



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**

**Denis Robin Ruano López**

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS  
VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DENIS ROBIN RUANO LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre 2009.

**Denis Robin Ruano López**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 4 de Mayo de 2012

Ingeniero:  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Ingeniero. Melini

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación titulado “**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**”, elaborado por el alumno Denis Robin Ruano López, ha finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,

OMAR ENRIQUE MEDRANO MENDEZ  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 6842



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Colegiado 6842

Jefe de sección de mecánica de suelos, CII

Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
17 de julio de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

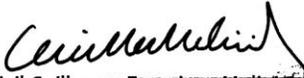
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Denis Robin Ruano López, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
~~Ing. Civil Guillermo Francisco Meléndez Salguero~~ FACULTAD DE INGENIERIA  
Coordinador del Área de Materiales y CONSTRUCCIONES CIVILES  
Construcciones Civiles  
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero al trabajo de graduación del estudiante Denis Robin Ruano López, titulado **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, Septiembre de 2012.

/bbdeb.

Más de **130** Años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.415-2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**, presentado por el estudiante universitario **Denis Robin Ruano López**, autoriza la impresión del mismo..

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, septiembre de 2012

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por haber estado conmigo en todo momento y lugar ayudándome a seleccionar el camino adecuado para tener éxitos en mis estudios.
- Mis padres** Vicente Ruano Dubón por su cariño, dedicación y ser ejemplo de hombre emprendedor y responsable Olbir Audelina López de Ruano, por su amor, apoyo incondicional y ser ejemplo de perseverancia en mi vida
- Mis hermanos** Olbir Dorothy Ruano López y Derby Randy Ruano López por el cariño y atención que me han brindado siempre.
- Mis abuelos** Domingo Ruano Veliz, Dorotea Dubón de Ruano, Audelina García de López y Ramón López, por estar presentes con su cariño en mi vida, por sus consejos y sabiduría que me han entregado con mucho amor.
- Mi familia** Mis tíos y primos que me han demostrado su cariño y comprensión en cada etapa de mi vida, y que agradezco a Dios por tenerlos a mi lado.
- Mis amigos** Por estar siempre presentes en todo momento y por enseñarme con su amistad a ser mejor persona cada día.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro.
- Guatemala** Por ser el bello país que me vio nacer, donde crecí aprendiendo a conocer lo hermoso e impresionante que es, y por eso y mucho más me siento muy orgulloso de ser un guatemalteco de corazón.
- Mis padres** Por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, los quiero mucho.
- Mis hermanos** Por estar siempre conmigo apoyándome siempre en la realización de mis proyectos y actividades.
- Mis amigos** Por su amistad, sus consejos, por su ayuda y apoyo en cada proceso de mi graduación y por la buena convivencia que tuvimos en todo momento.
- La Facultad de Ingeniería** Por ser fuente de conocimiento y de la creación de nobles ideales para el desarrollo profesional.
- El Ing. Omar E. Medrano Méndez** Por el asesoramiento en el trabajo de graduación, el apoyo incondicional brindado, por los conocimientos compartidos que me hacen ser un mejor profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1. Clasificación del suelo.....	1
1.2. Principales tipos de suelos. ....	3
1.3. Propiedades y características físicas de los suelos cohesivos.....	4
1.3.1. Factores intervinientes en el proceso de erosión hídrica en suelos cohesivos.....	4
1.3.2. Propiedades de los suelos cohesivos.....	5
1.3.3. Cohesión.....	6
1.3.4. Propiedades de limos y arcillas.....	7
1.4. Cal, cal viva y su proceso de obtención.....	8
1.4.1. Utilidades de la cal.....	8
1.4.2. La cal.....	9
1.4.3. Variedades comerciales.....	9
1.4.4. Obtención de la cal viva.....	10
1.4.5. Uso de la cal.....	11
1.5. Clasificación y tipos de arenas.....	13
1.5.1. Tipos de arena.....	13

1.5.2.	Procedencia de las arenas.....	13
1.5.3.	Clasificación de arenas de acuerdo con el tamaño de sus granos según el sistema de clasificación AASTHO.....	14
1.6.	Estabilización de suelos cohesivos.....	15
1.6.1.	Suelo-cal.....	16
2.	ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA.....	19
2.1.	Descripción de las muestras.....	19
2.1.1.	Mina 1 arena sílice.....	20
2.1.2.	Mina 2 de arena azul.....	21
2.2.	Ubicación de los bancos de arenas estabilizadoras.....	24
2.2.1.	Como llegar al banco de arena sílice.....	24
2.2.2.	Mapa de ubicación del banco de arena sílice.....	24
2.2.3.	Como llegar al banco de arena azul.....	29
2.3.	Características de la cal utilizada. ....	32
2.3.1.	Ubicación de mina de piedra caliza.....	34
2.4.	Funcionamiento de la cal en estabilizaciones.....	36
2.4.1.	Estabilización de suelos con cal.....	38
2.5.	Ensayos de laboratorio a las arenas volcánicas.....	40
2.5.1.	Normas utilizadas en los ensayos de laboratorio realizados a las arenas volcánicas.....	40
2.6.	Informe de los ensayos realizados a las arenas volcánicas.....	41
2.6.1.	Resultados de ensayo de granulometría de las arenas.....	41
2.6.2.	Resultados de ensayo de gravedad específica.....	44

2.6.3.	Resultados de ensayo de análisis petrográfico macroscópica de las muestras de roca de las arenas.....	45
3.	UBICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SUELOS COHESIVOS	
	A ESTABILIZAR. ....	47
3.1.	Descripción de los suelos a estabilizar. ....	47
3.2.	Lugares de procedencia de los suelos cohesivos. ....	48
3.3.	Mapa de área de extracción de muestras. ....	49
3.4.	Fotografías de los lugares de extracción de muestras de arcillas. ....	52
3.5.	Normas utilizadas en los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos cohesivos a estabilizar.....	53
3.6.	Estudio de laboratorio a los suelos cohesivos. ....	55
3.6.1.	Ensayo de suelos a muestra de arcilla número 1.....	56
3.6.2.	Ensayo de suelos a muestra de arcilla número 2.....	58
4.	ENSAYOS DE MEZCLAS CON ARENAS VOLCÁNICAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS COHESIVOS.....	61
4.1.	Descripción de las muestras a utilizar. ....	61
4.2.	Descripción de las proporciones de las mezclas a utilizar para la estabilización de suelos cohesivos. ....	61
4.3.	Ensayos de laboratorio realizados a las mezclas. ....	62
4.4.	Normas a utilizar en cada uno de los ensayos de las mezclas.....	65

4.5.	Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 1.....	66
4.6.	Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2.....	68
4.7.	Resultados de los ensayos de laboratorio de las mezclas a utilizar con arcilla 1.....	70
4.8.	Resultados de los ensayos de laboratorio de las mezclas a utilizar con arcilla 2. ....	82
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ESTABILIZACIONES A SUELOS COHESIVOS .....	95
5.1.	Análisis de resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio en la estabilización de suelos cohesivos. ....	95
5.2.	Gráficas de resultados de las estabilizaciones obtenidas con las mezclas.....	96
5.2.1.	Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 1 con arena sílice.....	97
5.2.2.	Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 1 con arena azul.....	98
5.2.3.	Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 2 con arena sílice.....	100
5.2.4.	Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 2 con arena azul. ....	101
5.2.5.	Interpolación de las gráficas obtenidas con las estabilizaciones. ....	103

CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	109
ANEXOS.....	111



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Vista aérea de mina de arena sílice.....	21
2.	Vista aérea de la ubicación de la mina 2.....	23
3.	Mapa de ubicación de arena sílice .....	25
4.	Fotografías de acceso para llegar a mina de arena 1.....	26
5.	Bancos de material en mina de arena sílice.....	26
6.	Vista de cortes por maquinaria en bancos de arena sílice .....	27
7.	Vista de la montaña completa del banco de arena sílice .....	28
8.	Mapa de ubicación de arena azul .....	29
9.	Bancos de material en mina de arena azul.....	30
10.	Vista de la entrada del banco de arena azul.....	31
11.	Vista de cortes en banco para de extracción de arena azul .....	31
12.	Mapa de ubicación satelital de fábrica de cal .....	33
13.	Ubicación satelital de lugar de extracción de piedra caliza para la elaboración de la cal viva.....	34
14.	Ubicación satelital de lugar de extracción de piedra caliza para la elaboración de la cal viva.....	35
15.	Ejemplo extremo de fracaso de un pavimento por suelos inestables.....	36
16.	Comparación de arcilla plástica sin tratar y arcilla tratada con cal, después de la mezcla inicial y fraguado.....	37
17.	La capa estabilizada con cal soporta la erosión, Ilustrando la resistencia. ....	38
18.	Gráfico granulométrico de arena sílice. ....	42

19.	Gráfico granulométrico de arena azul.....	43
20.	Mapa de la República de Guatemala indicando la zona de extracción de las muestras de arcillas. ....	50
21.	Vistas aéreas de montañas con suelos arcillosos. ....	51
22.	Vistas satelitales de lugares de extracción de arcillas. ....	51
23.	Áreas montañas con suelos arcillosos.....	52
24.	Lugar de extracción de arcillas .....	53
25.	Realización de ensayo de granulometría .....	63
26.	Realización de ensayo de compactación .....	63
27.	Preparación de muestras en el ensayo de compactación .....	64
28.	Preparación de cilindros en ensayo de CBR .....	64
29.	Muestra ya penetrada en el ensayo de CBR .....	65
30.	Esquema de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 1 .....	66
31.	Esquema de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2.....	68
32.	Ensayo de compactación mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 1.....	74
33.	Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena sílice y 75% de arcilla 1.....	75
34.	Ensayo de compactación mezcla de 50% de arena sílice y 50% de arcilla 1.....	76
35.	Ensayo de compactación mezcla de 10% de arena azul y 90% de arcilla 1.....	77
36.	Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena azul y 75% de arcilla 1.....	78
37.	Ensayo de compactación mezcla de 50% de arena azul y 50% de arcilla 1.....	79

38.	Ensayo de compactación mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 1.....	86
39.	Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena sílice y 75% de arcilla 2.....	87
40.	Ensayo de compactación mezcla de 50% de arena sílice y 50% de arcilla 2.....	88
41.	Ensayo de compactación mezcla de 10% de arena azul y 90% de arcilla 2.....	89
42.	Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena azul y 75% de arcilla 2.....	90
43.	Ensayo de compactación mezcla de 50% de arena azul y 50% de arcilla 2.....	91
44.	Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%, 25% y 50% de arena sílice.....	98
45.	Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%, 25% y 50% de arena azul.....	99
46.	Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10%, 25% y 50% de arena sílice.....	101
47.	Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10%, 25% y 50% de arena azul.....	102

## TABLAS

I.	Resultado de ensayo de gravedad específica de arena sílice .....	44
II.	Resultado de ensayo de gravedad específica de arena azul.....	45
III.	Resultado de ensayo de análisis petrográfico Macroscópica de arena sílice.....	46
IV.	Resultado de ensayo de análisis petrográfico Macroscópica de arena azul.....	46

V.	Datos de resultados de ensayo de límites de muestra de arcilla 1.....	57
VI.	Datos de resultado de granulometría de muestra de arcilla 1.....	57
VII.	Datos de ensayo de compactación de muestra de arcilla 1.....	58
VIII.	Datos de ensayo de CBR de muestra de arcilla 1.....	58
IX.	Datos de ensayo de límites de muestra de arcilla 2.....	59
X.	Datos de resultado de granulometría de muestra de arcilla 2.....	59
XI.	Datos de ensayo de compactación de muestra de arcilla 2.....	60
XII.	Datos de ensayo de CBR de muestra de arcilla 2.....	60
XIII.	Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 1.....	67
XIV.	Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2.....	69
XV.	Datos de ensayos de granulometría mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 1.....	70
XVI.	Datos de ensayo granulometría mezcla de 25% de arena sílice y 75% de arcilla 1.....	71
XVII.	Datos de ensayo granulometría mezcla de 50% de arena sílice y 50% de arcilla 1.....	71
XVIII.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10% de arena azul y 90% de arcilla 1.....	72
XIX.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25% de arena azul y 75% de arcilla 1.....	72
XX.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50% de arena azul y 50% de arcilla 1.....	73
XXI.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 1.....	80

XXII.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena sílice y 75 % de arcilla 1.....	80
XXIII.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 50% de arena sílice y 50%de arcilla 1.....	81
XXIV.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 10% de arena azul y 90% de arcilla 1.....	81
XXV.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena azul y 75% de arcilla 1.....	81
XXVI.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 50% de arena azul y 50% de arcilla 1.....	82
XXVII.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 2.....	83
XXVIII.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25% de arena sílice y 75% de arcilla 2.....	83
XXIX.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50% de arena sílice y 50% de arcilla 2.....	84
XXX.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10% de arena azul y 90% de arcilla 2.....	84
XXXI.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25% de arena azul y 75% de arcilla 2.....	85
XXXII.	Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50% de arena azul y 50% de arcilla 2.....	85
XXXIII.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 2.....	92
XXXIV.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena sílice y 75% de arcilla 2.....	92
XXXV.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 50% de arena sílice y 50% de arcilla 2.....	92

XXXVI.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 10% de arena azul y 90% de arcilla 2.....	93
XXXVII.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena azul y 75% de arcilla 2.....	93
XXXVIII.	Datos de ensayo de CBR mezcla de 50% de arena azul y 50% de arcilla 2.....	93
XXXIX.	Valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%, 25% y 50% de arena sílice.....	97
XL.	Valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%, 25% y 50% de arena azul.....	99
XLI.	Valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10%, 25% y 50% de arena sílice.....	100
XLII.	Valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10%, 25% y 50% de arena azul.....	102

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>C</b>	Cohesión
<b>G<sub>s</sub></b>	Gravedad específica de los sólidos
<b>G<sub>sa</sub></b>	Gravedad específica aparente de los agregados
<b>%E</b>	Porcentaje de expansión
<b>%C</b>	Porcentaje de compactación
<b>%CBR</b>	Porcentaje California Bearing Ratio
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>IP</b>	Índice de plasticidad
<b>IG</b>	Índice de grupo
<b><math>\gamma_d</math></b>	Densidad seca máxima
<b>H<sub>op</sub></b>	Humedad óptima
<b>H(%)</b>	Porcentaje de humedad
<b>C<sub>u</sub></b>	Coefficiente de uniformidad
<b>C<sub>g</sub></b>	Coefficiente de graduación



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Siglas que corresponden a la entidad Americana American Association of State Highway and Transportation Official.
<b>Agregado</b>	Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, la roca triturada, usada para ser mezclado en diferentes tamaños.
<b>ASTM</b>	Siglas que corresponden a la entidad Americana American Society for Testing and Materials. (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
<b>Asentamiento</b>	Deformaciones verticales producidas por incrementos de carga (en general carga vertical) en un espesor de suelo determinado. Se conocen también como asientos.
<b>Asfalto</b>	Material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), temperaturas ambientales normales.
<b>Banco de arena</b>	Arena que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclada en mayor o menor cantidad con material granular y fino y resultando en diferentes combinaciones.

<b>Caliza</b>	Es una de la más común de las rocas sedimentarias no clástica, en su mayoría han sido formadas por acumulación de conchas, esqueletos de organismos y principalmente por carbonato de calcio.
<b>Cantera</b>	Es el lugar donde la roca se separa de sus lechos naturales y se prepara para su utilización en la industria de la construcción, es el lugar de donde se extrae el material pétreo usado en la elaboración de mezclas asfálticas.
<b>Compresibilidad</b>	Propiedad que presentan los cuerpos de disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos, manteniendo constantes otros parámetros.
<b>Cohesión</b>	Es la cualidad por la cual las partículas de un suelo se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas.
<b>Estabilidad</b>	Capacidad del asfalto para resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito.
<b>Expansión</b>	Proceso en que la masa de suelo tiende a aumentar su volumen manteniendo su forma.
<b>Material ígneo</b>	Material de roca originada por la masa de materiales en fusión existentes en el interior de la tierra y tienden a enfriarse y a endurecerse con el transcurso del tiempo.

## RESUMEN

Se requiere evaluar el comportamiento de las arenas de origen volcánico en la estabilización de suelos cohesivos, estas arenas son muy comunes en diferentes áreas de la construcción y existen en gran cantidad dentro del departamento de Guatemala como en otras áreas del país. Los materiales de origen volcánico son muy fáciles de encontrar en Guatemala, la mayoría de su territorio tiene influencia en sus suelos procedentes por eventos y actividad volcánica.

El aprovechar al máximo los materiales de origen volcánico en las diferentes áreas de la construcción como también en estabilizaciones de suelos cohesivos entre otros.

La utilización de la cal viva es otro recurso que se tiene a la mano y a un bajo costo y se le puede dar un uso de aprovechamiento correcto para conseguir resultados satisfactorios.

Las estabilizaciones de suelos en Guatemala son muy comunes, ya que se necesita ejecutar diferentes proyectos como lo son carreteras, áreas industriales, complejos habitacionales etc., por lo que es importante estudiar nuevas opciones para realizar esta actividad, proponiendo diferentes materiales, métodos y proporciones de mezclas de agregados para lograr estabilizaciones de suelos logrando obtener valores de CBR adecuados según sea su aplicación en el campo de la construcción.

Este estudio usando recursos volcánicos crea un precedente para seguir la investigación de otros tipos de materiales, que también pueden utilizarse como nuevos agregados para estabilizaciones e implementarlos en diferentes proyectos como también aprovechar la cercanía de los bancos de extracción de materiales al lugar de la ejecución.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar de manera precisa y mecánica el estudio de investigación de estabilización de suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, con muestras y ensayos en el laboratorio de suelos y la obtención y comprobación de resultados.

### **Específicos**

1. Contribuir de manera sistemática al cálculo de la estabilización de suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, a un proceso sencillo y confiable para poder ser usado fácilmente
2. Extraer los materiales a utilizar de bancos adecuados y analizar las propiedades y características físicas de cada una de ellas por medio de ensayos y estudio de laboratorio.
3. Definir proporciones en porcentajes de los materiales estabilizantes a usar y con los resultados de laboratorio obtener una estabilización mejorada en suelos cohesivos.
4. Contribuir a complementar por medio del trabajo de graduación el estudio de estabilización de suelos cohesivos, a los alumnos de pregrado de Ingeniería Civil, en especial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se plantea el estudio de la estabilización de suelos cohesivos, los cuales fueron extraídos del área norte del departamento de Guatemala, para lograr la estabilización se utilizaron arenas de origen volcánico, y un porcentaje de cal viva a las mezclas. En las mezclas se utilizaron diferentes porcentajes de arenas las cuales son arena sílice y arena azul.

Se desea dar a conocer de una manera lógica y sistemáticamente todos los procedimientos que se realizaron para lograr estabilizaciones exitosas con dos diferentes tipos de arenas, mostrando desde la ubicación de los bancos de extracción de cada una de las arenas, la ubicación de las mismas y de los suelos cohesivos, que se utilizaron como la descripción detallada de cada una de las mezclas que se usaron en las estabilizaciones. Se realizaron ensayos de laboratorio a las muestras de suelos cohesivos, a las arenas volcánicas, y a todas las mezclas que se utilizaron para lograr valores positivos en las estabilizaciones, todos estos ensayos realizados de acuerdo a normas ASTM y normas AASHTO.

También se realizaron gráficas del comportamiento del valor de CBR obtenido con cada una de las arenas volcánicas para ver el incremento del mismo conforme aumentaba el porcentaje de arena en las mezclas, donde los principales logros obtenidos fueron el poder verificar que estas arenas utilizadas comúnmente es la construcción son una gran herramienta en la estabilización de suelos y que se pueden implementar a un bajo costo mezclándolas con cal viva.



# 1. CONCEPTOS BÁSICOS

Para comprender el análisis de una estabilización de suelos cohesivos es necesario conocer algunos conceptos básicos que permitirán una mejor comprensión de los temas relacionados con los suelos cohesivos, gravas, arenas y estabilizaciones, en el primer capítulo se desarrollan los conceptos relacionados con estabilización de suelos cohesivos, arenas volcánicas y cal viva.

## 1.1. Clasificación del suelo

- **Tamaño de grano**  
Se distinguen tres tamaños principales: grava, arena y finos (limo y arcilla). Los bloques de roca (tamaño superior a los 75 milímetros) encontrado dentro de la muestra de suelo, se excluyen de la porción, pero se registra la cantidad presente.
- **Plasticidad**  
De plasticidad es inferior o igual a 10, término arcilloso a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.
- **Índice de grupo (IG)**  
El índice de grupo incluyendo el grupo de clasificación, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplanes, material de subrasante, subbases y bases.

El índice de grupo se determina a través de la evolución en cada grupo, mediante el cálculo de la fórmula empírica.

$$IG = (F200-35) [0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F200-15)(IP-10)$$

Donde:

F 200 = porcentaje que pasa la malla No. 200 expresado como un número entero

LL = límite líquido

IP = índice de plasticidad

Si el porcentaje que pasa por la malla No. 200, menos 35, es mayor de 75, se anotará 75 y si es menor de 35, se anotará cero. Si el porcentaje de material que pasa por la malla No. 200, menos 15, es mayor de 55, si es menor de 15, se anotará cero.

Valor del límite líquido, menos 40, si el LL es mayor de 60 se anotará 60 y si es menor de 40 se anotará cero. Valor del índice de plasticidad, menos 10, si el IP es mayor de 30, se anotará 30 y si es menor de 10 se anotará cero. Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, se debe de usar la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad:

$$IG = 0,01(F200-15)(IP-10)$$

Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar cero. Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado A-8 sólo con una inspección visual generalmente, es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.

Algunas reglas con respecto al uso de estas ecuaciones, son las siguientes:

- Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como  $IG=0$
- No hay un límite superior para el índice de grupo
- El  $IG$  debe redondearse a valores enteros

## **1.2. Principales tipos de suelos**

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos; suelos cuyo origen se debe a la descomposición física o química de las rocas, o sea de los suelos inorgánicos y los suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Si en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se forma da origen a un suelo residual; en caso contrario, forma un suelo transportado, cualquiera que haya sido el agente transportador (por gravedad: talud; por agua: aluviales o lacustres; por viento: eólicos; por glaciares; depósito glaciares).

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre en situaciones que en muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea en forma de humus o de materia no descompuesta o en estado de descomposición, es tan alta con deriva de la porción mineral quedan eliminadas. Esto es muy común en las zonas pantanosas en las cuales los restos de vegetación acuática llega a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genérico de turbas, las cuales se caracterizan por su color negro o café oscuro por su poco peso cuando están secos y su gran compresibilidad. La turba es el primer paso de la conversión de la materia vegetal en carbón.

### **1.3. Propiedades y características físicas de los suelos cohesivos**

Las propiedades y características físicas de los suelos cohesivos, son aquellas que determinan los componentes internos de la estructura de cada suelo y los cuales se ven reflejados en la apariencia de cada uno.

#### **1.3.1. Factores intervinientes en el proceso de erosión hídrica en suelos cohesivos**

Los efectos y las propiedades de los factores físicos fundamentales de los suelos cohesivos, que influyen en la resistencia de los mismos a la erosión son las siguientes:

- Peso específico.
- Porosidad (volumen de poros por unidad de volumen de suelo).
- Humedad (cantidad de agua contenida en los poros).
- Plasticidad (capacidad de variar la forma sin conformarse fisuras, conservando aquellas luego de quitada la carga y sus límites).
- Cohesión (existencia de fuerzas intermoleculares que interfieren la ruptura del conjunto).
- Ángulo de fricción interna.
- Hinchamiento (capacidad de disminuir la cohesión en el supuesto de saturación del suelo hasta destruir su reestructura).

- Heterogeneidad (existencia de capas intermedias finas de suelo, con otras cualidades, incrustaciones, etc.).
- Integridad (modificación de la estructura en su estado natural).

En la acción hidrodinámica del flujo sobre lechos cohesivos influyen:

- Magnitud de las velocidades de las corrientes medias o de fondo.
- Nivel de pulsación de la velocidad.
- Profundidad del flujo.
- Contenidos de mezclas en el flujo (sedimentos en suspensión, sustancias químicas, etc.).

### **1.3.2. Propiedades de los suelos cohesivos**

Las propiedades de los suelos cohesivos son las que se examinan en forma sintética y precisa, estas propiedades del suelo y flujo son datos que se necesitan para iniciar una evaluación de sus características.

Peso específico (densidad)

Cuanto más denso es un suelo tanto más sólido es el mismo, pero existen arcillas densas con hinchamiento las cuales para el estado de saturación pierden la solidez y su resistencia a la erosión. El peso específico de los suelos cohesivos fluctúa comúnmente entre pequeños límites de 2,60 a 2,75 gramos por centímetro cúbico; por lo tanto no influyen en la erosión.

## Porosidades y humedad

En estado natural conservan el equilibrio establecido de las fuerzas internas cuando menos es al porosidad, para igual cohesión, tanto mejor resiste el suelo a la erosión. Con la variedad de la humedad se modifican la resistencia a la erosión y la plasticidad. Con el aumento de la saturación, un suelo cohesivo puede pasar del estado sólido al fluido. Se diferencia el límite de plasticidad superior cuando al rolar la muestra no se conforma fisura, conservando la arcilla cualquier forma; el límite de plasticidad inferior, cuando disminuyen bruscamente las fuerzas de cohesión, apareciendo la fluidez.

En arcillas muy plásticas (con un alto número de plasticidad mayor a 0,15) existe una gran resistencia a la erosión (hasta un 30 por ciento) y una gran resistencia elasto-plástica a la fatiga (resistencia a las cargas pulsatorias).

### **1.3.3. Cohesión**

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide en kilogramo sobre centímetro cuadrado. Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kilogramo sobre centímetro cuadrado 2 a 1,5 kilogramo sobre centímetro cuadrado, o más.

Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula por eso se dice que las arenas no son suelos cohesivos y se pueden identificar muy fácilmente solo apreciando su textura.

#### **1.3.4. Propiedades de limos y arcillas**

Las propiedades de limos y arcillas, son características que poseen estos suelos, los cuales se pueden determinar observando las muestras de suelos y realizando ensayos para evaluar así su comportamiento.

- Resistencia en estado seco: para saber la resistencia de un bloque o terrón de suelo se toma un espécimen seco del suelo y se golpea con un martillo.
- En la arcilla la resistencia seca es alta y en el limo la resistencia seca es baja.
- Dilatancia: el fenómeno de dilatancia en los materiales granulares responde a un aumento de volumen del material al aplicarle una deformación de corte, se puede determinar colocando una porción de suelo muy húmeda en la palma de la mano que al golpearla con la otra mano por debajo, hace que el agua del suelo aflore y luego pueda desaparecer, ocurriendo rápido en limos o lentamente en arcillas.
- Tenacidad: mide la plasticidad del suelo y se evalúa formando rollitos de 1/8 pulgadas o (3 milímetros). Si con suelos húmedos los rollitos así no se agrietan ni desintegran, tenemos arcillas, si lo hacen son limos.
- Sedimentación o dispersión: se disgrega el suelo triturándolo para separar los granos; se hace una suspensión en agua y en recipiente de vidrio se mezcla y homogeneiza la mezcla, luego se deja reposar: así, la arena se deposita en segundos, el limo en minutos y pocas horas, y la arcilla en varias horas e incluso días, quedando turbia el agua.

- Brillo: se frota el suelo húmedo en su superficie con una navaja. La superficie brillante indica arcilla y la superficie color mate, limo.

#### **1.4. Cal, cal viva y su proceso de obtención**

La cal, es un elemento muy utilizado e importante en la construcción, y el proceso de obtención es en minas, las cuales se encuentran en varias partes de Guatemala pero principalmente en el oriente del país.

##### **1.4.1. Utilidades de la cal**

La cal ha sido un material de construcción muy utilizado antes de la aparición del cemento. La cal era usada mezclada con arena como mortero (una de cal y una de arena) para unir sillares de roca, para lucir paredes, para blanquear fachadas e incluso como desinfectante. La llamada cal viva está constituida por óxido de calcio y se ha obtenido tradicionalmente por calentamiento a unos mil grados centígrados de rocas que contuviesen carbonato calcio, generalmente calizas, consiguiéndose la rotura del carbonato de calcio en óxido de calcio y dióxido de carbono.

Cuando la cal viva es hidratada con agua, se transforma en hidróxido de calcio, o cal apagada. Las operaciones necesarias para la obtención de cal han sido realizadas tradicionalmente en hornos modestos.

La cal se obtiene de las rocas calizas, calcinadas a una temperatura entre 900 y 1 200 grados centígrados durante días, en un horno rotario o en un horno tradicional, romano o árabe. La cal se ha usado, desde la más remota antigüedad, de conglomerante en la construcción; también para pintar muros y

fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial, habitual en las antiguas viviendas mediterráneas en la fabricación de fuego griego.

El óxido de calcio reacciona violentamente con el agua haciendo que esta alcance los 90 grados centígrados, es por ello que, si entra en contacto con seres vivos, deshidratan sus tejidos ya que estos están formados por agua, por ejemplo un ser humano está formado por un 75 por ciento de agua.

#### **1.4.2. La cal**

Es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio).

#### **1.4.3. Variedades comerciales**

En el campo de la construcción existen diferentes tipos de cal los cuales se obtienen de diferentes formas y según el área en donde se aplicará o el costo que se desea invertir así será su elección.

- Cal viva  
Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplica en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.

- **Cal hidratada**  
Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.
- **Cal**  
Desde el punto de vista geológico, mil marcos se asientan sobre terreno montañoso en el que son muy frecuentes los afloramientos de caliza, que tradicionalmente se han utilizado para extracción de piedra para la fabricación de cal. La piedra caliza es un sólido de color blanquecino, cuya base es la anhídrido (óxido de calcio: CO<sub>3</sub>)

#### **1.4.4. Obtención de la cal viva**

La cal viva se obtiene por calcinación de la piedra caliza en hornos especiales, donde se la somete a temperaturas cercanas a los 1000 grados centígrados, provocando las siguientes reacciones:

Piedra caliza + calor = gas carbónico + cal viva

CaCO<sub>3</sub> + calor = CO<sub>2</sub> + CaO

Carbonato de calcio + calor = Anhídrido carbónico + Óxido de calcio

La cal viva es muy cáustica y tiene una gran afinidad con el agua, a cuyo contacto se transforma en hidrógeno, con gran desarrollo de calor durante el proceso de la cal viva, mezclada con agua, se obtiene la cal apagada (o cal hidratada, que es hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>):

Cal viva + agua = cal apagada + calor



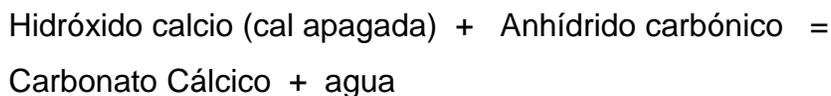
Durante este proceso se produce la desintegración rápida de las piedras, que se diluyen en agua, posteriormente, dejando secar esta pasta puede obtenerse cal en polvo.

#### **1.4.5. Uso de la cal**

La cal es un producto natural, cuyo uso ha sido importante en el pasado, como lo es en la actualidad, teniendo una gran importancia en nuestra vida cotidiana. El uno más antiguo y extendido ha sido la elaboración de mortero o argamasa, empleado en la construcción de edificios, aprovechando la propiedad que la cal tiene de adquirir gran dureza al tomar contacto con el aire.

La cal apagada ligeramente soluble al agua se mezcla con arena y agua para hacer el mortero. Una vez usada en el mortero la cal recupera  $\text{CO}_2$  tomándolo, de la atmósfera y se transforma otra vez en carbonato calcio (lo que se conoce como fraguado), recuperando su dureza original y devolviendo el agua que asimiló en el proceso de apagado.

Esta es la reacción que se produce:



Este mismo proceso es el fundamento del uso de la cal para la elaboración de pinturas muchas con la técnicas del fresco. La cal mezclada con arena y agua es el revoque que se ha utilizado como base de las pinturas, se va endureciendo progresivamente al contacto con el anhídrido carbono del aire. Este endurecimiento recupera en parte la caliza originaria, formando carbonato de calcio, con lo cual se consigue fijar los colores del fresco.

La cal apagada diluida en agua, es lo que constituye la lechada de cal, que tradicionalmente se ha utilizado para blanquear las paredes de las casas. La cal apagada es una base fuerte, que absorbe con intensidad el anhídrido carbónico del aire, recubriéndose de una película blanca de carbonato de cal, esto es lo que ocurre cuando dejamos secar la cal después de extenderla por la pared.

La película que se forma tiene un marcado color blanco y resulta impermeable al agua, siendo este el motivo del uso tan extendido de la cal para cubrir tapias y fachadas en casas de diferentes pueblos.

También ha sido muy extendida en el pasado, su utilización en el campo de la higiene y la medicina: para desinfectar árboles; como desinfectante en enfermedades contagiosas como el cólera y tifus; para blanquear estancias y fachadas; para la prevención de infecciones en caso de enterramientos de cadáveres en casos de epidemias.

El agua de cal se ha empleado para realizar gargarismo y se ha aplicado por vía interna para curar diarreas y vómitos, en la actualidad la cal se sigue utilizando de forma masiva en multitud de procesos industriales los cuales facilitan la realización de varios productos.

## **1.5. Clasificación y tipos de arenas**

La clasificación de las arenas, se realiza por medio del origen de cada una, la cual se define por el área de extracción donde se localizan y de la historia geológica del lugar.

Los tipos de arenas pueden definirse por la procedencia de las mismas y la manipulación que se realiza para su uso en la construcción.

### **1.5.1. Tipos de arena**

- Arenas naturales  
Producto de la disgregación natural de rocas, las de mejor calidad son las que contienen sílice o cuarzo (color azul).
- Arena sílice  
Material cuyo rango granulométrico comprende de 1/16 a 2 milímetros de diámetro, su composición química la constituye íntegramente el bióxido del silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

### **1.5.2. Procedencia de las arenas**

- De río de cantos rodados.
- De mina, depositados en el interior de la tierra formando capas, de forma angular, color azul, gris y rosa.
- De playa, requiere proceso de lavado con agua dulce, contienen sales y restos orgánicos.

- Volcánicas, se encuentran en zonas cercanas a los conos volcánicos, de color negro.

### **1.5.3. Clasificación de arenas de acuerdo con el tamaño de sus granos según el sistema de clasificación AASTHO**

La clasificación de la arenas, se realiza de acuerdo al tamaño que poseen sus granos y se basa en el sistema de clasificación ASTHO, el cual tiene parámetros de medida en milímetros para su agrupación.

- Arenas gruesas  
Las que pasan una malla de 5 milímetros y son retenidas por otra de 2 milímetros.
- Arenas medias  
Las que pasan una malla de 2 milímetros y son retenidas por otra de 0,5 milímetros.
- Arenas finas  
Las que pasan una malla de 0,5 milímetros y son retenidas por otra de 0,02 milímetros.
- Arena de grano redondo  
Cuando por su forma redonda y al fundirse se tiene el riesgo de formar burbujas en los intersticios de las uniones de los granos en el material, formando fracturas.

- Arena de grano angular

Cuando su forma no es tan redonda sino más bien irregular, ayudando con esto a que de alguna manera los granos encajen al fundirse con menor riesgo de formación de burbuja.

### **1.6. Estabilización de suelos cohesivos**

Como el nombre lo indica, con este recurso se pretende hacer más estable a un suelo. La primera y la que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, es la de aumentar la densidad de un suelo, compactándolo mecánicamente, la segunda estabilización usada es la de mezclar a un material de granulometría gruesa otro que carece de esa característica y finalmente está el recurso de estabilizar un suelo mezclándole cemento Portland, cal hidratada, asfalto o cloruro de sodio.

El uso de la cal está limitado a suelos que contengan minerales arcillosos, con los cuales hacen la “acción puzolánica” que lentamente va cementando las partículas del suelo. La utilidad de la cal es para aquellos casos en los que no se necesita pronta resistencia, este aglomerante es muy adecuado para bajar la plasticidad de los suelos arcillosos o para contrarrestar el alto contenido de humedad en terracerías o en bases y subbases, siempre que estas no sean muy arenosas.

Los siguientes casos pueden justificar una estabilización:

- Un suelo de subrasante desfavorable, o muy arenosos, o muy arcilloso.
- Materiales para base o subbase en el límite de especificaciones.

- Condiciones de humedad.
- Cuando se necesita una base de calidad superior, como por ejemplo en una autopista.
- En repavimentación, aprovechando los materiales existentes.
- Los materiales más usados para mezclar con suelo para formar capas de pavimento son: el cemento, la cal y el asfalto.

#### **1.6.1. Suelo-cal**

El uso de cal para mejorar suelos con mayor plasticidad, aparte de conseguir este fin, aumenta también su resistencia a la compresión sin confinar, produciendo una textura granular más abierta.

La cantidad de cal es de una 2 a 8 por ciento en peso. Para que reaccione convenientemente se necesita que el suelo tenga minerales arcillosos, o sea sílice y aluminio, y se pueda lograr la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas de suelo esto debe recordarlo el ingeniero de pavimentos. El suelo-cemento se hidrate adecuadamente, en cambio el suelo-cal, necesita la reacción química de los iones calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia. En cambio el suelo-cal, necesita la reacción química de los iones calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia.

Una capa subbase para pavimento de concreto hecho de suelo cemento, permite iniciar la colaboración de cimbras al rendir la compactación y empezar a colocar concreto a los dos días. Una ventaja del suelo cal es que su período de

curado puede iniciarse más tarde, en cambio, el suelo cemento requiere curado inmediato.

El éxito de la estabilización con cal, no solo para disminuir plasticidad, sino para adquirir resistencia, es el tipo de suelo o el tipo de minerales arcilloso que contenga. El criterio para diseñar en el laboratorio las mezclas, suelo-cal, depende del papel que vaya a desempeñar la cal.

- Modificador de plasticidad o humedad
- Proporcionado de resistencia

Para verifica si un suelo pierde plasticidad mezclándolo con cal, se determina su índice de plasticidad y su porcentaje de contracción líneal antes y después de agregar la cal.

Cuando se desea adquirir resistencia, existe el problema de que no todos los suelos desarrollan rápido su resistencia con la cal, por lo que se han establecido el criterio de que si una mezcla suelo cal se prueba a la compresión sin confinar inmediatamente después de compactarse, si se obtienen 7 kilogramos sobre centímetro cuadrado, la mezcla es adecuada.

El procedimiento de construcción tiene las mismas fases que las de suelo cemento.



## **2. ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**

Las características y propiedades de las arenas volcánicas y cal viva de forma específica y detallada, dar una mejor comprensión, también se ilustra la ubicación de cada uno de los bancos de las arenas a utilizar, se muestran fotografías satelitales de las áreas de extracción, como también fotografías tomadas personalmente en los bancos, esto logra una mejor interpretación de la ubicación del lugar.

Todo esto se complementa con ensayos de laboratorios donde se puede apreciar los resultados de cada una de las muestras tomadas en el lugar.

### **2.1. Descripción de las muestras**

Las muestras de las arenas que se utilizarían para la estabilización de suelos se extrajeron de minas que podrían producir gran cantidad de esa clase de arenas.

Las minas que producen ese material se encuentran ubicadas en el municipio de Palencia del departamento de Guatemala, estas se encuentran en la carretera que conduce a San José del Golfo que también es municipio del departamento de Guatemala.

En la mina 1 se extrae arena sílice, y en la mina 2 se extrae arena azul, las cuales se utilizaran en las estabilizaciones de los suelos cohesivos.

### **2.1.1. Mina 1 arena sílice**

El nombre por el cual es conocido popularmente en la construcción a este tipo de material es “arena sílice “.

El acceso para llegar al lugar esta adecuado para que ingrese todo de tipo de vehículo pero se recomienda que mejor sean pick up pero el transporte que mas utiliza dicho camino son camiones de 8 y hasta 12 metros cúbicos, que entran sin ningún problema.

Es un camino que pertenece a una finca privada no tiene mantenimiento por parte de la municipalidad del lugar pero se mantiene transitable ya que cada año al inicio del invierno se le da el mantenimiento respectivo.

Actualmente se extrae arena sílice para la fabricación de tejas de concreto en una fábrica de prefabricados de concreto ubicada en la 20 calle 2-40 zona 10, ciudad de Guatemala y que son muy utilizadas para decorar techos y jardines de casas.

La cantidad en la mezcla que se utilizan para la fabricación de tejas de concreto para decoración es del 50 por ciento ya que se mezcla con otro tipo de arena para lograr la mezcla final.

Figura 1. **Vista aérea de mina de arena sílice**



Fuente: Google earth. Consulta: 15 de agosto de 2011.

Vista aérea del área de extracción de la mina la cual la mayoría de la montaña en donde se encuentra es del mismo material, y cuenta con bancos de arena más limpios que es donde se extrae el material para comercializarlo.

### **2.1.2. Mina 2 de arena azul**

El nombre por el cual es conocido popularmente en la construcción a este tipo de material es “arena azul o arena challin” la distancia del cruce es de aproximadamente 2 kilómetros, el camino que inicia desde el cruce es de

terracería pero es transitable en todo tiempo del año, se le proporciona un debido mantenimiento cada inicio de año.

Para lograr que se mantenga transitable se tiene que realizar trabajos de llenado de hoyos con pedrín, zanjas para cunetas nivelación de la carpeta de rodadura ya que en la época de invierno la cantidad de agua que cae en el lugar daña con mucha intensidad ya que no se tiene un sistema de drenaje adecuada que drene el agua pluvial, por eso es de gran importancia el mantenimiento.

Actualmente la arena azul que se extrae de ese banco se utiliza para la fabricación de block que con la mezcla de arena pómez se logra la mezcla aunque el producto sea un block de mayor densidad y por lo consiguiente mayor peso, se utiliza porque es un block de mayor resistencia, a él block común que al tener más pómez su densidad es más baja y su peso disminuye.

La fábrica en donde se produce este tipo de block está ubicada a 0,8 kilómetros de la mina 2 que analizaremos pero por que se encuentra en el mismo manto de materiales ellos tienen dentro de la fábrica su mismo banco de este tipo de arena el cual extraen y sacan provecho del material.

En el banco de arena de la mina 2 se extrae esta arena para utilizarla en mezclas de concreto para diferentes tipos de trabajos de fundiciones como lo son columnas, vigas, cimientos, losas de vivienda etc., las cuales se encuentran en poblados cercanos. La extracción se realiza con maquinaria como tractores los cuales se llevan por temporadas para tener una buena cantidad en lugar, también la extracción se realiza con obreros los cuales la extraen con herramientas manuales.

La comercialización se realiza por metro cúbico, y lo llegan a traer al lugar camiones de estaca con capacidad de 6 a 8 metros cúbicos y camiones de volteo con capacidad de 10 a 12 metros cúbicos.

Figura 2. **Vista aérea de la ubicación de la mina 2**



Fuente: Google earth. Consulta: 15 de agosto de 2011.

En la fotografía se muestra la vista aérea de la ubicación de la mina de arena 2 se encuentra en la parte más alta y la mayoría del cerro está compuesta por la arena extraída por lo que el banco es de gran tamaño, su explotación puede ser muy rentable ya que el acceso por la ruta el atlántico da un beneficio a su comercialización.

## **2.2. Ubicación de los bancos de arenas estabilizadoras**

La ubicación de los bancos de arenas estabilizadoras, da a conocer información importante del área para determinar la cercanía de las rutas principales de comunicación para programar una ruta de acceso.

### **2.2.1. Como llegar al banco de arena sílice**

Cruce en el kilómetro 18,00 Ruta CA-9 Norte, en el desvío al municipio de San José del Golfo siga la carretera al municipio y después en el kilómetro 20 cruce a mano derecha, tome el camino hacia el banco de arena aproximadamente 5,5 kilómetros.

A continuación se presenta una fotografía aérea donde se muestra el área de la extracción de la mina número 1.

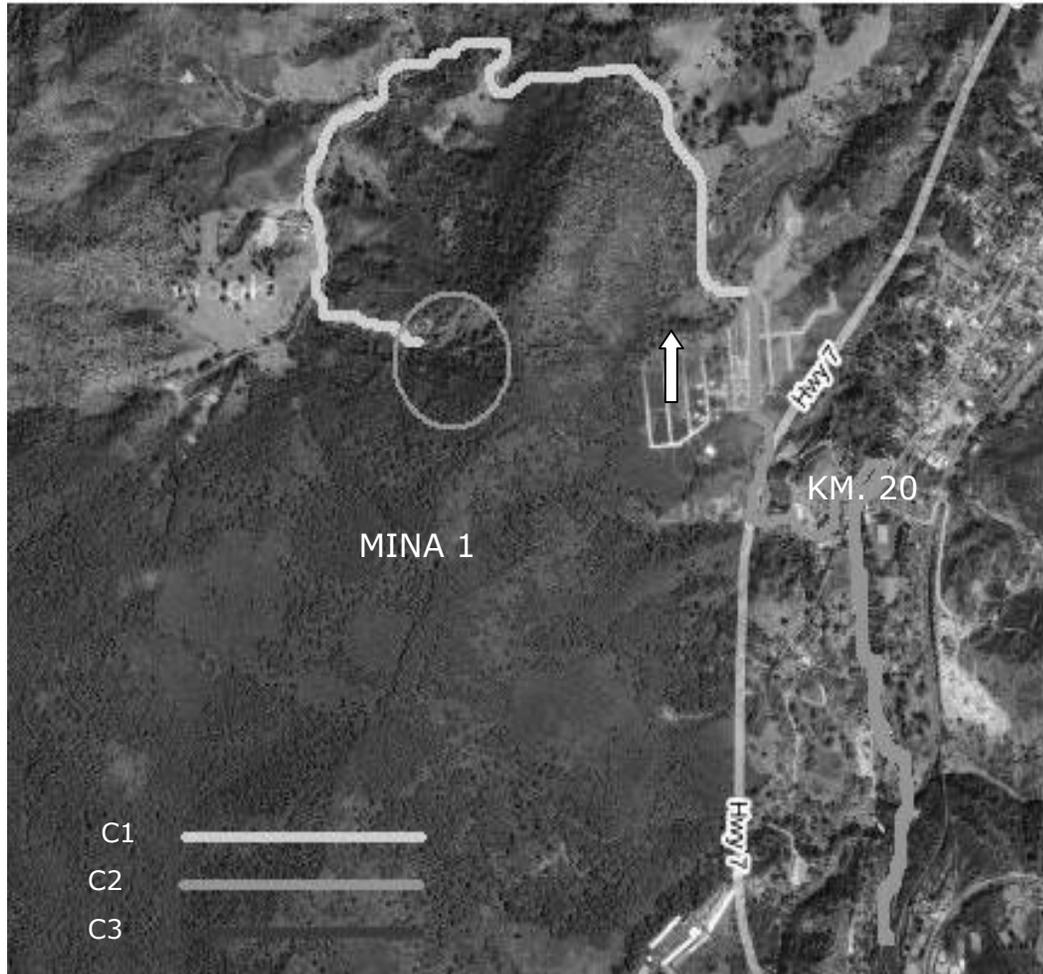
En la cual se explica gráficamente la forma de llegar por medio de un trazo sobre los caminos que se deben de tomar, esta se clasifica por tipo de camino por ejemplo asfalto, o camino de terracería.

Este mapa es de gran importancia para la accesibilidad de la misma ya que por ser un área montañosa y poco poblada el acceso se puede dificultar, pero la distancia de la ciudad de Guatemala es relativamente corta.

### **2.2.2. Mapa de ubicación del banco de la arena sílice**

En el mapa de ubicación del banco de la arena sílice, se puede apreciar la topografía del lugar, como lo son: montañas, barrancos, zonas pobladas, caminos, etc., los cuales nos da un panorama general de la mina.

Figura 3. **Mapa de ubicación de arena sílice**



Fuente: Google earth. Consulta: 15 de agosto de 2011.

**C1** Camino de terracería hacia mina de arena



**C2** Camino a San José del Golfo asfaltado 2 carriles



**C3** Carretera al atlántico ( Ruta CA-9 Norte ) autopista 4 carriles



Figura 4. **Fotografías de acceso para llegar a mina de arena 1**



Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captadas: 10/03/2011

Después de cruzar seguir 1,5 kilómetros hasta llegar a la mina, en la fotografías se puede apreciar el camino de terracería transitable todo el tiempo.

Figura 5. **Bancos de material en mina de arena sílice**



Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captada: 10/03/2011.

Vista de banco 1 cortado por maquinaria, la cual llega a trabajar por períodos de horas para lograr extraer varios metros cúbicos del material, la después es cernido por un arnero ( malla para cernir material en bancos de arena ), este trabajo se realiza de forma manual por obreros que se encargan de la extracción del material.

Figura 6. **Vista de cortes por maquinaria en bancos de arena sílice**



Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captada: 10/03/2011

Se puede apreciar en la fotografía la altura del banco que equivale aproximadamente a unos 12 metros de altura por 40 metros de ancho, el cual sigue creciendo de altura y de ancho conforme sea extraído el material.

Figura 7. **Vista de la montaña completa del banco de arena sílice**



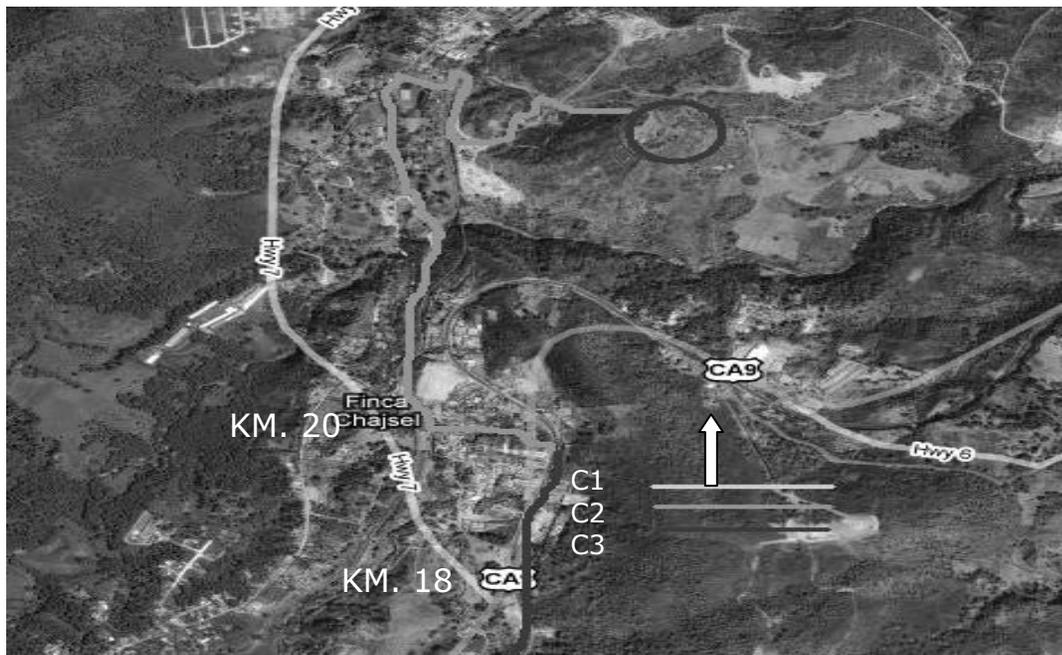
Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captada: 10/03/2011

Se puede apreciar en la fotografía el tamaño del banco, es una montaña completa, la cual está cubierta por pocos árboles que crecen en sus faldas, la pendiente que se observa en el lugar en un poco pronunciada pero sin embargo se han trazado áreas de extracción al inicio de las faldas, todo la montaña que se observa en la fotografía es arena sílice.

### 2.2.3. Como llegar al banco de arena azul

En el mapa de ubicación del banco de la arena azul, se puede apreciar la topografía del lugar donde se muestra; los poblados próximos y diferentes tipos de caminos, etc., los cuales nos dan un panorama general de la mina.

Figura 8. Mapa de ubicación de arena azul

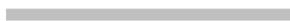


Fuente: Google earth. Consulta: 15 de agosto de 2011.

**C1** Camino de terracería hacia mina de arena



**C2** Camino a San José del Golfo asfaltado 2 carriles



**C3** Carretera al atlántico ( Ruta CA-9 Norte ) autopista 4 carriles



Cruce en el kilómetro 18 ruta al atlántico ( Ruta CA-9 Norte ) en el desvío al municipio de San José del Golfo y después hasta el kilómetro 20 a mano derecha el cruce hacia el banco de arena azul que esta aproximadamente 2 kilómetros sobre un camino de terracería.

Figura 9. **Bancos de material en mina de arena azul**



Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captada: 16/03/2011

Se puede apreciar en la fotografía el tamaño del banco, el cual se encuentra en la parte alta de la montaña, a comparación de la mina de arena sílice esta montaña en su formación geológica tiene una mezcla de bancos de arena con partes de bancos de arcilla arenosa, pero los bancos de arena azul ya están segmentados los cuales se están explotando actualmente.

Figura 10. **Vista de la entrada del banco de arena azul**



Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captada: 16/03/2011

Figura 11. **Vista de cortes en banco para de extracción de arena azul**



Fuente: El Fiscal, Palencia, Guatemala. Captada: 16/03/2011

### **2.3. Características de la cal utilizada**

La muestra de cal que se utilizó para la realización de las pruebas de estabilizaciones fue comprada por quintal en la calera del norte ubicada en el kilómetro 10,5 Ruta CA-9 Norte, la cual procesa cal para la construcción.

La cal que se adquirió es cal viva y por sus características físicas presenta una buena calidad por lo que se decidió utilizarla, a continuación se presenta la ubicación de la fábrica y la mina de extracción de la cal.

La cal que se utilizó en las estabilizaciones en el tratamiento de suelos es cal viva (óxido de calcio – CaO).

La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO<sub>3</sub>) en óxido de calcio.

La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5 por ciento de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46 por ciento de óxido o hidróxido de magnesio.

Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio.

Algunas veces el término cal se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo.

Otras veces el término cal es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado. En este manual, "cal" significa cal viva, cal hidratada, o la lechada de cal hidratada.

Figura 12. **Mapa de ubicación satelital de fábrica de cal**



Fuente: Google earth. Consulta: 20 de agosto de 2011.

### 2.3.1. Ubicación de mina de piedra caliza

La fábrica del norte que es la que produce la cal viva extrae la materia prima de un banco ubicado en la zona 18 para llegar al lugar se debe de cruzar en el kilómetro 8,5 Ruta CA-9 Norte, en donde se encuentra un paso a desnivel que conduce a la colonia San Rafael, se debe de desplazar 3,5 kilómetros luego a mano derecha hay una entrada de terracería y a unos 500 metros inicia el banco de piedra caliza. Allí cargan los camiones que posteriormente trasladan el material para su procesamiento en la fábrica.

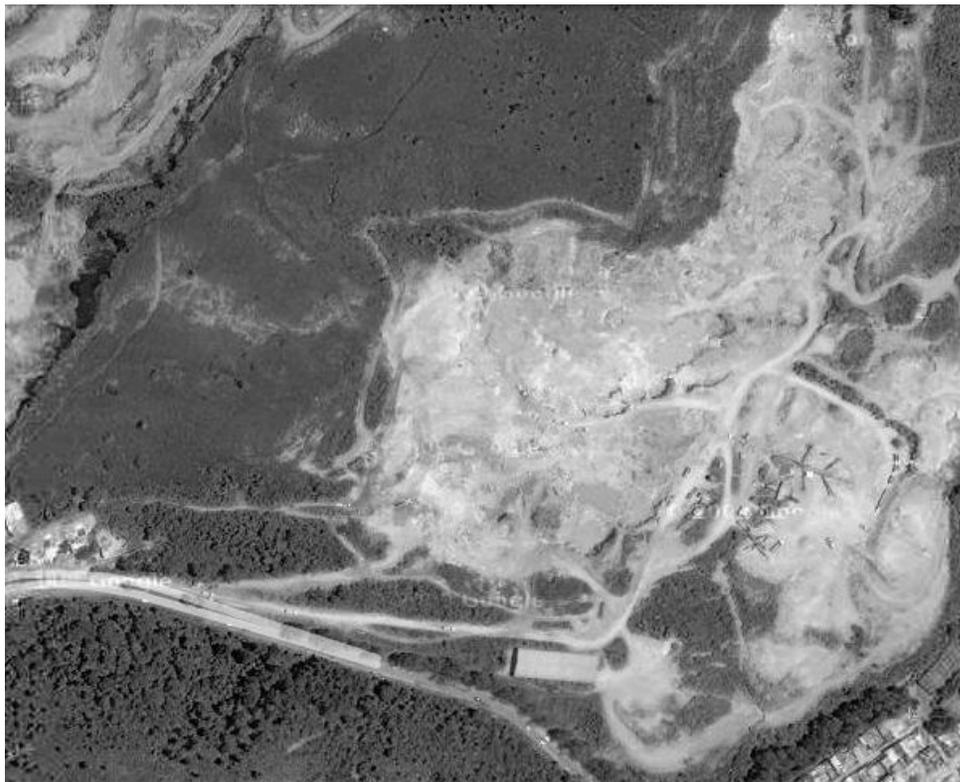
Figura 13. Ubicación satelital de lugar de extracción de piedra caliza para la elaboración de la cal viva



Fuente: Google earth. Consulta: 20 de agosto de 2011.

El terreno en donde se encuentra el banco de piedra caliza ha sido explotado por varios años y muchas caleras cercanas al lugar utilizan ese material como materia prima. El banco es de grandes proporciones como se muestra en las fotografías satelitales, por lo que ha podido cubrir la demanda que ha tenido por varios años y aun se pretende seguir explotando el mismo. Actualmente se observa en el lugar que solo un 40 por ciento aproximadamente del área de extracción se ha explotado.

Figura 14. **Ubicación satelital de lugar de extracción de piedra caliza para la elaboración de la cal viva**



Fuente: Google earth. Consulta: 20 de agosto de 2011.

#### **2.4. Funcionamiento de la cal en estabilizaciones**

El funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables. Adicionalmente, el soporte estructural de los suelos estabilizados con cal puede ser aprovechado en el diseño de pavimentos.

Figura 15. **Ejemplo extremo de fracaso de un pavimento por suelos inestables**



Fuente: kilómetro 73 Ruta CA-9 Norte, Guastatoya El Progreso. Captada: 10/10/2011

Figura 16. **Comparación de arcilla plástica sin tratar y arcilla tratada con cal, después de la mezcla inicial y fraguado**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo.

Una mínima cantidad de cal para tratamiento se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos. Tal tratamiento produce una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de tratamiento – respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción – producen la estabilización estructural permanente del suelo.

Antes de iniciar cualquier proyecto de construcción, se deben desarrollar los planos y especificaciones. Para pavimentos de carreteras, el diseño debe ajustarse al tráfico esperado, tomando también en cuenta el medio ambiente, el sitio y las condiciones de los materiales.

Todos los diseños estructurales deben basarse en pruebas de laboratorio y parámetros que se ajusten a las demandas del proyecto en particular y además, proveer la alternativa más económica para el uso planeado.

#### **2.4.1. Estabilización de suelos con cal**

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua.

Figura 17. **La capa estabilizada con cal soporta la erosión, ilustrando la resistencia**



Fuente: kilómetro 21 ruta a Palencia, Guatemala. Captada: 10/10/2011

La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los

suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán.

En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 - 75 micrómetros y un índice de plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0,3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales.

Subrasante (o subbase): la cal puede estabilizar permanentemente el suelo fino empleado como una subrasante o subbase, para crear una capa con un valor estructural significativo en el sistema del pavimento. Los suelos tratados pueden ser del lugar (subrasante) o bien, de materiales de préstamo. La estabilización de la subrasante por lo general implica mezcla en el lugar y generalmente requiere la adición de cal de 3 a 6 por ciento en peso del suelo seco.

Bases: la cal puede estabilizar permanentemente materiales que no cumplen con las características mínimas para funcionar como una base (como la grava con arcilla, gravas "sucias", o bases contaminadas en general) que contienen al menos el 50 por ciento de material grueso retenido en la malla o tamiz No. 4.

La estabilización de bases es utilizada para la construcción de caminos nuevos y para la reconstrucción de caminos deteriorados, y generalmente requiere la adición de 2 a 4 por ciento de cal respecto al peso del suelo seco. La mezcla en el lugar se usa comúnmente para la estabilización de bases, sin embargo, la mezcla en planta también puede ser utilizada. La cal también se

usa para mejorar las características de las mezclas de suelo y agregados en "el reciclaje de espesor completo".

## **2.5. Ensayos de laboratorio a las arenas volcánicas**

A las arenas de origen volcánico a utilizar en la estabilización de los suelos cohesivos se le realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Gravedad específica
- Granulometría

Esto para conocer las propiedades de cada una de las arenas, las muestras fueron extraídas directamente de cada una de los bancos mencionados en los incisos anteriores y llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería "CII" de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **2.5.1. Normas utilizadas en los ensayos de laboratorio realizados a las arenas volcánicas**

Las normas utilizadas en los ensayos de laboratorio realizados a las arenas volcánicas son exigidas que se apliquen a todos los ensayos por igual por la sección del laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Normas utilizadas en el ensayo de gravedad específica

AASHTO T100-06: Standard Method of Test for Specific Gravity of Soils.

ASTM D854-07: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.

Normas utilizadas en el ensayo de granulometría

AASHTO T087-86: Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test.

ASTM D421-98: Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.

AASHTO T088-00: Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.

ASTM D422-02: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

## **2.6 Informe de los ensayos realizados a las arenas volcánicas**

Los resultados de los ensayos que se muestra a continuación se realizaron en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la sección del laboratorio de mecánica de suelos, los cuales llevaron un procedimiento descrito anteriormente en la sección 2.5.

### **2.6.1. Resultados de ensayo de granulometría de las arenas**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio descritos anteriormente, en los datos de resultados se puede apreciar las características que brindan estos ensayos de laboratorios sobre las arenas que se utilizaron para la estabilización de nuestras muestras de suelos cohesivos.

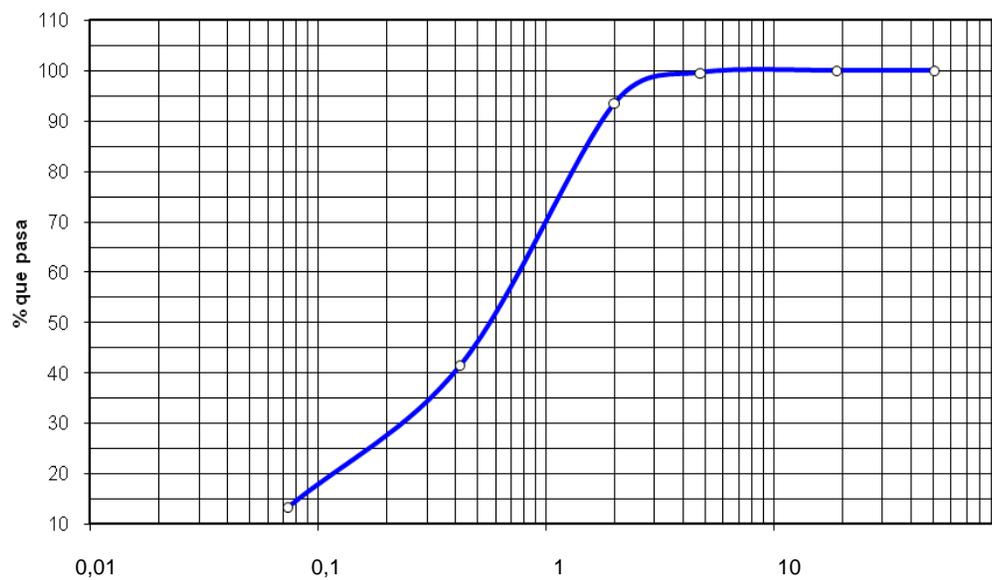
Figura 18. Gráfico granulométrico de arena sílice

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,60
10	2,00	93,60
40	0,42	41,48
200	0,074	13,35

% de grava: 0,40

% de arena: 86,25

% de finos: 13,35



Descripción del suelo:

Arena limosa color café claro

Clasificación: S.C.U.: SM

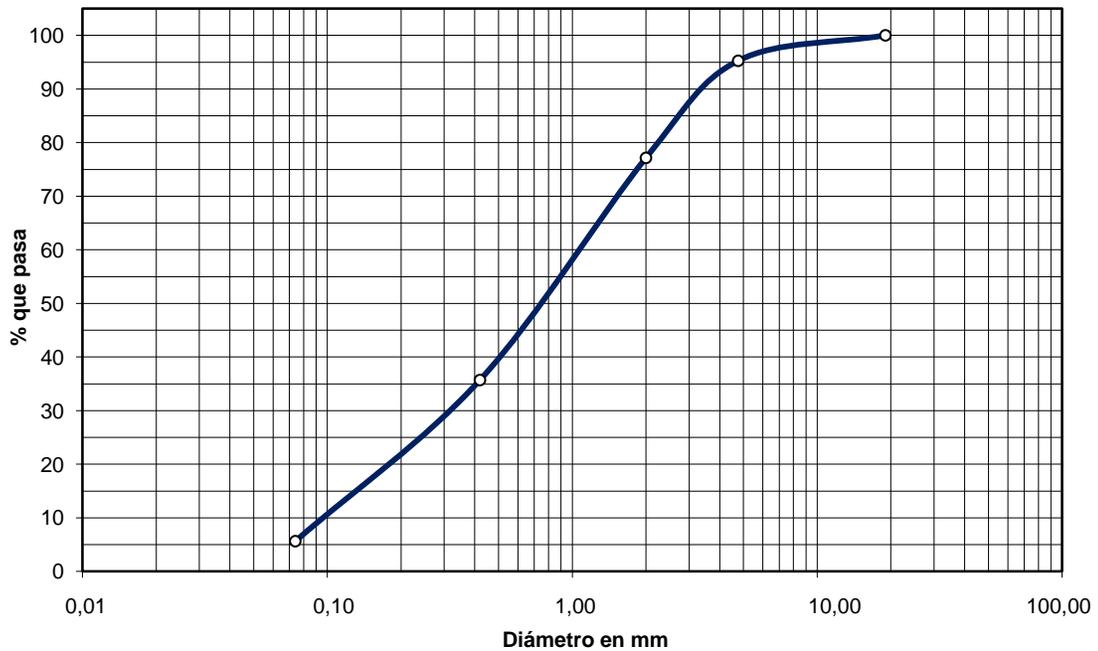
P.R.A.: A-1-b

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfico granulométrico de arena azul**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	95,25
10	2,00	77,14
40	0,42	35,70
200	0,074	5,63

% de grava: 4,75  
 % de arena: 89,62  
 % de finos: 5,63  
 D10 0,095  
 D30 0,30  
 D60 1,01  
 Cu : 10,10  
 Cg: 1



Descripción del suelo: Arena bien graduada color azul grisáceo  
 Clasificación: S.C.U.: SM-SW P.R.A.: A-1-b

Fuente: elaboración propia.

## 2.6.2. Resultados de ensayo de gravedad específica

Para obtener los resultados del ensayo de gravedad específica que se realizó a la arena sílice como de la arena azul, se utilizaron muestras inalteradas directamente extraídas de cada una de las minas de las arenas para así obtener datos más acertados.

- Resultado de gravedad específica de arena sílice

Asunto: Ensayo de gravedad específica  
Norma: A.A.S.H.T. T-84  
Procedencia Km. 25 mina de arena sílice municipio de Palencia  
departamento de Guatemala  
Descripción del material: Arena de origen volcánico color café  
grisáceo

Tabla I. **Resultado de ensayo de gravedad específica de arena sílice**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsa 23°C	2,05	2,06	2,04	2,05

Gsa: Gravedad específica aparente

Fuente: elaboración propia.

- Resultado de gravedad específica de arena azul

Asunto: Ensayo de gravedad específica  
 Norma: A.A.S.H.T. T-84  
 Procedencia Km. 22 carretera al municipio de San José del Golfo, departamento de Guatemala  
 Descripción del material: Arena de origen volcánico color gris azulado.

Tabla II. **Resultado de ensayo de gravedad específica de arena azul**

Descripción	1	2	3	promedio
Gsa 23°C	2,21	2,20	2,19	2,20

Gsa: Gravedad específica aparente.

Fuente: elaboración propia.

### **2.6.3. Resultados de ensayo de análisis petrográfico macroscópica de las muestras de roca de las arenas**

El estudio del análisis petrográfico, se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energías y Minas ( CESEM ), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los resultados obtenidos se tabularon en las tablas que se presentan a continuación.

Tabla III. **Resultado de ensayo de análisis petrográfico  
Macroscópica de arena sílice**

<b>No.</b>	<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
1	Color	Gris claro
2	Estructura	Granular
3	Brillo	No metálico
4	Nombre	Material de origen ígnea
5	Composición química	Silícico (SiO <sub>2</sub> + 65%)
6	Composición mineralógica	Abundante vidrio, cuarzo y obsidiana

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Resultado de ensayo de análisis petrográfico  
Macroscópica de arena azul**

<b>No.</b>	<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
1	Color	Gris oscuro
2	Estructura	Granular
3	Brillo	No metálico
4	Nombre	Material de origen ígnea
5	Composición química	Silícico (SiO <sub>2</sub> + 65%)
6	Composición mineralógica	Componentes líticos (andesitas/basaltos)

Fuente: elaboración propia.

### **3. UBICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SUELOS COHESIVOS A ESTABILIZAR**

El conocer la ubicación y las características de los suelos es de gran importancia para determinar un parámetro de datos de cada uno de ellos como la información específica detallada la cual se utiliza para plantear el proceso de la estabilización, ya obtenidos estos datos se sugiere proponer otros estudios complementarios si fuera necesario.

#### **3.1. Descripción de los suelos a estabilizar**

Los suelos a estabilizar son suelos cohesivos por lo que su estructura es inestable y se tiene que tener un previo tratamiento para lograr que sean funcionales para la construcción.

Los suelos cohesivos son de los más difíciles de estabilizar por las características de plasticidad que poseen y el porcentaje de absorción de humedad, en el proyecto de estabilización se trabaja con suelos procedentes de regiones montañosas del departamento de Guatemala donde se extrajeron muestras de las regiones de los municipios de Palencia y San José Pínula los cuales poseen características comunes de cohesión de varias regiones del país. Las muestras recolectadas de los suelos son de color café oscuro y para extraerlas se debió de escavar a 1 metro de profundidad para evitar el suelo orgánico y tener una muestra de suelos más limpia.

Para estudiar las muestras se debió secar cada una al sol por 24 horas y después tritúralas para tener eliminar los grumos de arcilla y tener lo más fino el suelo cohesivo.

Los suelos que se utilizaron para las muestras presentaban demasiada humedad por lo que fue algo difícil trabar con ellos por el exceso de humedad que presentaban esto se debió a la humedad originaria de cada lugar.

### **3.2. Lugares de procedencia de los suelos cohesivos**

La procedencia de los suelos fue de los municipios de Palencia, San José pínula, San José del Golfo y Fraijanes todos del departamento de Guatemala.

Los lugares de cada uno de los cuales poseían suelos cohesivos con características de plasticidad alta las cuales debían de poseer una estabilización previa para realizar cualquier construcción sobre esos suelos, otras características de los lugares era que presentaban mucha humedad en el ambiente y la precipitación de lluvia era más alto que el promedio del resto del municipio.

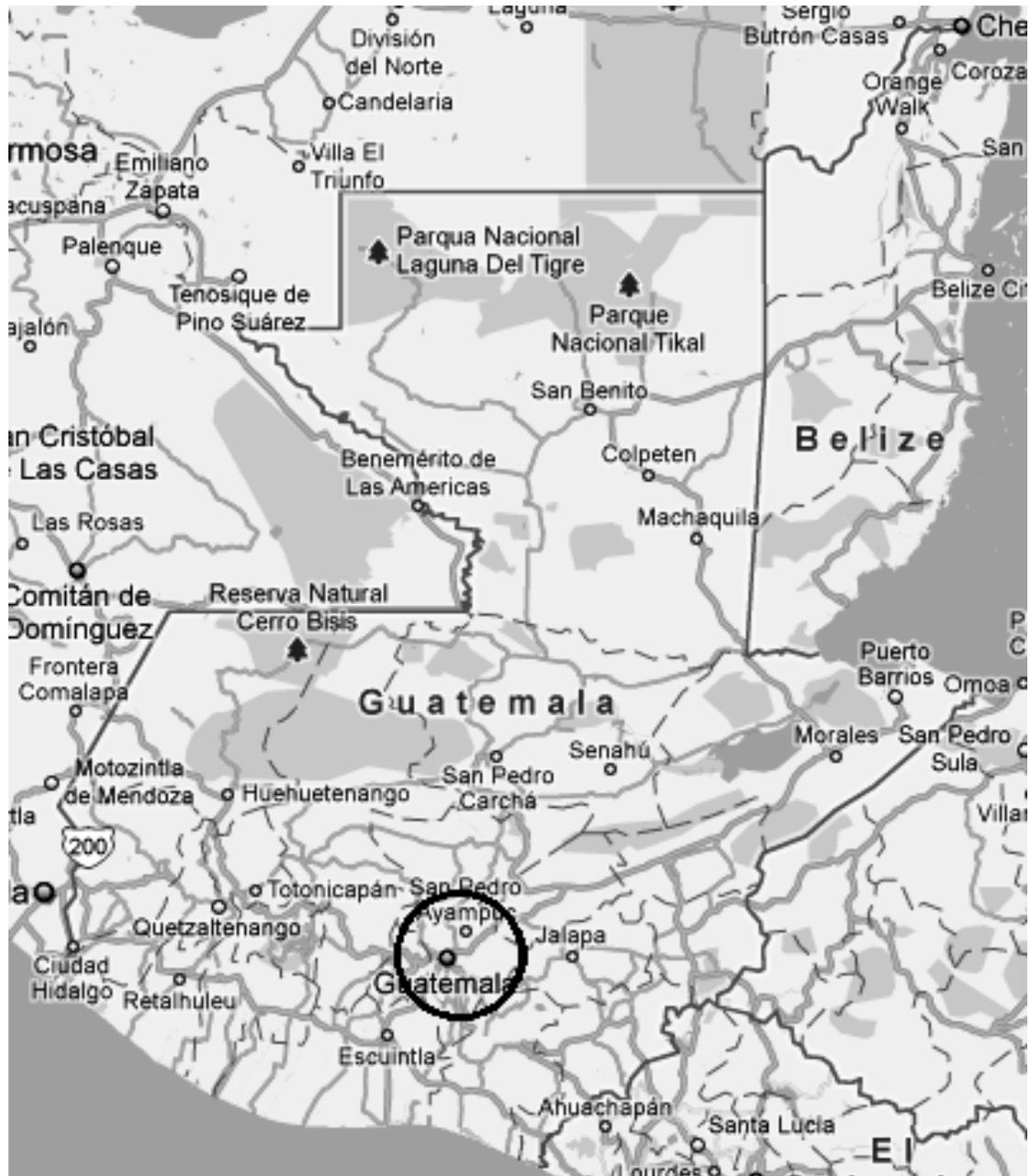
A continuación se presentan fotografías de los lugares de donde se extrajeron los suelos para dar una idea de la geografía y topografía del área como la vegetación existe y clima en el lugar que por lo regular es muy frecuente encontrar en lugares en donde existen suelos cohesivos. Todos los lugares de donde se recolectaron muestras están a una distancia de 25 y 30 kilómetros de la ciudad capital y a una distancia de entre 5 y 20 kilómetros de las minas de arenas estabilizadoras.

En los municipios antes mencionados existen varios kilómetros de caminos de terracería que comunican a varias aldeas, y que presentan suelos cohesivos sobre esos caminos y que en época de invierno se hace muchas veces imposible su circulación. Los lugares escogidos se encuentran cerca del área metropolitana pero presentan características similares de suelos cohesivos de varias partes montañosas de la República de Guatemala por lo que el tipo de estabilizaciones será útil para lograr usarlas en otras áreas del país que presenten las mismas características.

### **3.3 Mapa de área de extracción de muestras**

En el círculo se marca el área de extracción de muestras de suelos cohesivos utilizados para los ensayos de estabilizaciones. Los cuales se encuentran dentro del departamento de Guatemala.

Figura 20. Mapa de la República de Guatemala indicando la zona de extracción de las muestras de arcillas



Fuente: Google earth. Consulta: 25 de agosto de 2011.

Figura 21. **Vistas aéreas de montañas con suelos arcillosos**



Fuente: Google earth. Consulta: 30 de agosto de 2011.

Figura 22. **Vistas satelitales de lugares de extracción de arcillas**



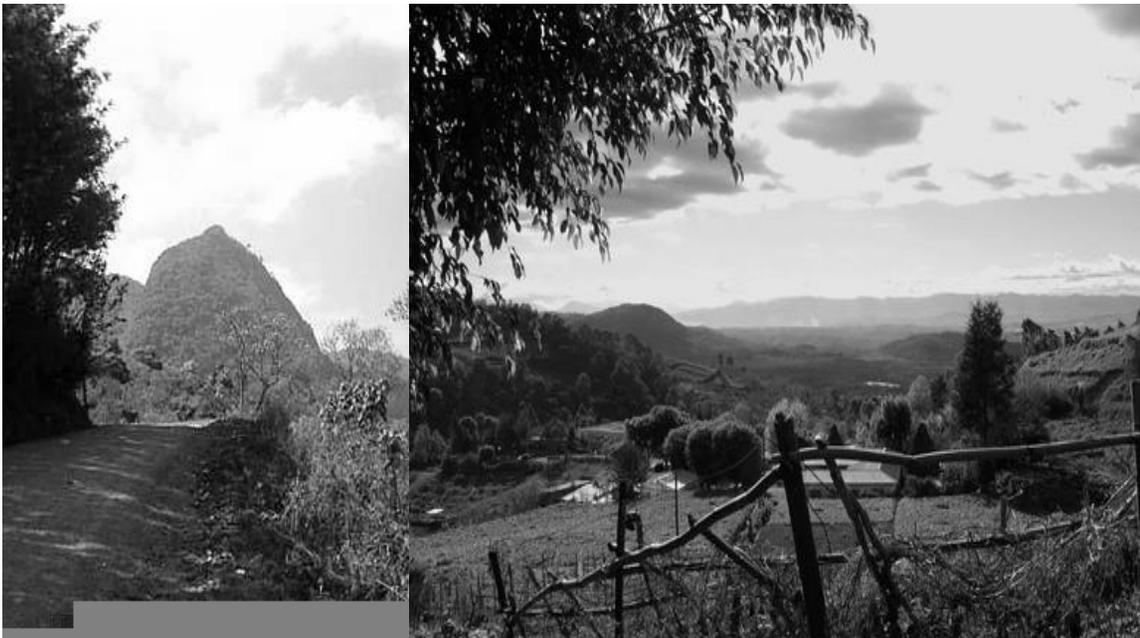
Fuente: Google earth. Consulta: 30 de agosto de 2011.

### 3.4. Fotografías de los lugares de extracción de muestras de arcillas

Los lugares de extracción de donde se obtuvieron las muestras de suelos cohesivos para luego estabilizarlos, son áreas donde existe mucha vegetación, montañas, ríos, y suelos fértiles donde se produce una gran cantidad de alimentos que se consumen en la ciudad de Guatemala.

Por su localización en el departamento de Guatemala es de fácil acceso para obtener suelos cohesivos los cuales presentan propiedades favorables para su estudio.

Figura 23. **Áreas montañosas con suelos arcillosos**



Fuente: Área montañosa del municipio de San José Pínula, Guatemala. Captada: 10/06/2011

Figura 24. **Lugar de extracción de arcillas**



Fuente: Área montañosa del municipio de Palencia, Guatemala. Captada: 10/06/2011

### **3.5. Normas utilizadas en los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos cohesivos a estabilizar**

Aplicar las normas que exige el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y aplicarlas a los ensayos de laboratorio, que se realizaron a los dos suelos cohesivos que se estabilizaron, garantiza la calidad de los resultados obtenidos.

Ya aplicadas las normas a cada ensayo realizado se procede a analizar los resultados para conocer que tipos de suelos se tienen.

- Normas utilizadas en el ensayo de Límite Líquido (LL)

AASHTO T089-02: Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.

ASTM D423-66 (1982): Method of Test for Liquid Limit of Soils

- Normas utilizadas en el ensayo de Límite Plástico (LP)

AASHTO T090-00: Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity index of Soils.

ASTM D424-54 (1982): Standard Method of Test for Plastic Limit

- Normas utilizadas en el ensayo de granulometría

AASHTO T087-86: Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test.

ASTM D421-98: Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.

AASHTO T088-00: Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.

ASTM D422-02: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

- Normas utilizadas en el ensayo de compactación

AASHTO T180-01: Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54 kg (10 lb) Rammer and a 457 mm (18in).

ASTM D1557-07: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))

- Normas utilizadas en el ensayo de CBR

AASHTO T193-99: Standard Method of Test for the California Bearing Ratio).

ASTM D1883-07: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils

### **3.6. Estudios de laboratorio a los suelos cohesivos**

A las muestras obtenidas de suelos cohesivos se le realizaron ensayos de laboratorios en el centro de investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para determinar las características de cada una para posteriormente lograr estabilizarlas.

Se analizaron 3 muestras diferentes se suelos cohesivos de los cuales se estudiarían 2, que serían las que estuvieran en los extremos la más baja y la más alta en resistencia de suelo, la cual lo determino con estudios de: Granulometría, compactación y CBR.

Los estudios de laboratorio de suelos a las muestras se definen como:

- Muestra de arcilla 1
- Muestra de arcilla 2

A cada muestra se le realizo un estudio de granulometría con lavado previo, un estudio de límites de Atterberg, un ensayo de proctor y un ensayo de CBR.

Conforme a los laboratorios realizados se determino la resistencia de cada uno de los suelos cohesivos para determinar tan inestables son.

### **3.6.1. Ensayo de suelos a muestra de arcilla número 1**

Los ensayos que se realizaron a la muestra de arcilla 1 son: ensayo de límites de Atterberg, ensayo de granulometría graduada, ensayo de compactación y ensayo de CBR.

- Resultado de ensayo de límites de muestra de arcilla 1

Asunto: Ensayo de límites de Atterberg

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación km. 28 carretera a San José Pínula departamento de Guatemala

Tabla V. **Datos de resultados de ensayo de límites de muestra de arcilla 1**

<b>ENSAYO No</b>	<b>MUESTRA No.</b>	<b>L.L (%)</b>	<b>I.P (%)</b>	<b>C.S.U.*</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL SUELO</b>
1	1	31,38	23,13	CL	Arcilla limosa

(\*) C.S.U. = CLASIFICACIÓN SISTEMA UNIFICADO

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de granulometría muestra de arcilla 1

Tabla VI. **Datos de resultado de granulometría de muestra de arcilla 1**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,62
10	2,00	86,96
40	0,42	66,78
200	0,074	55,15

% de grava: 0,38

% de arena: 44,47

% de finos: 55,15

Descripción del suelo: Suelo cohesivo 1 (arcilla color café )  
 Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-6

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos de ensayo de compactación de muestra de arcilla 1**

Muestra No.	1
Descripción de suelo	Arcilla limosa color café
Densidad seca máxima	$\gamma_d = 1642 \text{ kg/m}^3 / 102,5 \text{ lb/pe}^3$
Humedad óptima	17,8%

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos de ensayo de CBR de muestra de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pe <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	16,60	92,3	90,0	2,17	2,9
2	30	16,60	96,3	93,9	1,63	7,9
3	65	16,60	104,6	102,0	1,89	18,4

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.2. Ensayo de suelos a muestra de arcilla número 2

Los ensayos que se realizaron a la muestra de arcilla 1 son: ensayo de límites de Atterberg, ensayo de granulometría graduada, ensayo de compactación y ensayo de CBR.

Tabla IX. **Datos de ensayo de límites de muestra de arcilla 2**

Asunto: Ensayo de límites de Atterberg

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación km. 26 carretera a San José del Golfo departamento de Guatemala

ENSAYO No	MUESTRA No.	L.L (%)	I.P (%)	C.S.U.*	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1	1	45,94	8,75	CL	Arcilla limosa

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de granulometría muestra de arcilla 2

Tabla X. **Datos de resultado de granulometría de muestra de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	98,50
10	2,00	85,24
40	0,42	60,33
200	0,074	51,25

% de grava: 1,50

% de arena: 47,25

% de finos: 51,25

Descripción del suelo: Suelo cohesivo 2 (arcilla color café).

Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-5

Fuente: elaboración propia.

- Resultado de ensayo de compactación de muestra de arcilla 2

Tabla XI. **Datos de ensayo de compactación de muestra de arcilla 2**

Muestra No.	2
Descripción de suelo	Arcilla limosa color café
Densidad seca máxima	$\gamma_d = 1475 \text{ kg/m}^3 / 92,1 \text{ lb/pe}^3$
Humedad óptima	22,5 %

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos de CBR de muestra de arcilla 2

Tabla XII. **Datos de ensayo de CBR de muestra de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pe <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	21,80	83,6	90,8	0,03	10,6
2	30	21,80	90,6	98,3	0,02	12,9
3	65	21,80	92,0	99,9	0,93	14,4

Fuente: elaboración propia.

## **4. ENSAYO DE MEZCLAS CON ARENAS VOLCÁNICAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS**

El procedimiento de las mezclas realizadas las cuales consisten en estabilizar 2 muestras de suelos cohesivos con arena sílice, y también con arena azul y las cuales también tendrán agregadas un 10 por ciento de cal viva a cada una de las muestras.

### **4.1. Descripción de las muestras a utilizar**

Las muestras a estabilizar son suelos arcillosos de los municipios de Palencia y San José Pínula del departamento de Guatemala, los cuales presentan en la mayoría de sus suelos características arcillosas. A estas muestras se les realizaron los ensayos respectivos para conocer sus características las cuales se presentan en la sección 3.6.

### **4.2. Descripción de las proporciones de las mezclas a utilizar para la estabilización de los suelos cohesivos**

Las dos muestras de arcilla se estabilizaran con 2 tipos de arena de origen volcánico, cada una de las muestras de arcilla y arena ya se analizaron en las secciones anteriores.

En esta sección se definirá las proporciones de las mezclas que se utilizaron para lograr las estabilizaciones.

Los materiales empleados para las mezclas son:

- Muestra de arcilla 1
- Muestra de arcilla 2
- Arena sílice
- Arena azul
- Cal viva, tamizada previamente

Lo que se pretende con estas proporciones de mezclas es evaluar el comportamiento de cada una de ellas y analizar el resultado de las mismas con el fin de llegar a una estabilización.

#### **4.3. Ensayos de laboratorio realizados a las mezclas**

A todas mezclas con las proporciones ya definidas anteriormente se les realizó los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayo de granulometría
- Ensayo de compactación
- Ensayo de CBR

Figura 25. **Realización de ensayo de granulometría**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, 25 de julio de 2011.

Figura 26. **Realización de ensayo de compactación**



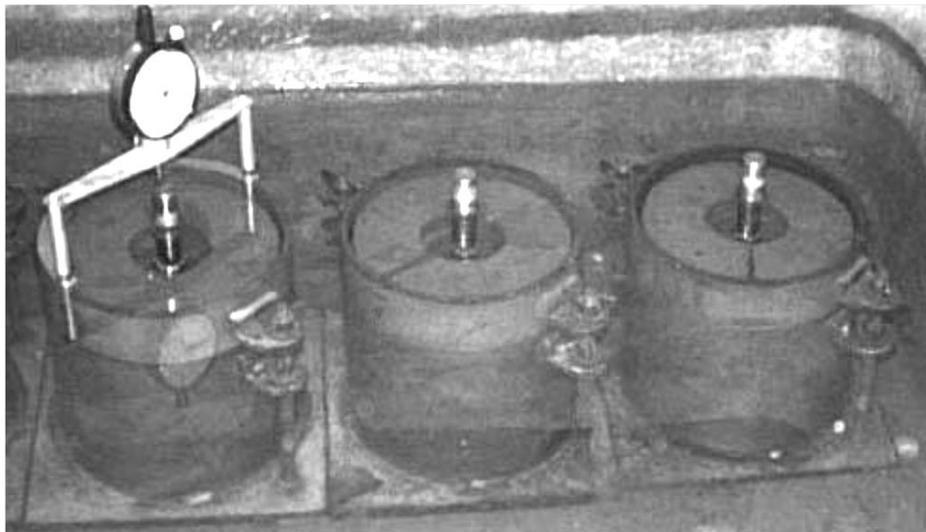
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, 27 de julio de 2011.

Figura 27. **Preparación de muestras en el ensayo de compactación**



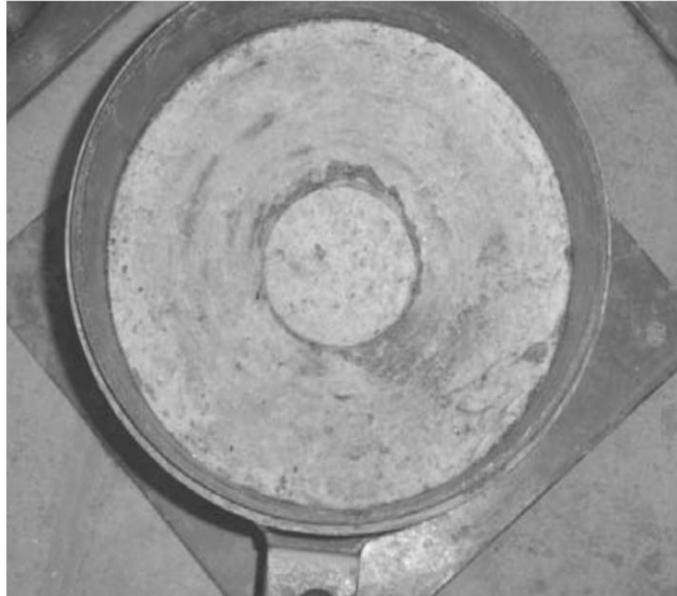
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, 27 de julio de 2011.

Figura 28. **Preparación de cilindros en ensayo de CBR**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, 28 de julio de 2011.

Figura 29. **Muestra ya penetrada en el ensayo de CBR**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, 01 de agosto de 2011.

#### **4.4. Normas a utilizar en cada uno de los ensayos de las mezclas**

Para los ensayos de:

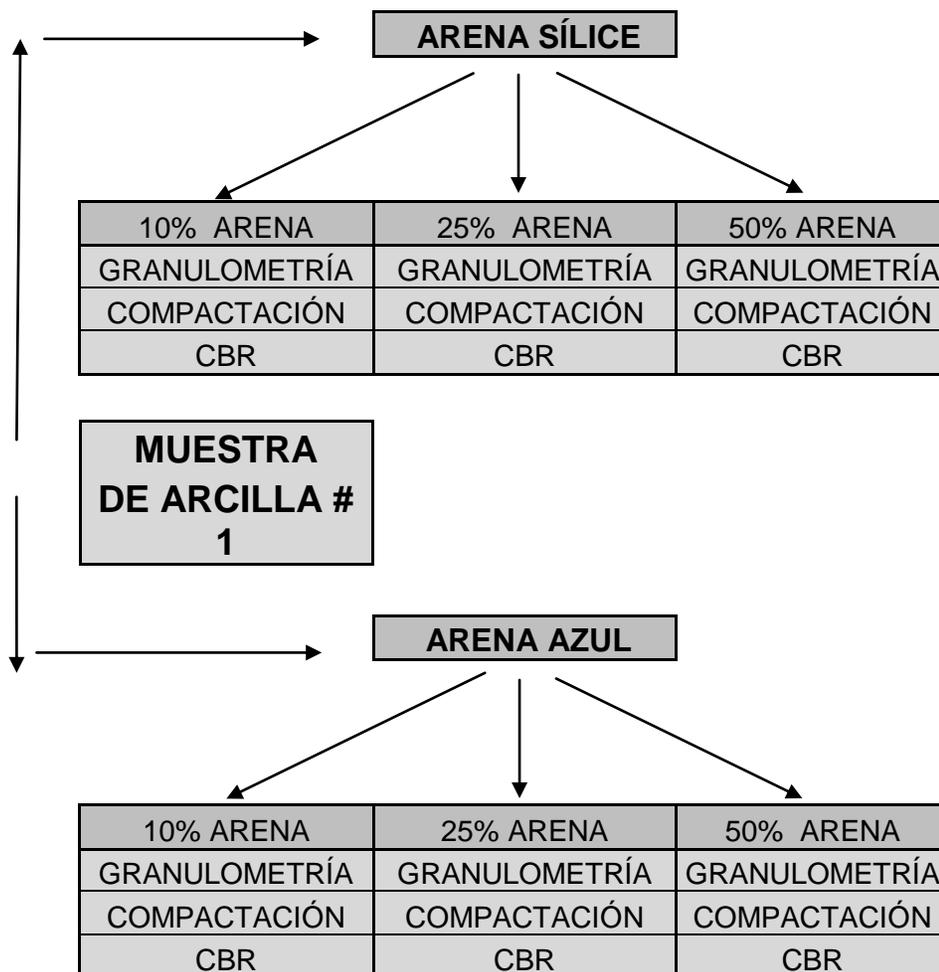
- Granulometría
- Compactación
- CBR

Los cuales se realizaron en la Sección de Mecánica de Suelo y se basaron en las normas requeridas las cuales ya se mencionaron en las páginas 51 y 52 de la sección 3.5, las cuales se aplicaron para los ensayos que se realizaron a los suelos cohesivos a estabilizar.

#### 4.5. Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 1

En el cronograma de ensayos de laboratorio, de mezclas con arcilla 1 se desglosa la división que se realizó para trabajar cada arena y lograr diferentes resultados con las mezclas propuestas.

Figura 30. Esquema de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 1



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 1**

CRONOGRAMA ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE ARCILLA No. 1							
ENSAYO DE LABORARIO		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
<b>ARENA SILICE</b>							
10% arena	GRANULOMETRÍA						
10% arena	COMPATACIÓN						
10% arena	CBR						
25% arena	GRANULOMETRÍA						
25% arena	COMPATACIÓN						
25% arena	CBR						
50% arena	GRANULOMETRÍA						
50% arena	COMPATACIÓN						
50% arena	CBR						
<b>ARENA AZUL</b>							
10% arena	GRANULOMETRÍA						
10% arena	COMPATACIÓN						
10% arena	CBR						
25% arena	GRANULOMETRÍA						
25% arena	COMPATACIÓN						
25% arena	CBR						
50% arena	GRANULOMETRÍA						
50% arena	COMPATACIÓN						
50% arena	CBR						

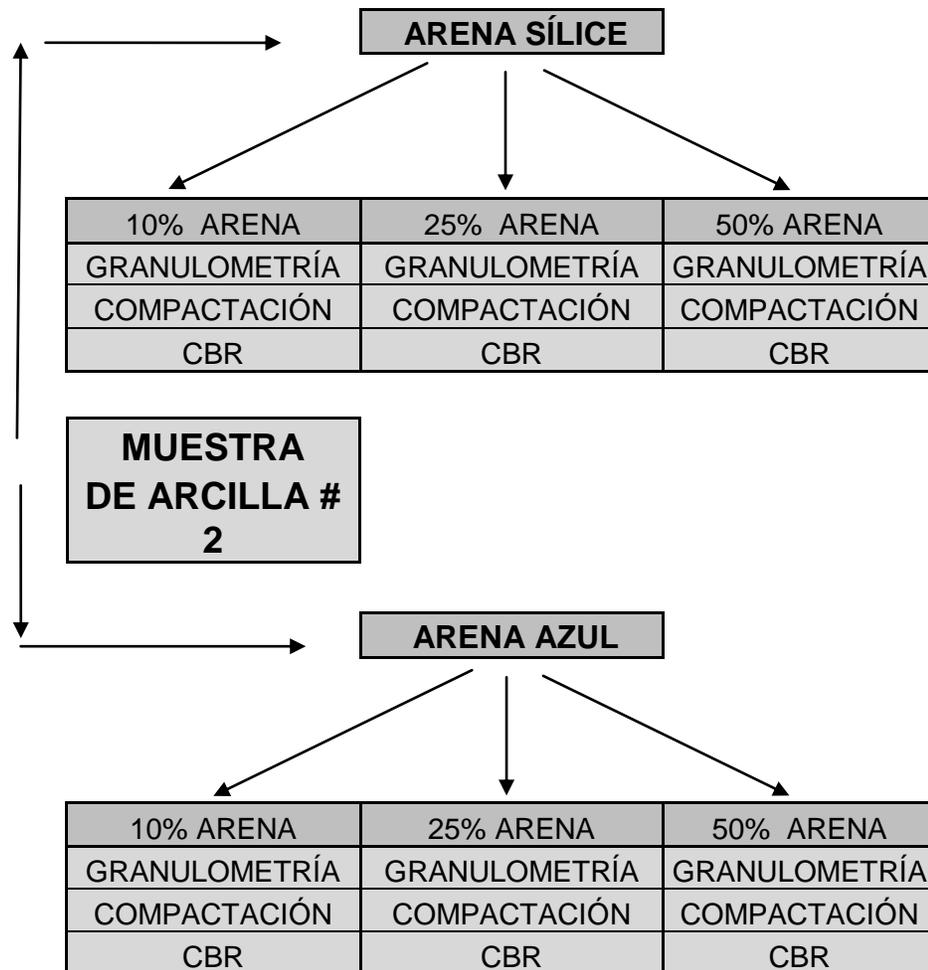
Fuente: elaboración propia.

En el cronograma anterior se indica el tiempo de ejecución por semana que se utilizó para realizar los ensayos del laboratorio dentro del Centro de Investigaciones, los cuales se iniciaron la semana 1 del mes de agosto de 2011.

#### 4.6. Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2

En el cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2 se desglosa la división que se realizó para trabajar cada arena y lograr diferentes resultados con las mezclas propuestas.

Figura 31. Esquema de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Cronograma de ensayos de laboratorio de mezclas con arcilla 2**

CRONOGRAMA ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE ARCILLA No. 2							
ENSAYO DE LABORARIO		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
<b>ARENA SILICE</b>							
10% arena	GRANULOMETRÍA						
10% arena	COMPATACIÓN						
10% arena	CBR						
25% arena	GRANULOMETRÍA						
25% arena	COMPATACIÓN						
25% arena	CBR						
50% arena	GRANULOMETRÍA						
50% arena	COMPATACIÓN						
50% arena	CBR						
<b>ARENA AZUL</b>							
10% arena	GRANULOMETRÍA						
10% arena	COMPATACIÓN						
10% arena	CBR						
25% arena	GRANULOMETRÍA						
25% arena	COMPATACIÓN						
25% arena	CBR						
50% arena	GRANULOMETRÍA						
50% arena	COMPATACIÓN						
50% arena	CBR						

Fuente: elaboración propia.

En el cronograma anterior se indica el tiempo de ejecución por semana que se utilizo para realizar los ensayos del laboratorio dentro del Centro de Investigaciones, los cuales se iniciaron la semana 3 del mes de septiembre de 2011.

#### 4.7. Resultados de los ensayos de laboratorio de las mezclas a utilizar con arcilla 1

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio que se realizaron a las diferentes mezclas que se propusieron para estabilizar la arcilla 1, revelaron datos que muestran diferentes comportamientos de cada mezcla conforme se aplicaba diferentes proporciones de cada una de las arenas volcánicas que se colocaron en diferentes porcentajes.

- Granulometrías de las mezclas con la arena sílice y arena azul

Tabla XV. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 1

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,62
10	2,00	87,62
40	0,42	64,25
200	0,074	50,97

% de grava: 0,38  
% de arena: 48,65  
% de finos: 50,97

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena sílice y cal viva  
Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-5

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XVI. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25 % de arena sílice y 75% de arcilla 1**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,62
10	2,00	88,62
40	0,42	60,46
200	0,074	44,70

% de grava: 0,39  
 % de arena: 54,92  
 % de finos: 44,70

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena sílice y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-4

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XVII. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50 % de arena sílice y 50% de arcilla 1**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,61
10	2,00	90,28
40	0,42	54,13
200	0,074	34,25

% de grava: 0,39  
 % de arena: 65,36  
 % de finos: 34,25

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena sílice y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-2-7

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XVIII. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10 % de arena azul y 90% de arcilla 1**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,18
10	2,00	85,98
40	0,42	63,67
200	0,074	51,10

% de grava: 0,82  
 % de arena: 48,09  
 % de finos: 51,10

Descripción del suelo: Mezcla de suelo de arcilla, arena azul y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-5

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XIX. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25 % de arena azul y 75% de arcilla 1**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	98,53
10	2,00	84,51
40	0,42	59,01
200	0,074	42,77

% de grava: 1,47  
 % de arena: 55,76  
 % de finos: 42,77

Descripción del suelo: Mezcla de suelo de arcilla, arena azul y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50 % de arena azul y 50% de arcilla 1**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	97,44
10	2,00	82,05
40	0,42	51,24
200	0,074	30,39

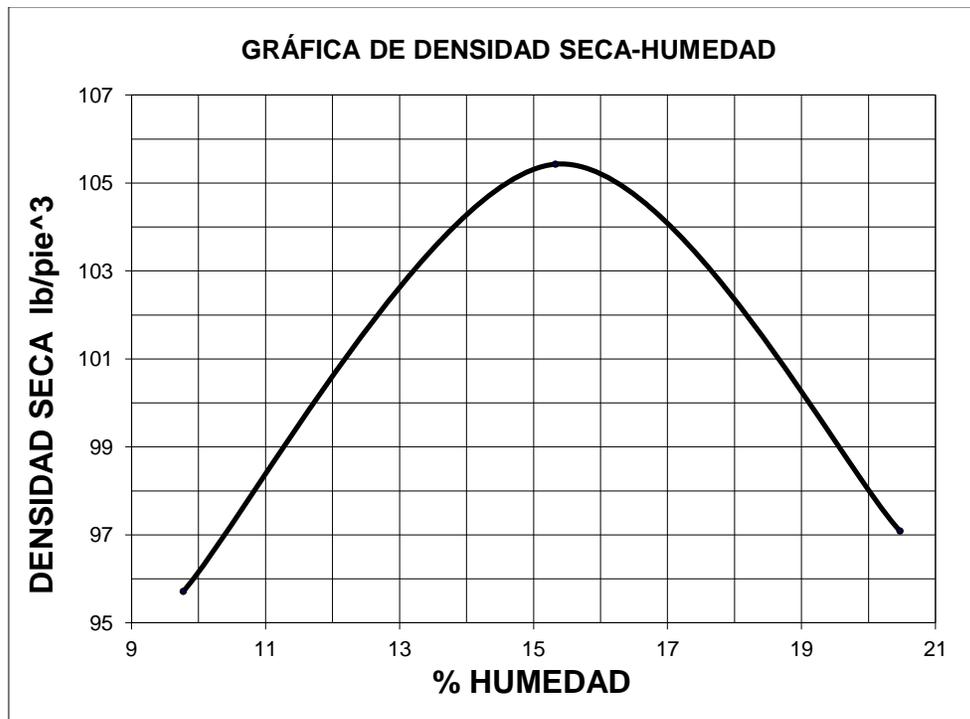
% de grava: 2,57  
 % de arena: 67,05  
 % de finos: 30,39

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena azul y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-2-7

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de compactación de las mezclas con la arena sílice y arena azul

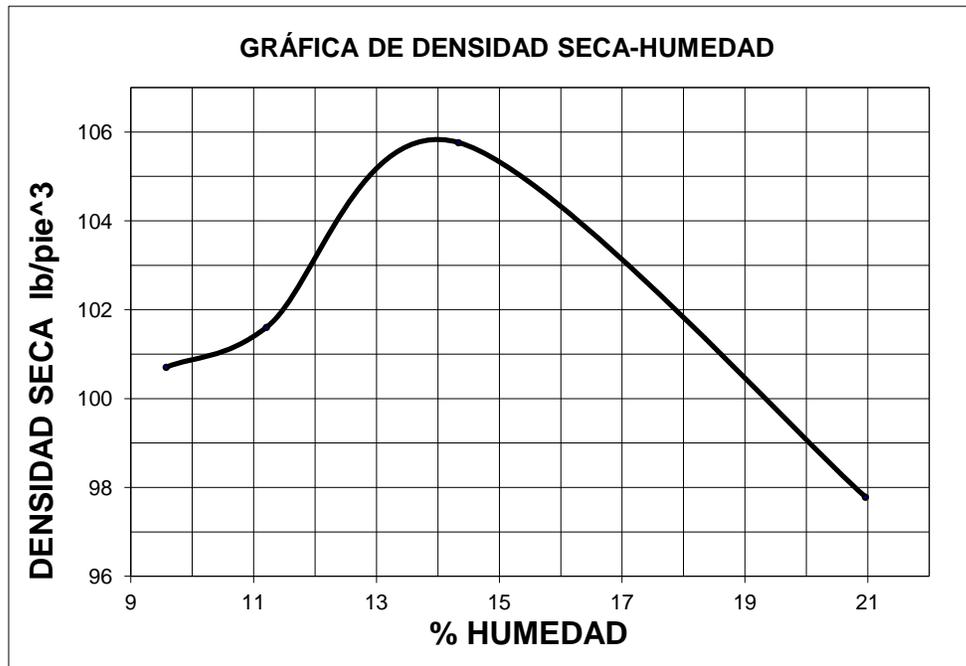
Figura 32. **Ensayo de compactación mezcla de 10 % de arena sílice y 90% de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 90% arcilla muestra 1 y 10% arena sílice
Densidad seca máxima	1594 Kg/m <sup>3</sup> 99,5 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	15,5 %

Fuente: elaboración propia.

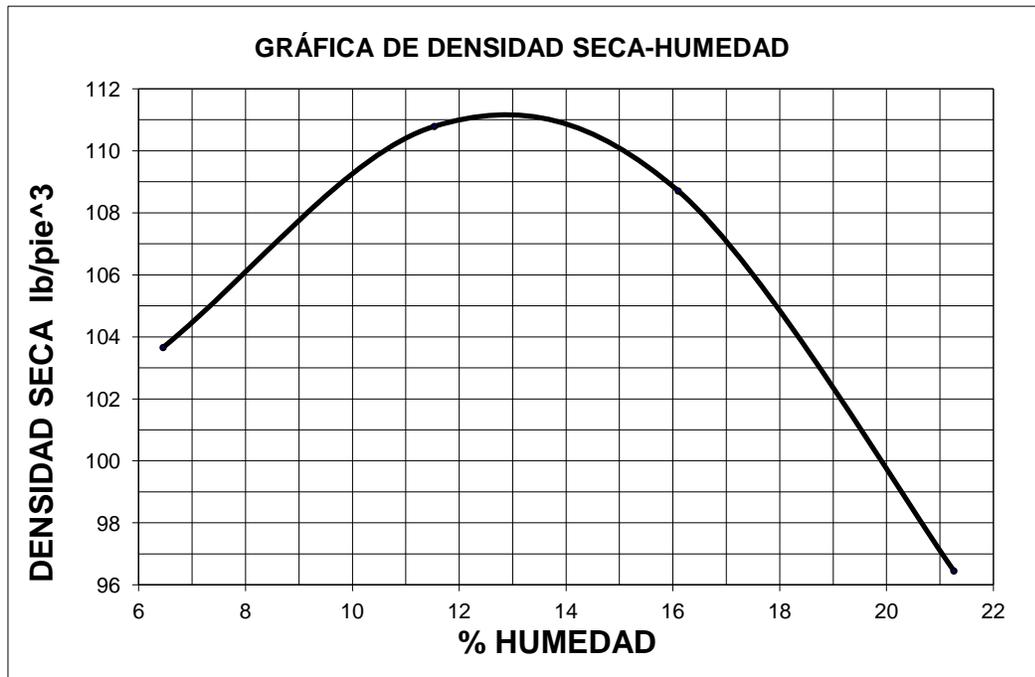
Figura 33. **Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena sílice y 75 % de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 75% arcilla muestra 1 y 25% arena sílice	
Densidad seca máxima	1695 Kg/m <sup>3</sup>	105,8 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima H <sub>op</sub> :	14,0 %	

Fuente: elaboración propia.

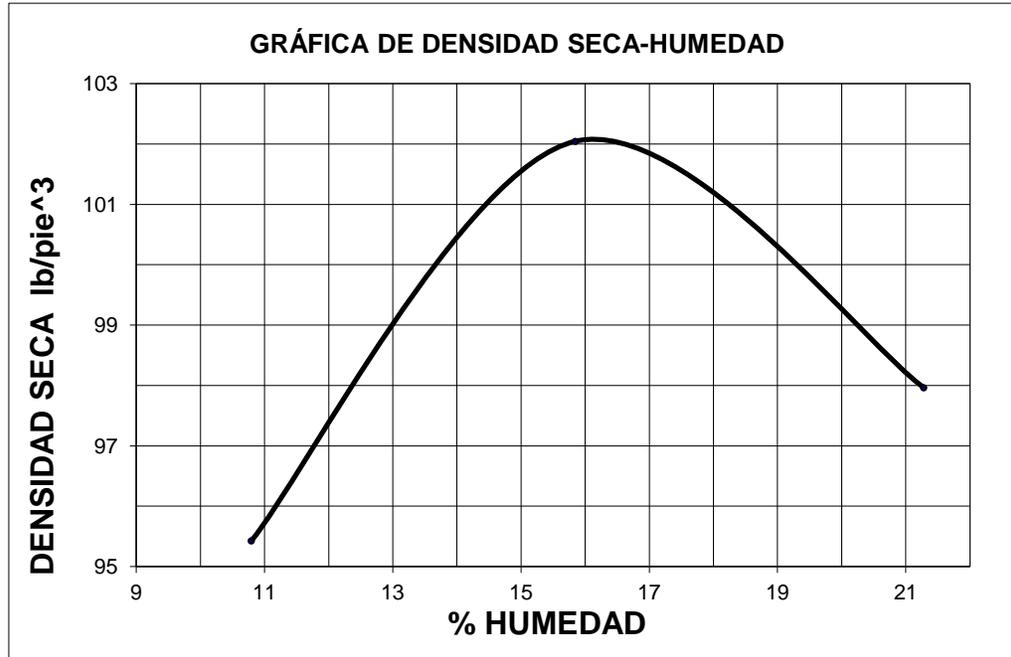
Figura 34. **Ensayo de compactación mezcla de 50 % de arena sílice y 50 % de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 50% arcilla 1 y 50% arena sílice	
Densidad seca máxima	1781 Kg/m <sup>3</sup>	111,2 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	13,5 %	

Fuente: elaboración propia.

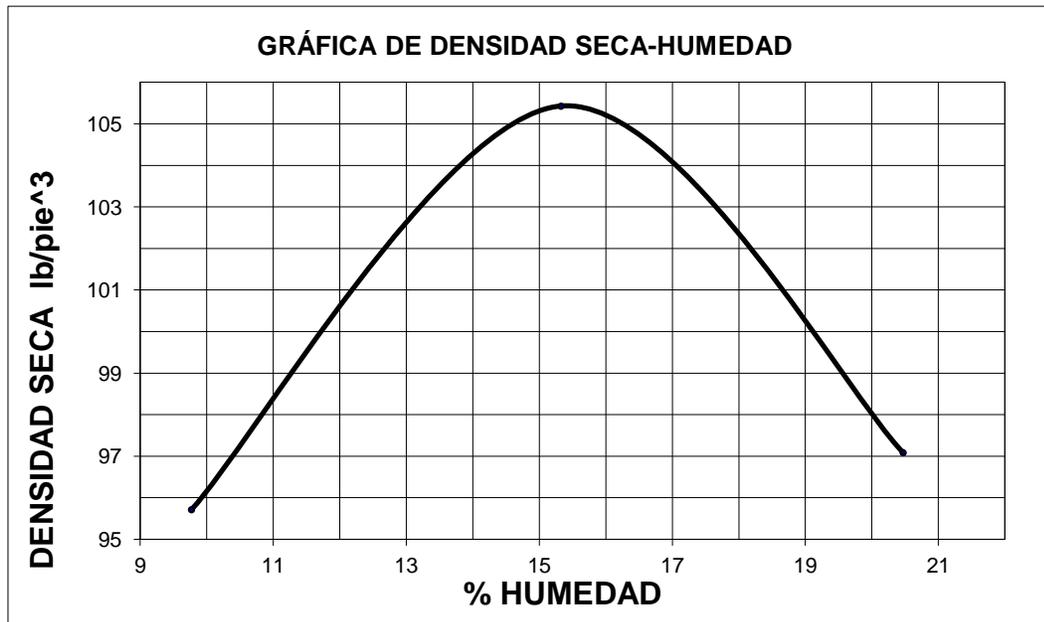
Figura 35. **Ensayo de compactación mezcla de 10 % de arena azul y 90% de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 90% arcilla muestra 1 con un 10 % de arena azul	
Densidad seca máxima	1636 Kg/m <sup>3</sup>	102,1 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima H <sub>op</sub> ::	16,4 %	

Fuente: elaboración propia.

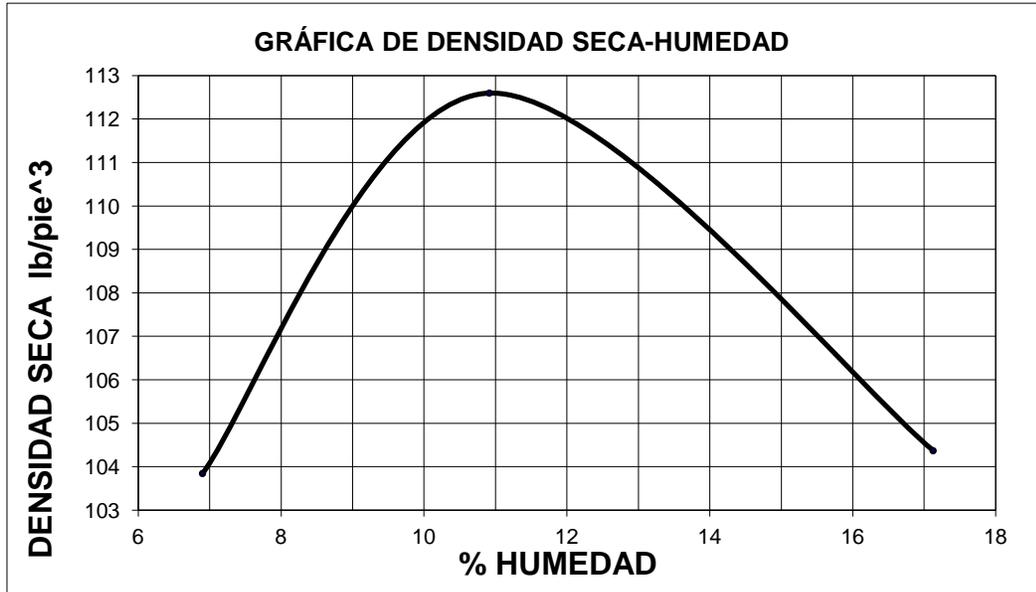
Figura 36. **Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena azul y 75 % de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 75% arcilla muestra 1 con un 25% de arena azul	
Densidad seca máxima	1689 Kg/m <sup>3</sup>	105,4 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	15,6 %	

Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Ensayo de compactación mezcla de 50 % de arena azul y 50 % de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 50% arcilla limosa muestra 1 con 50% arena azul	
Densidad seca máxima	1782 Kg/m <sup>3</sup>	112,5 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	11,0 %	

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos de CBR de las mezclas con la arena sílice y arena azul

Tabla XXI. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 10 % de arena sílice y 90% de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	16,40	95,2	89,7	0,46	30,4
2	30	16,40	103,6	93,0	0,37	48,5
3	65	16,40	104,8	99,2	0,24	64,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena sílice y 75 % de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	15,19	95,2	90,0	0,46	40,8
2	30	15,19	103,6	93,0	0,37	64,2
3	65	15,19	104,8	99,0	0,24	84,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 50 % de arena sílice y 50 % de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	13,60	94,2	85,8	0,03	50,1
2	30	13,60	102,5	90,7	0,02	65,8
3	65	13,60	103,7	98,4	0,00	96,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 10 % de arena azul y 90% de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	16,82	92,6	86,7	0,00	38,8
2	30	16,82	96,9	90,9	0,00	48,5
3	65	16,82	103,4	98,3	0,00	70,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena azul y 75 % de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	16,16	93,1	88,3	0,00	45,5
2	30	16,16	97,4	91,4	0,00	64,2
3	65	16,16	104,0	98,7	0,00	91,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 50 % de arena azul y 50 % de arcilla 1**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	11,51	99,1	85,1	0,03	51,8
2	30	11,51	104,6	91,0	0,02	82,2
3	65	11,51	112,8	100,3	0,00	97,1

Fuente: elaboración propia.

#### 4.8. **Resultados de los ensayos de laboratorio de las mezclas a utilizar con arcilla 2**

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio que se realizaron a las diferentes mezclas que se propusieron para estabilizar la arcilla 2, revelaron datos que muestran diferentes comportamientos de cada mezcla, conforme se aplicaban diferentes proporciones de cada una de las arenas volcánicas que se colocaron en diferentes porcentajes.

Como ya se obtuvieron en la sección 4.7. ya se tienen dos parámetros de comparación, los resultados del laboratorio de las mezclas a utilizar con arcilla 1 y ahora los resultados de laboratorio de las mezclas a utilizar con la arcilla 2, los cuales muestran cada uno de los comportamientos en las estabilizaciones obtenidas.

- Granulometrías de las mezclas con la arena sílice y arena azul

**Tabla XXVII. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10% de arena sílice y 90% de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	98,61
10	2,00	86,08
40	0,42	58,45
200	0,074	47,46

% de grava: 1,39  
 % de arena: 51,15  
 % de finos: 47,46

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena sílice y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-5

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXVIII. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25 % de arena sílice y 75% de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	98,78
10	2,00	87,33
40	0,42	55,62
200	0,074	41,78

% de grava: 1,22  
 % de arena: 57,00  
 % de finos: 41,78

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena sílice y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-4

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXIX. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50 % de arena sílice y 50% de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	99,05
10	2,00	89,42
40	0,42	50,91
200	0,074	32,30

% de grava: 0,95  
 % de arena: 66,75  
 % de finos: 32,30

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena sílice y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-2-6

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXX. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 10 % de arena azul y 90% de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	98,18
10	2,00	84,43
40	0,42	57,87
200	0,074	46,69

% de grava: 1,82  
 % de arena: 51,49  
 % de finos: 46,69

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena azul y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-5

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXXI. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 25 % de arena azul y 75% de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	97,69
10	2,00	83,21
40	0,42	54,17
200	0,074	39,85

% de grava: 2,31  
 % de arena: 57,84  
 % de finos: 39,85

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena azul y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-4

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXXII. Datos de ensayo de granulometría mezcla de 50 % de arena azul y 50% de arcilla 2**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	96,88
10	2,00	81,19
40	0,42	48,02
200	0,074	28,44

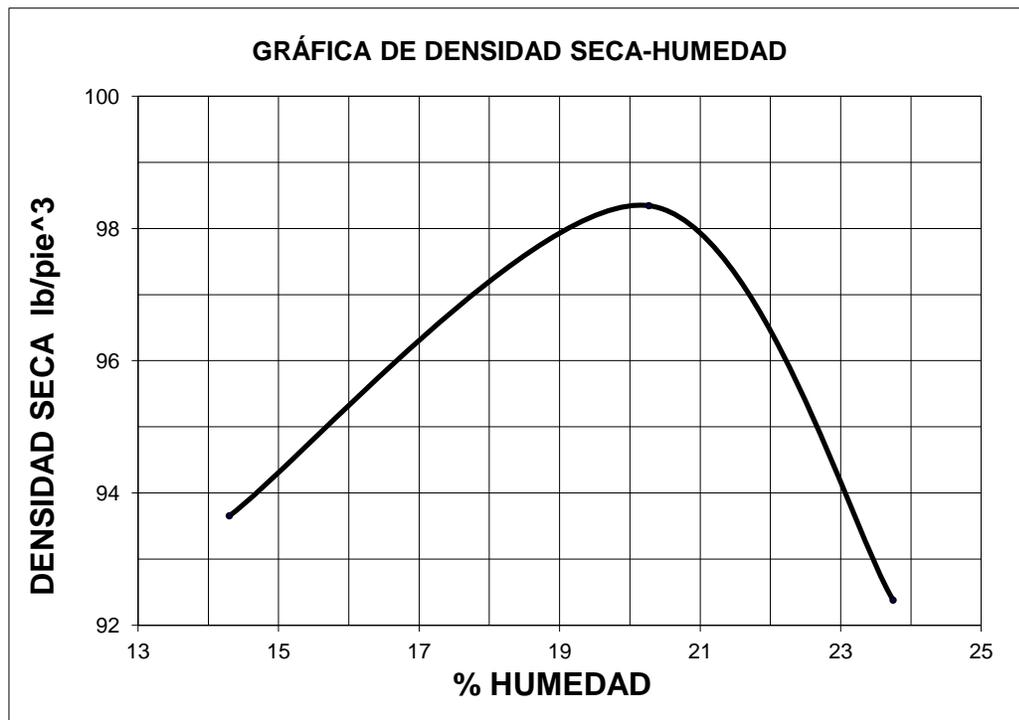
% de grava: 3,13  
 % de arena: 68,44  
 % de finos: 28,44

Descripción del suelo: Mezcla de suelo cohesivo, arena azul y cal viva  
 Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-2-6

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos de compactación de las mezclas con la arena sílice y arena azul

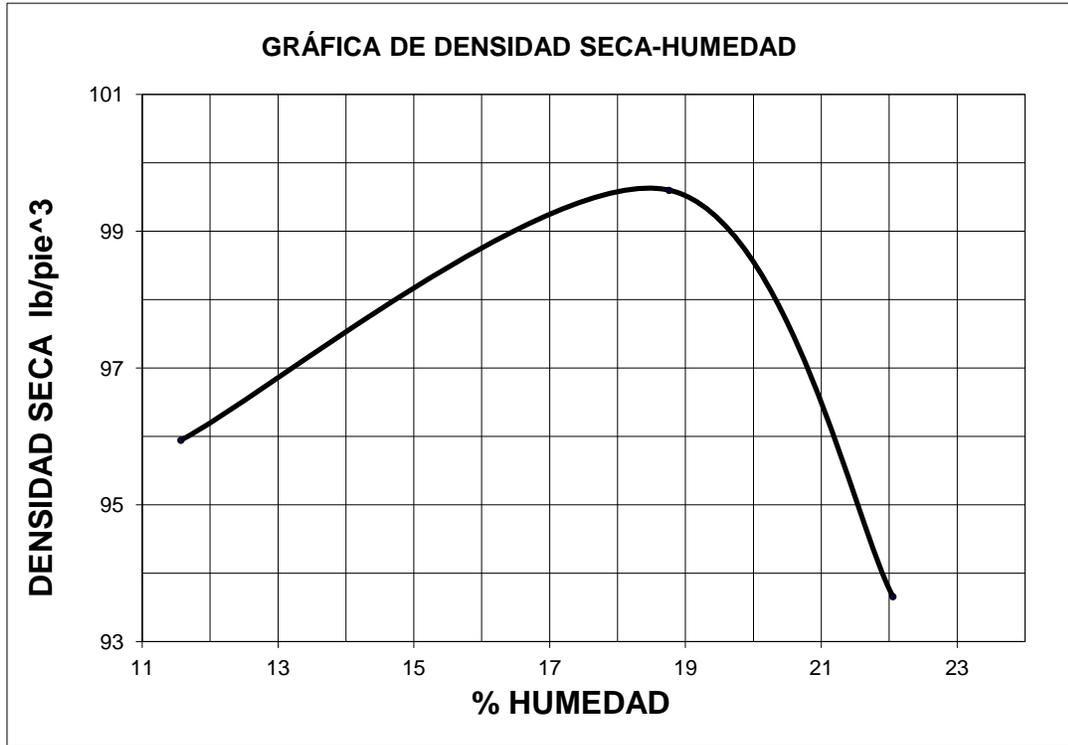
Figura 38. **Ensayo de compactación mezcla de 10 % de arena sílice y 90% de arcilla 1**



Descripción del suelo:	Mezcla de 90% arcilla muestra 2 con un 10% de arena sílice	
Densidad seca máxima	1652 Kg/m <sup>3</sup>	103,1 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	20,6 %	

Fuente: elaboración propia.

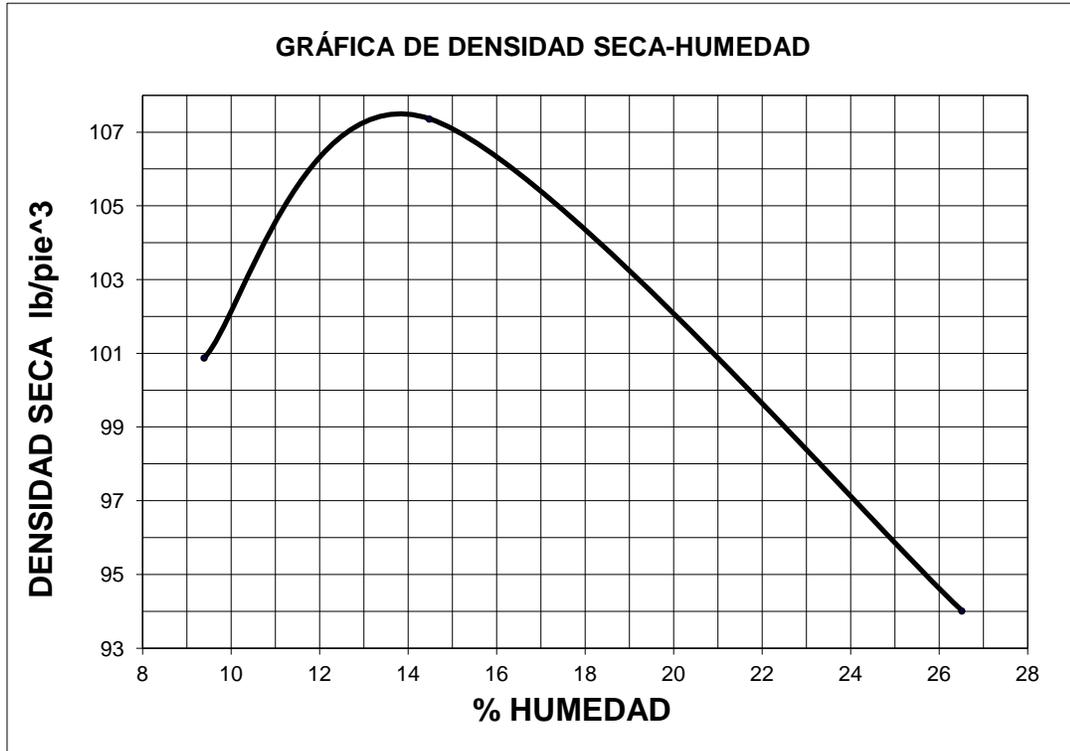
Figura 39. **Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena sílice y 75 % de arcilla 2**



Descripción del suelo:	Mezcla de 75% arcilla muestra 2 con un 25% de arena sílice	
Densidad seca máxima	1594 Kg/m <sup>3</sup>	99,5 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	18,5 %	

Fuente: elaboración propia.

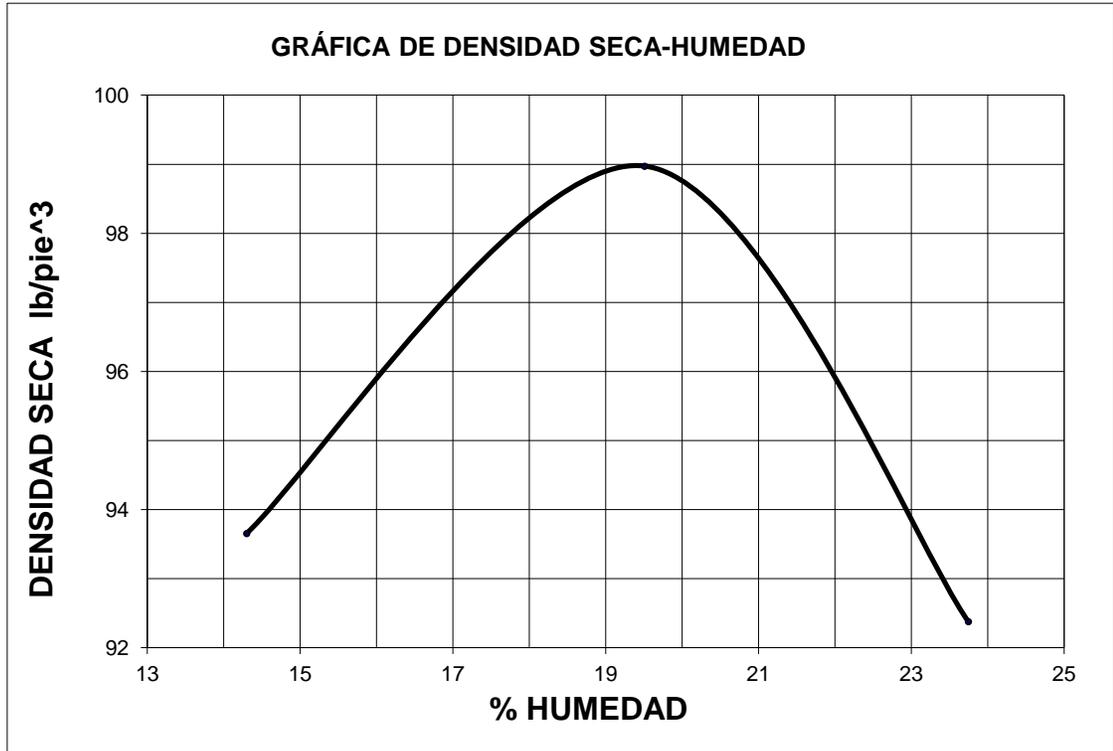
Figura 40. **Ensayo de compactación mezcla de 50 % de arena sílice y 50 % de arcilla 2**



Descripción del suelo:	Mezcla de 50% arcilla 2 y 50% arena sílice	
Densidad seca máxima	1724 Kg/m <sup>3</sup>	107,6 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	13,9 %	

Fuente: elaboración propia.

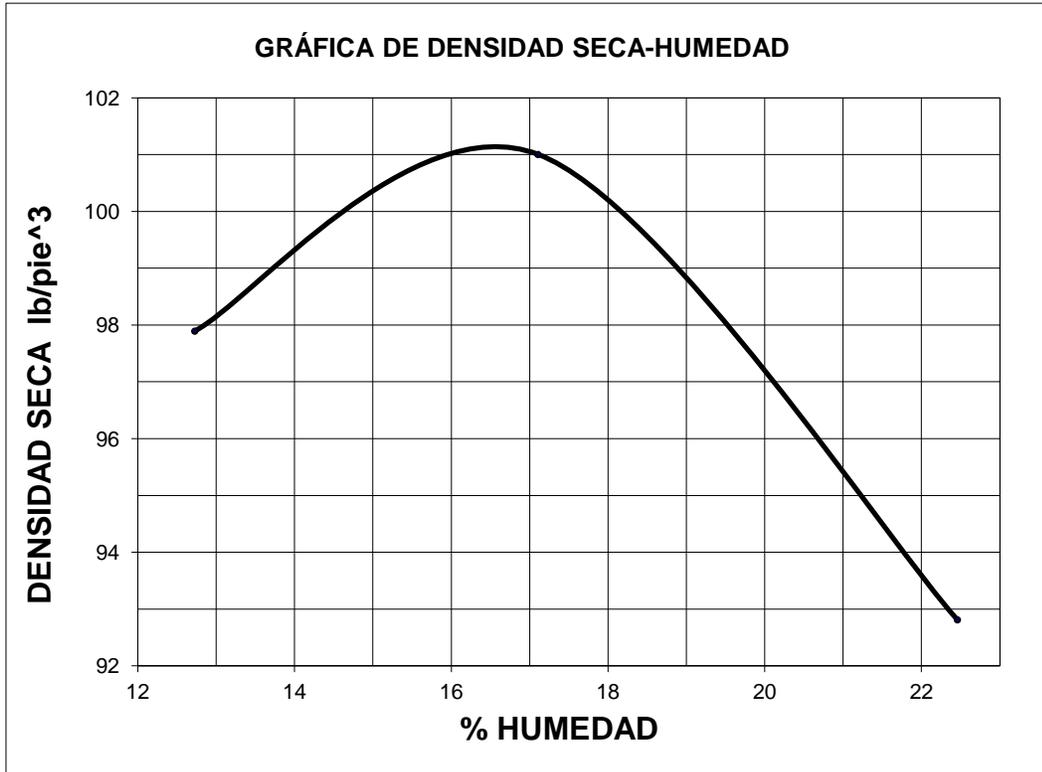
Figura 41. **Ensayo de compactación mezcla de 10 % de arena azul y 90% de arcilla 2**



Descripción del suelo:	Mezcla de 90% de arcilla muestra 2 y 10% de arena azul	
Densidad seca máxima	1674 Kg/m <sup>3</sup>	104,5 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	19,5 %	

Fuente: elaboración propia.

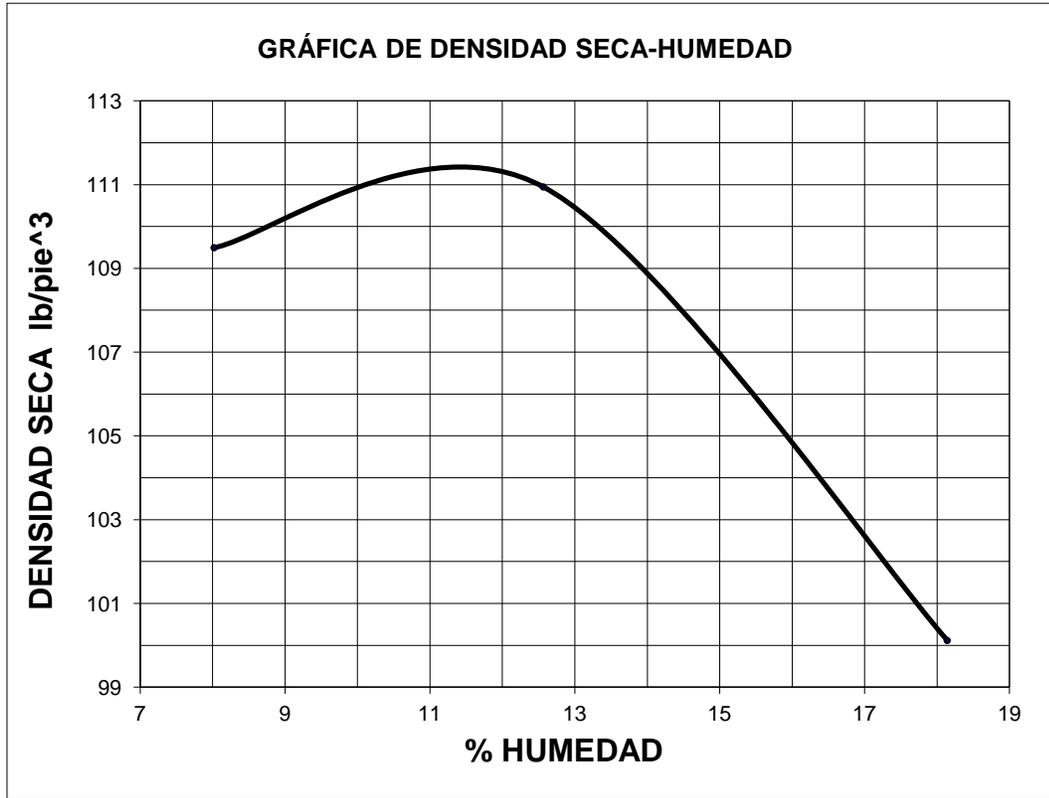
Figura 42. **Ensayo de compactación mezcla de 25% de arena azul y 75 % de arcilla 2**



Descripción del suelo:	Mezcla de 75% de arcilla muestra 2 y 25% de arena azul	
Densidad seca máxima	1623 Kg/m <sup>3</sup>	101,3 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	16,5 %	

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Ensayo de compactación mezcla de 50 % de arena azul y 50 % de arcilla 2**



Descripción del suelo:	Mezcla de 50% de arcilla muestra 2 y 50% de arena azul	
Densidad seca máxima	1786 Kg/m <sup>3</sup>	111,5 lb/ft <sup>3</sup>
Humedad óptima Hop.:	11,5 %	

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos de CBR de las mezclas con la arena sílice y arena azul

Tabla XXXIII. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 10 % de arena sílice y 90% de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	21,14	88,5	85,9	0,03	20,4
2	30	21,14	96,1	93,2	0,02	38,5
3	65	21,14	97,0	99,1	0,00	63,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena sílice y 75 % de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	19,03	90,1	90,6	0,03	23,1
2	30	19,03	97,8	93,3	0,02	52,5
3	65	19,03	98,8	99,3	0,00	82,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 50 % de arena sílice y 50 % de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	14,10	96,3	89,5	0,03	27,8
2	30	14,10	102,5	95,3	0,02	62,2
3	65	14,10	107,7	100,1	0,00	97,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 10 % de arena azul y 90% de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	19,82	85,1	81,4	0,03	16,8
2	30	19,82	97,9	93,6	0,02	36,8
3	65	19,82	103,3	98,8	0,00	65,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 25% de arena azul y 75 % de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	16,00	87,9	86,8	0,03	17,4
2	30	16,00	101,1	93,8	0,02	61,5
3	65	16,00	106,7	99,3	0,00	89,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Datos de ensayo de CBR mezcla de 50 % de arena azul y 50 % de arcilla 2**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACIÓN		C	EXPANSIÓN	C.B.R.
No.	No.	H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	11,60	99,3	89,0	0,03	29,8
2	30	11,60	107,7	93,6	0,02	65,8
3	65	11,60	114,0	100,3	0,00	98,8

Fuente: elaboración propia.



## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ESTABILIZACIONES A SUELOS COHESIVOS**

Se analizó anteriormente todas las estabilizaciones realizadas a los dos tipos de suelos cohesivos las cuales fueron positivas, cada una de las estabilizaciones presentó un CBR diferente.

El número CBR obtenido es un índice del valor o capacidad soporte de un suelo. Un CBR de ocho o diez por ciento indicará que el material tiene una capacidad soporte baja, mientras que un valor de 50 o 70 por ciento de CBR mostrará un material de buena resistencia, apto para capa de base de pavimentos según sea su utilidad, esto de acuerdo a las especificaciones del libro azul de caminos.

En resumen, el CBR significa la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles.

### **5.1. Análisis de resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio en la estabilización de suelos cohesivos**

Con las diferentes mezclas realizadas con arenas de origen volcánico y cal viva a las 2 muestras diferentes de arcillas, se determinó que se puede lograr varios valores de estabilización según la mezcla aplicada.

Las mezclas sugeridas en la investigación para las estabilizaciones de suelos son amplias y van desde un 10, 25 y un 50 por ciento de agregados del

volumen a estabilizar, estas lograron diferentes valores en cada una de las muestras trabajadas.

Los valores son variados y se puede obtener un CBR, según la mezcla aplicada de un 52,6 por ciento de CBR hasta un 91,5 por ciento de CBR estos valores obtenidos en el grafico de CBR al 95 por ciento de compactación y según la aplicación que se le desea dar se puede tomar el valor más conveniente a utilizar.

Cuando el porcentaje de arenas va creciendo sobre las muestras de arcillas a estabilizar se alcanza un grado de estabilización más alta, esto se puede apreciar en los ensayos realizados los cuales mostraron que las muestras de arcilla aplicando las mezclas van tomando un valor de CBR mayor.

Las características de las arenas de origen volcánico utilizadas para en la investigación lograron conjuntamente con la cal viva diferentes valores de estabilización sobre las muestras de suelos cohesivos empleados lo que hace positivo los resultados del estudio realizado.

## **5.2. Gráficas de resultados de las estabilizaciones obtenidas con las mezclas**

Con los valores obtenidos de las de los ensayos realizados podemos graficar los valores los cuales nos muestra la tendencia sobre el incremento del porcentaje del valor CBR, en el suelo que se está estabilizando, donde podemos observar el incremento del mismo con forme vamos aumentando el porcentaje de volumen de arenas sobre el suelo cohesivo.

La muestra de arcilla 2 se estabilizo con la arena sílice, y arena azul por lo que de acá podemos obtener dos formas de estabilizar el mismo suelo. Y comparar valores obtenidos para determinar que arena de origen volcánica logra un mayor valor en la estabilización.

La muestra de arcilla 1 que presenta características más cohesivas que la muestra 2 también se estabilizo de igual forma con las dos arenas logrando resultados positivos.

### 5.2.1. Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 1 con arena sílice

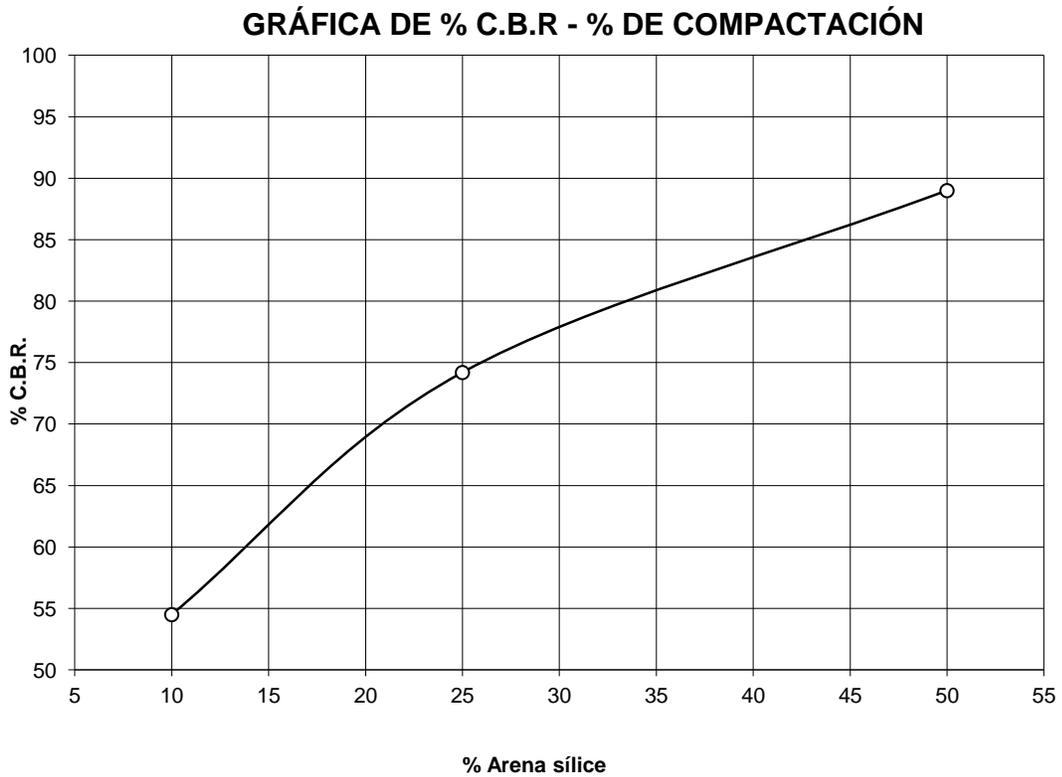
El valor de CBR de la muestra de arcilla 1 a un 95 por ciento de compactación fue de: 9,5 por ciento, a continuación podemos comparar los valores estabilizados finales.

Tabla XXXIX. Valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%,25% y 50 % de arena sílice

ARCILLA # 1	ARENA SÍLICE	C	EXPANSIÓN	C.B.R.
(%) Vol.	(%) Vol.	(%)	(%)	(%)
90,0	10,0	95,0	0,24	54,5
75,0	25,0	95,0	0,24	74,2
50,0	50,0	95,0	0,00	89,0

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10 %, 25% y 50 % de arena sílice**



Fuente: elaboración propia.

### **5.2.2. Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 1 con arena azul**

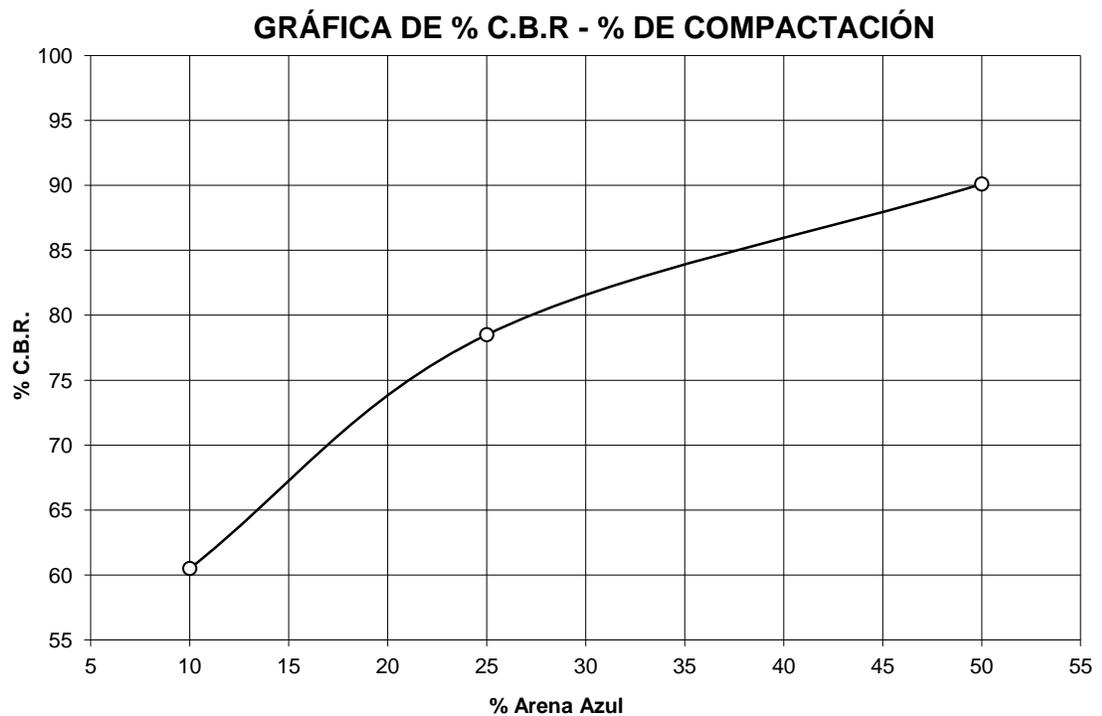
El valor de CBR de la muestra de arcilla 1 a un 95 por ciento de compactación fue de: 9,5 por ciento, a continuación podemos comparar los valores estabilizados finales.

Tabla XL. **Valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10 %, 25% y 50 % de arena azul**

ARCILLA # 1 (%) Vol.	ARENA AZUL (%) Vol.	C (%)	EXPANSIÓN (%)	C.B.R. (%)
90,0	10,0	95,0	0,00	60,5
75,0	25,0	95,0	0,00	78,5
50,0	50,0	95,0	0,00	90,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10 %, 25% y 50 % de arena azul**



Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3. Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 2 con arena sílice

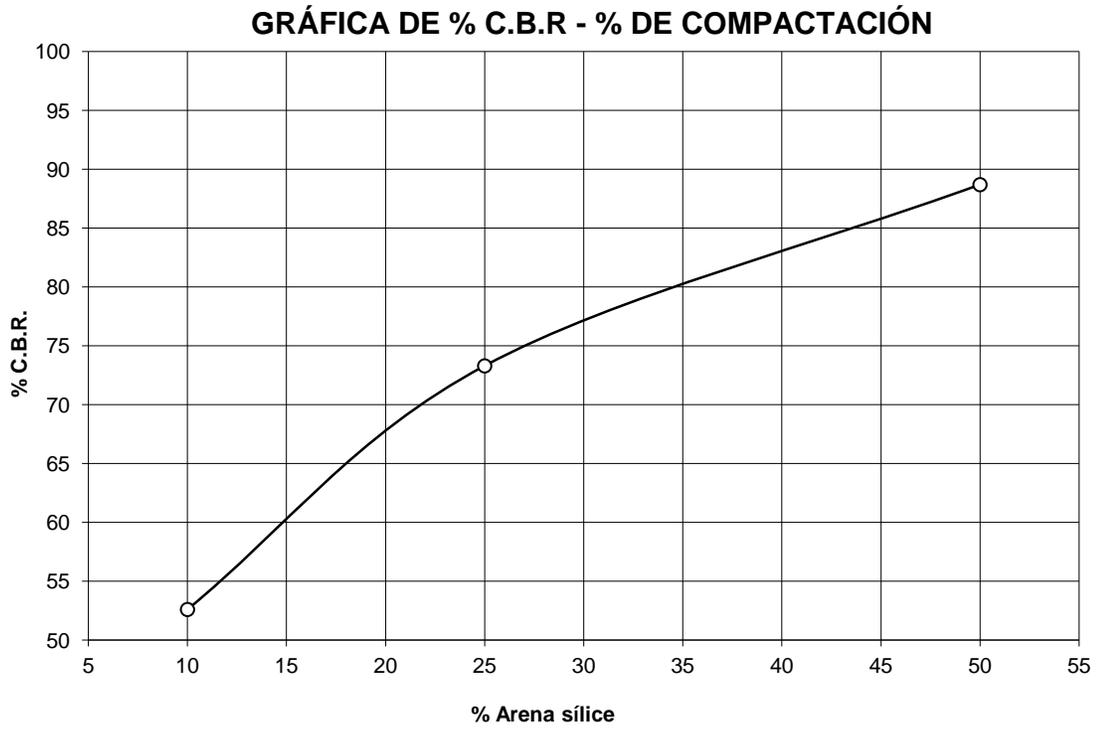
El valor de CBR de la muestra de arcilla 2 a un 95 por ciento de compactación fue de: 11,8 por ciento, a continuación se puede comparar los valores estabilizados finales.

Tabla XLI. **Valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10 %, 25% y 50 % de arena sílice**

<b>ARCILLA # 2</b>	<b>ARENA SÍLICE</b>	<b>C</b>	<b>EXPANSIÓN</b>	<b>C.B.R.</b>
<b>(%) Vol.</b>	<b>(%) Vol.</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
90,0	10,0	95,0	0,00	52,6
75,0	25,0	95,0	0,00	73,3
50,0	50,0	95,0	0,00	88,7

Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10 %, 25% y 50 % de arena sílice**



Fuente: elaboración propia.

#### **5.2.4. Gráfica de los valores obtenidos estabilizando la muestra de arcilla 2 con arena azul**

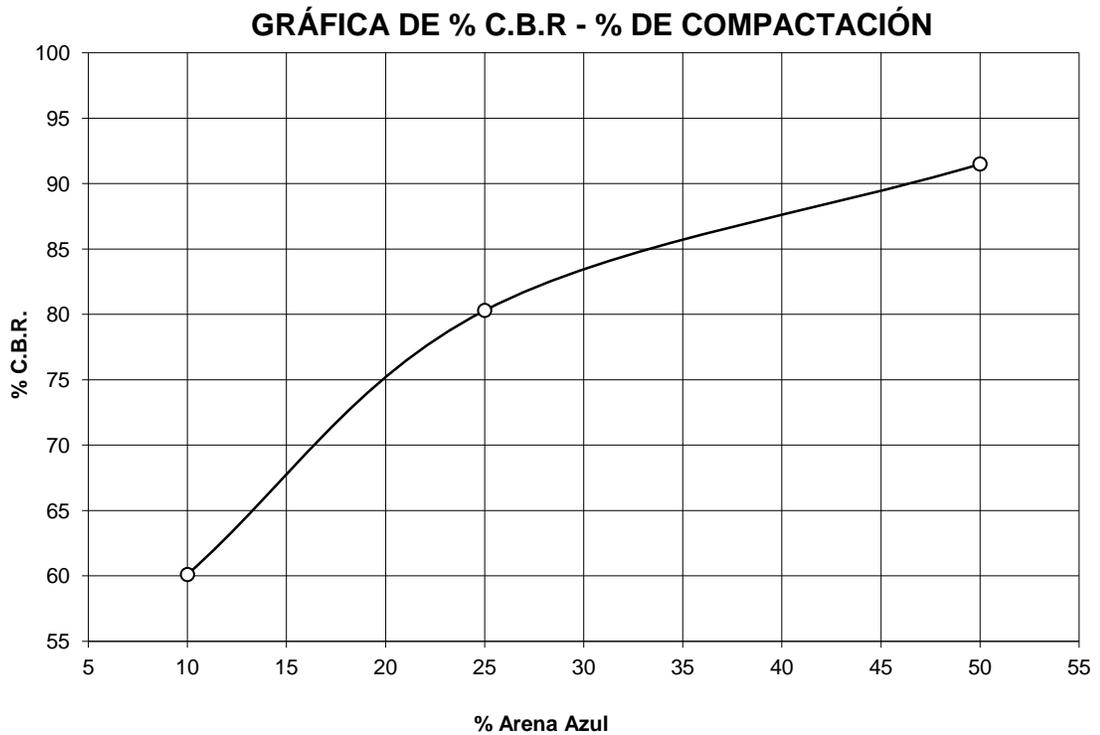
El valor de CBR de la muestra de arcilla 2 a un 95 por ciento de compactación fue de: 11,8 por ciento, a continuación se pueden comparar los valores estabilizados finales.

Tabla XLII. **Valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10 %, 25% y 50 % de arena azul**

<b>ARCILLA # 2</b>	<b>ARENA AZUL</b>	<b>C</b>	<b>EXPANSIÓN</b>	<b>C.B.R.</b>
<b>(%) Vol.</b>	<b>(%) Vol.</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
90,0	10,0	95,0	0,00	60,1
75,0	25,0	95,0	0,00	80,3
50,0	50,0	95,0	0,00	91,5

Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Resultados de valores obtenidos estabilizando la arcilla 2 con un 10 %, 25% y 50 % de arena azul**



Fuente: elaboración propia.

### **5.2.5. Interpolación de las gráficas obtenidas con las estabilizaciones**

Con las gráficas obtenidas de los valores de todas las estabilizaciones realizadas a los dos tipos de suelos cohesivos, podemos observar la tendencia de la curva que se obtuvo con los tres porcentajes de: 10 por ciento, 25 por ciento y 50 por ciento, los cuales marcan la tendencia de la estabilización mediante una curva sobre la gráfica la cual tiene los valores de (% arena) VRS (% CBR).

Con estos datos en la gráfica podemos interpolar valores si se requiere un número de CBR en específico, este valor se puede encontrar en la gráfica, y así conocer el porcentaje de arena (% arena) que tenemos que emplear para lograr el valor CBR requerido para un suelo cohesivo similar usando cualquiera de las dos arenas empleadas para las estabilizaciones, estos valores no son exactos pero si aproximados.

De la misma forma como se puede encontrar un porcentaje de arena (% arena) para un CBR específico también se puede encontrar en la misma gráfica que valor de CBR me daría una mezcla del usando cantidades de arena de: 15 por ciento, 20 por ciento o 30 por ciento, esto para cualquiera de los dos tipos de arena de origen volcánico que deseamos utilizar en nuestra estabilización en suelos cohesivos con las características similares a las muestras empleadas en esta investigación.

Con la base anterior se tiene un precedente para las estabilizaciones, pero se recomienda realizar los estudios de laboratorios respectivos a los suelos cohesivos a estabilizar esto para conocer los valores exactos que tendremos en las estabilizaciones usando suelos cohesivos con las mismas características.



## CONCLUSIONES

1. Las características de las de arenas de origen volcánico usadas en la investigación presentan cualidades positivas para la estabilización de suelos cohesivos, las minas ya se usan de forma exitosa en la construcción para diferentes áreas como fundición de concretos y la fabricación de tejas de concreto prefabricadas.
2. La cal viva tiene un bajo costo en el mercado comparada con la cal hidratada y se pudo comprobar que su uso es muy eficaz en la estabilización de suelos cohesivos, ya que se pueden lograr una estabilización de bajo costo mezclándola con la arena sílice y arena azul.
3. Los bancos donde se encuentran las arenas utilizadas para las estabilizaciones poseen una ubicación privilegiada, ya que de la ciudad de Guatemala están tan solo a 26 kilómetros del banco de arena sílice y a 22 kilómetros el de arena azul, y ambos están a unos cuantos kilómetros de la autopista que conduce de la capital a Agua Caliente sobre la ruta al atlántico.
4. Los bancos de arena sílice y arena azul son de un volumen considerado para una extracción a gran escala para realizar estabilizaciones masivas de suelos para la construcción de obras de ingeniería civil que se requieran esto da un alto nivel de confianza para usarlas de forma constante en diferentes proyectos del área metropolitana.

5. Las mezclas propuestas van del 10 por ciento, 25 por ciento y 50 por ciento de arena sobre el material a estabilizar logrando obtener desde un valor de CBR de 52,6 por ciento a 91,5 por ciento, lo que da un amplio margen de valores que podemos seleccionar según sea la utilidad que necesitemos aplicar.
6. Se determinó que utilizando cualquiera de las dos arenas tanto la sílice como la azul, ambas obtienen valores muy similares de CBR, sin embargo su mayor valor de densidad específica y la composición mineralógica de la arena azul, logra que alcance valores un poco más altos que la arena sílice, los cuales se observan en las gráficas de resultados de cada una de ellas usadas en los dos tipos de suelos cohesivos trabajados.
7. En la investigación se utilizaron dos tipos de muestras de suelos los cuales se extrajeron del norte del departamento de Guatemala, estos suelos poseen características cohesivas y se pueden tomar como referencia para poder estabilizar otros tipos de suelos que presentan características iguales o similares en otras partes del departamento o del país, teniendo en cuenta el transporte de las arenas hacia el lugar donde se quiere realizar la estabilización.
8. Las diferentes estabilizaciones que se realizaron en el centro de investigaciones de la Universidad de San Carlos demuestran que se puede utilizar estas arenas de origen volcánicas combinadas con un 10 por ciento de cal viva para poder lograr estabilizaciones de varios valores según las necesidades que requiera el constructor tomando como referencias las curvas realizadas con los resultados.

## RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que cualquier tipo de arena a utilizar de las dos propuestas tanto la arena sílice como la arena azul tenga un equipo y personal de extracción adecuado en los bancos de las mismas ya que cada uno tienen una pequeña capa de suelo orgánico sobre las áreas nuevas de extracción que no se debe de mezclar con las arenas.
2. Si se desea una extracción masiva del agregado en los bancos puede ser más rentable la implementación de maquinaria adecuada como retroexcavadoras y camiones de volteo que harán más eficiente la extracción y el traslado del material al lugar de la estabilización.
3. El uso de la cal viva en las estabilizaciones con arenas volcánicas crea un resultado eficiente pero se debe de utilizar una de buena calidad para lograr los resultados esperados, en la investigación se propone un fábrica la cual utiliza un banco de muy buena calidad, pero si se desea utilizar otra por cuestión de cercanía se debe de verificar la calidad de la misma.
4. Cuando se inicie a realizar la estabilización de un área, se debe de tomar muestras del suelo cohesivo a estabilizar para conocer las características y propiedades del mismo para relacionar con las muestras de suelos que en esta investigación se trabajaron y corroborar que similitudes presentan para utilizar como base los valores de porcentaje de CBR que acá se obtuvieron para tomarlos como referencia.

5. La aplicación de los ensayos de laboratorio a las muestras de suelos a estabilizar y a las mezclas con las arenas, usando de base las mezclas propuestas en la investigación son de gran importancia para corroborar resultados a obtener y confirmar si la proporción que se está utilizando es la adecuada a nuestros requerimientos de no ser así se elegirá otra opción de mezcla la cual se confirmará de la misma forma.
6. Con las gráficas obtenidas de los resultados de las mezcla con los dos tipos de arenas se puede interpolar la gráfica de resultados para encontrar un valor de porcentaje de la arena a agregar a la mezcla para que no sea necesariamente un 10 por ciento, 25 por ciento o 50 por ciento y así obtener un valor de CBR más aproximado al requerido, siempre y cuando corroborando estos resultados con ensayos de laboratorios.
7. Teniendo como referencia el proceso que se realizo en esta investigación se recomienda realizar el mismo proceso de estabilización con arenas volcánicas y cal viva, pero utilizando suelos de alta plasticidad.
8. Con esta investigación se deja un precedente y se recomienda continuar con la investigación de diferentes tipos de arenas, de origen volcánico que son de gran abundancia en Guatemala y que pueden ser utilizados para estabilizaciones de suelos cohesivos como también en diferentes aplicaciones en la construcción y así aprovechar un recurso que se tiene a disposición.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO. American Association of State Highways and Transportation Official. *Standard Specifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing*. 16th ed. Part 1. City: AASTHO, 1993. 950 p.
2. BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGraw-Hill, 1981. 213 p.
3. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones. 5a ed.* México: Limusa, 2005. 650 p.
4. FITZPATRICK, E. A. *Suelos: su formación, clasificación y distribución*. México: CECSA, 1984. 430 p.
5. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 466 p.
6. JUÁREZ BADILLO, Eulalio; RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos*. 3a ed. Tomo I. México: Limusa, 2005. 642 p.
7. JIMÉNEZ, Marta Liliana. *Estabilización de suelos cohesivos con cal*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 137 p.

8. LAMBRE, William; WHITMAN, Robert. *Mecánica de suelos*. México: Limusa, 2005. 582 p.
9. SOWERS, George B; SOWERS George F. *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa, 1990. 677 p.

**ANEXOS**  
**Resultado de ensayos**



Guatemala, 16 de abril de 2012

Sr. Denis Robín Ruano López  
Presente.

Por este medio me es grato saludarle y desearle éxitos en las actividades que realiza. Al mismo tiempo me permito presentarle el resultado del Análisis Petrográfico Macroscópica de las muestras de roca, con el objeto de apoyar la investigación de la Tesis "Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva" que realiza el interesado, recibida el día 13 de Abril de 2012, con ubicación en Palencia, Guatemala.

**Muestra 1**

Color: Gris claro  
Estructura: Granular  
Brillo: No metálico  
Nombre: Material de origen Ígnea  
Composición química: Silícico ( $\text{SiO}_2 + 65\%$ )  
Composición mineralógica: Abundante Vidrio, Cuarzo y Obsidiana.

**Muestra 2**

Color: Gris oscuro  
Estructura: Granular  
Brillo: No metálico  
Nombre: Material de origen Ígnea  
Composición química: Silícico ( $\text{SiO}_2 + 65\%$ )  
Composición mineralógica: Abundante Vidrio, Cuarzo, Obsidiana Y Componentes líticos (Andesitas/Basaltos).

Sin otro particular, me suscribo.

Respetuosamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Ing. Carla Gordillo de Marchena  
Geólogo - Minero  
Profesora - Investigadora





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No.: 0058 S.S.

O.T. No.: 29,678

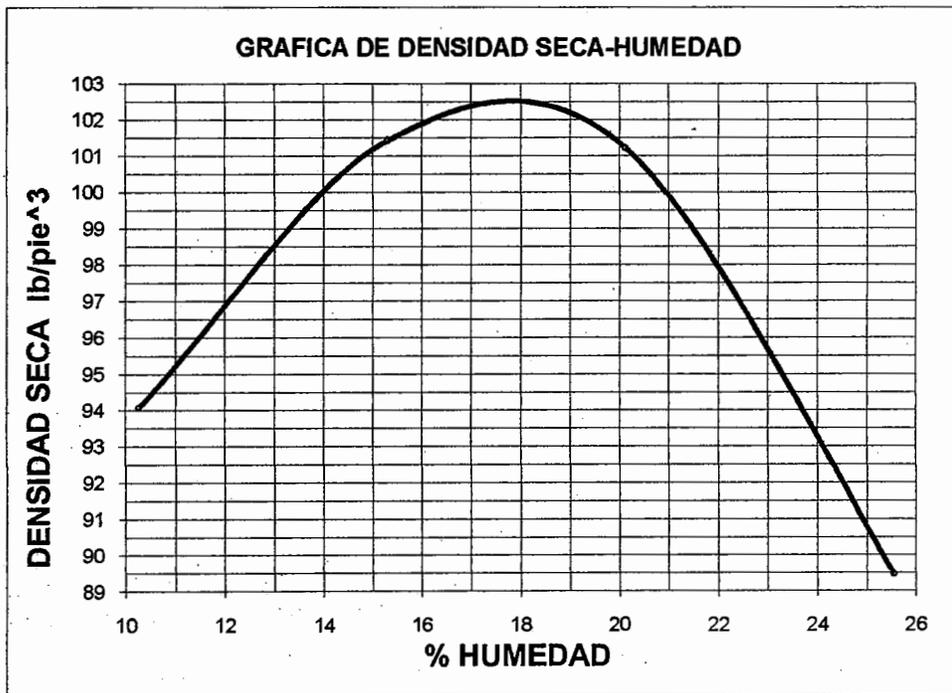
Interesado: Denis Robin Ruano López  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Ubicación: km.18 carretera al Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012



Muestra No.: 1

Descripción del suelo: Suelo cohesivo 1 de color café

Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1642 Kg/m<sup>3</sup>      102.5 lb/ft<sup>3</sup>

Humedad óptima Hop.: 17.8 %

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0060 S.S.

O.T. No. 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

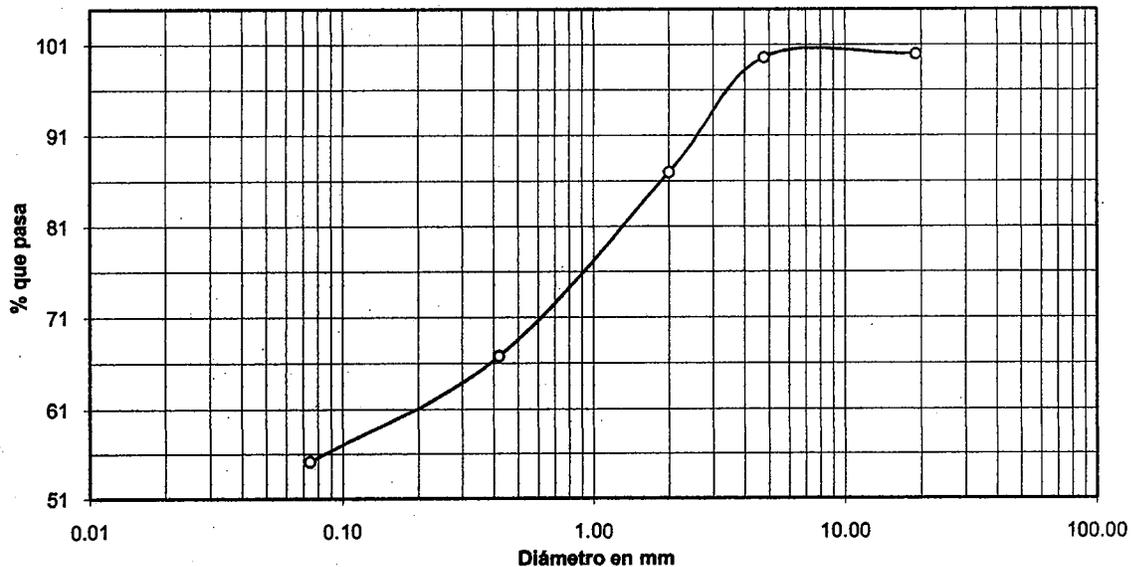
Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Procedencia: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012.

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	99.62
10	2.00	86.96
40	0.42	66.78
200	0.074	55.15

% de Grava: 0.38  
% de Arena: 44.47  
% de Finos: 55.15



Descripción del suelo: suelo cohesivo 1 (arcilla color café)  
Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-6  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0061 S.S.

O.T.: 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

muestra de suelo cohesivo # 1

FECHA: 26 de Marzo de 2012.

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	31.38	23.13	CL	suelo cohesivo 1 (arcilla color café)

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Inga. Telma Maricela ~~San~~ Morales  
DIRECTORA CII/USAC



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No.: 0062 S.S.

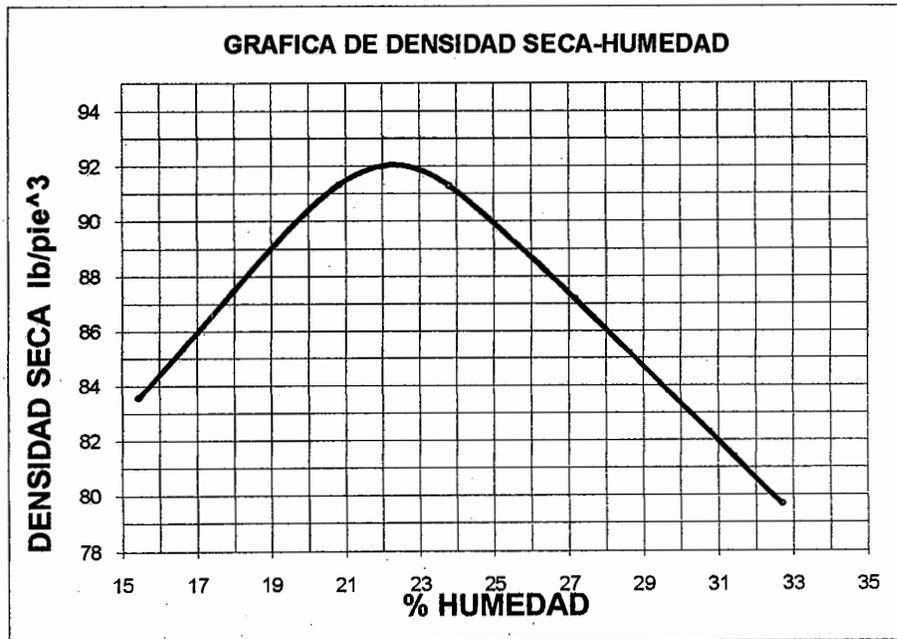
O.T.: 26,678

Interesado: Denis Robin Ruano López  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Ubicación: km 28 carretera al municipio de San Jose del Golfo departamento de Guatemala  
Fecha: 26 de Marzo de 2012



Descripción del suelo: Suelo cohesivo 2 ( arcilla color café )  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1475 Kg/m<sup>3</sup>      92.1 lb/ft<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 22.5 %  
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
 DIRECCION  
 Inga. Telma Maricela Cabra Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0064 S.S.

O.T. No. 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

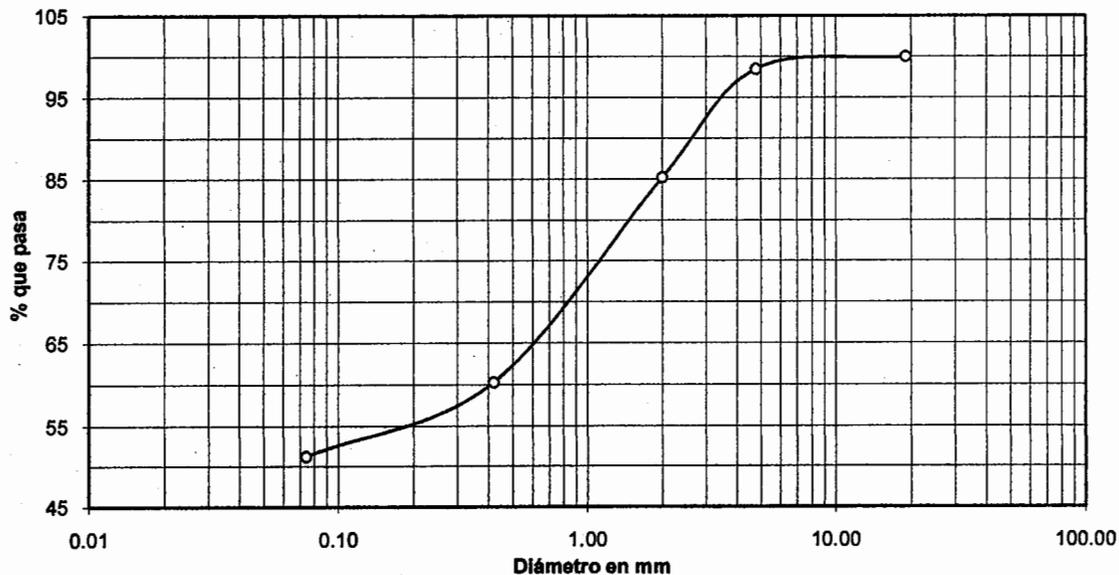
Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Procedencia: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	98.50
10	2.00	85.24
40	0.42	60.33
200	0.074	51.25

% de Grava: 1.50  
% de Arena: 47.25  
% de Finos: 51.25



Descripción del suelo: suelo cohesivo 2 (arcilla color café)  
Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-6  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC DIRECCION



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No 0065 S. S.      O.T.: 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López  
Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Municipio de Palencia departamento de Guatemala  
nombre: muestra de suelo cohesivo # 2  
FECHA: 26 de Marzo de 2012

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	45.94	11.50	CL	suelo cohesivo 2 (arcilla color café)

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
DE INGENIERIA

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA GENERAL DE LA SECCION

*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



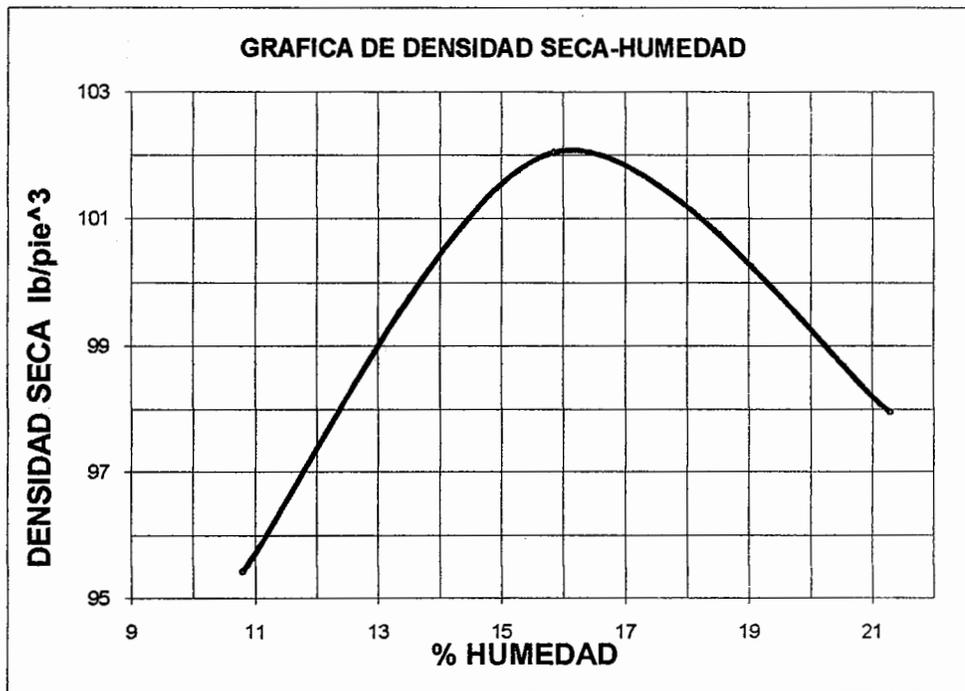
INFORME No. 0066 S.S:                      O.T.: 29,678

Interesado:    Denis Robin Ruano López  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar:    ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto:                      Tesis " Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Ubicación:    Municipio de Palencia departamento de Guatemala  
Fecha:                      26 de Marzo de 2012



Descripción del suelo:                      10% de arena azul, con 90% de suelo cohesivo 1 y 10% de ese volumen de cal viva  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ :                      1636 Kg/m<sup>3</sup>                      102.1 lb/ft<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.:                      16.4 %  
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.:



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

*Omar Enrique Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0068 S.S.

O.T. No. 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

Proyecto: Tesis " Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

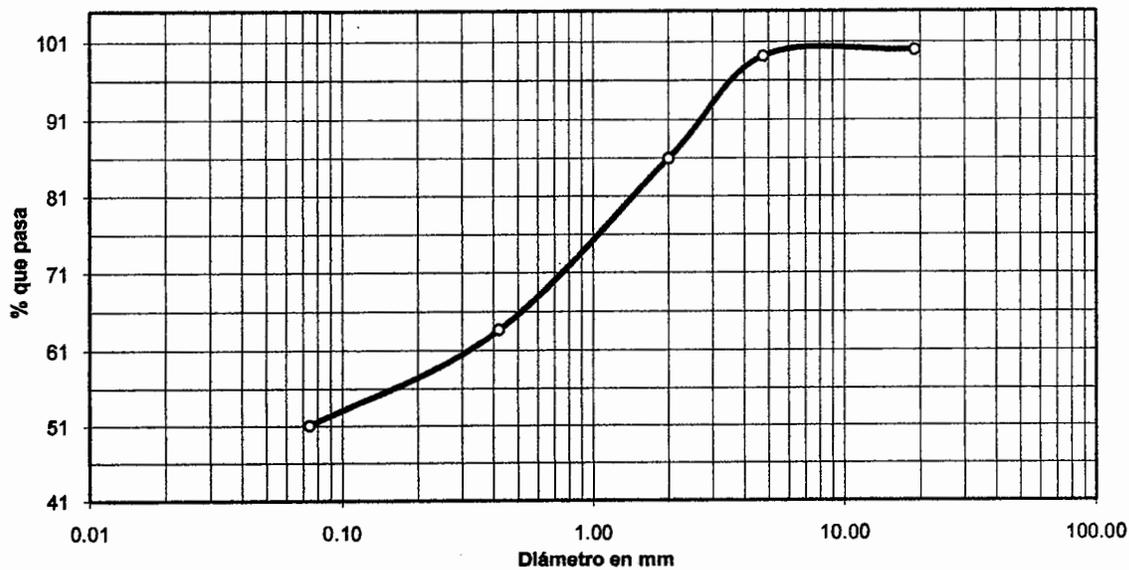
Mezcla : 10% de arena azul, con 90% de suelo cohesivo 1 y 10% de ese volumen de cal viva

Procedencia: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	99.18
10	2.00	85.98
40	0.42	63.67
200	0.074	51.10

% de Grava: 0.82  
% de Arena: 48.09  
% de Finos: 51.10



Descripción del suelo: mezcla de suelo de arcilla, arena azul y cal viva

Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-5

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Mora  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0069 S.S

O.T.: 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

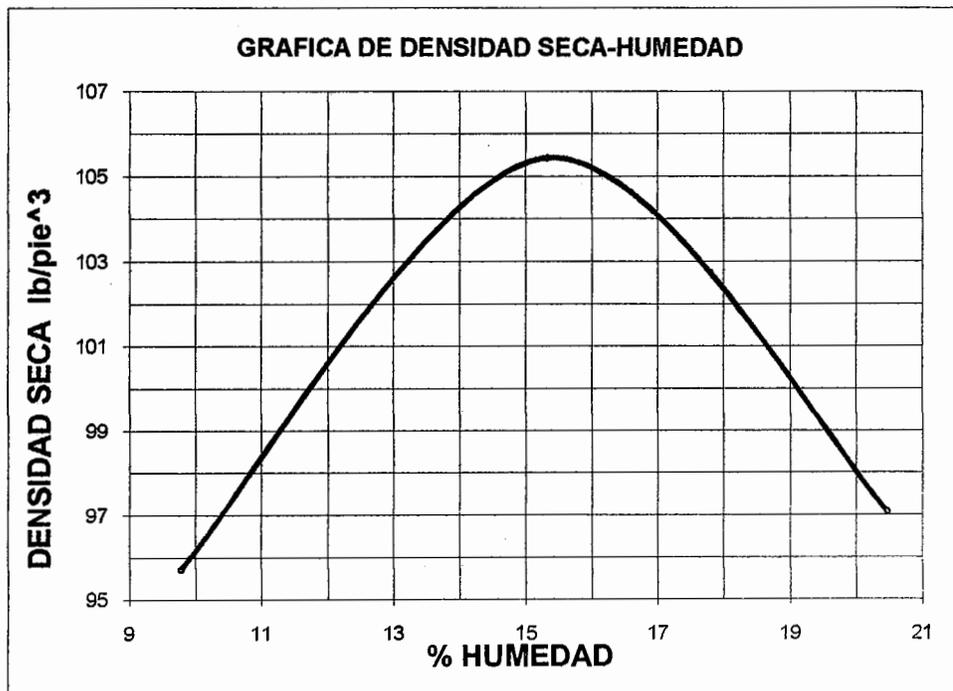
Proctor Estándar: ( ) Norma:

Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Tesis " Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Ubicación: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012



Descripción del suelo: 10% de arena sílice con 90% de suelo cohesivo 1 y 10% de ese volumen de cal viva

Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1594 Kg/m<sup>3</sup> 99.5 lb/ft<sup>3</sup>

Humedad óptima Hop.: 15.5 %

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.:



*Omar Enrique Mediano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Mediano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0071 S.S.

O.T. No. 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva"

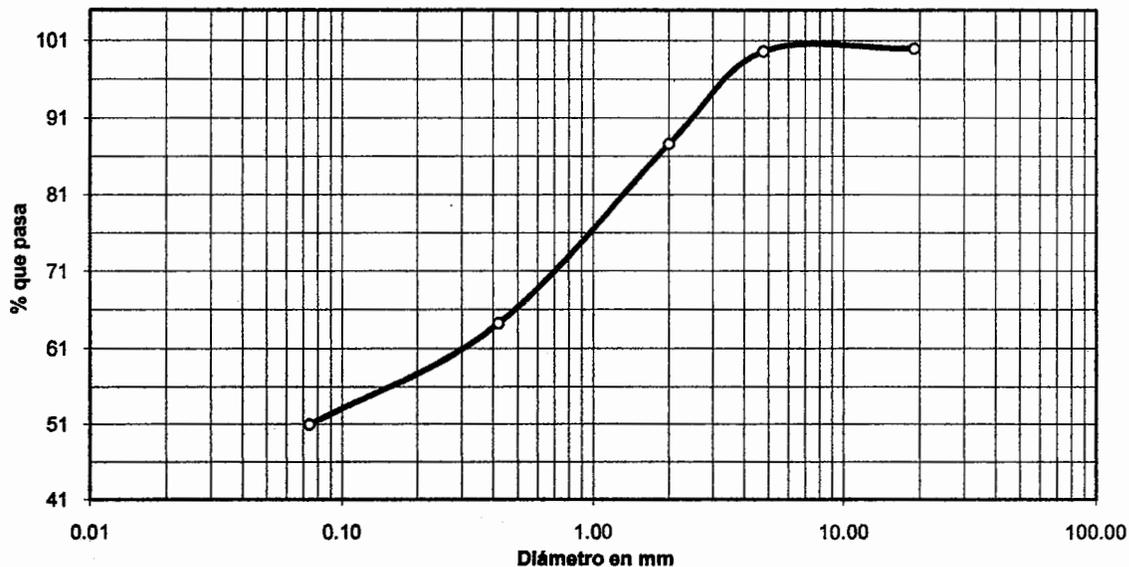
Mezcla: 10% de arena silice, con 90% de suelo cohesivo 1 y 10% de ese volumen de cal viva

Procedencia: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	99.62
10	2.00	87.62
40	0.42	64.25
200	0.074	50.97

% de Grava: 0.38  
% de Arena: 48.65  
% de Finos: 50.97



Descripción del suelo: mezcla de suelo cohesivo, arena silice y cal viva  
Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-5  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Mora  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



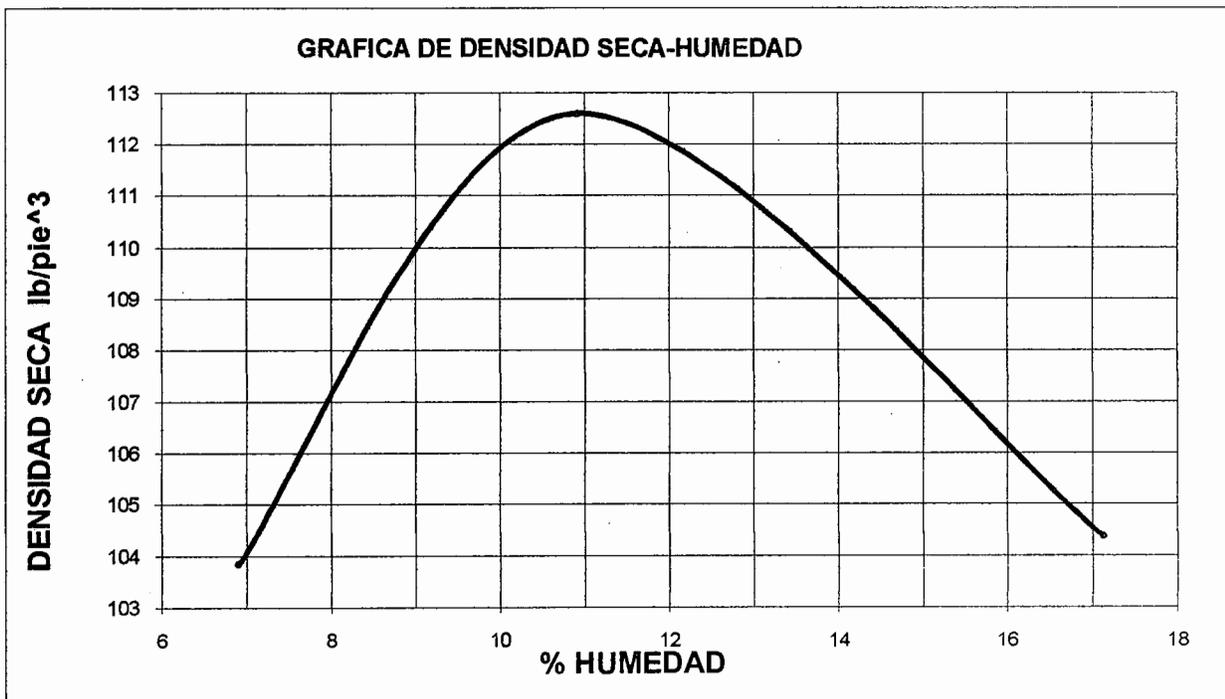
INFORME No. 0072 S:S                      O.T.: 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Tesis " Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

Ubicación: Municipio de Palencia departamento de Guatemala  
Fecha: 26 de Marzo de 2012



Descripción del suelo: 50% de arena azul, con 50% de suelo cohesivo 1 y 10% de ese volumen de cal viva  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1802 Kg/m<sup>3</sup>                      112.5 lb/ft<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 11.0 %  
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.:

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0074 S.S.

O.T. No. 29,678

Interesado: Denis Robin Ruano López

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

Proyecto: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva "

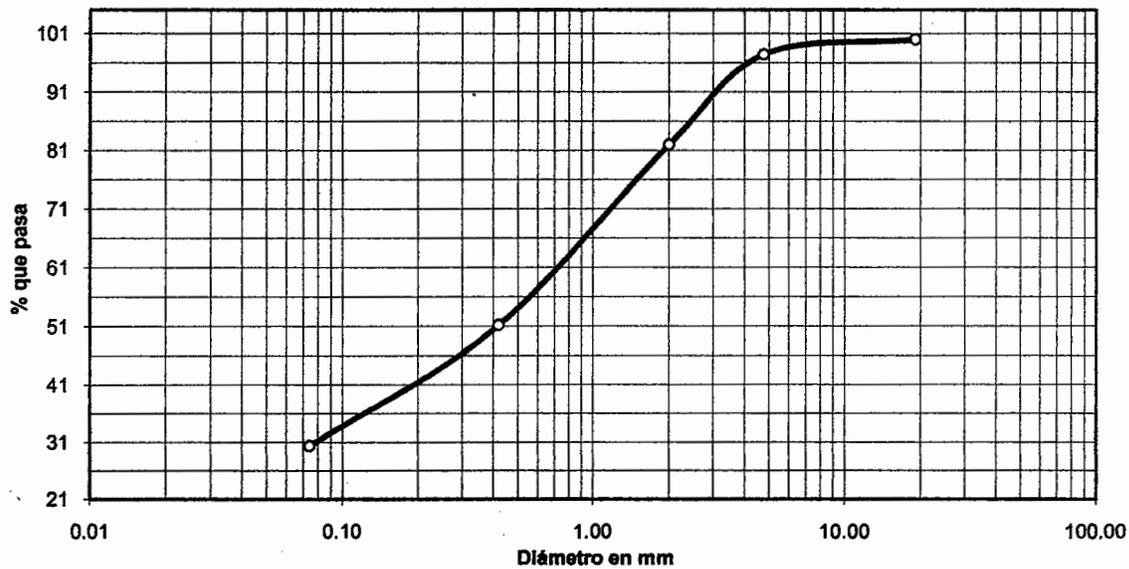
Mezcla : 50% de arena azul, con 50% de suelo cohesivo 1 y 10% de ese volumen de cal viva

Procedencia: Municipio de Palencia departamento de Guatemala

Fecha: 26 de Marzo de 2012

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	97.44
10	2.00	82.05
40	0.42	51.24
200	0.074	30.39

% de Grava: 2.57  
% de Arena: 67.05  
% de Finos: 30.39



Descripción del suelo: mezcla de suelo cohesivo, arena azul y cal viva  
Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-2-7  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

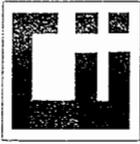
Inga. Telma Maricela Cano Morales

DIRECTORA CII/USAC SECCION



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 0075 S.S

O.T.: 29,678

INTERESADO: Denis Robin Ruano López

PROYECTO: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva"

ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Norma: AASHTO T-100

UBICACIÓN: Mina de arena sílice, km. 22 carretera a San José del Golfo, Guatemala

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena color blanco amarillento

FECHA: 26 de Marzo de 2012

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

G.E.	MUESTRA	
2.05	Arena Sílice	ARENA LIMOSA COLOR BLANCO AMARILLENTO

OBSERVACIONES: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



*Omar E. Medrano Mendez*  
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

*Telma Maricela Cano Morales*  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No.: 0076 S.S

O.T.: 29,678

INTERESADO: Denis Robin Ruano López

PROYECTO: Tesis "Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva"

ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Norma: AASHTO T-100

UBICACIÓN: Mina de arena azul, km. 22 carretera a San José del Golfo, Guatemala

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena bien graduada color azul grisáceo

FECHA: 26 de Marzo de 2012

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

<b>G.E.</b>	<b>MUESTRA</b>	ARENA LIMOSA COLOR AZUL GRISACEO
2.20	Arena Azul	

OBSERVACIONES: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Carrero Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos