natural	13
4.1.4 Clasificación del suelo natural.....	13
4.1.5 Gravedad específica del suelo natural (Gs)	14
4.2 Límites de consistencia de suelo estabilizado con cemento	14
4.3 Propiedades mecánicas del suelo natural y mezclado con cemento.....	16
4.3.1 Ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo natural.....	16
4.3.2 Ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo estabilizado con 2 % de cemento	17
4.3.3 Ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo estabilizado con 4 % de cemento	19
4.4 Resultados del ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo natural y suelo estabilizado con cemento	20
4.5 Ensayo a Compresión Simple.....	22

4.5.1 Determinación de la resistencia a compresión simple	22
CAPÍTULO 5	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
5.1 Conclusiones	26
5.2 RECOMENDACIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28
CAPÍTULO 6.....	31
ANEXOS	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Principio de Compactación.	4
Figura 2-2: Principio de Compactación.	5
Figura 3-1: Localización geográfica de la Mina Musmus	7
Figura 4-1: Curvas granulométricas del suelo natural.	12
Figura 4-2: Variación de los límites de consistencia en función con el contenido de cemento en la mezcla.	15
Figura 4-3: Curva de compactación y saturación del suelo natural- muestra 1	16
Figura 4-4: Curva de compactación y saturación del suelo natural – muestra 2.....	16
Figura 4-5: Curva de compactación y saturación del suelo natural – muestra 3.....	17
Figura 4-6: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 2 % de cemento– muestra 1.	17
Figura 4-7: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 2 % de cemento– muestra 2.	18
Figura 4-8: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 2 % de cemento– muestra 3.	18
Figura 4-9: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 4 % de cemento– muestra 1	19
Figura 4-10: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 4 % de cemento– muestra 2.	19

Figura 4-11: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 4 % de cemento– muestra 3.	20
Figura 4-12: Contenido de cemento en porcentaje vs contenido de agua óptimo del Proctor modificado.....	21
Figura 4-13: Contenido de cemento en porcentaje vs Densidad seca máxima del Proctor Modificado.	21
Figura 4-14: Curva Proctor Modificado y curva de resistencia a la compresión simple del suelo natural.	24
Figura 4-15: Curva Proctor Modificado y curva de resistencia a la compresión simple del suelo estabilizado con 2% de cemento.....	24
Figura 4-16: Curva Proctor Modificado y curva de resistencia a la compresión simple del suelo estabilizado con 4% de cemento.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Promedio del contenido de agua del suelo natural.....	11
Tabla 4.2: Resumen de los resultados del ensayo de granulometría.....	12
Tabla 4.3: Límite líquido, plástico e índice plástico del suelo natural.....	13
Tabla 4.4: Gravedad específica del suelo natural.....	14
Tabla 4.5: Límites de consistencia del suelo natural estabilizado con 2 % de cemento.	14
Tabla 4.6: Límites de consistencia del suelo natural estabilizado con 4 % de cemento.	15
Tabla 4.7: Límites de consistencia en función del contenido de cemento en la mezcla.	15
Tabla 4.8: Resultados y promedio del ensayo Proctor Modificado de suelo natural.	17
Tabla 4.9: Resultados y promedio del ensayo Proctor Modificado de suelo estabilizado con 2 % de cemento.	18
Tabla 4.10: Resultados y promedio del ensayo Proctor Modificado de suelo estabilizado con 4 % de cemento.	20
Tabla 4.11: Ensayo compresión simple suelo natural.....	22
Tabla 4.12: Ensayo compresión simple del suelo estabilizado con 2 % de cemento.	23
Tabla 4.13: Ensayo compresión simple del suelo estabilizado con 4 % de cemento.	23
Tabla 4.14: Tabla resumen del ensayo de compresión simple.....	24

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Contenido de agua del suelo natural.....	31
Anexo 2: Ensayos de granulometría del suelo natural.	32
Anexo 3: Límites de consistencia de suelo natural.	35
Anexo 4: Determinación de la gravedad específica del suelo natural.	41
Anexo 5: Determinación de los Límites de Consistencia de las muestras estabilizadas con 2% y 4% de cemento.	42
Anexo 6: Determinación de los límites de consistencia, Muestra 1, 2 y 3 estabilizadas con 4% de cemento.	48
Anexo 7: Ensayo Proctor Modificado del Suelo Natural.....	54
Anexo 8: Ensayo Proctor modificado del suelo estabilizado con 2% de cemento. ...	57
Anexo 9: Ensayo Proctor Modificado del Suelo estabilizado con 4% de cemento. ...	60
Anexo 10: Ensayo de Compresión Simple del suelo natural	63
Anexo 11: Compresión simple del suelo estabilizado con 2% de cemento.....	64
Anexo 12: Compresión simple suelo estabilizado con 4% de cemento.....	65

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL
MATERIAL EXTRAÍDO DE LA MINA DE MUSMUS, SECTOR
CHORDELEG, ESTABILIZADA CON CEMENTO TIPO MH**

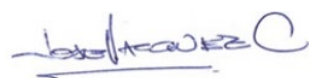
RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se muestran los resultados experimentales de la resistencia a la compresión simple del suelo, de la mina Musmus, y mezclado con cemento Holcim tipo MH en porcentajes 2 y 4, en relación al peso seco del material natural; para ello, se realizó el ensayo de compresión simple sobre las muestras compactadas utilizando la energía de compactación Proctor Modificado y diferentes humedades con el suelo natural y el suelo estabilizado con cemento. Los resultados obtenidos nos muestran que existe un incremento de la resistencia a la compresión simple con el aumento del porcentaje de cemento.



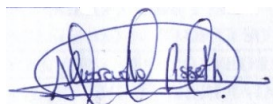
Rolando Armas Novoa

Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vázquez Calero

Coordinador de la Escuela



Lisseth Antonieta Alvarado Tenezaca

Autora



Diana Andrea Portilla Delgado

Autora

EVALUATION OF SIMPLE COMPRESSION STRENGTH OF MATERIAL EXTRACTED FROM THE MUSMUS MINE IN CHORDELEG, STABILIZED WITH MH TYPE CEMENT

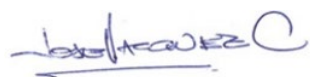
ABSTRACT

This research shows the results of resistance to simple soil compression at the Musmus mine, mixed with Holcim cement type MH in percentages 2 and 4, in relation to the dry weight of the natural material. The simple compression test was carried out on the compacted samples by using the Modified Proctor compaction energy and different humidities with the natural soil and the soil stabilized with cement. The results obtained shows that there is an increase in resistance to simple compression with an increase in the percentage of cement.



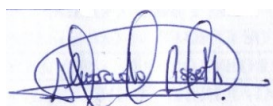
Rolando Armas Novoa

Thesis Director



José Fernando Vázquez Calero

Faculty Coordinator



Lisseth Antonieta Alvarado Tenezaca

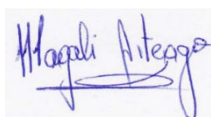
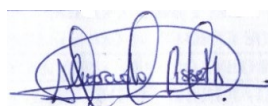
Author



Diana Andrea Portilla Delgado

Author

Translated by

Lisseth Alvarado



Diana Portilla

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

Para cualquier tipo de construcción civil es necesario el movimiento de áridos, tanto para realizar morteros y hormigones en construcción, como para la compactación de vías en zonas rurales, lo que genera un incremento en costos por el transporte y manipulación del material desde las canteras hasta el lugar de construcción, concluyendo con el constante mantenimiento de vías.

En la actualidad no se conoce cuáles son las propiedades físico-mecánicas del suelo natural de la mina del sector Musmus, y cómo las mismas cambian o varían al ser mezcladas con cemento Holcim tipo MH, en proporción de 2% y 4% de cemento con relación a la masa de suelo seco.

1.2 Motivación de la investigación

En este trabajo se pretende conocer el comportamiento y las propiedades físico-mecánico del suelo de la mina del sector de Musmus, ubicada en el cantón Chordeleg de la provincia del Azuay; para de esta manera mejorar sus propiedades con cemento Holcim tipo MH. Cuyos aportes servirán posteriormente como una opción para la estabilización de suelos, ya que el GAD Municipal de Chordeleg usa este tipo de árido en la construcción y mantenimiento de vías del sector rural.

A través de la estabilización de suelos, las vías tienen una prolongada duración de aproximadamente 4 años y se reduce los costos de mantenimiento, lo cual resulta beneficioso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar las propiedades físicas del material de la mina Musmus y la resistencia a compresión simple de dicho material compactado, sin estabilizar con cemento y estabilizado con 2% y 4% de cemento tipo MH, con relación a la masa de suelo seco.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar los límites de consistencia, la humedad óptima y la densidad seca máxima del Proctor Modificado del suelo en estado natural.
2. Clasificar el suelo mediante los sistemas AASHTO y SUCS.
3. Determinar la resistencia a la compresión simple del suelo natural y estabilizado con 2% y 4% de cemento con relación a la masa de suelo seco después de compactado con la energía del Proctor Modificado.
4. Determinar los límites de consistencia, la humedad óptima y la densidad seca máxima del Proctor Modificado del suelo estabilizado con 2% y 4% de cemento con relación a la masa de suelo seco.
5. Comparar la variación de los límites de consistencia, la humedad óptima, la densidad seca máxima y la resistencia a la compresión simple del suelo natural compactado y estabilizado con 2% y 4% de cemento con relación a la masa del suelo seco.

1.4 Alcances y resultados esperados

1. Obtener resultados de los ensayos del suelo en su estado natural y del suelo estabilizado con cemento.
2. Analizar en qué proporciones las propiedades del suelo natural mejoran con la estabilización de cemento.

1.5 Supuestos y riesgos

1. Por las constantes lluvias, el suelo puede poseer contenidos de agua muy altos, dificultar la manipulación y el transporte hacia los laboratorios, atrasando el proceso.
2. Que el equipo necesario para realizar los ensayos esté en reparación o que aún no estén implementados en la Universidad.
3. Que el laboratorio esté saturado de trabajo y se tenga que retrasar los ensayos.
4. Que, ante la falta de experiencia, los ensayos no tengan resultados coherentes y se precise repetir los procesos.
5. Que la universidad suspenda el uso de los laboratorios durante el periodo de vacaciones.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades

El suelo es utilizado desde épocas remotas para edificar templos, palacios, depósitos y las mayorías de viviendas y caminos en las civilizaciones prehispánicas; esta arquitectura debía recibir periódicamente mantenimiento con tierra y combinación de sustancias cuyo origen era natural. Sin embargo, las condiciones climáticas en ciertas regiones obligaron al uso de materiales más resistentes como la piedra y la cal. Por ello, desde aquellas épocas se utilizaban pequeñas cantidades de hidróxido de calcio para incrementar la resistencia mecánica de la tierra y ofrecer así una mayor protección ante los agentes atmosféricos. Paulatinamente, esta técnica fue desplazada con el paso de los siglos con la incorporación del cemento en técnicas constructivas más industrializadas.

Según los arquitectos Guerrero Baca F. & Soria López F., (2019) a partir de la segunda guerra mundial, se ha utilizado la estabilización con cal principalmente en subbases de carreteras, vías del ferrocarril y presas. Por tal motivo ha continuado el estudio y la investigación de este método estabilizante, construyendo normas y técnicas, utilizadas en países desarrollados.

Terzaghi, (1943), dice: “La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”.

La estabilización o modificación de subrasantes de pavimentos de carreteras y aeropuertos con el empleo de cemento, es una práctica probada y establecida en Estados Unidos. La adición de cemento a suelos de grano fino tiene efectos beneficiosos sobre las propiedades del material, entre ellos la reducción de la plasticidad y potencial de hinchamiento, mejor trabajabilidad, mayor rigidez, resistencia y durabilidad. La mayoría de los estudios de diseños de pavimentos que involucran aditivos de cemento han demostrado que, cuando se presta atención al diseño de materiales, diseño estructural, durabilidad y construcción de las subrasantes

estabilizadas con cemento, superan a las que no contienen dicho material, mejorando su rendimiento. (Mallela, Quintus, & Smith, 2004)

2.2 Compactación de suelos

Se considera como compactación a la densificación que sufre el suelo debido a la remoción de aire implementando energía mecánica; ésta se mide en términos del peso específico seco del suelo. A medida que aumenta el contenido de agua, el peso específico seco incrementa con la compactación. Sin embargo, se debe considerar que cualquier incremento del contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco después de llegar a cierto valor, dado que el líquido ocupa espacios que podrían haber estado ocupados por las partículas sólidas del suelo.

Das, (2001), menciona que: “El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, provocando que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso.

El peso específico seco después de la compactación, se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua, en la (Figura 2-1) se observa que hay una determinada humedad, llamada humedad óptima (w_{opt}) en donde el peso específico seco es máximo.

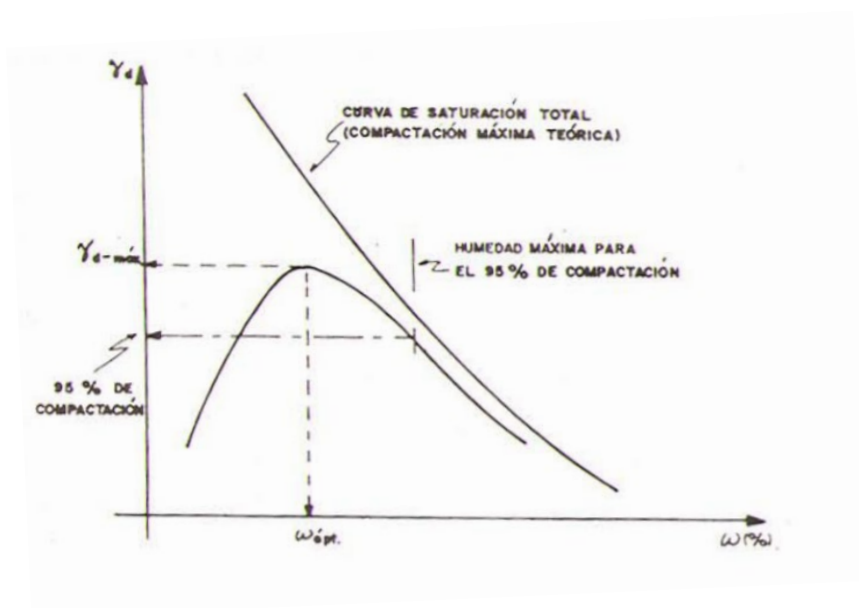


Figura 2-1: Principio de Compactación.
Fuente: Armas Novoa, (2016)

Para la determinación del peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo se utiliza el ensayo de laboratorio llamado Proctor de Compactación, el cual tiene dos variantes: el método Proctor estándar normado por las determinaciones ASTM D-698 y AASHTO T 99, y Proctor Modificado normado por las determinaciones ASTM D-1557 y AASHTO T 180-01.

De acuerdo con la energía de compactación, cuanto mayor es la energía, mayor es el peso específico seco máximo y más baja la humedad óptima, como se puede observar en la figura 2-2. Por ende, el ensayo de compactación de carreteras se hace con la energía del Proctor Modificado.

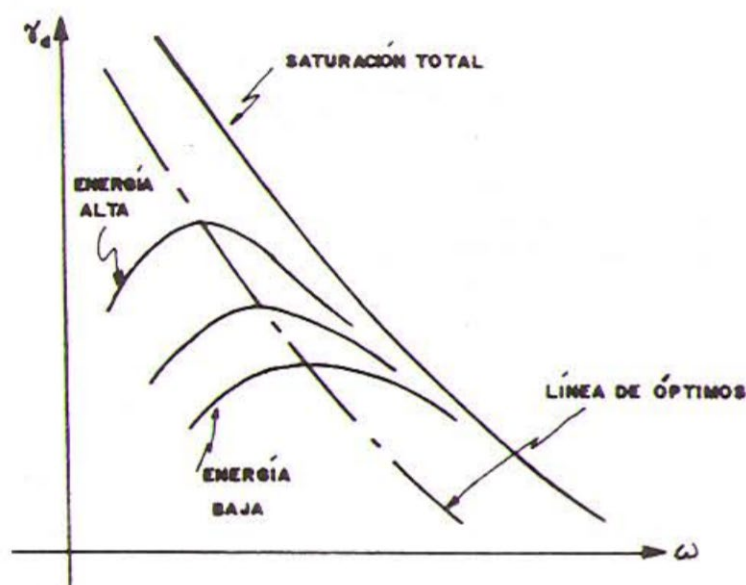


Figura 2-2: Principio de Compactación.
Fuente: Armas Novoa, (2016)

2.3 Estabilización de suelos

Se puede definir la estabilización de suelos como la modificación de las propiedades físico-mecánicas del material a tratar, para que cumpla con algunos requerimientos especificados. Existen algunos medios de estabilización como: estabilización física, estabilización mecánica y la estabilización química. En el siguiente documento nos enfocaremos en la estabilización química, específicamente en el cemento.

El mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de un suelo mediante la adición de productos químicos, suele alterar dichas propiedades por dos factores principales,

por los cuales los productos químicos se alteran: primero, por un aumento del tamaño de partículas dado por la cementación, aumento de la resistencia al corte, cambio de las propiedades de plasticidad y la reacción del potencial de alteración, y segundo, por la absorción y unión química de la humedad, la cual posteriormente facilitará la compactación. Sin embargo, se debe considerar que la reducción del índice de plasticidad se debe a un aumento del límite plástico, el cual se ve muy afectado por el contenido de cemento y el tiempo de curado.

La estabilización con cemento se desarrolla a partir de los enlaces de cementación que existe entre los productos de hidratación de silicato de calcio y aluminato, y las partículas de suelo y dado que el cemento contiene sílice, la estabilización es independiente de las propiedades del suelo, siendo el único requisito que el suelo a tratar contenga algo de agua para que comience el proceso de hidratación. (Bayat, Asgary, & Mousivand, 2013)

En la estabilización, el tipo de cemento que se use tiene una importancia menor comparada con la dosificación de éste o la densidad que se alcanzará en la compactación, es decir, en muchos casos el uso del cemento dependerá de la disponibilidad y el costo del mismo. Sin embargo, existen ciertas recomendaciones a la hora de elegir un cemento para estabilizaciones, como:

- Inicio y final de fraguado suficientemente largos, de forma que se tenga un mayor tiempo de trabajabilidad.
- Moderado calor de hidratación, con esto se limita los efectos de fisuraciones por retracción (ancho de fisuras y distancia entre ellas), especialmente en épocas calurosas.
- Desarrollo lento de las resistencias y módulos de rigidez a edades tempranas, recuperándolas a largo plazo. Con ello se consigue limitar el efecto de la retracción y los fenómenos iniciales de fatiga inducidos por las cargas del tráfico. (IECA, 2010)

CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción general de la mina Musmus

La mina se encuentra ubicada a cinco minutos del centro de Chordeleg, cantón de la provincia del Azuay y aproximadamente a una hora y media de la ciudad de Cuenca, a unos siete minutos del centro de Chordeleg (Figura 3-1). Se encuentra a una altitud de 2390 m.s.n.m., con un clima frío, semihúmedo, influenciado por el régimen oriental y con una temperatura media de dieciséis grados centígrados, presenta precipitaciones que varían entre 500 a 1000 mm por año. (Segovia Zhispón, 2015)

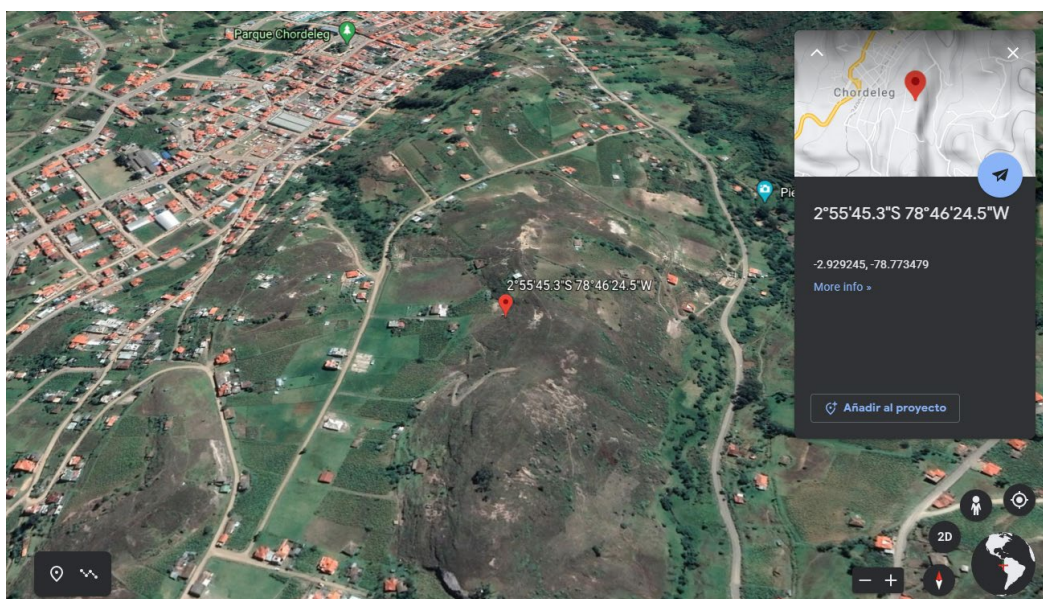


Figura 3-1: Localización geográfica de la Mina Musmus

Fuente: Google Earth

La zona de Chordeleg se caracteriza por la presencia de pendientes pronunciadas; el 38% del cantón tiene pendientes mayores al 50%, por lo cual la actividad ganadera y agrícola es difícil. Además, de acuerdo a la geología, el cantón posee un 43.70% de su territorio con una vulnerabilidad media a la erosión, por su naturaleza geológica. De acuerdo al plan de desarrollo y ordenamiento territorial, realizado en el 2015, existen ocho tipos de suelo en el cantón, entre los que se pueden encontrar suelos derivados de cenizas volcánicas, suelos erosionados muy poco profundos, suelos arcillosos, entre otros. Actualmente el material extraído de la mina Musmus, es utilizado para realizar el mantenimiento de vías de lastre en el Cantón Chordeleg. (GAD_Chodeleg, 2014)

3.2 Toma de muestras de la mina

Las muestras se recolectaron con la colaboración del GAD de Chordeleg, dichas muestras se tomaron del punto, mediante coordenadas (-2.9292449,-78.7734785) intentando que la muestra sea lo más representativa y homogénea posible para así conseguir resultados cercanos a la realidad. En el laboratorio de la Universidad del Azuay, se procedió a mezclar, golpear el material con un mazo de goma para evitar grumos de material, debidos al transporte, separar las partes de material mayores a 3” y posteriormente se cuarteó la muestra para poder realizar los diferentes estudios y ensayos.

3.3 Ensayos para obtener los parámetros físicos y mecánicos del material

El material se trasladó al laboratorio de la Universidad del Azuay para la realización de los ensayos de laboratorio, necesarios para conocer los parámetros físicos y mecánicos del suelo. Como se conoce, para la determinación de los parámetros físicos se debe realizar los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico y densidad específica, de tal modo que se pueda clasificar el material de la muestra según la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Para la determinación de los parámetros mecánicos se han de utilizar normativas AASHTO, ASTM y NTE INEN.

3.3.1 Contenido de agua (ω)

Los suelos contienen agua generalmente como parte de su estructura. El contenido de agua, también llamada humedad del suelo, se define como la masa de agua por una unidad de suelo seco, es uno de los métodos más sencillos, su valor se determina secando la muestra de suelo a 105° C alrededor de 24 horas.

Las normativas a utilizar serán: NTE INEN 688 1982-05, Mecánica de suelos. Preparación de muestras alteradas para ensayos y NTE INEN 690 1982-05, Mecánica de suelos. Determinación del contenido de agua método del secado al horno.

3.3.2 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de un material se puede denominar como, la determinación del rango de tamaños de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje de la masa seca total, dicho ensayo es primordial para poder definir el tipo de suelo con el que estamos trabajando; el ensayo se realiza mediante la norma ASTM D 422-63, Mecánica de suelos. Método del tamaño de partículas de suelo. Y la normativa ecuatoriana NTE INEN 696:2011, Áridos, Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso.

3.3.3 Límites de consistencia

El límite líquido y plástico se usa principalmente para la identificación y clasificación de suelos conjuntamente con la granulometría, además, mediante relaciones empíricas se puede utilizar para predecir la densidad máxima en el ensayo de compactación y en ocasiones el límite líquido es utilizado para estimar asentamientos. La normativa para estos ensayos es: NTE 688 1982-05, Mecánica de suelos. Preparación de muestras alteradas para ensayos, NTE INEN 691 1982-05, Mecánica de suelos. Determinación del límite líquido: Método de Casagrande y NTE INEN 692 1982-05, Mecánica de suelos. Determinación del límite plástico.

3.3.4 Gravedad específica del suelo

El ensayo de gravedad específica determina un valor adimensional que se define como la relación entre la densidad de los sólidos y la densidad del agua destilada a 4°C. Siguiendo el procedimiento de la normativa, para densidad específica, tomaremos tres muestras en tres matraces para obtener un valor promedio. El ensayo sigue la norma ASTM D 854-02, Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica de los sólidos de suelo, a través del matraz con agua. NTE INEN 856:2010, Áridos, Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino.

3.3.5 Clasificación de los suelos

Existe un lenguaje común con el cual se puede identificar el comportamiento y las características del suelo, dado por grupos y subgrupos donde se pueden identificar suelos que tengan propiedades similares. Para ello tenemos dos tipos de sistemas para dicha clasificación: Sistema de clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS. Normados en ASTM Standard D 422-63 y ASTM D 2487 respectivamente. Método AASHTO M145.

3.3.6 Ensayo de compactación Proctor Modificado

La compactación logra una reducción del índice de poros (e), incrementando la densidad seca (ρ_d) mediante la utilización de medios mecánicos, lo que da como resultado un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos. (Armas Novoa R. , 2016)

Para el ensayo Proctor Modificado se han utilizado las siguientes normativas: ASTM D 1557. Compactación tipo Proctor Modificado y AASHTO T 180-01. Compactación tipo Proctor Modificado; para las especificaciones se refiere a la norma ASTM 1557-91, Método C.

3.3.7 Compresión simple

La resistencia a compresión simple (q_u) del suelo, es el resultado de dividir la carga máxima que soporta el cilindro al producirse la falla sobre el área del cilindro (A_c).

Para la ejecución del ensayo de compresión simple se toma como referencia la norma ASTM D 2166-06, Método de prueba estándar para resistencia a compresión simple de suelos cohesivos. Norma Nevi E-152-07. Norma NTE INEN 1573:2010, Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los ensayos para determinar las propiedades físicas-mecánicas del suelo natural y del suelo estabilizado con cemento en proporción de 2% y 4% con relación al peso seco del material en estado natural, se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad del Azuay. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Nota: Cuando se hable de 2% y 4% de cemento, se hace referencia a la adición de cemento, es decir, el porcentaje de cemento con relación al peso del suelo seco en la mezcla. Además, la curva de saturación se mostrará al 100%.

4.1 Propiedades físicas del suelo natural

4.1.1 Contenido de agua

Para este ensayo el material extraído de la mina Musmus se dejó secar a temperatura ambiente, durante dos semanas en el laboratorio. Posteriormente, se tomaron tres muestras para determinar su contenido de agua, se obtuvo como resultado los mostrados en la *Tabla 4.1*.

Tabla 4.1: Promedio del contenido de agua del suelo natural.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
CONTENIDO DE AGUA ω (%)	6,98	7,56	9,01	7,85

Fuente: Elaboración propia.

De las tres muestras que se tomaron, se obtuvo que el contenido de agua que tenía el suelo en promedio era 7.85%, un indicador de que el suelo tiene humedad higroscópica, se puede observar los datos en el *Anexo 1*.

4.1.2 Granulometría del suelo natural

Se realizaron tres ensayos de granulometría por cribado. Un resumen de los resultados se puede observar en la *Tabla 4.2*. El ensayo completo lo puede encontrar en el Anexo 2.

Tabla 4.2: Resumen de los resultados del ensayo de granulometría.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
		Retenido (g)	Retenido Acu. (%)	Pasante (%)	Retenido (g)	Retenido Acu. (%)	Pasante (%)	Retenido (g)	Retenido Acu. (%)	Pasante (%)
1/2"	12,50	328,23	7,75	92,25	378,78	8,95	91,05	410,02	9,76	90,24
3/8"	9,50	200,54	12,49	87,51	306,86	16,21	83,79	279,27	16,40	83,60
N°4	4,75	649,02	27,82	72,18	654,81	31,69	68,31	724,7	33,64	66,36
N° 8	2,50	574,98	41,41	58,59	500,45	43,52	56,48	522,08	46,06	53,94
N° 16	1,25	475,00	52,63	47,37	392,98	52,81	47,19	401,44	55,62	44,38
N° 30	0,60	402,64	62,14	37,86	341,01	60,87	39,13	327,61	63,41	36,59
N° 50	0,315	450,18	72,78	27,22	366,54	69,54	30,46	407,38	73,10	26,90
N° 100	0,150	310,90	80,12	19,88	313,26	76,94	23,06	200,78	77,88	22,12
N° 200	0,075	207,66	85,03	14,97	247,66	82,80	17,20	241,54	83,63	16,37
<N°200		633,85	14,97		727,65	17,20		688,18	16,37	

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar como resultado que el material pasante del tamiz No 200 (0.075mm) oscila entre 14% y 17.5%, obteniendo un valor promedio de 16.18%. Además, los resultados arrojaron que en promedio el 83.82% se retiene en el tamiz N°200, dando como referencia que las partículas que predominan son gravas y arenas. Las tablas y las curvas granulométricas de los resultados de los ensayos se pueden observar en el *Anexo 2*; se pueden observar en la Figura 4-1 las curvas de las tres muestras juntas.

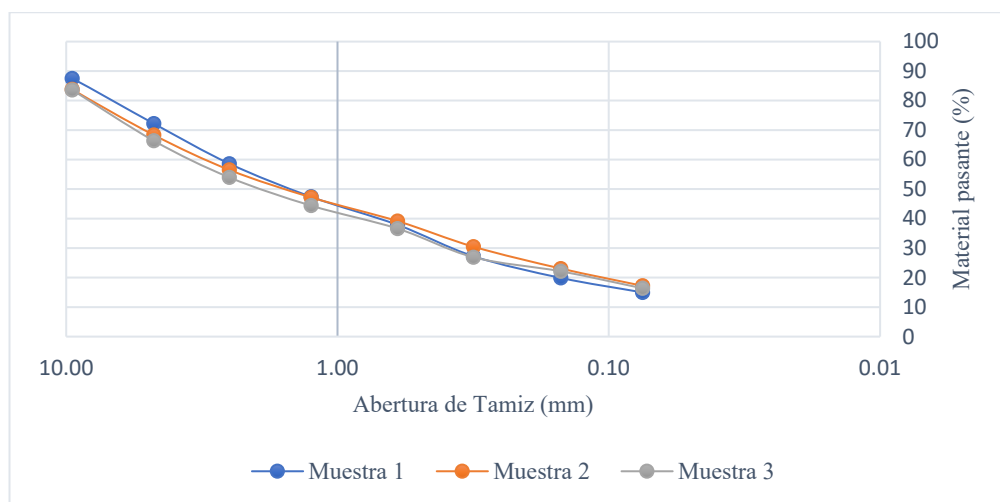


Figura 4-1: Curvas granulométricas del suelo natural.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Límites de consistencia del suelo natural

En la *Tabla 4.3*, podemos observar de manera resumida los resultados y el promedio del ensayo de los límites de consistencia del suelo natural de la mina Musmus; los ensayos completos los puede observar en el Anexo 3.

Tabla 4.3: Límite líquido, plástico e índice plástico del suelo natural.

RESUMEN SUELO NATURAL	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio (%)
Límite líquido (%)	37,70	36,00	37,70	37,13
Límite plástico (%)	34,12	31,37	34,39	33,29
Índice plástico (%)	3,58	4,63	3,31	3,84

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Clasificación del suelo natural

Para la clasificación del suelo natural, utilizaremos las tablas que se muestran en el libro de Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica del autor Braja M Das, impreso en México en el 2001, en las páginas 35 al 44. Dichas Tablas permiten clasificar el suelo por los métodos AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

En promedio, el material pasante de la malla No 200 de la muestra es 16.18%, de la malla No 40 pasa el 32.35% y de la malla No 10 pasa el 53.06%. Con estos datos y la tabla 2.4 del libro antes mencionado, mediante el método AASHTO, el suelo se clasifica como: **A-1-b (0); fragmentos de piedra, grava y arena.**

El material de nuestro ensayo tiene en promedio 68.94% de material pasante del tamiz No 4 y 16.18% pasante del tamiz No 200. Dado que el material pasante del tamiz No 200 es menor al 50% y el valor del material pasante del tamiz No 4 es mayor al 50%, sabemos que trabajamos con un material grueso, específicamente arena. Procedemos a utilizar la Figura 2.12, la Tabla 2.6 y la Figura 2.13 del libro de Braja M. Das, lo que da como resultado mediante el método SUCS, que el suelo posee una clasificación **SM: Arena limosa con grava.**

4.1.5 Gravedad específica del suelo natural (Gs)

Para la realización de este ensayo se tomaron 3 muestras de suelo natural y se aplicó la Norma ASTM D854-02, utilizando matraces calibrados previamente. Como se muestra en la *Tabla 4.4*, los resultados del ensayo son bastante homogéneos, por lo que podemos tomar el valor promedio de **Gs=2.68**, adimensional; en el *Anexo 4* se puede observar el ensayo con mayor detalle.

Tabla 4.4: Gravedad específica del suelo natural.

Muestra	1	2	3
Gs	2,69	2,67	2,67
Promedio	2,68		

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Límites de consistencia de suelo estabilizado con cemento

Para el estudio de este suelo de la mina Musmus, estabilizado con cemento, se consideró añadir un 2% y un 4% de cemento, con relación al peso seco del suelo natural. El cemento utilizado es de Holcim tipo MH, recomendado por el fabricante para este tipo de trabajo especialmente para generar las resistencias adecuadas que permitan mejorar y estabilizar suelos mediante el uso del material disponible en el sitio.

Los resultados de los ensayos de límites de consistencia de las muestras de suelo natural, estabilizado con 2% y 4% de cemento, se puede ver con mayor detalle en el Anexo 5: Determinación de los Límites de Consistencia de las muestras estabilizadas con 2% y 4% de cemento. En el Anexo 6: Determinación de los límites de consistencia, Muestra 1, 2 y 3 estabilizadas con 4% de cemento.

En la *Tabla 4.5* se indican los resultados de los ensayos de límite líquido y límite plástico, obtenidos en cada una de las 3 muestras ensayadas y los valores del índice de plasticidad, así como los valores promedios del suelo natural, estabilizado con 2% de cemento.

Tabla 4.5: Límites de consistencia del suelo natural estabilizado con 2 % de cemento.

RESUMEN 2%	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio (%)
Límite líquido (%)	43,00	41,00	43,00	42,33
Límite plástico (%)	38,05	37,75	35,63	37,14
Índice plástico (%)	4,95	3,25	7,37	5,19

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, en la *Tabla 4.6* se muestran los resultados de los ensayos de límite líquido y límite plástico, obtenidos en cada una de las 3 muestras ensayadas y los valores del índice de plasticidad, así como los valores promedios de estos parámetros del suelo natural, estabilizado con 4% de cemento.

Tabla 4.6: Límites de consistencia del suelo natural estabilizado con 4 % de cemento.

RESUMEN 4%	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio (%)
Límite líquido (%)	43,40	43,00	43,50	43,30
Límite plástico (%)	33,53	34,37	36,78	34,89
Índice plástico (%)	9,87	8,63	6,72	8,41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7 y en la Figura 4-2, los resultados de los ensayos de límites de consistencia en función del contenido de cemento añadido, se observa que el índice de plasticidad aumenta mientras aumentamos el contenido de cemento. Sin embargo, el límite plástico comienza a disminuir. Cuando se trabaja con suelo-cemento se piensa principalmente en aumentar la resistencia del suelo con el que trabajamos, sin embargo, esto, también disminuye la plasticidad. (Mallela, Quintus, & Smith, 2004)

Tabla 4.7: Límites de consistencia en función del contenido de cemento en la mezcla.

CONTENIDO DE CEMENTO (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
0	37,13	33,29	3,84
2	42,33	37,14	5,19
4	43,30	34,89	8,41

Fuente: Elaboración propia.

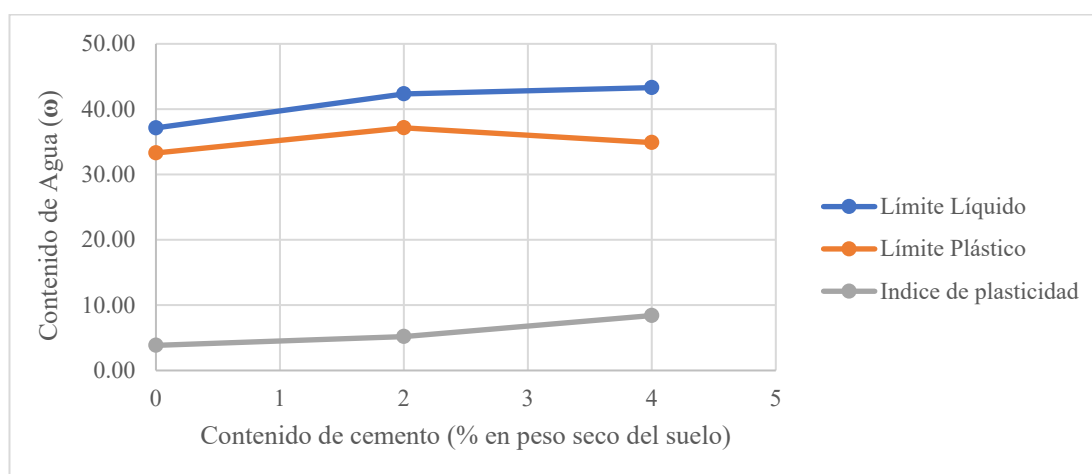


Figura 4-2: Variación de los límites de consistencia en función con el contenido de cemento en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Propiedades mecánicas del suelo natural y mezclado con cemento

4.3.1 Ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo natural

El ensayo de compactación Proctor Modificado se realizó para tres muestras de suelo natural y para tres muestras de suelo estabilizado con 2% y tres muestras con 4% de cemento tipo Holcim MH, determinando la densidad seca máxima ($\rho_{d\text{máx}}$) y la humedad óptima (ω_{opt}) de compactación de energía del ensayo Proctor Modificado.

En la Figura 4-3, Figura 4-4 y la Figura 4-5 se puede observar las curvas de compactación y de saturación de las tres muestras del suelo natural, dando como resumen la *Tabla 4.8*. Los ensayos más detallados se pueden observar en el Anexo 7.

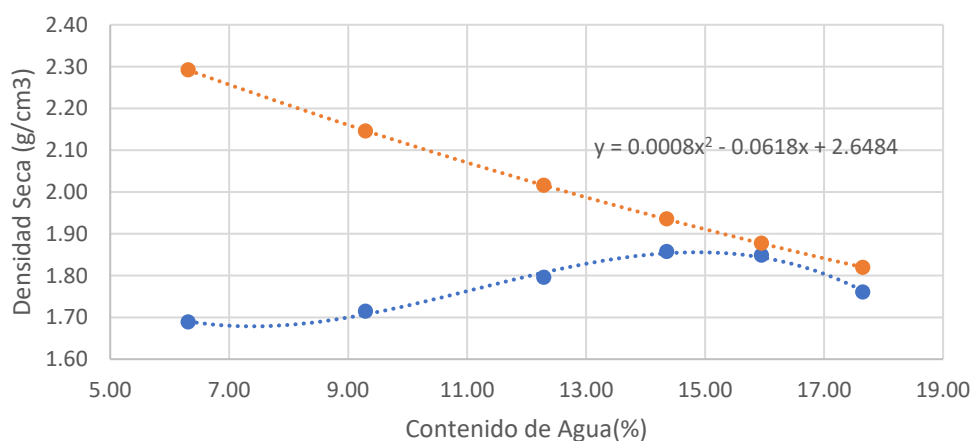


Figura 4-3: Curva de compactación y saturación del suelo natural- muestra 1

Fuente: Elaboración propia.

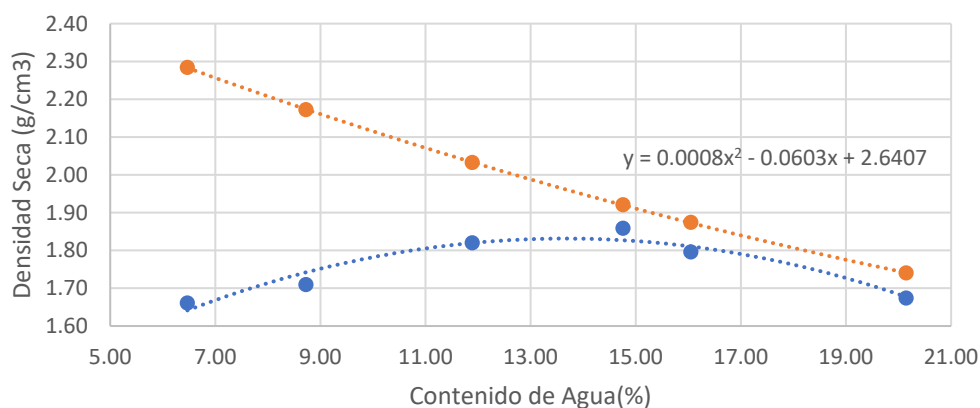


Figura 4-4: Curva de compactación y saturación del suelo natural – muestra 2.

Fuente: Elaboración propia.

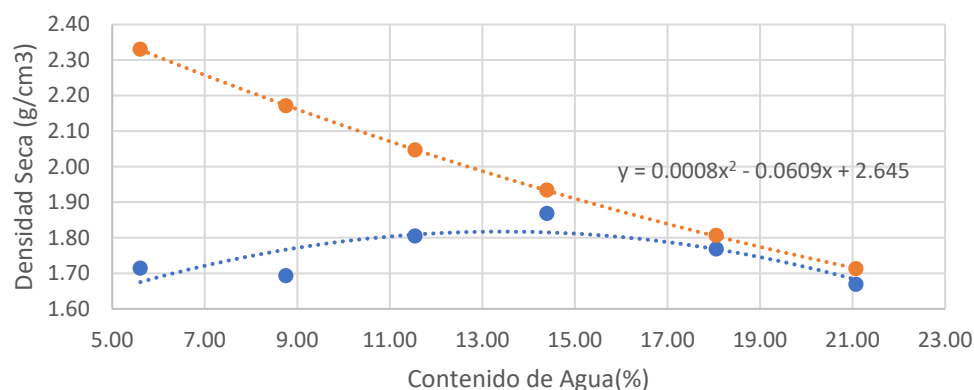


Figura 4-5: Curva de compactación y saturación del suelo natural – muestra 3.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8: Resultados y promedio del ensayo Proctor Modificado de suelo natural.

PROCTOR MODIFICADO				
RESUMEN SUELO NATURAL	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
DENSIDAD SECA MÁXIMA $\rho_{d-m\acute{a}x}$ (g/cm ³)	1,86	1,86	1,87	1,86
HUMEDAD ÓPTIMA $\omega_{\acute{o}pt}$ (%)	14,36	14,76	14,40	14,50

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo estabilizado con 2 % de cemento

En la Figura 4-6, Figura 4-7 y la Figura 4-8 se puede observar las curvas de compactación y saturación de las tres muestras del suelo estabilizado con 2 % de cemento, dando como resultado (resumen) la *Tabla 4.9*; para más detalle del ensayo, ver el *Anexo 8*.

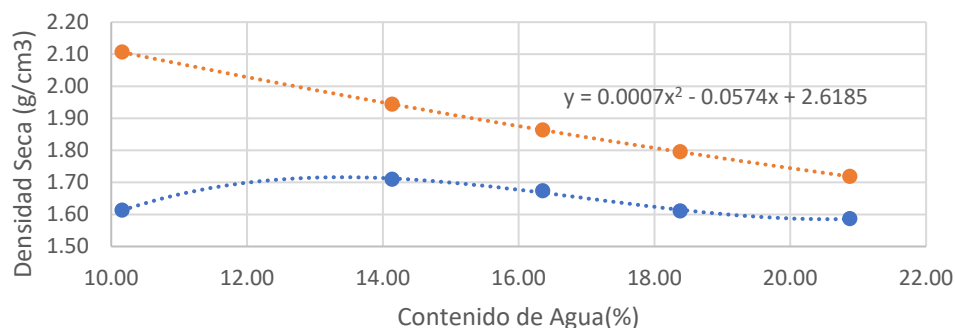


Figura 4-6: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 2 % de cemento– muestra 1.
Fuente: Elaboración propia.

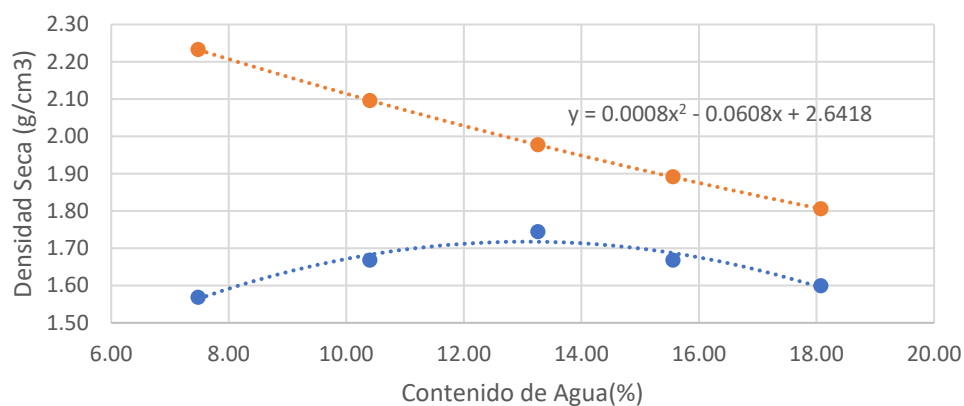


Figura 4-7: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 2 % de cemento– muestra 2.
Fuente: Elaboración propia.

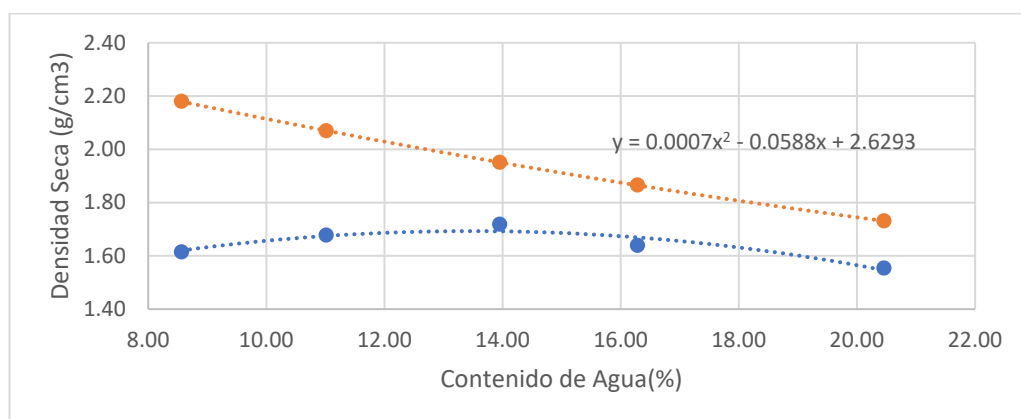


Figura 4-8: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 2 % de cemento– muestra 3.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9: Resultados y promedio del ensayo Proctor Modificado de suelo estabilizado con 2 % de cemento.

PROCTOR MODIFICADO				
RESUMEN 2 % CEMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
DENSIDAD SECA MÁXIMA pd-máx (g/cm3)	1,71	1,74	1,72	1,72
HUMEDAD ÓPTIMA ωópt (%)	14,14	13,26	13,95	13,79

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo estabilizado con 4 % de cemento

En la Figura 4-9, Figura 4-10 y la Figura 4-11 se puede observar las curvas de compactación y saturación de las tres muestras del suelo estabilizado con 4 % de cemento, dando como resultado (resumen) la *Tabla 4.10*; para más detalle del ensayo, ver el *Anexo 9*.

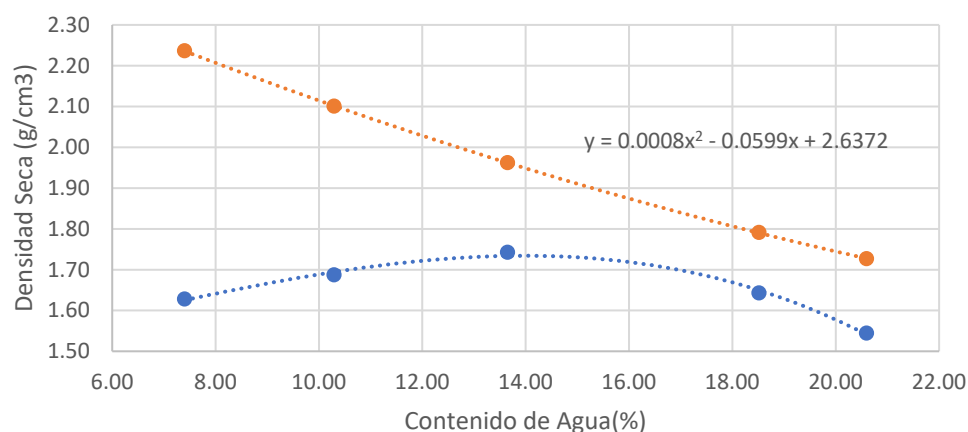


Figura 4-9: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 4 % de cemento— muestra 1
Fuente: Elaboración propia.

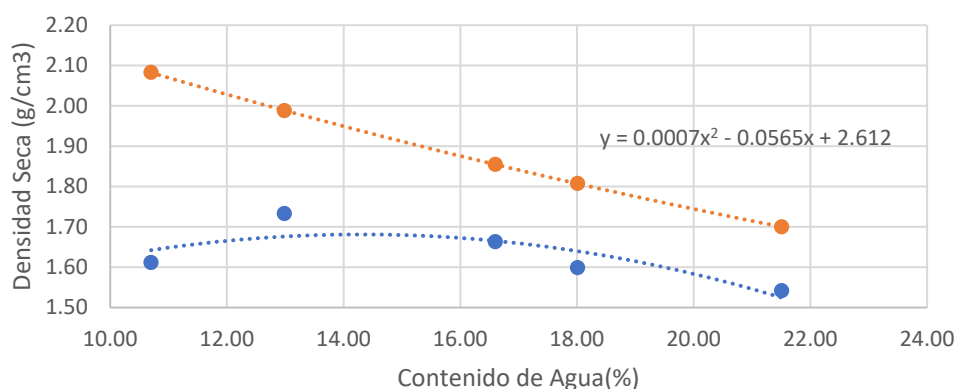


Figura 4-10: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 4 % de cemento— muestra 2.
Fuente: Elaboración propia.

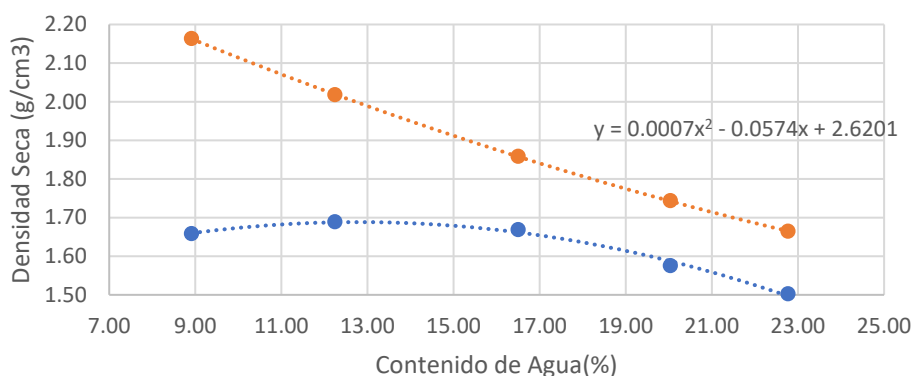


Figura 4-11: Curva de compactación y saturación del suelo estabilizado con 4 % de cemento– muestra 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10: Resultados y promedio del ensayo Proctor Modificado de suelo estabilizado con 4 % de cemento.

PROCTOR MODIFICADO				
RESUMEN 4% CEMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
DENSIDAD SECA MÁXIMA ρ_d -máx (g/cm³)	1,74	1,73	1,69	1,72
HUMEDAD ÓPTIMA ω_{opt} (%)	13,65	12,98	12,25	12,96

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en las tablas: *Tabla 4.8*, *Tabla 4.9* y *Tabla 4.10*, como la densidad seca máxima varía entre 1770 y 1850 kg/m³, mientras que la humedad óptima varía entre 12.96 y 14.50 %.

4.4 Resultados del ensayo de compactación Proctor Modificado del suelo natural y suelo estabilizado con cemento

En los resultados obtenidos de la realización del ensayo Proctor Modificado, podemos observar cómo varía la densidad seca máxima y el contenido de humedad del suelo natural a comparación del suelo estabilizado con 2% y 4% de cemento, teniendo en consideración que la compactación se realizó inmediatamente después de mezclar el suelo con el cemento y agregar el agua.

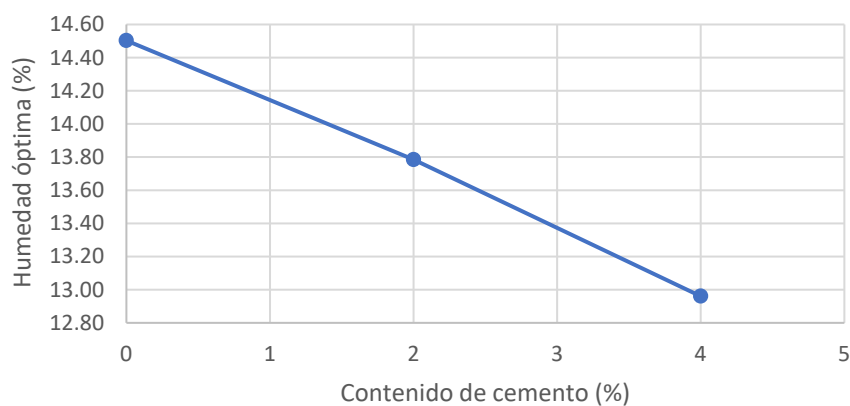


Figura 4-12: Contenido de cemento en porcentaje vs contenido de agua óptimo del Proctor modificado.
Fuente: Elaboración propia.

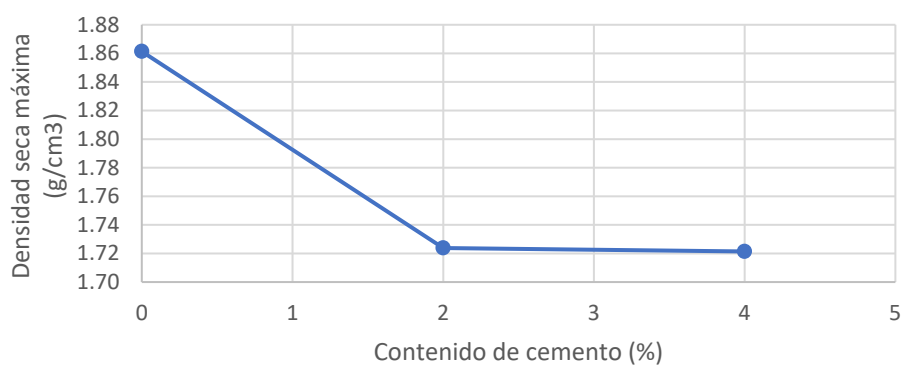


Figura 4-13: Contenido de cemento en porcentaje vs Densidad seca máxima del Proctor Modificado.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4-12 se puede observar la relación del contenido de cemento en porcentaje y el contenido óptimo de humedad para una energía de compactación, como a medida que se incrementa el porcentaje de cemento, la humedad óptima disminuye; de igual manera se puede observar en la Figura 4-13 la relación del contenido de cemento y la densidad seca máxima para la misma energía de compactación de la figura anterior, como resultado se puede observar que las muestras con adición de cemento tienen una disminución de la densidad seca máxima, sin embargo, entre las muestras con contenido de cemento al 2 % y 4 % existe una diferencia casi nula.

4.5 Ensayo a Compresión Simple

Para la determinación de la resistencia a compresión simple, se realizó 5 cilindros con suelo natural, 5 con suelo estabilizado con 2 % de cemento y 5 con suelo estabilizado con 4 % de cemento Holcim tipo MH. Dichos cilindros fueron realizados en el molde grande, se utilizó el martillo del ensayo Proctor Modificado. Cada cilindro se compactó con una humedad diferente para poder obtener una curva, para demostrar la resistencia a compresión simple. Los cilindros fueron curados por 7 días al aire libre, previo a la rotura de las muestras.

4.5.1 Determinación de la resistencia a compresión simple

Al momento de realizar los cilindros se tomaron muestras de humedad y se pesaron los cilindros para obtener la densidad seca y el contenido de agua de cada cilindro, previo al tiempo de curado. A continuación, se presentan las tablas y los gráficos resumen.

Tabla 4.11: Ensayo compresión simple suelo natural.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL SUELO NATURAL						
Punto		1	2	3	4	5
PREVIO AL CURADO						
Densidad Seca máx. (g/cm ³)	ρ_d	1,84	2,04	2,01	1,98	1,95
Humedad (%)	ω (%)	9,59	13,74	16	19,08	24,32
DESPUES DEL CURADO DE SIETE DÍAS						
Masa del cilindro secado 7 días (g)	m_6	3963	4299	4202	4091	3875
Fuerza aplicada para llegar a la rotura (kgf)	F	1982	3356	2612	1840	1059
Resistencia a la compresión simple (kgf/cm ²)	$q_u = \frac{F}{A}$	10,05	17,01	13,24	9,33	5,37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12: Ensayo compresión simple del suelo estabilizado con 2 % de cemento.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL SUELO ESTABILIZADO CON 2 % DE CEMENTO						
Punto		1	2	3	4	5
PREVIO AL CURADO						
Densidad Seca máx. (g/cm³)	ρ_d	1,73	1,81	1,73	1,62	1,56
Humedad (%)	ω (%)	10,35	13,45	15,99	19,9	22,88
DESPUES DEL CURADO DE SIETE DÍAS						
Masa del cilindro secado 7 días (g)	m_6	4068	4381	4141	4016	3882
Fuerza aplicada para llegar a la rotura (kgf)	F	1953	5046	2186	876	651
Resistencia a la compresión simple (kgf/cm²)	$q_u = \frac{F}{A}$	9,9	25,57	11,08	4,44	3,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13: Ensayo compresión simple del suelo estabilizado con 4 % de cemento.

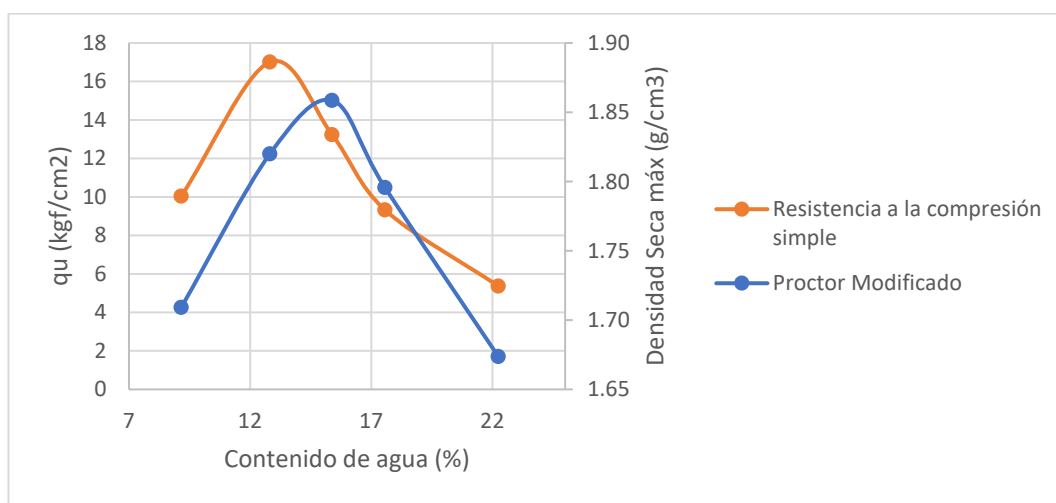
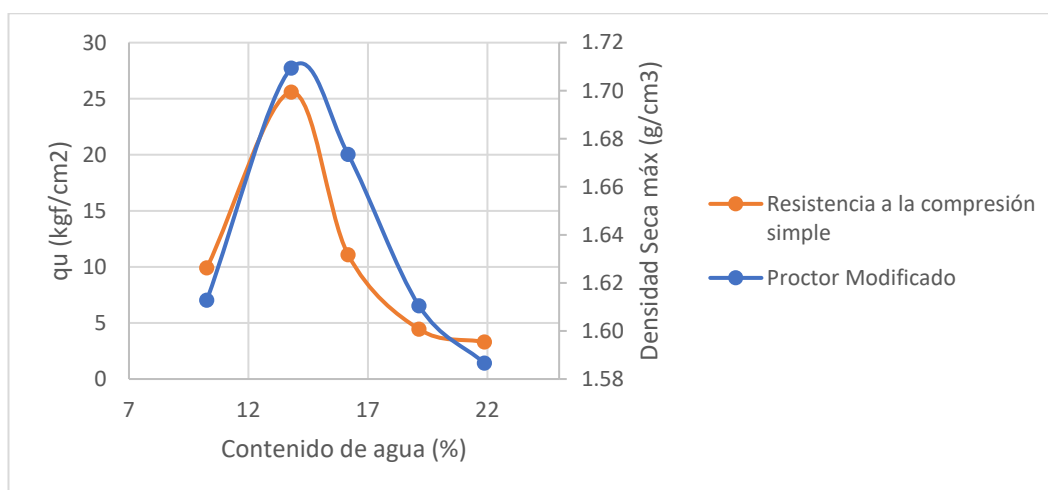
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL SUELO ESTABILIZADO CON 4 % DE CEMENTO						
Punto		1	2	3	4	5
PREVIO AL CURADO						
Densidad Seca máx (g/cm³)	ρ_d	1,69	1,78	1,74	1,67	1,56
Humedad (%)	ω (%)	9,91	13,023	14,85	16,28	22,53
DESPUES DEL CURADO DE SIETE DÍAS						
Masa del cilindro secado 7 días (g)	m_6	3993	4334	4112	4076	3929
Fuerza aplicada para llegar a la rotura (kgf)	F	3285	6088	4262	2586	2067
Resistencia a la compresión simple (kgf/cm²)	$q_u = \frac{F}{A}$	16,65	30,86	21,6	13,11	10,48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14: Tabla resumen del ensayo de compresión simple.

COMPRESIÓN SIMPLE			
RESUMEN	SUELO NATURAL	ESTABILIZACIÓN 2%	ESTABILIZACIÓN 4%
PESO ANTES DE LA ROTURA (g)	4299	4381	4334
FUERZA APLICADA (kgf)	3356	5046	6088
PRESIÓN APLICADA (kgf/cm ²)	18,49	27,81	33,55

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Curva Proctor Modificado y curva de resistencia a la compresión simple del suelo natural.
Fuente: Elaboración propia.Figura 4-15: Curva Proctor Modificado y curva de resistencia a la compresión simple del suelo estabilizado con 2% de cemento.
Fuente: Elaboración propia.

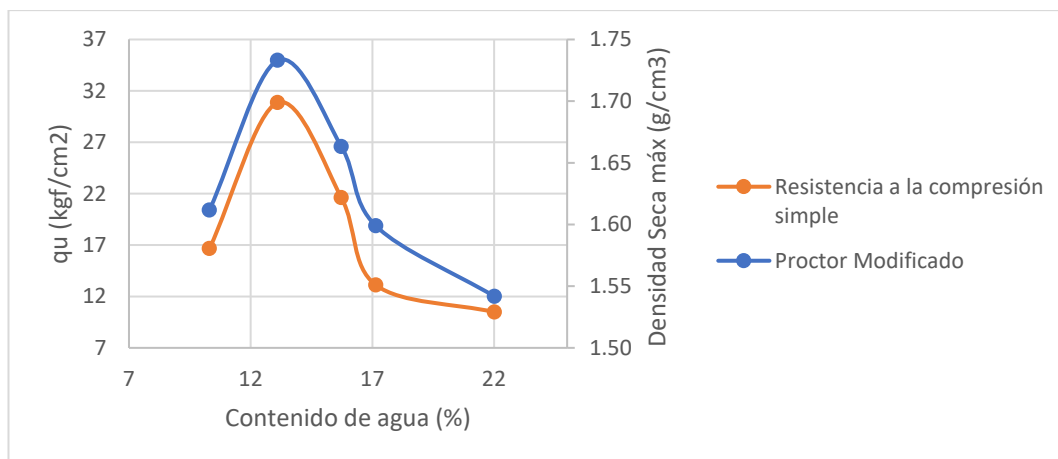


Figura 4-16: Curva Proctor Modificado y curva de resistencia a la compresión simple del suelo estabilizado con 4% de cemento.
Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 4.11*, *Tabla 4.12* y la *Tabla 4.13*, se puede observar los resultados del ensayo de compresión simple, en los cuales se puede inferir que a medida que agregamos más porcentaje de cemento a la mezcla, esta alcanza una mayor resistencia a la compresión simple; con 0 % de cemento a la mezcla, resiste 17.01 kgf/cm², con 2 % de cemento 25.57 kgf/cm² y con 4 % de cemento 30.86 kgf/cm². Las tablas con los ensayos más detallados se pueden encontrar en el Anexo 10, *Anexo 11* y el *Anexo 12*.

En la *Figura 4-14*, *Figura 4-15* y la *Figura 4-16* se puede observar las curvas del Proctor Modificado y la Curva resultante de la resistencia a compresión simple contra la humedad; para el desarrollo de las mismas cabe recalcar que, se realizó un promedio entre las humedades de ambos ensayos para poder graficar una curva sobre la otra. Se puede observar como en las curvas del suelo natural, la resistencia a la compresión máxima no se alcanza con la humedad óptima del Proctor Modificado, sino con el punto de humedad siguiente a esta, es decir, aproximadamente 15% de humedad. Sin embargo, en los ensayos del suelo estabilizado con cemento se puede observar que tanto para el incremento de 2% como para el 4% de cemento, la resistencia a la compresión simple se alcanza con la humedad óptima, resultado del ensayo Proctor Modificado, la misma que oscila entre 13 y 15% de humedad.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La problemática declarada en este trabajo, era conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo natural de la mina Musmus, sector Chordeleg y como las mismas mejoran al ser mezcladas con cemento Holcim tipo MH, en proporciones de 2 % y 4% de cemento con relación a la masa de suelo seco, a fin de utilizar los resultados en la construcción y mantenimiento de vías del sector rural. Con vista a dar respuesta a la problemática declarada, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio de suelos al material natural de la mina Musmus, que nos permitiera conocer sus propiedades físicas de granulometría, plasticidad y densidad específica, para con ellos clasificar el suelo por los sistemas SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO (American Association of State Highway) que son los sistemas utilizados internacionalmente.

De los ensayos realizados a las muestras de suelo natural que se obtuvieron de la mina Musmus, cuyos resultados se muestran en el capítulo 4, de la *Tabla 4.1* a la *Tabla 4.14*, se observa que:

- El material natural de la mina Musmus clasifica por el SUCS como un suelo SM: Arena limosa con grava, y por el AASHTO como un suelo A-1-b (0): fragmentos de piedra, grava y arena.
- Para ambos sistemas se observa que se trata de un suelo grueso, donde predominan las arenas y gravas, ya que más del 50 % se retiene en la malla No 200 (0.075mm) y pasa menos del 20 % dicha malla.
- De acuerdo al sistema AASHTO, que fue ideado para su uso en el diseño y construcción de vías de comunicación (caminos, carreteras, aeropuertos y ferrocarriles); un suelo clasificado como A-1-b (0) se considera excelente para ser utilizado como subrasante.

Acorde a lo mencionado anteriormente se llegan a las siguientes conclusiones:

1. El material de la mina Musmus, en estado natural es un excelente material para ser utilizado como subrasante en la construcción y mantenimiento de vías

rurales en el sector de Chordeleg y cualquier otro sector cercano que lo requiera y sea económico su transporte.

2. Este tipo de material natural que constituye la mina Musmus no requiere ser estabilizado con cemento para su uso en la construcción y mantenimiento de vías rurales. Solo requiere ser compactado con la energía de compactación del ensayo Proctor Modificado. Recordemos que la compactación es el método de mejoramiento de suelo, es más antiguo y más económico.

Para complementar los objetivos que nos trazamos de acuerdo a la problemática que se planteó al inicio, se estabilizó el material natural con 2 % y 4 % de cemento tipo MH, con relación al material seco. Para estudiar el aumento de la resistencia que debe obtenerse con la adición de cemento al suelo natural, se procedió a la realización de ensayos de compresión simple a las muestras compactadas con la energía de compactación del Proctor Modificado

3. En la *Tabla 4.11*, *Tabla 4.12*, *Tabla 4.13*, *Tabla 4.14*, *Figura 4-14*, *Figura 4-15* y la *Figura 4-16*, se observa, como era de esperar, que la resistencia a la compresión simple aumenta con la adición de cemento y que este aumento de resistencia a la compresión simple con la adición de cemento es más eficiente cuando se compacta con humedades ligeramente menores a la humedad óptima del ensayo de compactación, Proctor Modificado.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar el ensayo CBR con suelo natural y suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cemento para conocer si el valor incrementa y cómo, para de esta manera comparar con los requerimientos del MTOP.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, G., & Díaz, A. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal, en vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, Municipio Potosí-Rivas*. Managua-Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Archuy, A., & Sanabria, M. (2018). *Propuesta de mejora para el proceso productivo de la empresa cementos Tequendama*. Bogota, Colombia: Universidad de Colombia .
- Armas Novoa, R. (2016). *Compactación de suelos*. Cuenca.
- Armas Novoa, R., Guerrero Abril, A., & Lima Rodas, E. (2018). *Elaboración de guías metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de Mecánica de suelos de la Universidad del Azuay*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay.
- Asgary, M., Baghebanzadeh, R., & Bayat, M. (2013). Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime. *Arabic Journal of Geosciences*, Vol 8, núm 3, 1439-1452.
- ASTM_C2487. (s.f.). *Standard Classification of soil for engineering purposes*. Pensilvania, EEUU: Unified soil classification system.
- ASTM_D422-63. (2007). *Standard test method for particles-sizes analysis of soils*. Pensilvania, EEUU: Standard test method of laboratory determination of water moisture content of soil and rock by mass.
- ASTM_D854-02. (2002). *Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Bayat, M., Asgary, M., & Mousivand, M. (2013). *Effects of cement and lime treatment on geotechnical properties of a low plasticity clay*. Tabriz, Iran: International conference on Civil Engineering, Architecture & Urban Sustainable Development.
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil* . EEUU: McGraw-Hill Book Co.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Thomson S.A.

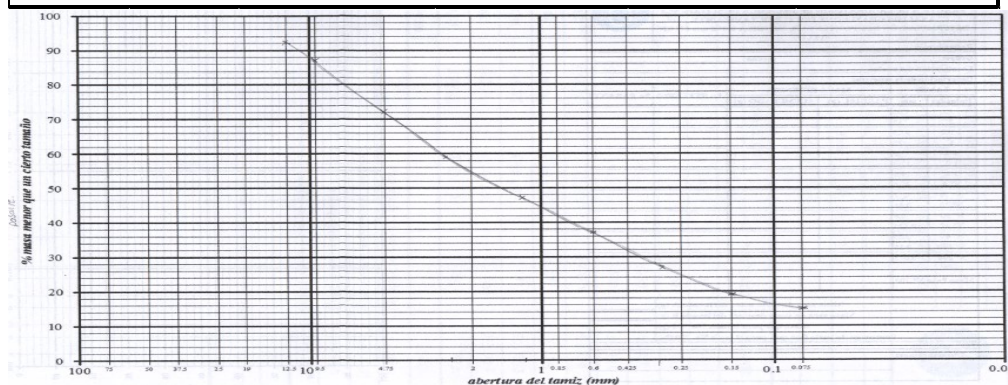
- GAD_Chodeleg. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Chordeleg*. Chordeleg: Consejo Cantonal de planificación.
- García Toro, J., & Bernal Acosta, D. (2019). *Estudio de la técnica de suelo cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia*. Bogota, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Garnica, P., Pérez, A., Gómez, J., & Obil, E. (2002). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para uso en las vías terrestres*. Sanfandila, México: Secretaría de comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
- Guerrero Baca F., & Soria López F. (2019). Estabilización de suelos con cal y puzolanas. *Construcción con tierra*, 15-24.
- Holcim. (2015). *Holcim base vial, cemento hidráulico tipo MH para estabilización de suelos*. Ecuador: Holcim Ecuador S.A.
- IECA. (2010). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid, España: Vaquero servicios de publicaciones.
- INEN, (. r. (2017). *NTE INEN 0690: Mecánicade suelos, Determinación del contenido de agua, Método de secado al horno*. Quito, Ecuador.
- INEN, 1. r. (2017). *NTE INEN 0691 Mecánica de suelos, Determinación del límite líquido, método Casagrande*. Quito, Ecuador.
- Mallela, J., Quintus, H., & Smith, K. (2004). *Consideration of lime-stabilized layers in mechanistic-emprirical pavement desing*. Arlington, Virginia: The National Lime Association.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 – MTOP*,. Ecuador: MTOP.
- Quezada, S. (2017). *Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación (Tesis en Ingeniería Civil)*,. Piura, Peru: Universidad de Piura.
- Segovia Zhispon, J. (2015). *Memoria técnica del producto comunicativo: Chordeleg, un cantón lleno de riqueza artesanal*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanic*. EEUU: John Wiley & Sons, Inc.

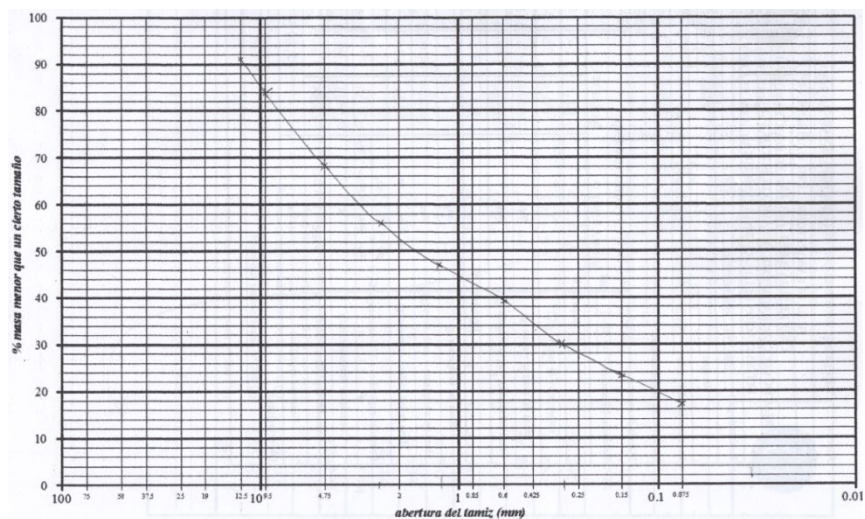
Vías, I. N. (2002). *Norma para límite plástico e índice de plasticidad de suelos*,. Bogotá, Colombia.

Anexo 2: Ensayos de granulometría del suelo natural.

FICHA DE LABORATORIO					
UNIVERSIDAD DEL AZUAY					
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°3					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MENOR A 0.075mm EN UN SUELO					
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla					
Grupo: Muestra 1			Fecha: 13/02/2020		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay					
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos					
TAMIZ		MASA RETENIDA		%RETENIDO	%PASANTE
Pulgadas	mm	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)		
1/2	12,5	328,23	328,23	7,75	92,25
3/8	9,5	200,54	528,77	12,49	87,51
N°4	4,75	649,02	1177,79	27,82	72,18
N°8	2,5	574,98	1752,77	41,41	58,59
N°16	1,25	475,00	2227,77	52,63	47,37
N°30	0,6	402,64	2630,41	62,14	37,86
N°50	0,315	450,18	3080,59	72,78	27,22
N°100	0,15	310,90	3391,49	80,12	19,88
N°200	0,075	207,66	3599,15	85,03	14,97
Masa que pasa N°200					
Masa seca de suelo antes del lavado A(g)					4233,00
Masa seca de suelo después del lavado B (g)					3599,15
Masa que pasa el tamiz N° 200 (g)					633,85
Porcentaje de suelo fino que pasa el tamiz N° 200 (%)					14,97
Observaciones:					

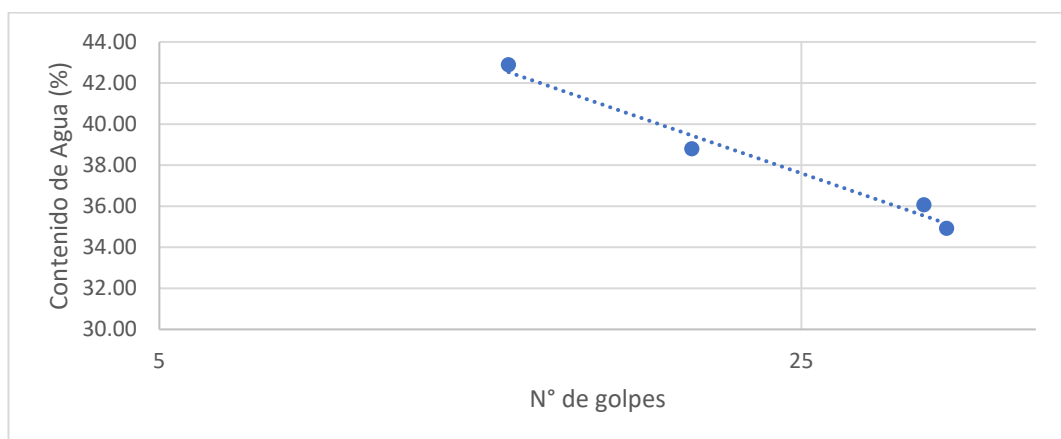


FICHA DE LABORATORIO					
UNIVERSIDAD DEL AZUAY					
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°3					
DEL PORCENTAJE MENOR A 0.075mm EN UN SUELO					
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla					
Grupo: Muestra 2			Fecha: 13/02/2020		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay					
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos					
TAMIZ		MASA RETENIDA		%RETENIDO	%PASANTE
Pulgadas	mm	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)		
1/2	12,5	378,78	378,78	8,95	91,05
3/8	9,5	306,86	685,64	16,21	83,79
N°4	4,75	654,81	1340,45	31,69	68,31
N°8	2,5	500,45	1840,90	43,52	56,48
N°16	1,25	392,98	2233,88	52,81	47,19
N°30	0,6	341,01	2574,89	60,87	39,13
N°50	0,315	366,54	2941,43	69,54	30,46
N°100	0,15	313,26	3254,69	76,94	23,06
N°200	0,075	247,66	3502,35	82,80	17,20
Masa que pasa N°200					
Masa seca de suelo antes del lavado A(g)					
Masa seca de suelo después del lavado B (g)					
Masa que pasa el tamiz N° 200 (g)					
Porcentaje de suelo fino que pasa el tamiz N° 200 (%)					
Observaciones:					



Anexo 3: Límites de consistencia de suelo natural.

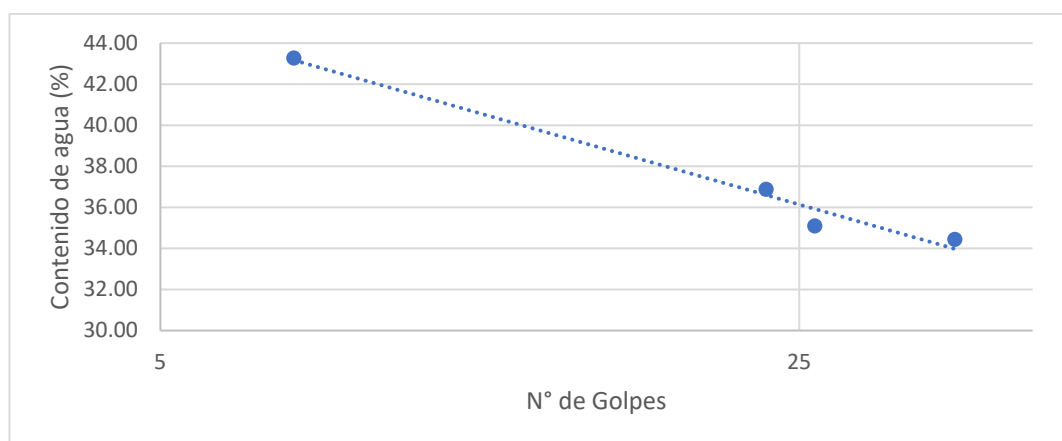
FICHA DE LABORATORIO									
UNIVERSIDAD DEL AZUAY									
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4									
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO									
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla									
Grupo: Muestra 1				Fecha: 13/02/2020				Ficha: 1/3	
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay									
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos									
Punto N°		1		2		3		4	
N° de golpes		12		19		34		36	
Recipiente N°		10	14	3	4	1	2	13	9
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,76	30,85	30,76	30,61	30,29	30,67	29,94	30,26
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	35,29	35,76	33,08	34,34	35,26	38,14	35,46	35,79
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	33,90	34,32	32,43	33,30	33,91	36,21	34,02	34,37
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,39	1,44	0,65	1,04	1,35	1,93	1,44	1,42
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	3,14	3,47	1,67	2,69	3,62	5,54	4,08	4,11
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	44,27	41,50	38,92	38,66	37,29	34,84	35,29	34,55
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	42,88		38,79		36,07		34,92	
Observaciones: _____									



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 1		Fecha: 10/02/2020		2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		16	19	74
Masa del Recipiente (g)	m_1	6,30	6,23	6,83
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	7,77	7,64	7,94
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	7,43	7,26	7,65
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,34	0,38	0,29
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	1,13	1,03	0,82
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	30,09	36,89	35,37
Límite líquido	ω (%)	34,12		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO		
UNIVERSIDAD DEL AZUAY		
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4		
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla		
Grupo: Muestra 1	Fecha: 14/02/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay		
Límite Líquido	ω (%)	37,70
Límite Plástico	ω (%)	34,12

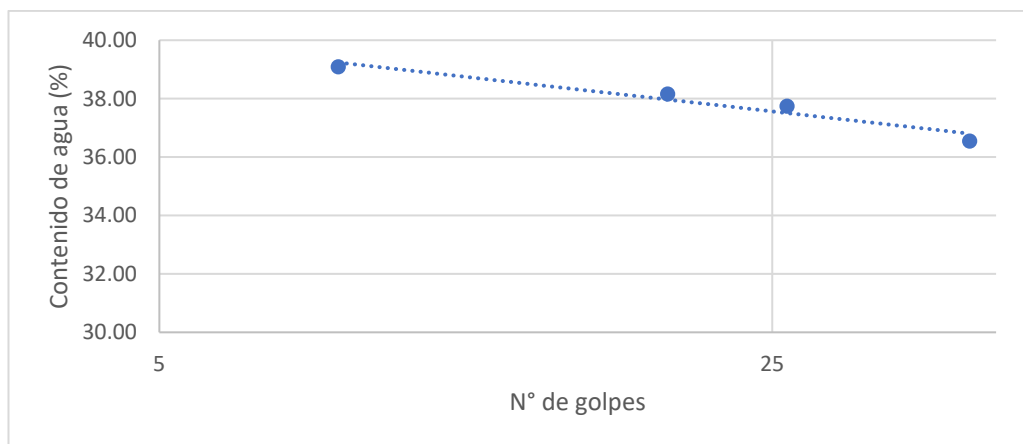
FICHA DE LABORATORIO										
UNIVERSIDAD DEL AZUAY										
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4										
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO										
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla										
Grupo: Muestra 2					Fecha: 13/02/2020			Ficha: 1/3		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay										
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos										
Punto N°		1		2		3		4		
N° de golpes		7		23		26		37		
Recipiente N°		7	8	12	41	18	11	5	6	
Masa del Recipiente (g)	m_1	29,88	30,10	30,71	30,35	30,99	30,68	30,17	29,86	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	34,27	34,98	36,33	37,05	38,79	36,13	34,43	33,60	
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	32,95	33,50	34,82	35,24	36,77	34,71	33,33	32,65	
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,32	1,48	1,51	1,81	2,02	1,42	1,10	0,95	
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	3,07	3,40	4,11	4,89	5,78	4,03	3,16	2,79	
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	43,00	43,53	36,74	37,01	34,95	35,24	34,81	34,05	
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	43,26		36,88		35,09		34,43		
Observaciones: _____										



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 2		Fecha: 10/02/2020		2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		27	59	37
Masa del Recipiente (g)	m_1	6,18	6,94	6,83
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	7,14	7,65	7,84
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	6,92	7,48	7,59
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,22	0,17	0,25
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,74	0,54	0,76
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	29,73	31,48	32,89
Límite líquido	ω (%)	31,37		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4			
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla			
Grupo: Muestra 2		Fecha: 14/02/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay			
Límite Líquido	ω (%)	36,00	
Límite Plástico	ω (%)	31,37	

FICHA DE LABORATORIO										
UNIVERSIDAD DEL AZUAY										
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4										
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO										
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla										
Grupo: Muestra 3					Fecha: 13/02/2020			Ficha: 1/3		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay										
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos										
Punto N°		1		2		3		4		
N° de golpes		8		19		26		42		
Recipiente N°		56	27	21	70	224	366	367	70	
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,11	30,47	29,86	29,67	29,82	30,19	30,10	29,69	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	33,52	34,65	33,58	32,09	36,03	35,76	36,02	34,47	
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	32,55	33,49	32,54	31,43	34,30	34,26	34,40	33,22	
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,97	1,16	1,04	0,66	1,73	1,50	1,62	1,25	
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	2,44	3,02	2,68	1,76	4,48	4,07	4,30	3,53	
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	39,75	38,41	38,81	37,50	38,62	36,86	37,67	35,41	
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	39,08		38,15		37,74		36,54		
Observaciones: _____										



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 3		Fecha: 10/02/2020		2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		69	84	85
Masa del Recipiente (g)	m_1	6,79	6,85	6,74
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	7,60	7,47	7,54
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	7,40	7,31	7,33
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,20	0,16	0,21
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,61	0,46	0,59
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	32,79	34,78	35,59
Límite líquido	ω (%)	34,39		
Observaciones: _____				

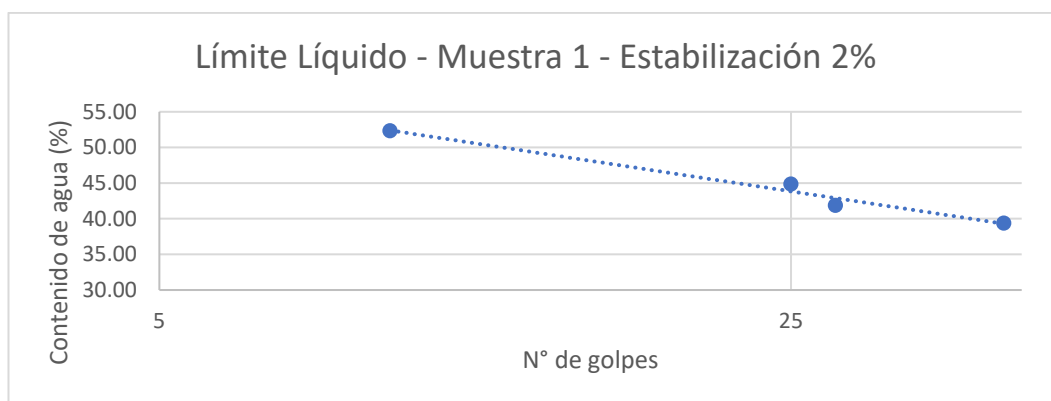
FICHA DE LABORATORIO			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4			
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla			
Grupo: Muestra 3		Fecha: 14/02/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay			
Límite Líquido	ω (%)	37,70	
Límite Plástico	ω (%)	34,39	

Anexo 4: Determinación de la gravedad específica del suelo natural.

FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°2				
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 1		Fecha: 14/02/2020		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos				
Método de ensayo: Matraz con agua				
Volumen del matraz: 250ml				
Matraz N°		1	2	3
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	23	23	23
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	346,63	342,58	360,74
Masa del matraz + agua +suelo (g)	m_{fsw}	383,94	379,95	397,66
Recipiente N°		#1	#2	#3
Masa del recipiente (g)	m_r	226,57	247,22	232,02
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_{rss}	285,94	306,89	291,03
Masa de los sólidos de suelo (g)	$m_s = m_{rss} - m_r$	59,37	59,67	59,01
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{P_s}{P_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,691	2,676	2,671
Coefficiente de temperatura	k	0,99933	0,99933	0,99933
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k * G_e$	2,689	2,674	2,670
Gravedad Específica	G_s	2,678		
Observaciones: El coeficiente k, se obtuvo de la tabla de Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (k) para diferentes temperaturas. Fuente: ASTM 854-02				

Anexo 5: Determinación de los Límites de Consistencia de las muestras estabilizadas con 2% y 4% de cemento.

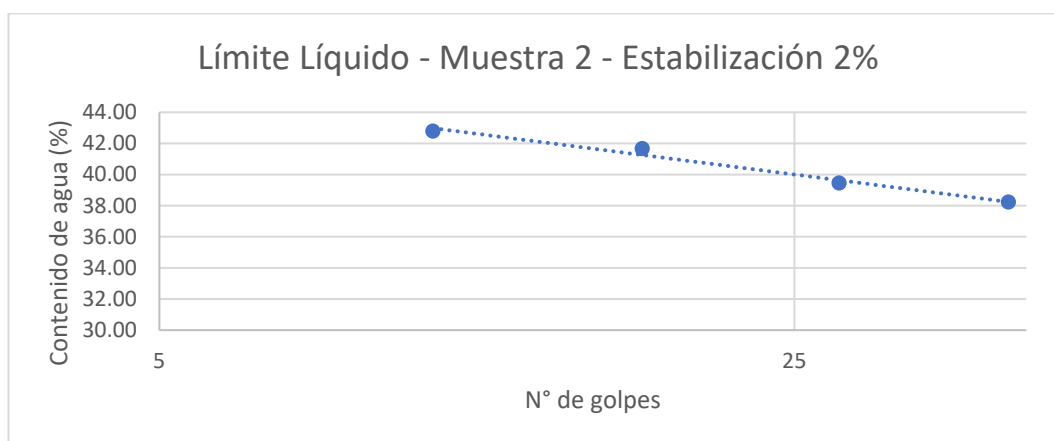
FICHA DE LABORATORIO									
UNIVERSIDAD DEL AZUAY									
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4									
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO									
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla									
Grupo: Muestra 1 - Estabilización 2%					Fecha: 24/07/2020			Ficha: 1/3	
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay									
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos									
Punto N°		1		2		3		4	
N° de golpes		9		25		28		43	
Recipiente N°		12	5	10	k1	27	4	18	52
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,72	29,88	30,14	30,44	30,48	30,68	30,76	30,16
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	36,86	34,65	34,51	33,99	34,48	33,67	34,09	33,24
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	34,74	33,02	33,17	32,88	33,31	32,78	33,16	32,36
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	2,12	1,63	1,34	1,11	1,17	0,89	0,93	0,88
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	4,02	3,14	3,03	2,44	2,83	2,10	2,40	2,20
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	52,74	51,91	44,22	45,49	41,34	42,38	38,75	40,00
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	52,32		44,86		41,86		39,38	
Observaciones: _____									



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 1 - Estabilización 2%		Fecha: 24/07/2020	2/3	
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		B2	33	70
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,20	30,74	29,69
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	31,00	31,93	30,48
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	30,78	31,59	30,27
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,22	0,34	0,21
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,58	0,85	0,58
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	37,93	40,00	36,21
Límite líquido	ω (%)	38,05		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4			
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla			
Grupo: Muestra 1 - Estabilización 2%		Fecha: 24/07/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay			
Límite Líquido	ω (%)	44,00	
Límite Plástico	ω (%)	38,05	

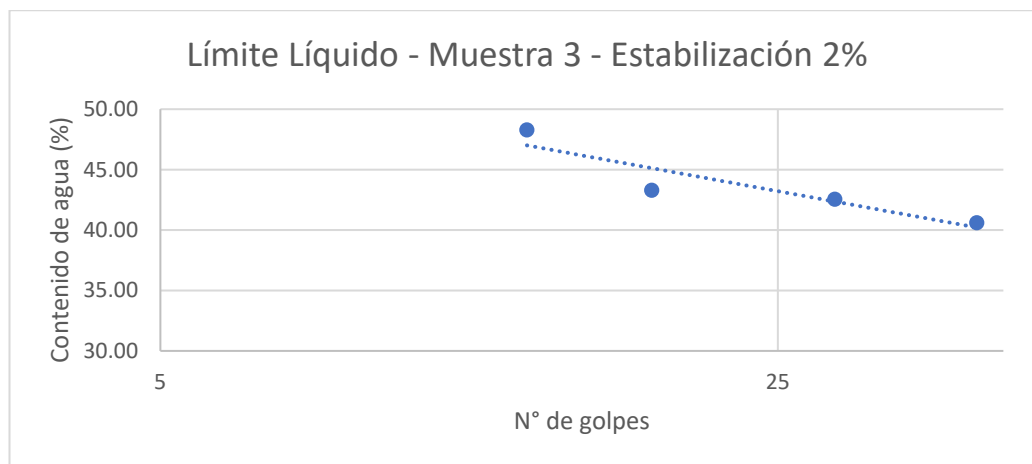
FICHA DE LABORATORIO										
UNIVERSIDAD DEL AZUAY										
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4										
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO										
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla										
Grupo: Muestra 2 - Estabilización 2%						Fecha: 24/07/2020			Ficha: 1/3	
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay										
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos										
Punto N°		1		2		3		4		
N° de golpes		10		17		28		43		
Recipiente N°		1'1	13	2	11	3x	33	66	71	
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,53	29,97	29,50	30,00	30,90	30,93	30,05	29,94	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	35,66	37,56	35,32	35,81	35,30	38,89	35,31	34,77	
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	34,12	35,29	33,60	34,11	34,06	36,63	33,86	33,43	
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,54	2,27	1,72	1,70	1,24	2,26	1,45	1,34	
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	3,59	5,32	4,10	4,11	3,16	5,70	3,81	3,49	
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	42,90	42,67	41,95	41,36	39,24	39,65	38,06	38,40	
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	42,78		41,66		39,44		38,23		
Observaciones: _____										



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 2 - Estabilización 2%			Fecha: 24/07/2020	2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		1	2	3
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,10	29,85	30,85
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	31,23	30,88	32,01
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	30,90	30,61	31,70
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,33	0,27	0,31
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,80	0,76	0,85
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	41,25	35,53	36,47
Límite líquido	ω (%)	37,75		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4			
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla			
Grupo: Muestra 2 - Estabilización 2%		Fecha: 24/07/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay			
Límite Líquido	ω (%)	39,00	
Límite Plástico	ω (%)	37,75	

FICHA DE LABORATORIO										
UNIVERSIDAD DEL AZUAY										
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4										
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO										
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla										
Grupo: Muestra 3 - Estabilización 2%					Fecha: 24/07/2020			Ficha: 1/3		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay										
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos										
Punto N°		1		2		3		4		
N° de golpes		13		18		29		42		
Recipiente N°		13	27	39	7	61	311	8	6	
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,27	30,23	30,73	30,05	30,82	31,81	30,69	30,97	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	34,06	33,44	34,13	34,20	35,05	34,82	34,76	34,66	
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	32,82	32,40	33,10	32,95	33,79	33,92	33,59	33,59	
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,24	1,04	1,03	1,25	1,26	0,90	1,17	1,07	
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	2,55	2,17	2,37	2,90	2,97	2,11	2,90	2,62	
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	48,63	47,93	43,46	43,10	42,42	42,65	40,34	40,84	
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	48,28		43,28		42,54		40,59		
Observaciones: _____										

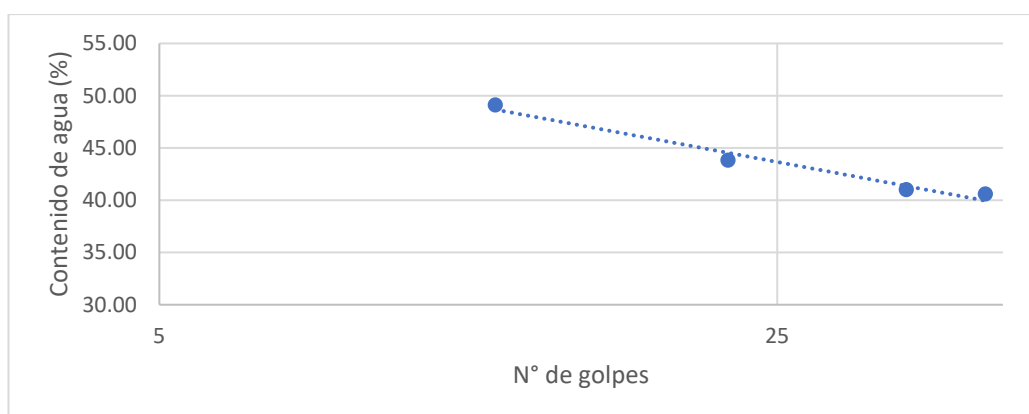


FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 3 - Estabilización 2%			Fecha: 24/07/2020	2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		78	77	28
Masa del Recipiente (g)	m_1	31,52	30,74	30,19
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	32,64	31,66	31,27
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	32,33	31,42	31,00
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,31	0,24	0,27
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,81	0,68	0,81
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	38,27	35,29	33,33
Límite líquido	ω (%)	35,63		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4			
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla			
Grupo: Muestra 3 - Estabilización 2%		Fecha: 24/07/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay			
Límite Líquido	ω (%)	43,00	
Límite Plástico	ω (%)	35,63	

Anexo 6: Determinación de los límites de consistencia, Muestra 1, 2 y 3, estabilizadas con 4% de cemento.

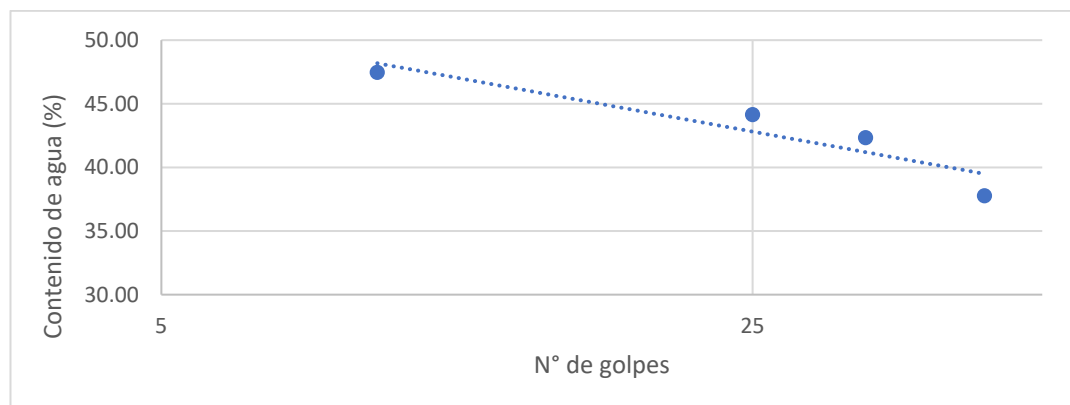
FICHA DE LABORATORIO									
UNIVERSIDAD DEL AZUAY									
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4									
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO									
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla									
Grupo: Muestra 1 - Estabilización 4%				Fecha: 24/07/2020				Ficha: 1/3	
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay									
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos									
Punto N°		1		2		3		4	
N° de golpes		12		22		35		43	
Recipiente N°		27	4	14	7	2	33	19c	6
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,48	30,68	30,84	29,91	30,68	30,74	30,78	29,90
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	34,18	34,60	33,47	33,05	35,84	34,19	34,97	33,78
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	32,97	33,30	32,68	32,08	34,32	33,20	33,76	32,66
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,21	1,30	0,79	0,97	1,52	0,99	1,21	1,12
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	2,49	2,62	1,84	2,17	3,64	2,46	2,98	2,76
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	48,59	49,62	42,93	44,70	41,76	40,24	40,60	40,58
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	49,11		43,82		41,00		40,59	
Observaciones: _____									



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 1 - Estabilización 4%		Fecha: 24/07/2020		2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		33	52	c2
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,94	30,13	30,12
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	32,14	31,35	31,22
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	31,82	31,08	30,93
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,32	0,27	0,29
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,88	0,95	0,81
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	36,36	28,42	35,80
Límite líquido	ω (%)	33,53		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4			
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla			
Grupo: Muestra 1 - Estabilización 4%		Fecha: 24/07/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay			
Límite Líquido	ω (%)	43,40	
Límite Plástico	ω (%)	33,53	

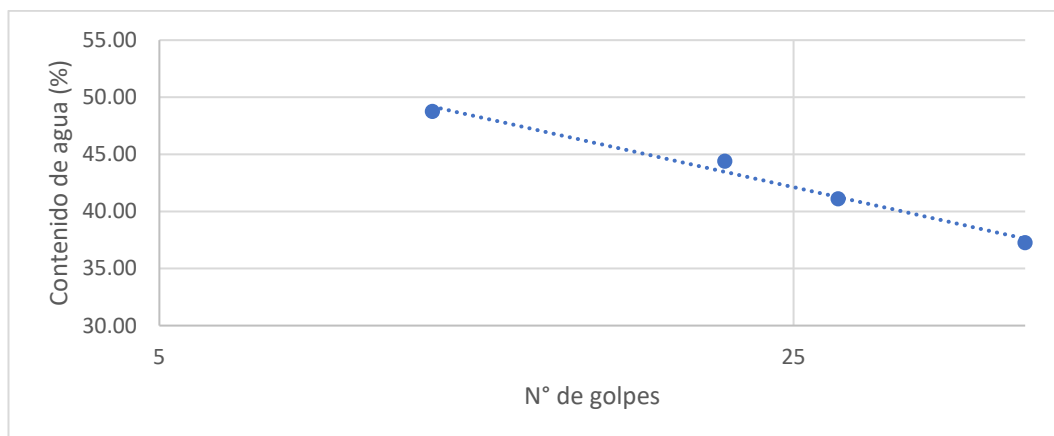
FICHA DE LABORATORIO										
UNIVERSIDAD DEL AZUAY										
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4										
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO										
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla										
Grupo: Muestra 2 - Estabilización 4%					Fecha: 24/07/2020			Ficha: 1/3		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay										
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos										
Punto N°		1		2		3		4		
N° de golpes		9		25		34		47		
Recipiente N°		9	4	5	11	12	367	3x	11	
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,27	29,97	30,16	30,69	30,70	30,05	30,92	30,00	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	34,70	34,15	34,12	34,64	35,96	35,01	35,82	34,95	
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	33,29	32,79	32,96	33,38	34,39	33,54	34,47	33,60	
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,41	1,36	1,16	1,26	1,57	1,47	1,35	1,35	
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	3,02	2,82	2,80	2,69	3,69	3,49	3,55	3,60	
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	46,69	48,23	41,43	46,84	42,55	42,12	38,03	37,50	
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	47,46		44,13		42,33		37,76		
Observaciones: _____										



FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 2 - Estabilización 4%			Fecha: 24/07/2020	2/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		9	6	12
Masa del Recipiente (g)	m_1	29,86	29,93	30,01
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	30,64	30,76	31,14
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	30,43	30,56	30,85
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,21	0,20	0,29
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,57	0,63	0,84
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	36,84	31,75	34,52
Límite líquido	ω (%)	34,37		
Observaciones: _____				

FICHA DE LABORATORIO		
UNIVERSIDAD DEL AZUAY		
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4		
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla		
Grupo: Muestra 2 - Estabilización 4%	Fecha: 24/07/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay		
Límite Líquido	ω (%)	43,00
Límite Plástico	ω (%)	34,37

FICHA DE LABORATORIO										
UNIVERSIDAD DEL AZUAY										
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4										
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO										
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla										
Grupo: Muestra 3 - Estabilización 4%					Fecha: 24/07/2020			Ficha: 1/3		
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay										
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos										
Punto N°		1		2		3		4		
N° de golpes		10		21		28		45		
Recipiente N°		9	11	1	5	2	7	18	21	
Masa del Recipiente (g)	m_1	30,29	30,68	30,29	30,17	30,68	29,91	31,01	29,86	
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	36,03	34,42	33,32	32,56	37,91	34,84	38,50	36,70	
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	34,14	33,20	32,37	31,84	35,81	33,40	36,46	34,85	
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	1,89	1,22	0,95	0,72	2,10	1,44	2,04	1,85	
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	3,85	2,52	2,08	1,67	5,13	3,49	5,45	4,99	
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	49,09	48,41	45,67	43,11	40,94	41,26	37,43	37,07	
Contenido de agua Promedio (%)	ω (%)	48,75		44,39		41,10		37,25		
Observaciones: _____										

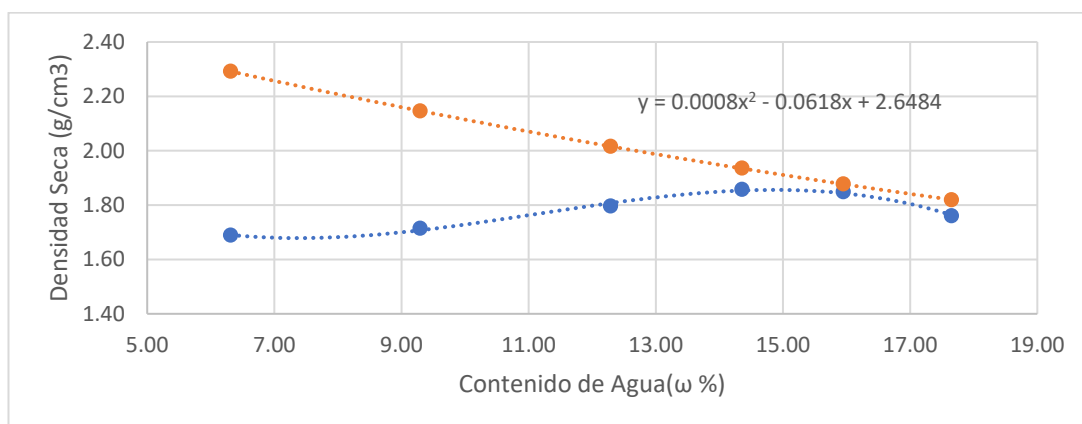


FICHA DE LABORATORIO				
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4				
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO				
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla				
Grupo: Muestra 3 - Estabilización 4%		Fecha: 24/07/2020	2/3	
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay				
Descripción de la muestra: Mixta sin grumos				
Recipiente N°		224	222	367
Masa del Recipiente (g)	m_1	29,83	31,86	30,04
Masa del Recipiente + Suelo húmedo (g)	m_2	30,81	32,66	31,12
Masa del Recipiente + Suelo seco (g)	m_3	30,54	32,45	30,83
Masa de agua (g)	$m_2 - m_3$	0,27	0,21	0,29
Masa de suelo seco (g)	$m_3 - m_1$	0,71	0,59	0,79
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	38,03	35,59	36,71
Límite líquido	ω (%)	36,78		
Observaciones: _____				

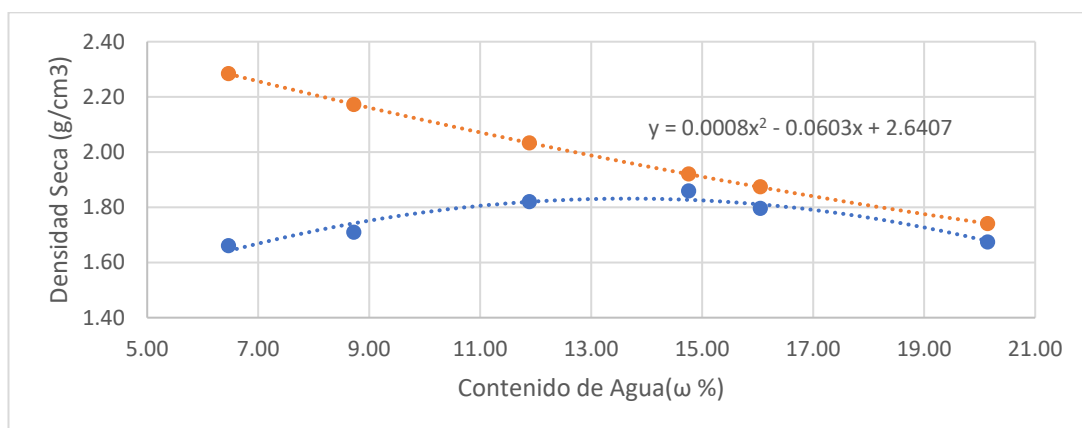
FICHA DE LABORATORIO		
UNIVERSIDAD DEL AZUAY		
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°4		
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla		
Grupo: Muestra 3 - Estabilización 4%	Fecha: 24/07/2020	3/3
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay		
Límite Líquido	ω (%)	42,00
Límite Plástico	ω (%)	36,78

Anexo 7: Ensayo Proctor Modificado del Suelo Natural.

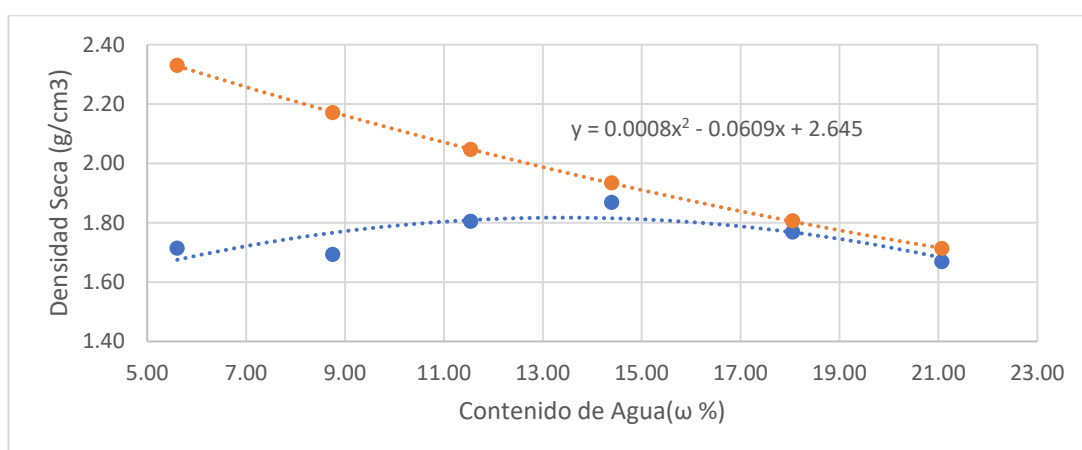
FICHA DE LABORATORIO													
UNIVERSIDAD DEL AZUAY													
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5													
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO													
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla													
Grupo: Muestra 1- Suelo Natural								Fecha: 17/02/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay													
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos													
V. del molde:		2288 cm3		Peso del martillo: 44,5N			N° de capas: 5		N° de golpes /capa: 56				
Determinación de los contenidos de agua													
Punto		1		2		3		4		5		6	
Recipiente N°		1	3	4	5	6	7	8	10	7	3m	11	12
Masa del recipiente (g)	m_1	30,26	30,76	30,61	30,18	29,89	29,91	30,08	30,83	30,04	31,76	30,52	30,68
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	132,92	163,48	101,64	112,23	110,69	101,96	90,70	83,05	125,34	125,63	114,50	99,08
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	126,41	156,14	95,69	105,15	101,53	94,36	82,30	75,92	113,96	113,28	101,80	88,90
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2-m_3}{m_3-m_1} \times 100$	6,77	5,85	9,14	9,44	12,79	11,79	16,09	15,81	13,56	15,15	17,82	17,49
Contenido de agua promedio	ω (%)	6,31		9,29		12,29		15,95		14,36		17,65	
Determinación de las densidades													
Punto		1		2		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	4714		4715		4716		4717		4718		4719	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	8822		9002		9330		9621		9578		9458	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4108		4287		4614		4904		4860		4739	
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,795		1,874		2,017		2,143		2,124		2,071	
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)}$	1,69		1,71		1,80		1,85		1,86		1,76	
Saturación (g/cm3)	$\rho_{sat} = \frac{\rho_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,292		2,146		2,016		1,877		1,935		1,819	
Observaciones: El punto cinco baja su humedad por pausa del ensayo.													



FICHA DE LABORATORIO													
UNIVERSIDAD DEL AZUAY													
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5													
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO													
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla													
Grupo: Muestra 2- Suelo Natural						Fecha: 17/02/2020							
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay													
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos													
V. del molde:		2288 cm ³		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5		N° de golpes /capa: 56					
Determinación de los contenidos de agua													
Punto		1		2		3		4		5		6	
Recipiente N°		23	18	35	15	11	19	2	7	3	9	38	52
Masa del recipiente (g)	m_1	30,01	31,02	30,02	30,45	29,73	30,79	30,68	30,35	30,72	29,94	30,80	30,08
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	149,65	154,27	117,03	123,05	106,17	113,08	121,27	105,01	123,45	129,27	157,67	189,91
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	141,59	147,61	109,82	115,86	97,99	104,40	109,80	95,26	110,14	116,06	136,51	162,97
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	7,22	5,71	9,04	8,42	11,98	11,79	14,50	15,02	16,76	15,34	20,02	20,27
Contenido de agua promedio	ω (%)	6,47		8,73		11,89		14,76		16,05		20,14	
Determinación de las densidades													
Punto		1		2		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	4714		4715		4716		4717		4718		4719	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	8759		8967		9375		9597		9486		9320	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4045		4252		4659		4880		4768		4601	
Densidad húmeda (g/cm ³)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,768		1,858		2,036		2,133		2,084		2,011	
Densidad seca (g/cm ³)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)}$	1,66		1,71		1,82		1,86		1,80		1,67	
Saturación (g/cm ³)	$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,284		2,172		2,032		1,920		1,874		1,740	
Observaciones:													

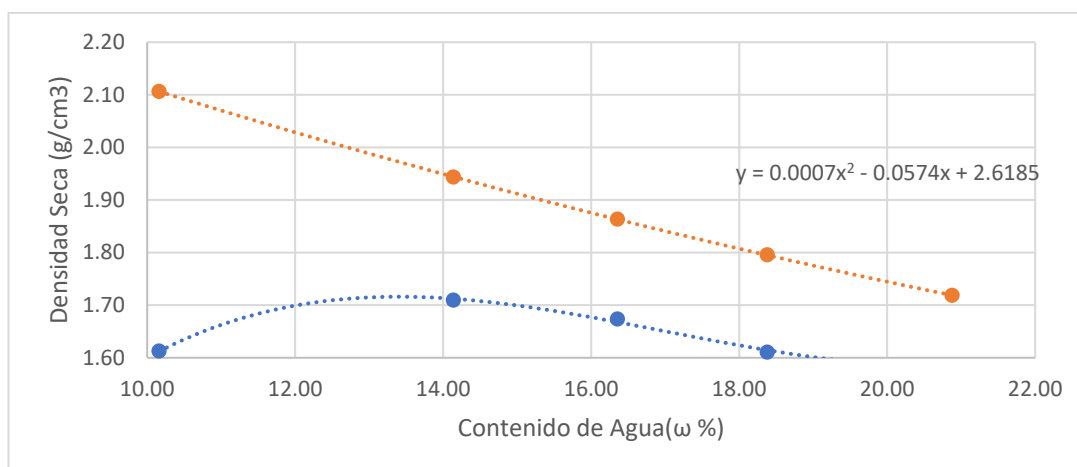


FICHA DE LABORATORIO													
UNIVERSIDAD DEL AZUAY													
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5													
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO													
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla													
Grupo: Muestra 3- Suelo Natural						Fecha: 17/02/2020							
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay													
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos													
V. del molde:		2288 cm ³		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5		N° de golpes /capa: 56					
Determinación de los contenidos de agua													
Punto		1		2		3		4		5		6	
Recipiente N°		70		224		10		33		29		66	
Masa del recipiente (g)		m_1		29,68		29,84		30,14		30,93		30,74	
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)		m_2		192,14		185,22		143,79		140,72		124,72	
Masa del recipiente + suelo seco (g)		m_3		183,64		176,85		134,72		131,81		114,72	
Contenido de agua (%)		$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$		5,52		5,69		8,67		8,83		11,91	
Contenido de agua promedio		ω (%)		5,61		8,75		11,54		14,40		18,06	
Determinación de las densidades													
Punto		1		2		3		4		5		6	
Masa del molde (g)		m_4		4409		4409		4409		4409		4409	
Masa del molde + suelo húmedo (g)		m_5		8550		8621		9014		9298		9185	
Masa del suelo húmedo (g)		$m_5 - m_4$		4141		4212		4605		4889		4776	
Densidad húmeda (g/cm ³)		$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$		1,810		1,841		2,013		2,137		2,087	
Densidad seca (g/cm ³)		$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$		1,71		1,69		1,80		1,87		1,77	
Saturación (g/cm ³)		$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$		2,330		2,171		2,047		1,934		1,806	
Observaciones:													

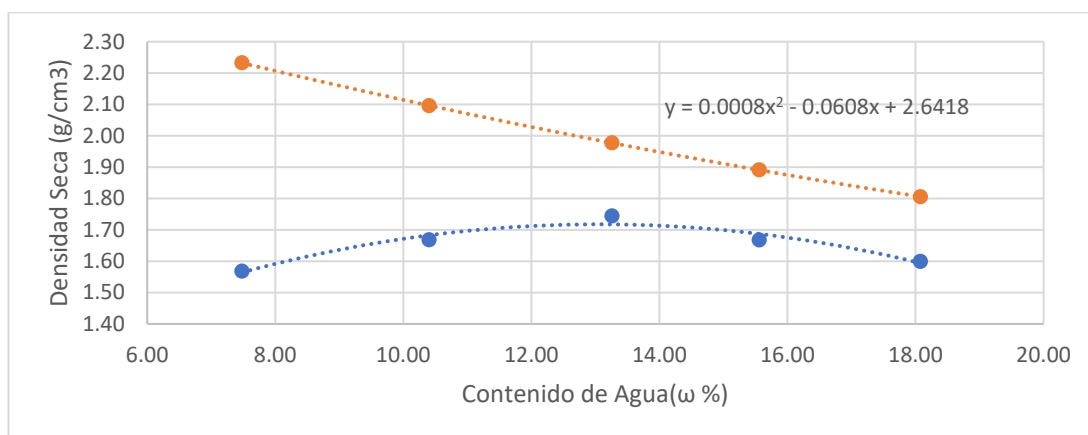


Anexo 8: Ensayo Proctor modificado del suelo estabilizado con 2% de cemento.

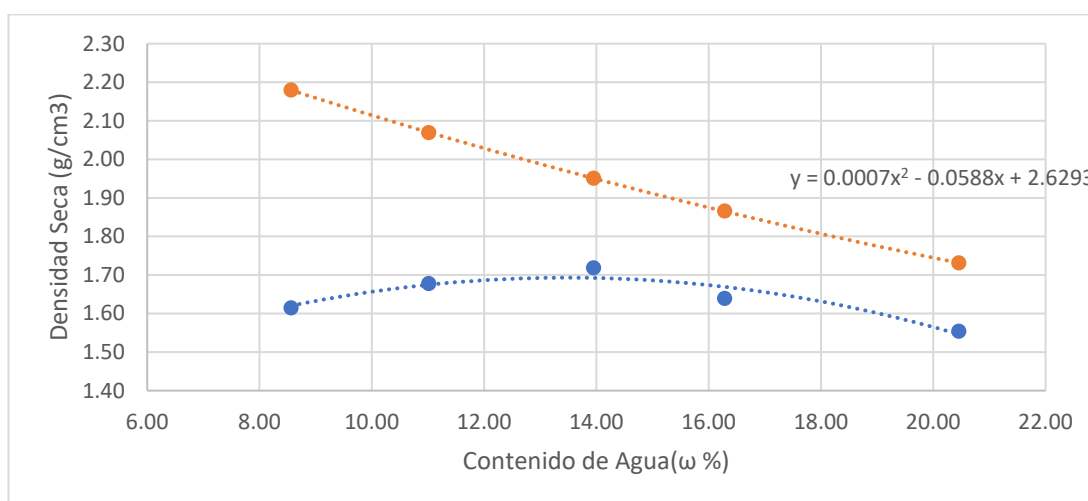
FICHA DE LABORATORIO											
UNIVERSIDAD DEL AZUAY											
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5											
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO											
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla											
Grupo: Muestra 1- Estabilización 2%						Fecha: 03/08/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay											
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos											
V. del molde (cm3):		2288		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5				N° de golpes /capa: 56	
Determinación de los contenidos de agua											
Punto		1		2		3		4		5	
Recipiente N°		5	10	7	14	11	18	66	260	11	12
Masa del recipiente (g)	m_1	29,88	29,87	29,91	30,82	30,69	31,00	30,08	29,81	30,67	30,02
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	162,56	157,98	132,12	151,21	86,05	88,09	68,67	60,93	141,17	126,0
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	150,27	146,21	119,48	136,27	78,10	80,24	62,75	56,04	121,04	110,4
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	10,21	10,12	14,11	14,17	16,77	15,94	18,12	18,64	22,28	19,48
Contenido de agua promedio	ω (%)	10,16		14,14		16,36		18,38		20,88	
Determinación de las densidades											
Punto		1		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	6671		6671		6671		6671		6671	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10736		11135		11126		11033		11059	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4065		4464		4455		4362		4388	
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - 4}{V}$	1,777		1,951		1,947		1,906		1,918	
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$	1,61		1,71		1,67		1,61		1,59	
Saturación (g/cm3)	$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,106		1,944		1,863		1,795		1,718	
Observaciones:											



FICHA DE LABORATORIO											
UNIVERSIDAD DEL AZUAY											
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5											
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO											
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla											
Grupo: Muestra 2- Estabilización 2%						Fecha: 03/08/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay											
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos											
V. del molde (cm³):		2288		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5		N° de golpes /capa: 56			
Determinación de los contenidos de agua											
Punto		1		2		3		4		5	
Recipiente N°		5	7	9	18	33	77	260	222	3	4
Masa del recipiente (g)	m_1	29,87	29,92	29,86	31,03	30,94	30,73	29,79	31,86	30,74	30,68
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	172,90	159,13	129,62	126,66	140,84	132,99	153,86	142,39	131,20	113,22
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	163,07	150,02	120,03	117,83	128,14	120,86	137,74	126,99	116,02	100,42
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	7,38	7,59	10,64	10,17	13,07	13,46	14,93	16,19	17,80	18,35
Contenido de agua promedio	ω (%)	7,48		10,40		13,26		15,56		18,08	
Determinación de las densidades											
Punto		1		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	6671		6671		6671		6671		6671	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10527		10884		11190		11080		10991	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	3856		4213		4519		4409		4320	
Densidad húmeda (g/cm³)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,685		1,841		1,975		1,927		1,888	
Densidad seca (g/cm³)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)}$	1,57		1,67		1,74		1,67		1,60	
Saturación (g/cm³)	$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,232		2,096		1,977		1,891		1,805	
Observaciones:											



FICHA DE LABORATORIO											
UNIVERSIDAD DEL AZUAY											
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5											
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO											
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla											
Grupo: Muestra 3- Estabilización 2%						Fecha: 03/08/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay											
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos											
V. del molde (cm3):		2288		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5				N° de golpes /capa: 56	
Determinación de los contenidos de agua											
Punto		1		2		3		4		5	
Recipiente N°		1	5	6	9	12	18	3x	70	B2	367
Masa del recipiente (g)	m_1	30,03	29,87	29,93	29,85	30,71	31,02	30,90	29,68	30,25	30,04
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	168,04	143,52	172,59	188,09	148,01	135,90	143,50	145,89	138,16	131,4
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	156,94	134,73	158,35	172,48	133,60	123,10	127,86	129,48	119,83	114,2
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2-m_3}{m_3-m_1} \times 100$	8,75	8,38	11,09	10,94	14,01	13,90	16,13	16,44	20,46	20,45
Contenido de agua promedio	ω (%)	8,56		11,02		13,95		16,29		20,46	
Determinación de las densidades											
Punto		1		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	6671		6671		6671		6671		6671	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10681		10932		11151		11031		10953	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4010		4261		4480		4360		4282	
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - 4}{v}$	1,753		1,862		1,958		1,906		1,872	
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$	1,61		1,68		1,72		1,64		1,55	
Saturación (g/cm3)	$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,180		2,069		1,951		1,866		1,731	
Observaciones:											



Anexo 9: Ensayo Proctor Modificado del Suelo estabilizado con 4% de cemento.

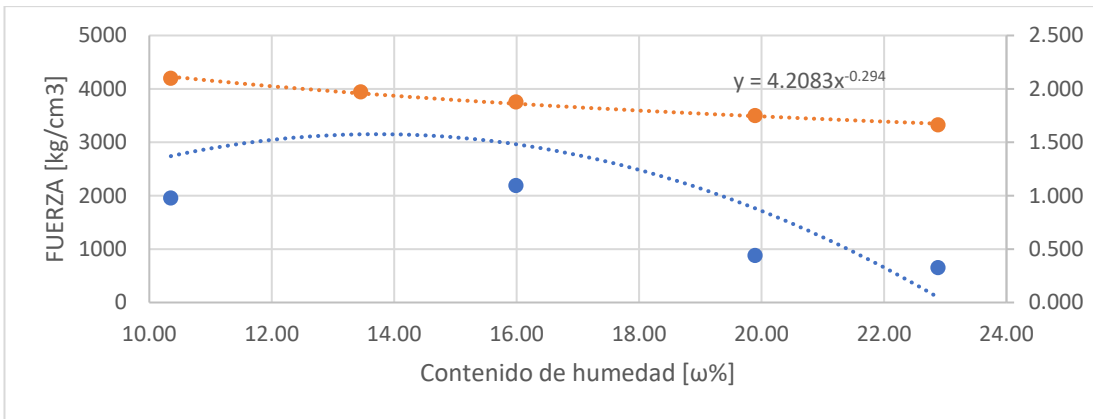
FICHA DE LABORATORIO											
UNIVERSIDAD DEL AZUAY											
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5											
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO											
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla											
Grupo: Muestra 1- Estabilización 4%						Fecha: 03/08/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay											
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos											
V. del molde (cm3): 2288			Peso del martillo: 44,5N			N° de capas: 5			N° de golpes /capa: 56		
Determinación de los contenidos de agua											
Punto		1		2		3		4		5	
Recipiente N°		12	77	4	5	7	10	81	52	14	18
Masa del recipiente (g)	m_1	30,70	30,76	30,65	29,87	29,93	29,88	30,14	30,19	30,84	31,02
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	178,65	163,52	151,21	151,11	182,58	178,89	144,71	147,61	191,63	169,06
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	168,39	154,43	140,05	139,70	163,62	161,61	127,07	129,00	164,28	145,39
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	7,45	7,35	10,20	10,39	14,18	13,12	18,20	18,83	20,50	20,70
Contenido de agua promedio	ω (%)	7,40		10,29		13,65		18,52		20,60	
Determinación de las densidades											
Punto		1		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	6671		6671		6671		6671		6671	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10671		10928		11202		11126		10932	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4000		4257		4531		4455		4261	
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,748		1,861		1,980		1,947		1,862	
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)}$	1,63		1,69		1,74		1,64		1,54	
Saturación (g/cm3)	$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,236		2,100		1,962		1,791		1,727	
Observaciones:											

FICHA DE LABORATORIO											
UNIVERSIDAD DEL AZUAY											
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5											
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO											
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla											
Grupo: Muestra 2- Estabilización 4%						Fecha: 03/08/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay											
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos											
V. del molde (cm3):		2288		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5		N° de golpes /capa: 56			
Determinación de los contenidos de agua											
Punto		1		2		3		4		5	
Recipiente N°		4	5	6	10	7	77	A2	B2	2	11
Masa del recipiente (g)	m_1	30,63	29,87	29,92	29,89	29,89	30,73	30,73	30,23	29,46	30,52
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	133,08	156,92	153,30	159,57	122,48	149,28	155,96	127,01	173,46	191,08
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	122,92	144,96	139,28	144,50	109,05	132,72	137,08	112,06	148,01	162,62
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	11,01	10,39	12,82	13,15	16,97	16,24	17,75	18,27	21,47	21,54
Contenido de agua promedio	ω (%)	10,70		12,98		16,60		18,01		21,51	
Determinación de las densidades											
Punto		1		3		4		5		6	
Masa del molde (g)	m_4	6671		6671		6671		6671		6671	
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10753		11151		11108		10988		10957	
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4082		4480		4437		4317		4286	
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - 4}{v}$	1,784		1,958		1,939		1,887		1,873	
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$	1,61		1,73		1,66		1,60		1,54	
Saturación (g/cm3)	$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$	2,083		1,988		1,855		1,808		1,700	
Observaciones:											

FICHA DE LABORATORIO											
UNIVERSIDAD DEL AZUAY											
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS N°5											
ENSAYO DE COMPACTACIÓN TIPO PROCTOR MODIFICADO											
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla											
Grupo: Muestra 3- Estabilización 4%						Fecha: 03/08/2020					
Localización del suelo: Mina Musmus, Chordeleg, Azuay											
Descripción de la muestra: Muestra mixta sin grumos											
V. del molde (cm3):		2288		Peso del martillo: 44,5N		N° de capas: 5		N° de golpes /capa: 56			
Determinación de los contenidos de agua											
Punto		1		2		3		4		5	
Recipiente N°		8		114		39		78		29	
Masa del recipiente (g)		m_1		30,67		30,27		30,71		31,51	
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)		m_2		182,73		208,41		164,85		170,00	
Masa del recipiente + suelo seco (g)		m_3		170,73		193,31		150,05		155,06	
Contenido de agua (%)		$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$		8,57		9,26		12,40		12,09	
Contenido de agua promedio		ω (%)		8,91		12,25		16,50		20,04	
Determinación de las densidades											
Punto		1		3		4		5		6	
Masa del molde (g)		m_4		6671		6671		6671		6671	
Masa del molde + suelo húmedo (g)		m_5		10803		11008		11119		10997	
Masa del suelo húmedo (g)		$m_5 - m_4$		4132		4337		4448		4326	
Densidad húmeda (g/cm3)		$\rho_t = \frac{m_5 - 4}{V}$		1,806		1,896		1,944		1,891	
Densidad seca (g/cm3)		$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)}$		1,66		1,69		1,67		1,58	
Saturación (g/cm3)		$\rho_{sat} = \frac{P_w}{\frac{1}{G_s} + w}$		2,163		2,018		1,858		1,744	
Observaciones:											

FICHA DE LABORATORIO																
UNIVERSIDAD DEL AZUAY																
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE																
Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla																
Grupo: Muestra 1 - Suelo Natural										Fecha: 15/09/2020						
Localización del suelo: Mina Musmus, canton Chordeleg, Azuay																
Descripción de la muestra:																
V. del molde [cm3]:		2216,269		Peso del martillo [N]: 44,5			Nº de capas: 5						Nº de golpes /capa: 56			
Determinación de los contenidos de agua																
Punto		150ml			300ml			450ml			600ml			750ml		
Recipiente N°		1	6	7	9	10	11	56	3	5	a2	27	18	4	33	81
Masa del recipiente (g)	m_1	30,31	30,96	29,91	30,23	30,1	30,68	30,14	30,78	29,99	30,76	30,48	31,01	30,64	30,94	30,09
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	149,35	175,19	186,16	158,39	154,92	171,32	118,69	111,04	113,35	137,32	159,54	172,08	129,47	210,99	163,05
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	139,32	162,32	172,26	142,74	139,23	155,22	107,07	99,44	101,86	120,87	138,53	149,03	110,69	175,74	136,37
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	9,20	9,80	9,76	13,91	14,38	12,93	15,10	16,89	15,99	18,26	19,44	19,53	23,46	24,34	25,14
Contenido de agua promedio	ω (%)	9,59			13,74			16,00			19,08			24,32		
Determinación de las densidades																
Punto		1			2			3			4			5		
Masa del molde (g)	m_4	6671			6672			6673			6674			6675		
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10748			11190			11126			11053			11007		
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4077			4518			4453			4379			4332		
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,84			2,04			2,01			1,98			1,95		
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$	1,84			2,04			2,01			1,98			1,95		
Grado de Saturación (g/cm3)	$\rho_{sav} = \frac{P_w}{\omega + 1/G_s}$	2,13			1,96			1,88			1,77			1,62		
Determinación de la Compresión Simple																
Punto		1			2			3			4			5		
Masa del cilindro seco 7 días (g)	m_6	3963			4299			4202			4091			3875		
Fuerza aplicada para llegar a la rotura (kgf)	F	1982			3356			2612			1840			1059		
qu (kgf/cm2)	$P = \frac{F}{A}$	10,05			17,01			13,24			9,33			5,37		
Observaciones:																

FICHA DE LABORATORIO																
UNIVERSIDAD DEL AZUAY																
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE																
Realizado por: Liseth Alvarado y Diana Portilla																
Grupo: Muestra 1 - Suelo Natural con 2% de cemento										Fecha: 17/09/2020						
Localización del suelo: Mina Musmus, canton Chordeleg, Azuay																
Descripción de la muestra:																
V. del molde [cm3]:		2216,269		Peso del martillo [N]: 44,5		Nº de capas: 5				Nº de golpes /capa: 56						
Determinación de los contenidos de agua																
Punto		150ml			300ml			450ml			600ml			750ml		
Recipiente Nº		4	10	70	2	11	28	78	114	8	13	51	61	311	29	210
Masa del recipiente (g)	m_1	30,69	29,89	29,68	29,49	30,54	30,2	31,5	30,26	30,66	30,32	29,9	30,85	31,77	30,92	31,76
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	158,86	163,84	146,19	142,77	149,4	141,83	168,69	165,47	158,07	128,97	150,66	158,57	156,23	155,98	174,4
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	146,43	151,12	135,77	129,35	134,57	129,28	149,72	146,48	140,89	112,34	129,84	138,56	133,55	133,11	146,8
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	10,74	10,49	9,82	13,44	14,26	12,67	16,05	16,34	15,59	20,28	20,83	18,58	22,28	22,38	23,98
Contenido de agua promedio	ω (%)	10,35			13,45			15,99			19,90			22,88		
Determinación de las densidades																
Punto		1			2			3			4			5		
Masa del molde (g)	m_4	6671			6672			6673			6674			6675		
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10897			11231			11116			10980			10930		
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4226			4559			4443			4306			4255		
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,91			2,06			2,00			1,94			1,92		
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$	1,73			1,81			1,73			1,62			1,56		
Grado de Saturación (g/cm3)	$\rho_{sav} = \frac{P_w}{\omega + 1/GS}$	2,10			1,97			1,88			1,75			1,66		
Determinación de la Compresión Simple																
Punto		1			2			3			4			5		
Masa del cilindro secado 7 días (g)	m_6	4068			4381			4141			4016			3882		
Fuerza aplicada para que se rompa el cilindro (kg/cm2)	F	1953			5046			2186			876			651		
qu (kgf/cm2)	$P = \frac{F}{A}$	9,90			25,57			11,08			4,44			3,30		
Observaciones:																



Anexo 12: Compresión simple suelo estabilizado con 4% de cemento.

FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE



Realizado por: Lisseth Alvarado y Diana Portilla

Grupo: Muestra 1 - Suelo Natural con 4% de cemento

Fecha: 19/09/2020

Localización del suelo: Mina Musmus, canton Chordeleg, Azuay

Descripción de la muestra:

V. del molde [cm3]:	2216,269	Peso del martillo [N]: 44,5	Nº de capas: 5	Nº de golpes /capa: 56
---------------------	----------	-----------------------------	----------------	------------------------

Determinación de los contenidos de agua

Punto		150ml			300ml			450ml			600ml			750ml		
Recipiente Nº		27	1	13	9	12	k1	6	7	10	11	a2	18	311	51	28
Masa del recipiente (g)	m_1	30,48	30,3	29,94	30,27	30,74	30,43	30,97	29,9	30,14	30,67	30,74	31,04	31,84	29,9	30,2
Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	m_2	161,71	173,49	169,57	166,7	175,53	164,9	171,98	141,75	169	122,97	119,48	138,11	157,02	157,79	157,55
Masa del recipiente + suelo seco (g)	m_3	150,16	160,11	157,14	150,67	158	149,86	154,47	126,27	151,61	110,73	106,08	123,53	132,56	135,03	134,89
Contenido de agua (%)	$\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	9,65	10,31	9,77	13,31	13,77	12,59	14,18	16,06	14,32	15,29	17,79	15,76	24,29	21,65	21,64
Contenido de agua promedio	ω (%)	9,91			13,23			14,85			16,28			22,53		

Determinación de las densidades

Punto		1	2	3	4	5
Masa del molde (g)	m_4	6671	6672	6673	6674	6675
Masa del molde + suelo húmedo (g)	m_5	10779	11133	11095	10979	10918
Masa del suelo húmedo (g)	$m_5 - m_4$	4108	4461	4422	4305	4243
Densidad húmeda (g/cm3)	$\rho_t = \frac{m_5 - m_4}{V}$	1,85	2,01	2,00	1,94	1,91
Densidad seca (g/cm3)	$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + (\frac{\omega}{100})}$	1,69	1,78	1,74	1,67	1,56
Grado de Saturación (alc3)	$\rho_{sav} = \frac{P_w}{\omega + 1/GS}$	2,12	1,98	1,92	1,87	1,67

Determinación de la Compresión Simple

Punto		1	2	3	4	5
Masa del cilindro secado 7 días (g)	m_6	3993	4334	4112	4076	3929
Fuerza aplicada para que se rompa el cilindro (kg/cm2)	F	3285	6088	4262	2586	2067
qu (kgf/cm2)	$p = \frac{F}{A}$	16,65	30,86	21,60	13,11	10,48

Observaciones:

