



**UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCION  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION Y ESTRUCTURAS**

**TESIS**

**“MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DE TERRENOS AL INCORPORAR  
SUELOS CEMENTADOS”**

**PRESENTA:**

**Ing. Adrián Dávila Dueñas**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL CON  
ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCION**

**COMITÉ TUTORIAL:**

**TUTOR**

**Dr. Martín Hernández Marín**

**COTUTOR**

**M. en I. Miguel Ángel Romero Navarro**

**ASESOR**

**Dr. Miguel Ángel Soto Zamora**

**Aguascalientes, Ags. Junio de 2021.**

## AUTORIZACIONES

CARTA DE VOTO APROBATORIO  
COMITÉ TUTORAL

DR. EN C. T. C. HÉCTOR ROMERO POSADA ÁVILA  
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
P R E S E N T E

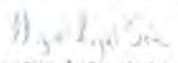
Por medio del presente como Miembros del Comité Tutorial designado del estudiante **ADRIÁN DÁVILA DUEÑAS** con ID 139312 quien realizó la tesis titulada: **MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DE TERRENOS AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que el pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 11 de junio de 2021.

  
DR. MARTÍN HERNÁNDEZ MARÍN  
Tutor de tesis

  
M. EN I. MIGUEL ÁNGEL ROMERO NAVARRO  
Co-Tutor de tesis

  
DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA  
Asesor de tesis

c.c.p. - Interesado  
c.c.p. - Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborada por: Depto. Apoyo al Posgrado.  
Revisada por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.  
Aprobada por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado

Código: DD-ME-PC-11  
Actualización: 00  
Emisor: D/ES/20



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación del dictamen: 09/06/2021

NOMBRE: ADRIÁN DÍAZ DURÁN ID: 10811

PROGRAMA: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL LGAC (en progreso): ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIÓN

TIPO DE TRABAJO:  Tesis  Trabajo Práctico

TÍTULO: MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE FERRETES AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS

IMPACTO SOCIAL (valorar el impacto logrado): EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PROPONE UNA ALTERNATIVA CONSTRUCTIVA PARA LAS VIVIENDAS TERRESTRES EN ZONAS SUELOS NATURALMENTE CEMENTADOS QUE CONTRIBUYA A LA REDUCCIÓN DE LOS COSTOS COMO ASÍ MISMO A LA REDUCCIÓN DE SUELOS CON DEFICIENTE COMPORTAMIENTO MECÁNICO

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<b>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</b>				
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El trabajo concuerda con el LGAC del programa de grado
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Existe coherencia, cohesión y orden lógico del tema central con cada apartado
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Los objetivos del trabajo son relevantes a la pregunta de investigación o la problemática que aborda
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Los métodos presentados, en el trabajo, son los que mejor responden a la pregunta de investigación o problemática que se aborda
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El trabajo demuestra habilidades para el análisis y el establecimiento de hipótesis
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Las conclusiones responden a los problemas planteados en el texto
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Reservó la confidencialidad de los datos de investigación
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cumplió con la ética para la investigación (uso de la herramienta antiplagio)
<b>El egresado cumple con lo siguiente:</b>				
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cumple con la totalidad del Reglamento General de Estudios
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cumple con los requisitos establecidos en el plan de estudios (créditos o créditos, créditos, actividades complementarias, etc.)
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cumple con los requisitos establecidos en el plan de estudios, en caso de los egresados que no cumplieron con el tiempo que se estipuló para el trabajo
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cuenta con la carta de autorización del Usuario
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fueron con el título y número registrado
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiene congruencia con el campo académico
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiene el CVU del Consejo Académico
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que aplique)
<b>EN CASO DE TESIS POR ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS:</b>				
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reservó la confidencialidad de los artículos según el plan de estudios
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	En artículos en el plan de estudios
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El autor de correspondencia es el titular del título Académico del CVU
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	En los artículos se ven reflejadas las abreviaturas de la tesis, no que son producto de este trabajo de tesis
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Los artículos integran los capítulos de la tesis y se publican en el idioma en que fueron publicados
N.A.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	El artículo o artículos de los artículos, se encuentran publicados en revistas

Con base a estos criterios, se autoriza a continuar con los trámites de liberación y programación del examen de grado:  SI  NO

FIRMAS

Nombre: DR. MIGUEL ANGELO GÓMEZ LAMORE

NOMBRE Y FIRMA DEL CONSERVADOR GENERAL DE ASESORIA: DR. ALFONSO GARCÍA GONZÁLEZ

Nombre: DR. ALFONSO GARCÍA GONZÁLEZ

Nombre y firma del secretario de investigación y posgrado: DR. ENRIQUE HERNÁNDEZ GARCÍA

Nombre: DR. ENRIQUE HERNÁNDEZ GARCÍA

Nota: procede el informe para el Depto. de Asesoría al Egresado

Coordinador: L. Agustín Pérez | Responsable de: El Conservador General de Asesoría | Director de: El Departamento de Investigación y Posgrado

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado, sin el cual no habría sido posible llevar a buen término el desarrollo de la presente investigación y culminar de manera satisfactoria la preparación académica que me permite conseguir esta meta en mi vida profesional.

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por brindarme la oportunidad de cursar un posgrado de calidad.

Mi infinito agradecimiento al Dr. Martín Hernández Marín por su incansable labor como tutor.

Del mismo modo, agradezco el tiempo, conocimiento y enseñanza compartidos al M. I. Miguel Ángel Romero Navarro y al Dr. Miguel Ángel Soto Zamora.

Agradezco a mi familia, por ser el aliento para seguir adelante, sin su apoyo esto no sería posible.

Agradezco a mis hijas y esposa, por ser pacientes y aceptar compartir su tiempo con esta meta en mi vida.

Agradezco también a mis hermanos y amigos por su apoyo incondicional.

## **DEDICATORIAS**

A mi Padre, que con su guía, enseñanza y modelo forjó mi carácter personal y profesional.

A mi Madre, por brindarme en su amor incondicional las fuerzas para concluir esta meta en mi vida profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
ACRÓNIMOS.....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
1.INTRODUCCIÓN .....	11
1.1 Prólogo .....	12
1.2 Objetivo General .....	14
1.3 Objetivos Particulares .....	14
1.4 Alcance de la investigación.....	14
1.5 Justificación .....	15
1.6 Hipótesis.....	17
2.ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	19
2.1 Mejoramiento de suelos .....	19
2.1.1 Mejoramiento de suelos con cal, ceniza volante y puzolanas. ....	19
2.1.2 Mejoramiento de suelos utilizando cascara de arroz y residuos de carburo de calcio. ....	21
2.1.3 Mejoramiento de suelos utilizando geotextiles.....	22
2.2 Distribución de los esfuerzos en los suelos.....	22
2.2.1 Esfuerzos de tensión en los suelos .....	23

2.3 Determinación de la cantidad de cementante en un suelo. .... 25

3. MARCO TEÓRICO ..... 28

3.1. Suelos..... 28

3.2. Tipos de suelos ..... 29

3.3. Propiedades índices de los suelos ..... 30

3.3.1. Granulometría ..... 31

3.3.2. Relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos ..... 31

3.3.3. Plasticidad ..... 33

3.4. Mejoramiento químico de los suelos..... 33

3.4.1. Mejoramiento del suelo con cal..... 34

3.4.2. Mejoramiento del suelo con cemento ..... 34

3.4.3. Mejoramiento del suelo con cenizas volantes ..... 35

3.5. Resistencia al esfuerzo cortante en los suelos..... 35

3.6. Prueba del valor relativo de soporte (VRS) ..... 36

3.7. Suelos carbonatados y su química ..... 37

3.7.1. Reacción química de suelos carbonatados ..... 37

4. MARCO METODOLÓGICO ..... 39

4.1 Metodología ..... 39

4.2. Objetivos de la experimentación..... 40

4.3. Muestras de suelo con carbonato de calcio ..... 41

4.4. Contenido de humedad del suelo ..... 42

4.5. Identificación de suelos carbonatados..... 44

4.6. Determinación del contenido de carbonatos en un suelo..... 45

4.7. Muestra de material base ..... 49

4.8. Preparación de las muestras de suelo base con cal, cemento y suelos carbonatados. .... 50

4.9. Clasificación granulométrica. .... 51

4.10. Ensayo valor relativo de soporte ..... 53

5.RESULTADOS ..... 56

5.1 Determinación del contenido de carbonatos en un suelo..... 57

5.2 Valor relativo de soporte del material base LU-01-U..... 58

5.3 Valor relativo de soporte material con carbonatos AG-02-U ..... 60

5.4 Valor relativo de soporte material con carbonatos BC-01-U ..... 62

5.5 Valor relativo de soporte material base combinado con cal ..... 64

5.6 Valor relativo de soporte material base combinado con cemento... 66

5.7 Valor relativo de soporte material base combinado con el suelo carbonatado AG-02-U ..... 69

5.8 Valor relativo de soporte material base combinado con el suelo carbonatado BC-01-U ..... 71

6.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... 74

6.1 Comparación VRS suelo base y suelos carbonatados..... 74

6.2 Comparación VRS ..... 76

6.3 Expansión ..... 78

6.4 Análisis Económico..... 79

..... 85

7. CONCLUSIONES ..... 85

7.1 Conclusión General ..... 86

7.2 Conclusiones Particulares..... 87

7.3 Nichos de investigación..... 87

FUENTES DE CONSULTA ..... 88

ANEXOS..... 91



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de los componentes del suelo (ASTM D422-63, 2007).....	29
. Tabla 2. Localización de puntos de muestreo. ....	42
Tabla 3.Contenido de humedad de las muestras. ....	43
Tabla 4.Presencia de carbonatos en las muestras. ....	45
Tabla 5. Dosificación de las muestras.....	51
Tabla 6. % CaCO3 equivalente de la muestra AG-02-U. ....	57
Tabla 7. % CaCO3 equivalente de la muestra BC-01-U. ....	58
Tabla 8.VRS y Expansión del suelo LU-01-U.....	59
Tabla 9.Requisitos de calidad de materiales, tomado de N-CMT-1-01/16, N-CMT-1-01/02, N-CMT-1-03/02, N-CMT-4-02-001/16, N-CMT-4-02-002/16. ....	59
Tabla 10. VRS y Expansión del suelo AG-02-U. ....	62
Tabla 11. VRS y expansión del Suelo BC-01-U. ....	64
Tabla 12. VRS y Expansión del suelo base con 1% de cal. ....	66
Tabla 13. VRS y Expansión del suelo base con cemento. ....	68
Tabla 14. VRS y Expansión del suelo base con 10% de AG-02-U. ....	69
Tabla 15. VRS y Expansión del suelo base con BC-01-U. ....	71
Tabla 16. Resultados VRS de los suelos. ....	75
Tabla 17. Costo de las mezclas, precios promedio para el mes de mayo 2021. ....	84

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Diagrama de una muestra de suelo. Tomado de Peck et al. ,(2004).  
 ..... 32

Figura 2. Puntos de estudio y de extracción de muestras de suelo.  
 Elaboración propia..... 41

Figura 3.Efervescencia de un suelo carbonatado. Elaboración propia. .... 44

Figura 4. Pesado de muestras. Elaboración propia. .... 47

Figura 5. Blancos y control. Elaboración propia..... 47

Figura 6. Agregado de solución HCl 1 N a la muestra. Elaboración propia. 48

Figura 7. Titulación de las muestras. Elaboración propia. .... 48

Figura 8. Localización Banco Material Base. Localizado al sur-este de la  
 ciudad de Aguascalientes. Elaboración propia..... 50

Figura 9. Cribado del material por las mallas. Elaboración propia..... 53

Figura 10. Colocación de placas de sobre carga en el espécimen.  
 Elaboración propia..... 54

Figura 11. Medición de la penetración. Elaboración propia..... 55

Figura 12. Curva carga-deformación del material LU-01-U. Elaboración  
 propia..... 60

Figura 13.Curva carga-deformación del material AG-02-U. Elaboración  
 propia..... 61

Figura 14. Curva carga-deformación del material BC-01-U. Elaboración  
 propia..... 63

Figura 15.Curva carga-deformación del material base con cal. Elaboración  
 propia..... 65

Figura 16. Curva carga-deformación del material base con cemento.  
 Elaboración propia..... 67

Figura 17. Curva carga-deformación del material base con AG-02-U.  
 Elaboración propia..... 70

Figura 18. Curva carga-deformación del material base con BC-01-U. Elaboración propia..... 72

Figura 19. Curva carga-deformación comparación VRS suelos. Elaboración propia..... 74

Figura 20. Comparación VRS suelos. .... 76

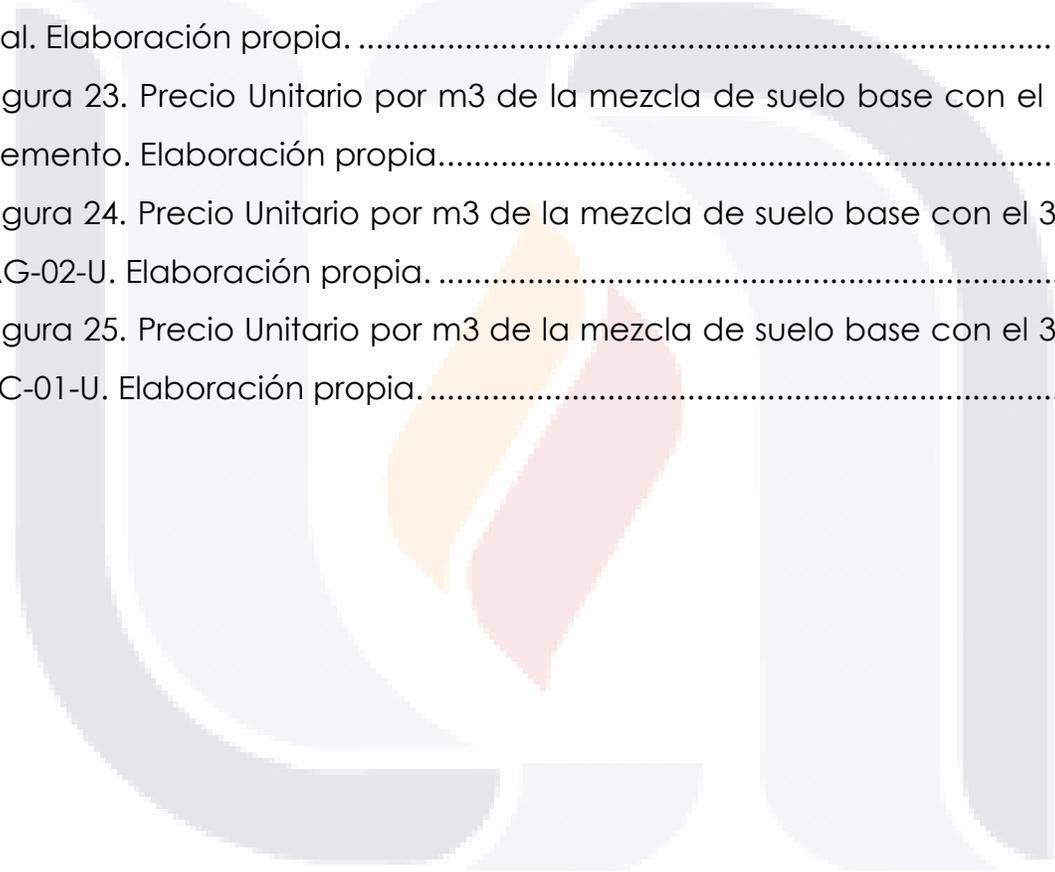
Figura 21. Porcentaje de expansión. Elaboración propia..... 78

Figura 22. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 3% de cal. Elaboración propia. .... 80

Figura 23. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 3% de cemento. Elaboración propia..... 81

Figura 24. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 30% de AG-02-U. Elaboración propia. .... 82

Figura 25. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 30% de BC-01-U. Elaboración propia. .... 83



## ACRÓNIMOS

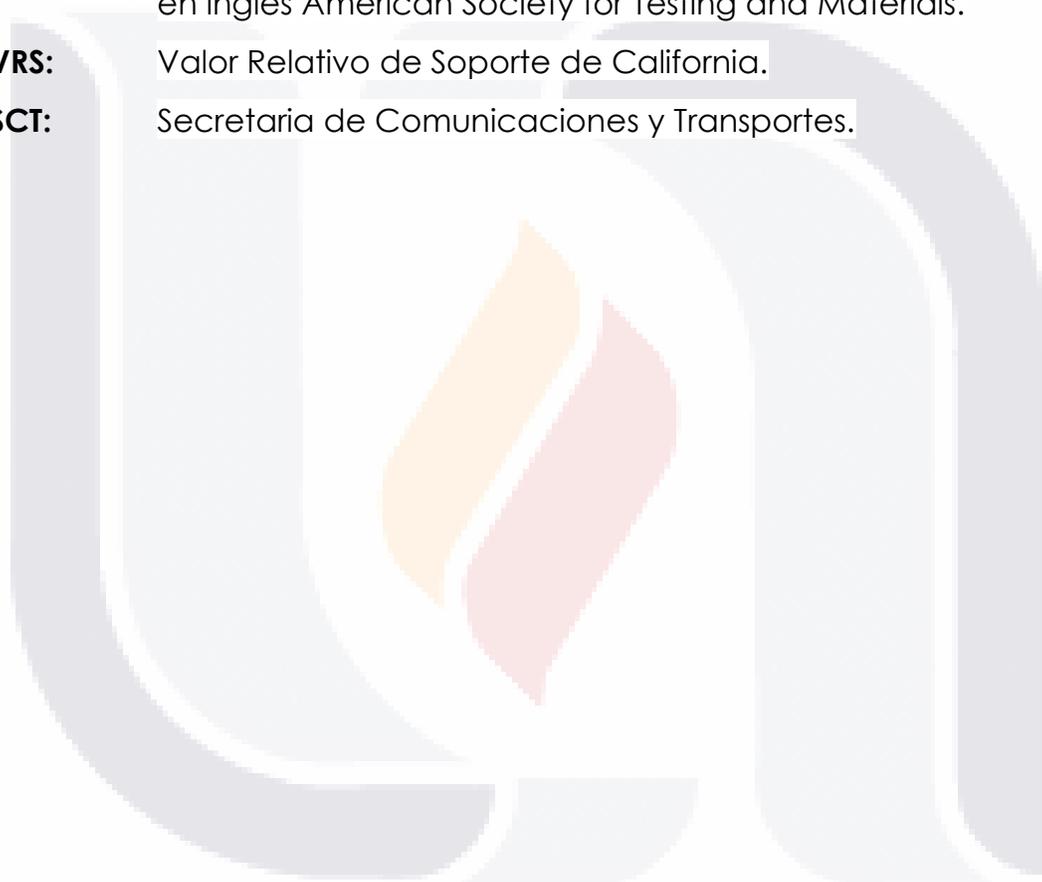
**AASHTO:** Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, por sus siglas en ingles American Association of State Highway and Transportation Officials.

**SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**ASTM:** Sociedad Americana para Prueba y Materiales, por sus siglas en ingles American Society for Testing and Materials.

**VRS:** Valor Relativo de Soporte de California.

**SCT:** Secretaria de Comunicaciones y Transportes.



## RESUMEN

Con la finalidad de presentar una alternativa constructiva para el mejoramiento mecánico de suelos en terracerías, en este trabajo se estableció una metodología en la cual se utilizaron especímenes de suelo arenoso mezclado con porciones de tres materiales diferentes: cemento, cal y suelo naturalmente cementado con carbonato de calcio. Las mezclas fueron sometidas a la prueba del Valor Relativo de Soporte para evaluar si existe aumento en la capacidad de carga y si el suelo cumple con la normativa requerida por la secretaria de Comunicaciones y Transportes para la calidad de materiales. Esto permite evaluar si el suelo cementado naturalmente puede adoptarse como una opción para la mejora de suelos desde el punto de vista técnico y económico.

Como resultado de esta investigación, se obtuvo que la capacidad de carga del suelo aumentó considerablemente al mezclarse con el suelo naturalmente cementado al pasar del 5.37% al 101.47%, mientras que ese parámetro se obtuvo de 50.80% para las mezclas de suelo con cemento y de 32.72% con cal. Los resultados de las mezclas que contienen suelo naturalmente cementado indicaron que los especímenes pasaron de ser un material pétreo de mala calidad a uno de muy buena calidad de acuerdo con los parámetros normativos, por lo que se comprobó que esta mezcla es viable técnicamente, y podría serlo económicamente si en el lugar de la obra encontráramos material que contenga carbonato de calcio en su estructura ya que de lo contrario el gasto en acarreo del material lo haría incosteable.

**Palabras clave:** suelo, estabilización, mejoramiento, calcio, carbonato.

## **ABSTRACT**

With the aim of present a constructive alternative to mechanical improving of ground roads, it's stablished in this work a methodology in wich ground specimens where mixed with lime, cement and carbonated soil. This mixures were tested under suporting relative values to check if the loading capacity increased and if the floor has the normative requirements demanded by Secretaria de Comunicaciones y Transportes and verify materials quality. This may allow to measure if the carbonated ground can adapt as an option to improve as seen technically and economically.

As a result from this investigation we conclude that the loading capacity of grounds considerantly increased when mixed with Carbonate soil from 5.37% to 101.47% while this parameter got 50.80% for cement ground mixures and 32.72% with soil and lime, results indicate that the floor naturally contains calcium carbonate and rock sediments going from being low to good quality acording to regular and normative parameters, this concludes that this mixture is technically reliable and economically affordable if we can find in the construction site carbonated soil on its structure, on the other hand this might not be affordable.

**Key words:** soil, stabilized, improvement, calcium, carbonate.

# CAPÍTULO

1

## **INTRODUCCIÓN**

# TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

## 1.INTRODUCCIÓN

### 1.1 Prólogo

El material de construcción que se encuentra en mayor cantidad en la naturaleza son los suelos, ya que estos constituyen el soporte de las estructuras creadas por el hombre, como son los puentes, caminos, edificios, presas, aeropuertos, etc. Debido a esa versatilidad de construcciones que se erigirán sobre la masa de suelo resulta imprescindible un óptimo desempeño de la superficie de desplante.

El suelo, al ser un material que se concibe de la degradación de otras rocas por medio de fenómenos físicos y químicos, su composición no es homogénea ya que influyen otros factores, tales como el ambiente de depósito, el transporte, la presencia de agentes cementantes, el estado de precipitación en la formación de nuevas rocas, el tamaño de sus partículas y su empaquetamiento, por lo que sus propiedades mecánicas serán siempre diferentes para cada caso de estudio.

Al ser materiales depositados de manera natural, la graduación o acomodo estructural de ellos no siempre es la mejor para efectos de su resistencia mecánica, ya que este proceso de las partículas se realiza conforme a sus pesos y densidades, por lo que podemos encontrar depósitos de suelos puramente granulares, suelos extremadamente finos o una mezcla de ambos, que podrían ser un problema en la construcción de una obra de infraestructura.

En el quehacer cotidiano de la construcción es necesario establecer o predecir el comportamiento que presentarán las estructuras construidas

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

sobre el suelo, o bien como material de construcción en forma de bloques o elementos estructurales.

Cuando el comportamiento geotécnico de una masa de suelo no es el adecuado o esperado desde el punto de vista ingenieril, se opta por su mejoramiento, esto se logra al adicionar agentes que modifiquen las características del suelo para que pueda ser aceptable de acuerdo con las necesidades geotécnicas y de diseño del proyecto.

Actualmente, el uso de agentes estabilizadores como la cal y el cemento, han tenido gran aceptación en la industria de la construcción y han sido utilizados en el mejoramiento de suelos granulares y no granulares que presentan deficiencias en su calidad para ser considerados como un material de optimas características geotécnicas. Sin embargo, existen suelos que poseen alto contenido de algún cementante que fue adquirido de manera natural, como el carbonato de calcio o sílice, por mencionar algunos, y que podrían ser utilizados como un agente estabilizador. La presencia de una cantidad considerable de materia cementante en la masa de suelo, podría ser benéfico al mezclarse con un suelo que necesite ser estabilizado o mejorado geotécnicamente.

Por lo anterior, resulta evidente que el mejoramiento potencial del terreno utilizando suelos cementados puede ser una alternativa que contribuya a mejorar el desempeño geotécnico de un suelo que presente deficiencias en algún aspecto de su resistencia mecánica y que desde el punto de vista económico pudiera ser utilizado como un procedimiento para la estabilización suelos.

Es por ello, que este trabajo de investigación busca realizar un estudio del comportamiento mecánico del terreno mejorado con una porción de suelo rico en carbonato de calcio para así evaluar si se produjo una mejora geotécnica en su estructura y resulta viable su utilización como un material en la construcción de terracerías.

## 1.2 Objetivo General

Evaluar el mejoramiento mecánico de un terreno al agregársele suelo con alto contenido de carbonato de calcio como cementante natural.

## 1.3 Objetivos Particulares

1. Determinar el contenido de carbonato de calcio que está presente en una muestra determinada de suelo.
2. Evaluar el valor relativo de soporte y la expansión de una muestra de suelo combinado con cal, cemento, y suelos con carbonato de calcio.
3. Establecer una dosificación óptima para elaborar una mezcla del terreno con un suelo que contenga carbonato de calcio.
4. Realizar un análisis costo beneficio del uso de la mezcla con carbonato de calcio como material de construcción en una terracería.

## 1.4 Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación será de carácter descriptivo, destinado a evaluar el comportamiento de un suelo con la mezcla de diferentes agentes estabilizadores y compararlo con los resultados obtenidos de la mezcla con

un suelo con alto contenido en carbonato de calcio, el cual se encuentra de manera natural en ciertos suelos.

Este trabajo estuvo limitado por la normativa aplicable a materiales para terracerías y pruebas de laboratorio. Adicionalmente, la investigación se rigió bajo el cronograma planteado para el desarrollo de la presente tesis. Estuvo acotada a los aspectos que a continuación se mencionan:

- A. Se utilizaron suelos distribuidos a lo largo y ancho del Valle de Aguascalientes, así como algunos que no pertenecieron al mismo, pero se encuentren de manera cercana a la región de estudio.
- B. Los suelos que se utilizaron debieron estar dispuestos de manera tal, que su extracción no representó un problema ambiental y que sean proporcionados por los propietarios de los bancos de material.
- C. Se utilizó el equipo proporcionado por la universidad Autónoma de Aguascalientes para la realización de las pruebas de laboratorio.
- D. Se despreció la influencia de otros factores geotécnicos del suelo con cementantes, y solo se dio relevancia al contenido de carbonato de calcio.

### 1.5 Justificación

En la actualidad, la cal y el cemento son los principales agentes empleados en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, ya que aportan al suelo deficiente un mejor desempeño en cuanto a la capacidad de carga y su resistencia al esfuerzo de corte.

En la práctica ingenieril, es muy común formar terraplenes con materiales de un banco cercano al lugar de la obra, desafortunadamente los materiales extraídos no siempre cumplen con las características geotécnicas exigidas, por lo que una buena opción es agregar un agente que le brinde esas cualidades y poder conformar un soporte donde la estructura será erigida.

Tal como lo describe el Atlas Estatal de Riesgos (1994), la geología del Valle de Aguascalientes está compuesta por aluviones depositados sobre tobas, conglomerados pocos cementados y rocas ígneas.

De esta manera, es muy probable encontrar en la región suelos que posean una baja cohesión entre sus partículas, generalmente suelos granulares, lo que hace necesario el añadir un agente mejorante o estabilizante de las propiedades mecánicas, el cual ayudaría a generar un conglomerante y favorecería la unión entre partículas que la masa de suelo requiere para soportar los esfuerzos a los que será sometido cuando reciba la carga transmitida por la superestructura.

En terracerías, el mejoramiento mecánico de los suelos es una práctica muy común, debido a que el diseño de pavimentos exige que su estructura cumpla con parámetros y normas para garantizar un adecuado desempeño ante las cargas del tránsito.

Este estudio representa una alternativa que busca reducir los costos y los tiempos de ejecución, al mejorar el material de mala calidad extraído de un banco o depositado en el lugar de la obra, al adicionarse una porción de suelo rico en carbonato de calcio.

### 1.6 Hipótesis

“El agregar suelo naturalmente cementado a un terreno mejorará sus características geotécnicas y aumentará la resistencia a el esfuerzo cortante”.



# CAPÍTULO

2

## **ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO**

## 2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

### 2.1 Mejoramiento de suelos

El mejoramiento de suelos consiste en alterar las propiedades mecánicas que posee el terreno para que este cumpla con los requisitos que el proyecto le solicita, aumentando la capacidad de carga, controlando el cambio volumétrico y modificando su consistencia principalmente.

En la actualidad, se realizan investigaciones para introducir nuevos agentes mejoradores de las propiedades de los suelos en la industria de la construcción buscando la reducción de los tiempos, costos y la huella ambiental. A continuación, se discuten las prácticas de mejoramiento más importante.

#### 2.1.1 Mejoramiento de suelos con cal, ceniza volante y puzolanas.

Armendáriz-Márquez (2012), estudió un tipo de suelo característico de la Ciudad de Querétaro, conocido como tepetate, al cual lo sometió a una mezcla con cal, ceniza volante y puzolana con la finalidad de realizar una mejora mecánica en el suelo.

Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron comparados con algunos indicadores característicos de una roca ígnea extrusiva llamada sillar, que también se encuentra de manera predominante en el suelo de aquella región. Se encontró que, al adicionar a la muestra de tepetate, cal en una proporción del 10% del volumen y ceniza volante al 8%, se modificó

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

significativamente la resistencia a la compresión simple obteniendo su valor en  $31.6 \text{ kg/cm}^2$  y este a su vez fue comparado con el mejor esfuerzo admisible de los sillares estudiados que oscila en  $12 \text{ Kg/cm}^2$ .

Así mismo, esta mezcla de suelo (tepetate, cal y ceniza) redujo la permeabilidad del tepetate en condiciones normales. Por lo que este estudio muestra las variaciones de la resistencia a la compresión y su conductividad hidráulica de un suelo en condiciones secas y saturadas al adicionar diferentes sustancias, lo que brinda buenos datos en la mejora mecánica del suelo.

En ese mismo sentido, Amaya-Navarrete (2017), realizó estudios sobre el mejoramiento de los suelos del nuevo aeropuerto de la ciudad de México con óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), donde se obtuvo que al variar del 5% al 15% el contenido de  $\text{CaO}$ , la resistencia al cortante de los suelos lacustres aumentó del 2.8% al 15.7% del valor relativo de soporte.

Además, los suelos mostraron baja expansión al entrar al contacto con el agua, se obtuvieron valores muy por debajo de los máximos establecidos por la normatividad de la SCT. En ninguno de los casos, este valor excedió el 0.5%.

Este autor, menciona que el estabilizar suelos arcillosos con óxido de calcio genera una modificación permanente en el comportamiento mecánico aumentando su resistencia y disminuyendo la variación volumétrica en condiciones de sumersión.

### 2.1.2 Mejoramiento de suelos utilizando cascara de arroz y residuos de carburo de calcio.

Liu *et al.* (2019), usó un material de cementación combinado con cenizas de cáscara de arroz de plantas de energía y residuos de carburo de calcio obtenidos de plantas de acetileno. El propósito de este estudio fue estabilizar los suelos expansivos de una construcción en Jiangxi, China.

Estos autores tomaron en cuenta la resistencia a la compresión y flexión de los morteros de ceniza de arroz y residuos de carburo de calcio, por lo que se optó por una relación 65:35 en peso para la estabilización del suelo.

Mediante una serie de pruebas, se investigó el hinchamiento, contracción y resistencia del suelo expansivo estabilizado.

Se tuvo como variables la cantidad de humedad y el tiempo de curado para cada uno de los especímenes estudiados, observando que la expansión, la presión de hinchamiento, la cantidad de grietas y la finura (proporción fina del suelo) del suelo expansivo disminuyeron notablemente. Mientras tanto, la resistencia a la compresión, la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo natural, mejoraron aumentando significativamente su valor, después de agregar la mezcla de la ceniza de arroz y el residuo de carburo de calcio.

Se concluyó que, para la mejora de la resistencia a la compresión, se recomendó un contenido de mezcla del 15% y un contenido de agua inicial de 1.2 veces el contenido óptimo de humedad para estabilizar el suelo expansivo.

### 2.1.3 Mejoramiento de suelos utilizando geotextiles.

Ogundare, *et al.*, (2018), publicaron un trabajo en el que evaluaron el comportamiento mecánico de dos muestras de suelo al agregar una membrana de geotextil no tejido en las capas de un camino, utilizando como parámetros de su investigación las dimensiones de las partículas del suelo, el límite plástico de Atterberg, contenido de humedad, gravedad específica, ensayo de compactación y la prueba del valor relativo de soporte de California. Ambas muestras de suelo fueron inicialmente consideradas como materiales subrasantes “pobres”, de acuerdo con la AASHTO, al clasificarlos como suelos A-7-6 y A-7-5.

Los resultados experimentales de esta mejora realizada al suelo arrojaron que el valor relativo de soporte aumentó considerablemente entre 14.1 % y 18.2% al colocar el geotextil no tejido en el primer cuarto de la altura de la capa medida desde la base.

### 2.2 Distribución de los esfuerzos en los suelos

La determinación de la resistencia a los esfuerzos que actúan sobre una masa de suelo siempre ha sido un punto fundamental en la mecánica de suelos. Un cálculo con grandes esperanzas de éxito es un punto importante en aspectos como la determinación de la estabilidad de una obra civil; por ello, es importante visualizar el comportamiento de los suelos ante la aplicación de cargas.

### 2.2.1 Esfuerzos de tensión en los suelos

Gárnica *et al.*, (2003), realizaron un estudio experimental sobre el comportamiento a tensión de los suelos cohesivos compactados y estabilizados con cal. Del mismo, resaltaron la importancia de someter a los suelos a ciclos de carga y descarga para simular los problemas transmitidos a las estructuras.

El material que se utilizó en la elaboración de las probetas de la experimentación fue un limo de alta compresibilidad. Este suelo se caracterizó por presentar variaciones en el volumen al entrar en contacto con el agua.

Al realizar la prueba Proctor estándar a las muestras de este suelo, se obtuvo que el peso volumétrico seco máximo fue de 1,446 kg/cm<sup>3</sup>, así como la humedad óptima obtenida rondó 28.5 %.

Del análisis granulométrico realizado, el 67 % de la masa de suelo pasó por la malla #200, esto ubico a la muestra en el área 3 del triángulo de graduación, por lo que los autores pudieron optar por mejorar el suelo con cemento o cal. Sin embargo, el índice plástico de las muestras de suelo varió entre el 22 % y el 25 %, por lo que se consideró a la cal como la opción más viable para el mejoramiento.

Se encontró que el contenido más adecuado de cal presente en la muestra de suelo debería ser del 6 % de este conglomerante, al agregar un mayor porcentaje de cal al suelo ya no muestra mejora en su comportamiento.

Estos autores concluyeron que la tensión experimentada por un suelo está ligada principalmente a la tensión capilar entre sus partículas. Por lo que a mayor energía de compactación se obtuvieron mayores resistencias a la tensión.

Por otro lado, en suelos granulares, Frías-Guzmán y Hernández-Marín (2018), realizaron un estudio experimental comparativo en el que evaluaron la resistencia a la tensión de muestras de suelo alteradas e inalteradas. Para muestras inalteradas se empleó un aparato de diseño propio para ensayos de tensión directa, y en muestras alteradas se construyó un molde similar al utilizado por Kim y Hwang (2003). Se eligieron cinco muestras de suelos arenosos del Valle de Aguascalientes para realizar las pruebas.

La resistencia a tensión de la muestra alterada se comparó con la de una muestra inalterada, en la cual se realizaron variaciones como: el contenido de agua en el molde, el grado de saturación y el secado de las muestras. Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron variaciones en la resistencia a la tensión, y los autores mencionan que se debe principalmente a la heterogeneidad, la anisotropía del suelo y probablemente al efecto del cementante.

De igual manera, el secado de las muestras influyó en la determinación de su resistencia. La resistencia a la tensión obtenida de muestras de suelo inalteradas osciló entre 52.73 y 28.70 kPa y las muestras alteradas varió desde 21.40 hasta 38.70 kPa.

### 2.3 Determinación de la cantidad de cementante en un suelo.

Choi *et al.*, (2017), realizaron la comparación de seis métodos para determinar el contenido de carbonato de calcio como actor cementante en un suelo. Entre los métodos estudiados en el trabajo de investigación destacan el del análisis volumétrico, el de plasma acoplado inductivamente, de difracción de rayos x, el del análisis termogravimétrico, los métodos de la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM) y el de lavado.

Después de realizar pruebas y análisis, se determinó que los métodos del análisis volumétrico y del plasma acoplado inductivamente arrojan valores subestimados. Por otro lado, el método de lavado arroja valores sobreestimados.

Los otros tres métodos producen valores cercanos a la media y sus diferencias entre los tres son pequeñas.

Por otro lado, Kassim (2013), evaluó otros cuatro métodos para la determinación de carbonatos en el suelo, los cuales se basan principalmente en la neutralización del ácido, adsorción de protones, método del calcímetro y los métodos de ácido acético.

El método de neutralización ácido dio estimaciones significativamente más altas de carbonatos totales y diferente de cada uno de los otros métodos. El método Calcímetro dio las estimaciones más bajas de  $\text{CaCO}_3$  equivalente.

Los resultados mostraron que los valores corregidos de  $\text{CaCO}_3$  equivalente no difirió significativamente de otros tres métodos, pero la media general tendía a ser más alta que los métodos de ácido acético y calcímetro.

Se puede concluir que el método del ácido acético es simple, se puede estimar razonablemente el contenido de carbonato y sólo requiere un medidor de pH. Se puede utilizar para la determinación rutinaria de carbonatos.



# CAPÍTULO

3

## MARCO TEÓRICO

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Suelos**

La Real Academia Española, en su diccionario de la lengua, define al suelo como la superficie de la tierra que no está ocupada por el mar.

Pero la definición de suelo desde el punto de vista de la ingeniería civil va más allá ello, en la práctica ingenieril importa su naturaleza (origen y formación), ya que de ella dependen las características físicas y el comportamiento mecánico del suelo. En ese contexto, el suelo es un depósito de partículas resultantes del desgaste y desintegración de rocas producto de varios procesos físicos y químicos, donde por medio de agentes transportadores se depositan y mezclan provocando reacciones químicas y cambiando las propiedades originales de las rocas.

Es por ello, que los suelos poseen una naturaleza variable o errática, por lo que resultaría muy arriesgado aceptar al suelo como una formación homogénea (Taylor, 1961).

Los suelos, además de su naturaleza, las propiedades innatas de sus partículas y la cantidad de agua con la que interactúan, resulta imprescindible tomarlas en cuenta, ya que influyen directamente en el comportamiento del suelo y su forma de reaccionar ante la aplicación de esfuerzos.

### 3.2. Tipos de suelos

En la construcción, los tipos de suelos utilizados se clasifican de acuerdo con su tamaño en gravas, arenas, limos y arcillas. Sin embargo, de manera natural los suelos pueden contener diferentes de tamaños de partículas y una cierta cantidad de materia orgánica. El tamaño de partícula de suelo más predominante en la mezcla es la que le dará el nombre principal, por ejemplo, arena limosa, arcilla limosa, o limo arenoso, etc.

De acuerdo con Peck *et al.*, (2004), a las gravas y arenas se les llama suelos de granos gruesos, y por el otro lado, las arcillas y los limos constituyen los suelos de granos finos. Estos mismos autores, mencionan que las gravas y arenas son fragmentos minerales y se distinguen a simple vista por el tamaño de partículas. Las gravas van desde los 5 y hasta los 20 milímetros, mientras que las arenas son menores de 5 milímetros y se divide en gruesa, media y fina. Sin embargo, para clasificar de una manera más objetiva los suelos, la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (ASTM), estableció los límites de tamaño de los componentes del suelo como norma para fines técnicos, tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Límites de los componentes del suelo (ASTM D422-63, 2007)

Tipo de suelo	Tamaño de las partículas (en milímetros)
Grava	Mayor a 4.75
Arena gruesa	De 4.75 a 2.00
Arena media	De 2.00 a 0.425
Arena fina	De 0.425 a 0.075
Finos (arcillas y limos)	Menores de 0.075

Por otro lado, las arcillas y los limos no pueden distinguirse por el tamaño de sus partículas, ya que resultaría imposible por ser microscópicas. La resistencia en estado seco es comúnmente utilizada para diferenciarlos, además de ciertos parámetros de los límites de consistencia de Atterberg. Un experimento fácil y práctico para identificar la presencia de limos y arcillas, consiste en la elaboración de un prisma con el suelo, y dejarlo secar al aire para después, con los dedos romper un fragmento. El esfuerzo necesario para romperlo se puede tomar como base para la clasificación; las arcillas requieren de un esfuerzo mayor que los limos.

### 3.3. Propiedades índices de los suelos

Las propiedades índices como lo son la granulometría, la plasticidad y las relaciones volumétricas, sirven para dar una descripción precisa del suelo para evitar, en medida de lo posible malinterpretaciones debido a los términos empleados para ello.

Peck, *et al.*, (2004) dividieron las propiedades índices en dos tipos generales, las propiedades de los granos del suelo y las propiedades del agregado o conjunto, donde las primeras corresponden a las partículas individuales que componen al suelo sin importar su acomodo, empaquetamiento o interacción como un conjunto, lo que permite generalizar a granos del suelo. Por otro lado, las propiedades del conjunto dependen de la estructura y disposición de las partículas de la masa de suelo.

El conocer las propiedades índices de una masa de suelo, brindan al ingeniero la información técnica necesaria para el diseño de una cimentación o el uso del suelo como un material de construcción.

### 3.3.1. Granulometría

Esta es una de las propiedades índice de los suelos, su finalidad es caracterizar de manera general el tamaño de los granos de una masa del suelo y su distribución granulométrica.

Para los suelos de grano grueso, la distribución granulométrica, puede predecir el comportamiento del suelo, ya que, si resulta bien graduado, este suelo grueso seguramente tendrá un buen desempeño o caso contrario, un suelo mal graduado podría representar un problema ingenieril al momento de diseñar o realizar una construcción.

La realización de la distribución granulométrica se hace a través del tamizado, en el que se va pasando la muestra de suelo a través de varias mallas de diferente abertura, donde en cada una de ellas se retiene cierta cantidad de peso que posteriormente se graficara para obtener la curva de distribución granulométrica.

### 3.3.2. Relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos

La densidad de una muestra de suelo puede ayudar a definir lo compacto o lo suelto de su estructura, se determina mediante la porosidad, relación de vacíos y el grado de saturación, conocidas como las propiedades simples del suelo.

Un suelo, es un arreglo entre partículas o conjunto de partículas en las que entre ellas se producen oquedades o espacios huecos de diferente tamaño

y que pueden contener agua o aire, o una mezcla de ambos. Por lo que se considera al suelo que presenta tres fases como se muestra en la figura 2.

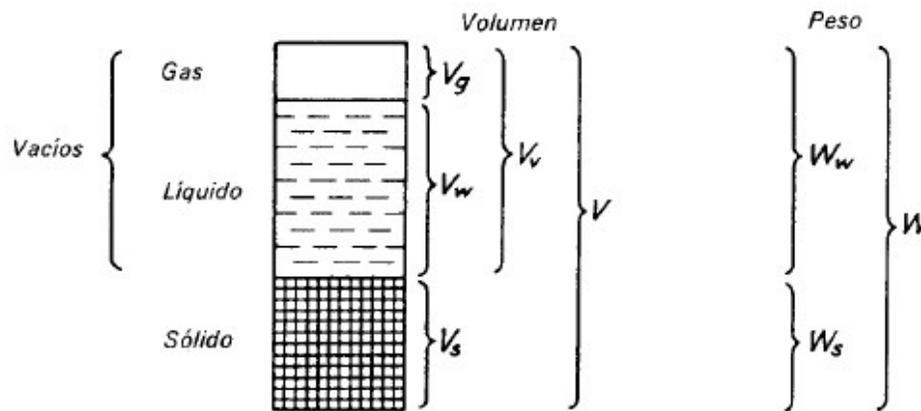


Figura 1. Diagrama de una muestra de suelo. Tomado de Peck et al., (2004).

El volumen total de una muestra de suelo ( $V$ ) consta de dos partes, el volumen de vacíos ( $V_v$ ) y el volumen de los sólidos ( $V_s$ ); el volumen de vacíos se conforma por el volumen de agua ( $V_w$ ) y el volumen de gas ( $V_g$ ), (Peck et al., 2004).

Entonces, la porosidad ( $n$ ) de los sólidos es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra; la relación de vacíos ( $e$ ) está definida por el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos y por último el grado de saturación de la materia sólida ( $S$ ) resulta de la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos (Peck et al., 2004).

Estas relaciones quedan definidas de la siguiente manera:

$$n = \frac{V_v}{V} \tag{1}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} \tag{2}$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} \tag{3}$$

### 3.3.3. Plasticidad

La granulometría en suelos de grano fino nos brinda un punto de referencia sobre el comportamiento que podría presentar ese suelo, por otro lado, para los suelos de grano fino, principalmente los suelos arcillosos y limosos el límite líquido y el límite plástico son los puntos de referencia a tomar en cuenta para predecir un buen o mal comportamiento del suelo.

Para la determinación del límite líquido (WL) y límite plástico (WP), es necesario preparar una muestra de suelo y someterla a golpes controlados mediante la “cuchara de Casagrande” hasta obtener unas cuarteaduras en ella. Una vez obtenidos los límites, se obtiene un punto representativo de la muestra de suelo en la “carta de plasticidad de Casagrande”, donde aplicando la siguiente relación se puede obtener el índice de plasticidad.

$$I_P = W_L - W_P \quad (4)$$

De acuerdo con este índice, Casagrande definió a los suelos de alta plasticidad cuando  $W_L > 50$  y de baja plasticidad los que están por debajo de este valor (González de Vallejo, 2002).

### 3.4. Mejoramiento químico de los suelos

La estabilización química es el uso de agentes estabilizadores que son añadidos a un suelo para mejorar sus características mecánicas, modificar el suelo, optimizar los tiempos de construcción y generar una mayor durabilidad del suelo.

### 3.4.1. Mejoramiento del suelo con cal

La cal y el cemento han sido muy utilizados en el ámbito de la construcción como agentes estabilizadores. El tratamiento de un suelo adicionado con cal ayuda a disminuir el límite líquido y aumenta el límite plástico, disminuye la plasticidad y se mejora la contracción y la manejabilidad del suelo, así como también se ven favorecidas las propiedades de resistencia y deformación del suelo. La cal, es comúnmente usada como agente estabilizador para suelos arcillosos o de granos finos (Das, 2013).

En los estudios realizados por Das (2013), encontró que en los suelos finos la resistencia a la compresión no confinada puede variar de 1,700 kPa a 2,100 kPa, esto se obtuvo al agregárseles entre 2 % y 3% de cal en relación con el peso en seco y compactados en las óptimas condiciones de humedad.

Este mismo autor destacó que, al someter las probetas de material mejorado a un periodo de curado de 28 días, la resistencia a la compresión no confinada podría aumentar hasta en 700 kPa o más.

### 3.4.2. Mejoramiento del suelo con cemento

Por su parte, el cemento al igual que la cal, ha sido enormemente utilizado en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, este elemento puede ser utilizado tanto en suelos arenosos como arcillosos. De esta manera, los suelos granulares y arcillosos de baja plasticidad son los más adecuados para el uso de cemento como agente estabilizador (Das, 2013).

Das (2003), mencionó que la lechada fabricada con cemento portland y agua en una relación 1:10, podría ser utilizada para estabilizar suelos con deficiente desempeño mecánico debajo de la superestructura, ya que se reduce la conductividad hidráulica y aumenta la capacidad de carga.

### 3.4.3. Mejoramiento del suelo con cenizas volantes

La ceniza volante es un polvo fino que se obtiene de la combustión del carbón y que contiene sílice, alúmina y óxidos. La combinación de cal y cenizas volantes han sido utilizadas para la estabilización de bases y subbases de carreteras. Dicha mezcla debe contener de 10 a 35 % de ceniza volante y de 2 a 10 % de cal, para obtener los mejores resultados en el comportamiento de las capas de suelo mejorado.

Existen cenizas que pueden ser muy ricas en cal y que solo necesitarían la adición de agua para reaccionar disminuyendo la necesidad de usar cal fabricada (Das, 2013).

### 3.5. Resistencia al esfuerzo cortante en los suelos

La resistencia al corte de un suelo es el esfuerzo de corte máximo que el material puede soportar justo antes de fallar y provocar un deslizamiento sobre cualquier plano al interior de la masa de suelo. Esta resistencia en los suelos es de suma importancia para analizar problemas que se presentan en la construcción de edificaciones, así como la capacidad de carga de cimentaciones, diseño de pilotes en cimentaciones profundas, estabilidad

de taludes y cualquier otro diseño de estructuras que han de ser desplantadas sobre el terreno.

Das, (2013) llama a la resistencia de corte de un suelo como la resistencia al cizallamiento y está definida principalmente en función de:

- La cohesión existente entre partículas.
- Resistencia a la fricción entre partículas.
- El contenido de humedad.
- La presión de agua en la masa de suelo.

### 3.6. Prueba del valor relativo de soporte (VRS)

Esta prueba permite determinar la expansión originada por la saturación de los materiales pétreos que se utilizaran para terraplén, subyacente y subrasante, así como el valor de soporte de california en especímenes compactados dinámicamente para evaluar que cumplan con la calidad requerida por la normativa aplicable.

La prueba consiste en someter tres especímenes del material bajo estudio a un proceso de compactación dinámica con diferentes energías de compactación y un contenido igual a la del material en el banco a 1.5 m de profundidad. Se satura el material de cada espécimen para obtener un cambio volumétrico para después introducir en él un pistón de acero con diferentes cargas, para posteriormente evaluar la carga necesaria para lograr penetraciones establecidas.

### 3.7. Suelos carbonatados y su química

Hernández-Ávila afirma que "los carbonatos presentes en algunos suelos pueden ser: de calcio, en forma de calcita (es el más frecuente), de magnesio, en forma de magnesita, de calcio y magnesio, en forma de dolomita, de sodio en algunos suelos" (2014, p. 17).

Los suelos carbonatados (los cuales presentan efervescencia con ácido clorhídrico), contienen carbonato de calcio que puede ser determinado cuantitativamente al consumirse estequiométricamente cuando se reacciona con un ácido, produciendo CO<sub>2</sub>.

#### 3.7.1. Reacción química de suelos carbonatados

La reacción química que se presenta en un suelo carbonatado al agregársele ácido clorhídrico se presenta a continuación:



De esta manera, al efectuarse dicha reacción, se obtiene el desprendimiento de gas en forma de CO<sub>2</sub> (Chang y College , 2002). Por lo que se observa a simple vista la efervescencia (desprendimiento de CO<sub>2</sub>) al contacto con el ácido.

Por su parte, el carbonato de calcio es un mineral que descompone al calentarse en un rango de temperatura de 825 –1339 °C formando óxido de calcio (cal viva) (Hernández-Ávila *et al.*, 2014).

# CAPÍTULO

4

## **MARCO METODOLÓGICO**

## 4. MARCO METODOLÓGICO

### 4.1 Metodología

El diseño de la presente investigación será experimental, el propósito será evaluar la calidad del terreno natural en condiciones controladas de humedad mediante pruebas en el laboratorio para obtener el valor relativo de soporte, la expansión y los límites de plasticidad. Después, con ese mismo suelo se realizarán adiciones de materiales con la finalidad de mejorar su comportamiento geotécnico, para definir si existe o no un cambio positivo y si resulta viable implementar estas mezclas como una opción en el mejoramiento de suelos.

Se propone el siguiente orden metodológico para la obtención de resultados:

1. Selección de sitios para la toma de muestras de suelos carbonatados. Se tomarán muestras de suelo alteradas con las que se habrán de realizar la determinación del contenido de carbonato de calcio.
2. Determinación del contenido de carbonato de calcio presente en una muestra de suelo. Para este caso, se utilizará el método de la neutralización ácida.
3. Clasificación granulométrica de la muestra de suelo base. Se establecerá el tipo de suelo en cuestión.
4. Mezcla de suelos. En este punto se deben realizar mezclas con diferentes concentraciones de agentes mejorantes, cal y cemento (al 1%, 2% y 3%),

polímeros (al 1%, 2% y 3%) y suelos con carbonato de calcio al (10 %,20 % y 30 %).

5. Realizar la prueba de valor relativo de soporte para cada una de las muestras.
6. Establecer cual dosificación de suelo con  $\text{CaCO}_3$  observó los mejores resultados desde el punto de vista ingenieril.
7. Realizar el análisis del coste de la mezcla de suelo idónea para proponerse como una alternativa constructiva en el mejoramiento de suelos.

La finalidad de la campaña experimental en este estudio fue caracterizar las propiedades mecánicas del suelo, la determinación del contenido de carbonato de calcio en una masa de suelo, para después realizar una dosificación de una mezcla entre un terreno y un suelo naturalmente cementado rico en carbonato de calcio y evaluar sus resultados desde el punto de vista de la mecánica de suelos.

#### 4.2. Objetivos de la experimentación

- A. Determinar el contenido de carbonato de calcio que está presente en una muestra determinada de suelo.
- B. Caracterizar geotécnicamente las muestras de suelo combinadas.

- C. Evaluar el valor relativo de soporte y la resistencia a esfuerzos de corte de la muestra de suelo combinado.
- D. Establecer una dosificación para elaborar una mezcla de suelo.
- E. Evaluar el coste de la mezcla mejorada.

### 4.3. Muestras de suelo con carbonato de calcio

Para esta campaña experimental se recuperaron muestras de diferentes tipos de suelos a lo largo del Valle de Aguascalientes, dentro de los municipios de Aguascalientes, San Francisco de los Romo, Tepezalá, Pabellón de Arteaga, Jesús María y Rincón de Romos, tal y como se muestra en la figura 3.

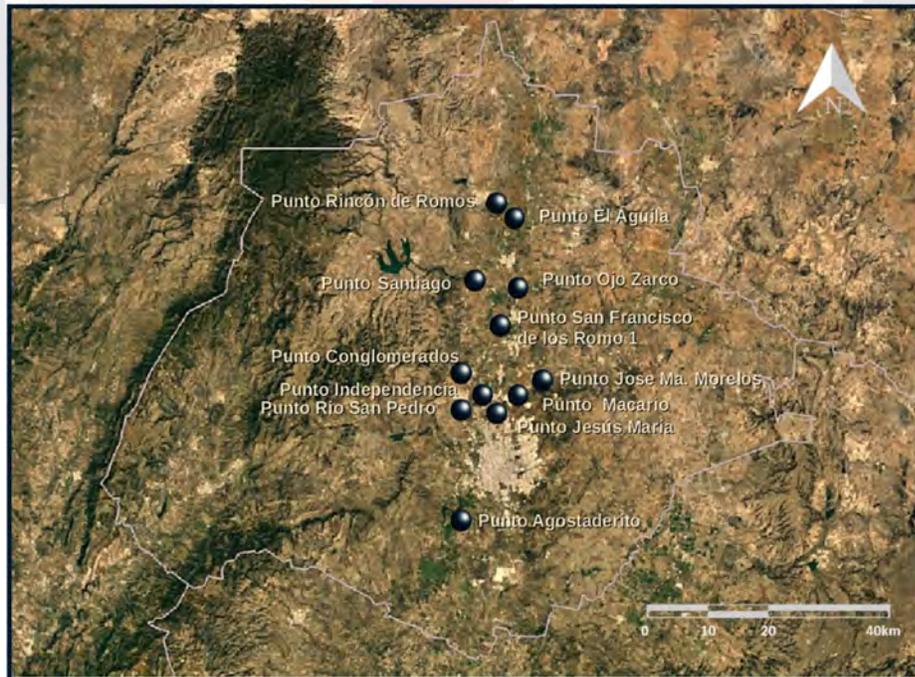


Figura 2. Puntos de estudio y de extracción de muestras de suelo. Elaboración propia.

De los puntos antes descritos, se obtuvieron las muestras, se etiquetaron y se les asignó una clave de identificación para su catalogación y tratamiento en el laboratorio, de acuerdo con la tabla 2

. Tabla 2. Localización de puntos de muestreo.

<b>Clave</b>	<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Municipio</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
AG-02-U	El Águila	Tepezalá	781587	2457441
PA-01-C	El Águila	Tepezalá	781587	2457441
OZ-03-A	Ojo Zarco	Pabellón de Arteaga	782590	2447795
OZ-03-B	Ojo Zarco	Pabellón de Arteaga	782590	2447795
OZ-03-C	Ojo Zarco	Pabellón de Arteaga	782590	2447795
BC-01-U	Bosque de Cobos	Aguascalientes	784744	2414304

Estas muestras de suelo recuperadas en estos puntos fueron utilizadas para la caracterización mecánica de cada una, y para la determinación de su contenido de carbonatos.

#### 4.4. Contenido de humedad del suelo

Una propiedad importante para conocer de los suelos es su contenido de humedad, esta se realizó poco después de haber obtenido la muestra de campo. En ese aspecto, de acuerdo con International Soil Reference and Information Centre Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2002) el contenido de humedad en una muestra de suelo está definido por:

$$-w\% = \frac{A-B}{B-t} \times 100 \tag{5}$$

Donde

$w\%$  = contenido de humedad

$A$  = peso del suelo húmedo más el recipiente

$B$  = peso del suelo seco más el recipiente

$t$  = peso del recipiente

Para la determinación del contenido de carbonatos en el suelo fue necesario conocer el mcf (factor corregido de humedad, esta relación es muy utilizada para la determinación de los componentes en el suelo), mismo que está definido por:

$$mcf = \frac{100+w\%}{100} \tag{6}$$

En el cálculo del contenido de humedad del suelo se obtuvieron los siguientes datos:

*Tabla 3. Contenido de humedad de las muestras.*

<b>Clave</b>	<b>Peso suelo húmedo en gramos (A)</b>	<b>Peso recipiente en gramos (t)</b>	<b>Temperatura de secado (°C)</b>	<b>Peso suelo seco en gramos (B)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>mcf</b>
AG-02-U	204.15	90.94	100.00	203.14	0.90	1.009
PA-01-C	200.00	89.86	100.00	192.83	6.96	1.0696
OZ-03-B	225.52	92.65	100.00	215.75	4.69	1.0469
OZ-03-C	220.74	89.73	100.00	219.56	13.67	1.1367
BC-01-U	220.95	88.32	100.00	204.98	4.08	1.0408

#### 4.5. Identificación de suelos carbonatados

En esta etapa de la campaña experimental, las muestras de suelo se sometieron al contacto con ácido clorhídrico para identificar la presencia de carbonatos en su estructura. La manera de discriminar muestras fue cuando las muestras no mostraban efervescencia, como se describió en el capítulo anterior.

En la figura 4, se observa la efervescencia del suelo al contacto con el ácido clorhídrico. De esta manera, se aplicó a cada una de las muestras descritas en la tabla 2, y su reacción al HCl se describe en la tabla 4.



*Figura 3. Efervescencia de un suelo carbonatado. Elaboración propia.*

Tabla 4. Presencia de carbonatos en las muestras.

Clave	Punto de Muestreo	Efervescencia
AG-02-U	El Águila	Se observó a simple vista. La efervescencia inició inmediatamente después de hacer contacto el ácido con el suelo.
PA-01-C	El Águila Banco	No se observó
OZ-03-A	Ojo Zarco	No se observó.
OZ-03-B	Ojo Zarco	No se observó.
OZ-03-C	Ojo Zarco	No se observó.
BC-01-U	Bosque de Cobos	Se observó a simple vista. La efervescencia inició inmediatamente después de hacer contacto el ácido con el suelo.

De esta manera, las muestras AG-02-U y BC-01-U corresponden a suelos carbonatados ya que mostraron efervescencia al desprenderse del CO<sub>2</sub>, por lo que estas muestras carbonatadas sirvieron para la determinación del contenido de carbonato de calcio a través de la neutralización ácida y se realizaron diferentes dosificaciones para las mezclas de suelo mejorado.

#### 4.6. Determinación del contenido de carbonatos en un suelo

Los carbonatos del suelo fueron sometidos a la acción de un ácido clorhídrico diluido. La reacción consumió ácido en forma estequiométrica al contenido de carbonatos. El exceso de ácido que quedó sin reaccionar fue valorado mediante NaOH 1 N, hasta su neutralización. A este método se le conoce como el método de titulación rápida de Piper, también llamado método de neutralización ácida. Los resultados se expresan como equivalente de carbonato de calcio dado que la disolución no es selectiva

para la calcita, sino que también puede afectar a otros carbonatos, como dolomita.

Para obtener el contenido de carbonato de calcio se utilizó el siguiente material:

- Agitador rotatorio
- Matraz Erlenmeyer de 125 ml
- Frascos de polietileno con tapa de 250 ml
- Buretas de 50 ml
- Vasos de precipitados
- Pipeta de 25 ml
- Papel filtro Whatman No.4

Para la reacción química de los suelos carbonatados se necesitaron los siguientes reactivos:

- Solución de HCl 1 N
- NaOH 1 N
- Solución indicadora de fenolftaleína al 0.1%

Para la obtención del equivalente de carbonato de calcio se siguió el procedimiento descrito a continuación:

- A. Se pesaron 2.5 g de suelo con exactitud de 0.01 g en un frasco de polietileno (figura 5).
- B. Se incluyeron dos blancos con 2.5 g de agua destilada.
- C. Se agregó un control con 50 mg de  $\text{CaCO}_3$  en polvo (figura 6).

- D. Se agregaron 50 ml de HCl 1 N con pipeta y se mezcló (figura 7).
- E. Se cerró el frasco sin apretar y deje reposar toda la noche.
- F. Después, se cerró bien el frasco y se colocó en el agitador.
- G. Se dejó sedimentar la solución.
  
- H. Se tomaron 5 ml de sobrenadante y colocarlo junto a 12.5 ml de agua destilada.
- I. Se agregaron pocas gotas de fenolftaleína y titular con NaOH 1 N (figura 8).



Figura 4. Pesado de muestras. Elaboración propia.



Figura 5. Blancos y control. Elaboración propia.



Figura 6. Agregado de solución HCl 1 N a la muestra. Elaboración propia.



Figura 7. Titulación de las muestras. Elaboración propia.

Se realizó el cálculo del equivalente de  $\text{CaCO}_3$  con la siguiente fórmula:

$$\% \text{CaCO}_3 \text{ equivalentes} = M \times \frac{a-b}{s} \times 50 \times mcf \tag{7}$$

Donde

$M$  = Normalidad real del NaOH

$a$  = ml de NaOH utilizados para titular el blanco

$b$  = ml de NaOH utilizados para titular la muestra

$s$  = peso del suelo

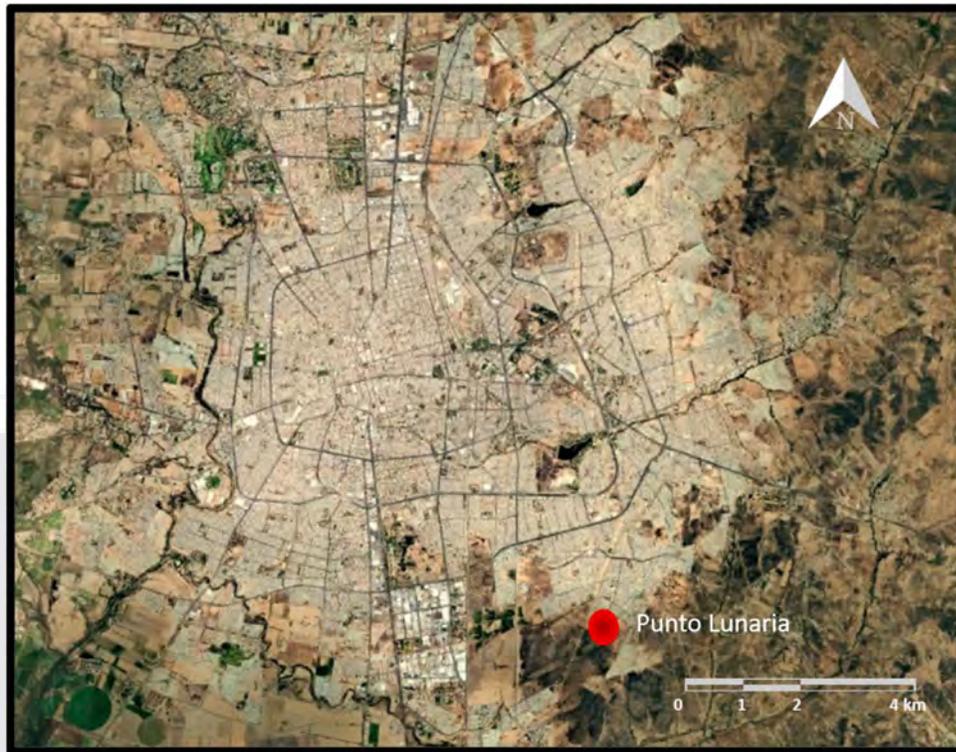
50 = peso equivalente del  $\text{CaCO}_3$

$mcf$  = factor corregido de humedad

#### 4.7. Muestra de material base

El material que se empleó como base para las mezclas con diferentes agentes estabilizadores se recuperó del predio denominado Fraccionamiento Lunaria, al oriente de la ciudad de Aguascalientes. Se trata de un material conocido localmente como "tepetate" de color pardo. A simple vista, se le observaron algunos clastos pequeños redondeados, los cuales fueron transportados a través de corrientes superficiales hasta este lugar de depósito. La figura 9 muestra la zona de extracción del material base.

Este suelo al no mostrar efervescencia al contacto con el ácido clorhídrico se utilizó para tomarlo como base para realizar la mezcla con la cal, el cemento y suelos con cementante natural.



*Figura 8. Localización Banco Material Base. Localizado al sureste de la ciudad de Aguascalientes. Elaboración propia.*

Esta muestra se etiquetó con la leyenda LU-01-U para su manejo y control en laboratorio.

#### 4.8. Preparación de las muestras de suelo base con cal, cemento y suelos carbonatados.

Para evaluar la manera en que se modifican las características mecánicas del suelo base, se propuso realizar las siguientes mezclas, tal y como se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5. Dosificación de las muestras.

No. De muestras	Agente mejorante	% Agregado	Kg/m <sup>3</sup>
1	Cemento	1	12
2		2	24
3		3	36
4	Cal	1	10
5		2	20
6		3	30
7	Suelo Carbonatado 1 (AG-02-U)	10	162.9
8		20	325.8
9		30	651.6
10	Suelo Carbonatado 2 (BC-01-U)	10	165.7
11		20	331.4
12		30	497.1

También se evaluó la capacidad de carga de los suelos sin agregar algún agente, con la finalidad de obtener los parámetros base para realizar las comparaciones de las características mecánicas que presenten los suelos.

#### 4.9. Clasificación granulométrica.

Para la clasificación por el tamaño de los granos del suelo se tomó como base el procedimiento descrito en el Manual de Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en el apartado 06. Granulometría de materiales compactables para terracería (M-MMP-06/03).

El procedimiento para llevar a cabo la clasificación granulométrica se realizó en el siguiente orden:

1. Se prepararon dos juegos de cribas, uno para las gravas y otro para las arenas.
2. Se pasó el material por la malla No. 4 (4.75 mm), el material que pasa es arena y lo que se retiene es la grava.
3. El material retenido en la malla No. 4, se hizo pasar por las mallas 3" y menores.
4. Se pesó el material retenido en cada una de las mallas.
5. El material que pasa por la malla No. 4, se colocó en un vaso de aluminio y se colocaron aproximadamente 500 cm<sup>3</sup> de agua y se dejó reposar 12 horas.
6. Se lavó el material a través de la malla No. 200.
7. Se secó el material en horno durante más de 16 horas a una temperatura de 105 °C.
8. Se cribó el material por la malla No. 4 y menores para la arena (figura 10).
9. Se pesó el material retenido en cada una de las mallas.



Figura 9. Cribado del material por las mallas. Elaboración propia.

#### 4.10. Ensayo valor relativo de soporte

Para esta prueba se tomó como base el procedimiento descrito en el Manual de Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en el apartado 11, denominado Valor Soporte de California (CBR) y expansión (Exp) en Laboratorio (M-MMP-11/08).

En la realización de la compactación se usó un compactador mecánico con un pisón de 2,45 kg de acuerdo con esta normativa. Se elaboraron tres especímenes a los que se les aplicaron diferentes energías de compactación.

Se colocaron las extensiones a los moldes y los aditamentos para medir las expansiones. Al no existir capas subyacentes se utilizaron placas de 4,54 kg

para la inducción de sobrecarga como se muestra en la figura 11, y se sometieron a saturación durante 4 días.



*Figura 10. Colocación de placas de sobre carga en el espécimen. Elaboración propia.*

Para conocer la expansión del material se tomaron lecturas al inicio y final de la saturación del material.

La prueba de penetración se realizó de acuerdo con la descripción del manual de la SCT antes descrito. Se tomó lectura de la carga necesaria para adquirir las penetraciones requeridas por el manual como se ilustra en la figura 12.



*Figura 11. Medición de la penetración. Elaboración propia.*

Por último, se obtuvo el contenido de agua de cada muestra, de acuerdo con el siguiente orden:

1. Se colocó la masa de suelo en la capsula de porcelana previamente pesada.
2. Se introdujo la muestra de suelo húmedo en el horno para su secado a una temperatura no menor a 105 °C por un lapso de 16 horas.
3. Se retiró la muestra del horno, se dejó enfriar a temperatura ambiente.
4. Se pesó la muestra de suelo seco.

# CAPÍTULO

5



**RESULTADOS**

## 5.RESULTADOS

### 5.1 Determinación del contenido de carbonatos en un suelo.

Para el cálculo del contenido de carbonato de calcio, se siguió el procedimiento descrito en el capítulo anterior, en el que por medio de la neutralización ácida y titulación se obtuvieron algunos datos para utilizar la fórmula 7.

De este modo se obtuvieron para los dos suelos carbonatados los resultados que se muestran en la tabla 6 y 7.

Tabla 6. % CaCO<sub>3</sub> equivalente de la muestra AG-02-U.

# Muestra	Masa de suelo (gr)	CaCO <sub>3</sub> (gr)	HCl (ml)	Fenolftaleína (gotas)	H <sub>2</sub> O Destilada (ml)	NaOH (ml)	mcf	% CaCO <sub>3</sub> equivalente
Blanco 1	0	0	50	3	12.5	2.1		
Blanco 2	0	0	50	3	12.5	2		
Control 1	0	0.5014	50	3	12.5	1.5		
Muestra 1	2.5096	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.1748
Muestra 2	2.5014	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.2868
Muestra 3	2.5027	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.2690
Muestra 4	2.5056	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.2293
Muestra 5	2.5088	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.1857
Muestra 6	2.5011	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.2910
Muestra 7	2.5077	0	50	3	12.5	0.3	1.009	34.2007

Para el suelo AG-02-U, el promedio del % CaCO<sub>3</sub> fue de 34.2339 %, es decir, un poco más de la tercera parte del peso del suelo es carbonato de calcio.

Tabla 7. % CaCO<sub>3</sub> equivalente de la muestra BC-01-U.

# Muestra	Masa de suelo (gr)	CaCO <sub>3</sub> (gr)	HCl (ml)	Fenolftaleína (gotas)	H <sub>2</sub> O Destilada (ml)	NaOH (ml)	mcf	% CaCO <sub>3</sub> equivalente
Blanco 1	0	0	50	3	12.5	2.1		
Blanco 2	0	0	50	3	12.5	2		
Control 1	0	0.5000	50	3	12.5	1.5		
Muestra 1	2.5006	0	50	3	12.5	1.4	1.0408	13.5271
Muestra 2	2.5001	0	50	3	12.5	1.4	1.0408	13.5298
Muestra 3	2.5009	0	50	3	12.5	1.3	1.0408	15.6064
Muestra 4	2.5000	0	50	3	12.5	1.3	1.0408	15.6120
Muestra 5	2.4999	0	50	3	12.5	1.4	1.0408	13.5309
Muestra 6	2.5008	0	50	3	12.5	1.5	1.0408	11.4451
Muestra 7	2.5008	0	50	3	12.5	1.4	1.0408	13.5261

Para el suelo BC-01-U, el promedio del % CaCO<sub>3</sub> fue de 13.8253 %, esto es, un poco más de una octava parte del peso del suelo en carbonato de calcio.

### 5.2 Valor relativo de soporte del material base LU-01-U.

De acuerdo con el procedimiento en laboratorio para la obtención del valor relativo de soporte de California y expansión, del manual de Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para el material LU-01-U que fungió como el material base para la mezcla los diferentes agentes mejoradores, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 8 y que se presentan de manera gráfica en la figura 13.

Tabla 8. VRS y Expansión del suelo LU-01-U.

<b>Resultados de la Prueba</b>	
V.R.S.	<b>5.37</b>
% de Expansión	<b>0.29%</b>
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	<b>1746.86</b>
Humedad Óptima (%)	<b>12.56</b>
Límite Líquido	<b>58.48</b>
Límite Plástico	<b>19.61</b>
Índice Plástico	<b>38.87</b>

Tomando en cuenta los resultados anteriores del material LU-01-U y conforme a lo establecido en el libro Características de los Materiales, en el apartado correspondiente a Materiales para Terraplén (N-CMT-1-01/02), el suelo LU-01-U es un material que, para ser considerado con calidad para terraplenes, se debe mejorar ya que de conformidad a la tabla 9, el material no cumple con el límite líquido máximo (50 %), pero si con el valor relativo de soporte y con la expansión observada.

Tabla 9. Requisitos de calidad de materiales, tomado de N-CMT-1-01/16, N-CMT-1-01/02, N-CMT-1-03/02, N-CMT-4-02-001/16, N-CMT-4-02-002/16.

<b>VRS (%) mínimo</b>	<b>Calidad del material para:</b>
5	Terraplén
10	Subyacente
20	Sub-rasante
50	Sub-base
80	Base

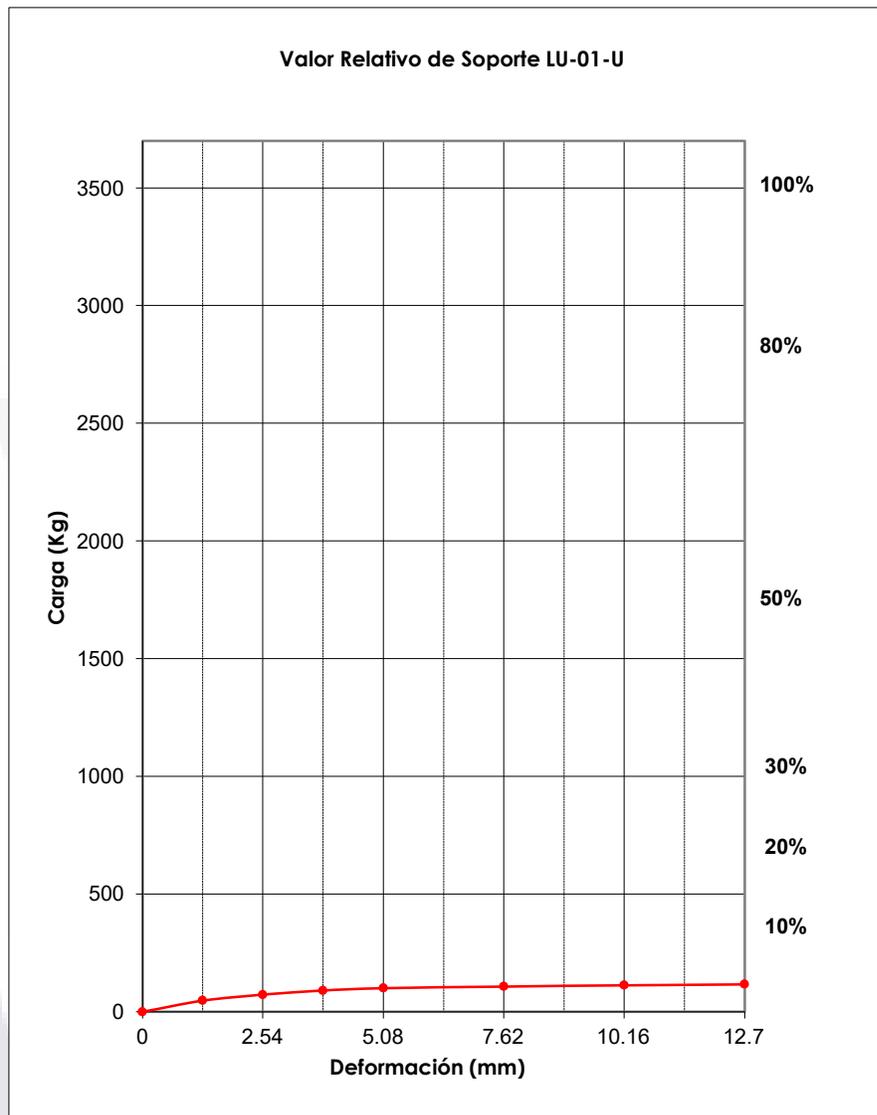


Figura 12. Curva carga-deformación del material LU-01-U. Elaboración propia.

En la figura 13, se observa el comportamiento de la curva de deformación-carga en la que se muestra la carga aplicada al vástago para generar la penetración requerida por la normatividad para generar una deformación en el suelo de 1.27, 2.54, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16 y 12.70 mm.

### 5.3 Valor relativo de soporte material con carbonatos AG-02-U

En la figura 14, se grafican las cargas que fueron necesarias para obtener la deformación o penetración que son requeridas por la prueba.

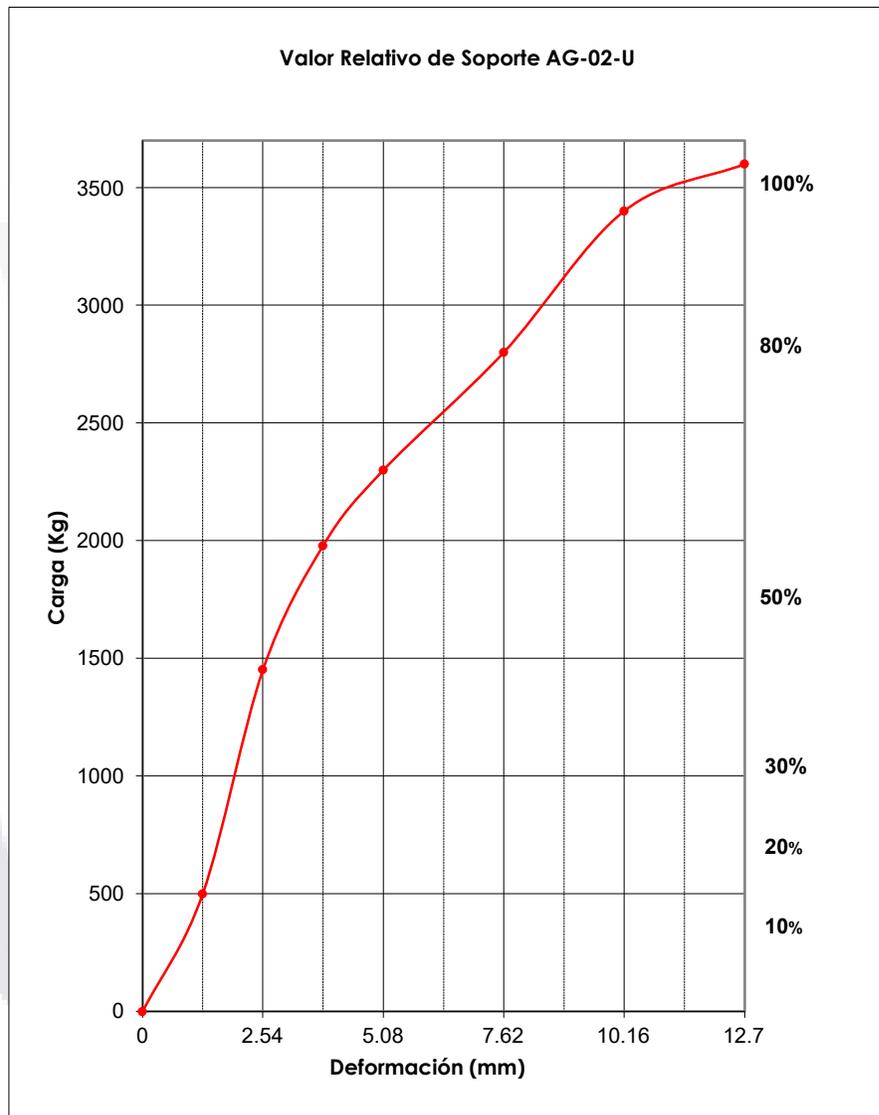


Figura 13. Curva carga-deformación del material AG-02-U. Elaboración propia.

Los resultados de la prueba del valor relativo de soporte para esta muestra de suelo carbonatado se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. VRS y Expansión del suelo AG-02-U.

<b>Resultados de la Prueba</b>	
V.R.S. 100% Saturado	<b>106.76</b>
% de Expansión	<b>0.28%</b>
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1628.79</b>
Humedad Óptima (%)	<b>14.3</b>
Límite Líquido	<b>25.00</b>
Límite Plástico	<b>18.00</b>
Índice Plástico	<b>7.00</b>

Según la tabla 9 mostrada anteriormente, muestra los requerimientos del material para su clasificación, este material cumple como un material de banco para la capa de base.

Cabe hacer mención que para este suelo se observó un contenido de carbonato de calcio del 34.23% con relación a su peso.

#### 5.4 Valor relativo de soporte material con carbonatos BC-01-U

En la figura 15, se observa el comportamiento de la curva de deformación-carga que se obtuvo en la prueba de laboratorio realizada, en la cual se evalúa la carga aplicada al vástago para generar la penetración requerida por la normatividad.

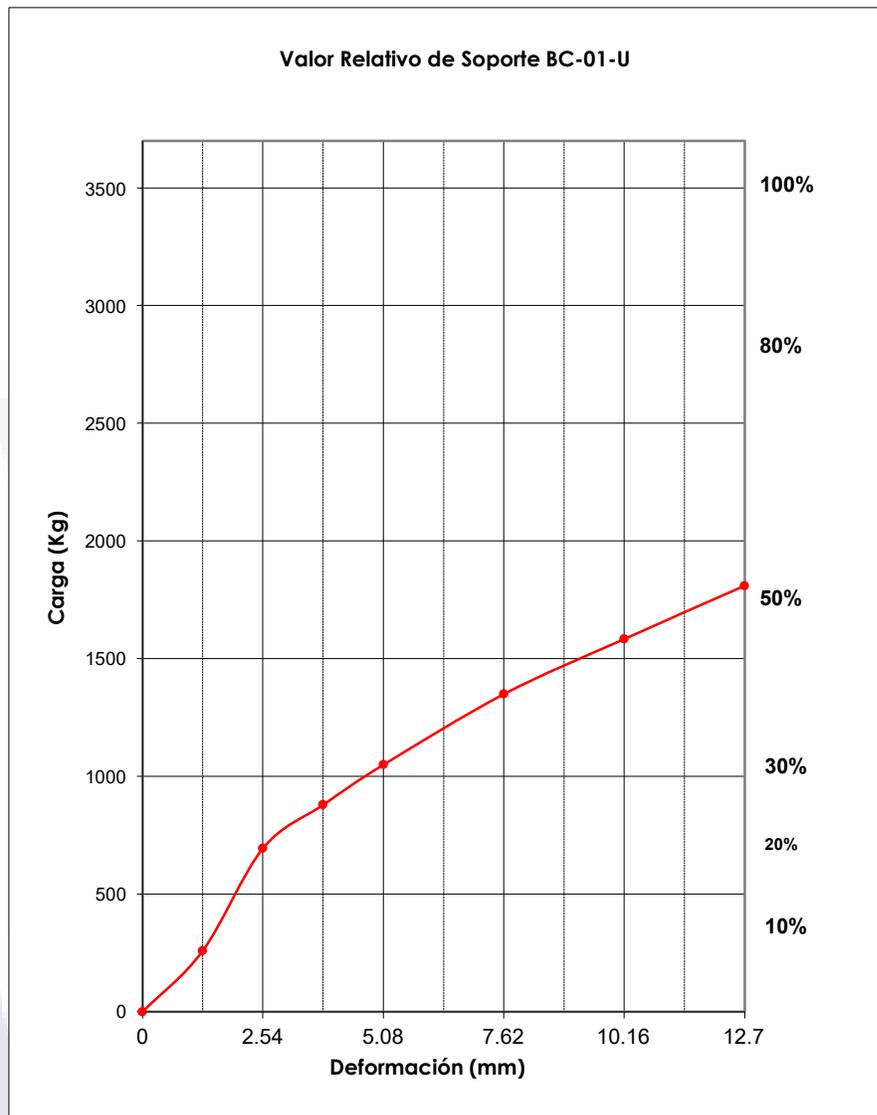


Figura 14. Curva carga-deformación del material BC-01-U. Elaboración propia.

Obteniendo que para una penetración de 2.54mm, el valor de soporte del suelo es del 51.10%. Además, se obtuvieron las características geotécnicas que se enmarcan en la tabla 11.

Tabla 11. VRS y expansión del Suelo BC-01-U.

<b>Resultados de la Prueba</b>	
V.R.S. 100% Saturado	<b>51.10</b>
% de Expansión	<b>0.00%</b>
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1656.82</b>
Humedad Óptima (%)	<b>16.6</b>
Límite Líquido	<b>31.00</b>
Límite Plástico	<b>22.00</b>
Índice Plástico	<b>9.00</b>

De esta manera podemos observar que este material puede ser clasificado por la secretaria de Comunicaciones como un material adecuado para la capa de sub-base de una vía terrestre, de acuerdo con la tabla 9.

### 5.5 Valor relativo de soporte material base combinado con cal

Para las muestras de suelo combinadas con cal, se agregó el 1%, 2% y 3% del peso de la muestra de este agente para realizar la prueba del valor relativo de soporte a cada una de las muestras.

Se obtuvo valor relativo de soporte del 25.07 %, 27.87% y 32.72% respectivamente, en la figura 16, podemos observar la curva formada por carga requerida para generar las penetraciones.

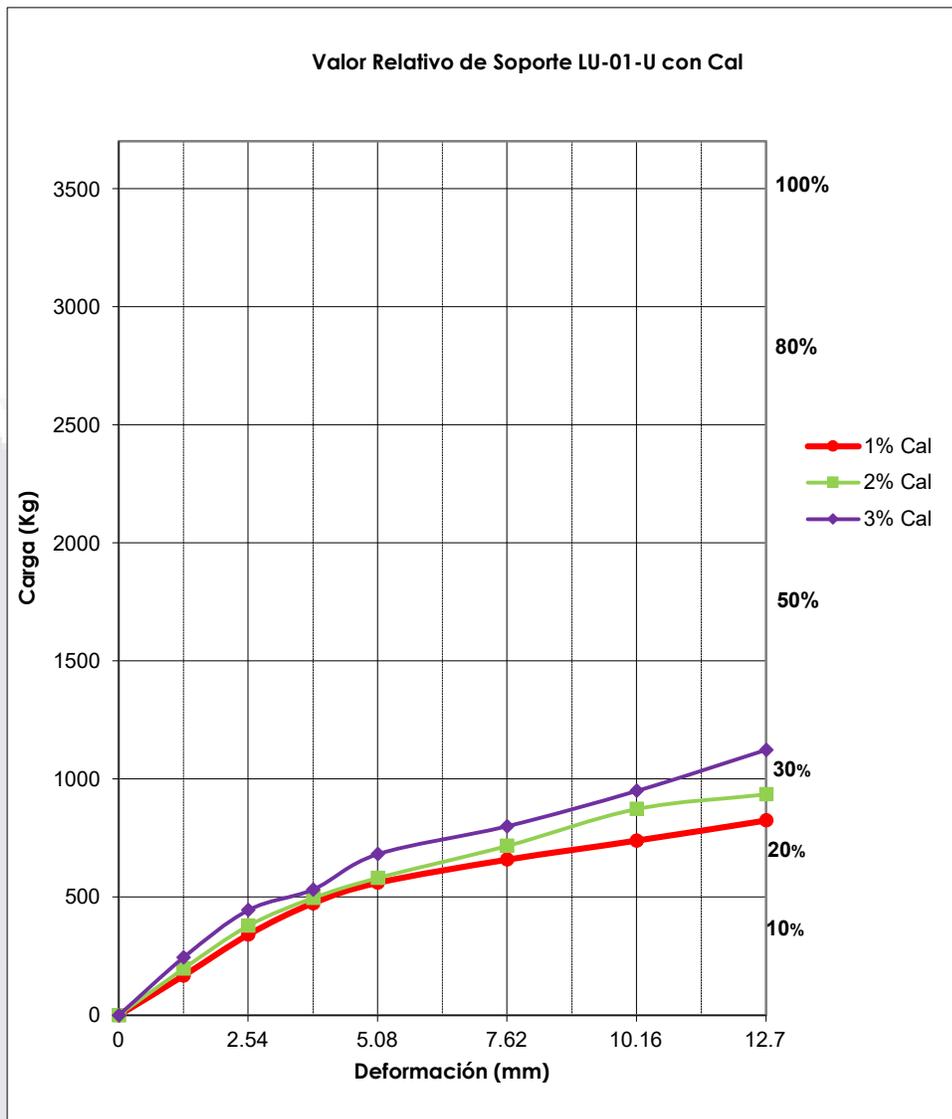


Figura 15. Curva carga-deformación del material base con cal. Elaboración propia.

Del mismo modo, en la tabla 12, se muestran los resultados obtenidos en laboratorio para evaluar la calidad de los materiales.

Tabla 12. VRS y Expansión del suelo base con 1% de cal.

<b>Resultados Mezcla con Cal</b>			
	<b>1% Cal</b>	<b>2% Cal</b>	<b>3% Cal</b>
V.R.S. (%)	25.07	27.87	32.72
Expansión (%)	0.09%	0.10	0.10
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1763.23	1827.20	1808.52
Humedad Óptima (%)	10.1	11.38	11.73
Límite Líquido	29.00	27.00	27.00
Límite Plástico	18.00	19.00	19.00
Índice Plástico	11.00	8.00	8.00

Con base en lo anterior se determinó que las mezclas de suelo base combinadas con el 1%, 2% y 3% de cal, podrían ser consideradas como material de calidad apta para la capa de subrasante de acuerdo con la tabla 9 que muestra los valores mínimos requeridos con base en la normatividad SCT.

### 5.6 Valor relativo de soporte material base combinado con cemento

En la figura 17, se observa el comportamiento de las cargas necesarias para generar las penetraciones o deformaciones para la muestra de suelo base combinada con cemento en diferentes porcentajes (1%,2% y3%), el valor relativo de soporte de las muestras fue de 34.39%, 43.54% y 50.80% respectivamente.

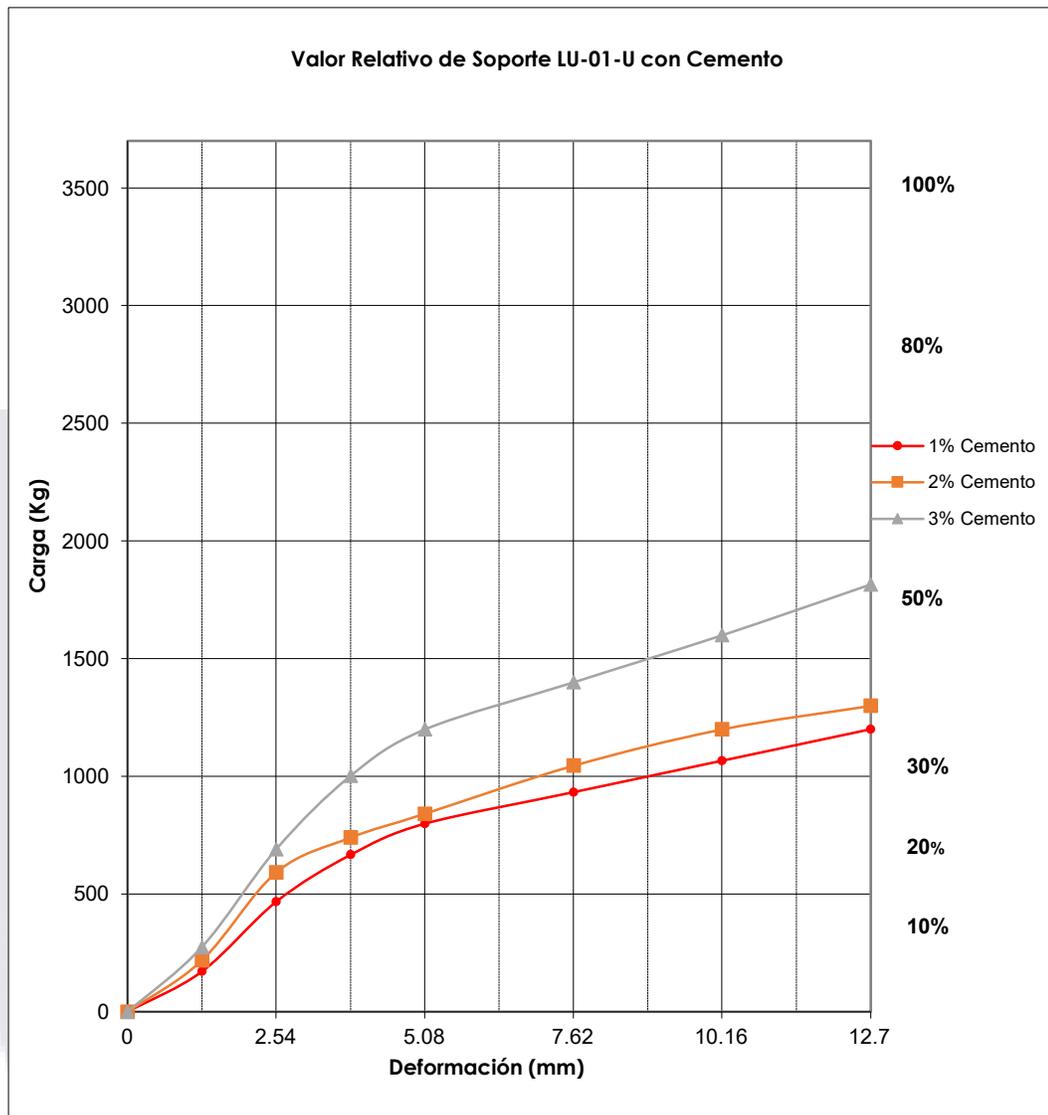


Figura 16. Curva carga-deformación del material base con cemento. Elaboración propia.

Además, se obtuvieron las características geotécnicas para las diferentes muestras de suelo combinado con diferentes porcentajes de cemento que se enmarcan en la tabla 13.

Tabla 13. VRS y Expansión del suelo base con cemento.

<b>Resultados Mezcla con Cemento</b>			
	<b>1% Cemento</b>	<b>2% Cemento</b>	<b>3% Cemento</b>
V.R.S. (%)	34.39	43.54	50.80
Expansión (%)	0.38%	0.40%	0.09%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1666.10	1757.51	1688.81
Humedad Óptima (%)	17.2	18.34	14.94
Límite Líquido	39.00	35.00	35.00
Límite Plástico	16.00	22.00	22.00
Índice Plástico	23.00	13.00	13.00

De acuerdo con los resultados anteriores, el suelo base paso de tener calidad para terraplén con el 1% de cemento agregado, calidad para subrasante cuando se le agrego el 2% y calidad para subbase al agregar el 3%, según los requerimientos mínimos que se mencionaron en la tabla 9.

### 5.7 Valor relativo de soporte material base combinado con el suelo carbonatado AG-02-U

En la figura 17, se observa el comportamiento de la curva de deformación-carga del suelo combinado con 10%, 20% y 30% de masa carbonatada, en la cual se evalúa la carga aplicada al vástago para generar la penetración requerida por la normatividad.

Obteniendo que para una penetración de 2.54mm, el valor de soporte del suelo es del 44.19%, 62.57% y 101.47% respectivamente para cada una de las mezclas.

En la tabla 14, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio para cada una de las muestras.

Tabla 14. VRS y Expansión del suelo base con 10% de AG-02-U.

<b>Resultados Mezcla con AG-02-U</b>			
	<b>10% AG-02-U</b>	<b>20% AG-02-U</b>	<b>30% AG-02-U</b>
V.R.S. (%)	44.19	62.57	101.47
Expansión (%)	0.81%	0.37%	0.37%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1590.23	1554.61	1605.81
Humedad Óptima (%)	15.0	18.82	18.82
Límite Líquido	31.00	33.00	33.00
Límite Plástico	23.00	24.00	24.00
Índice Plástico	8.00	9.00	9.00

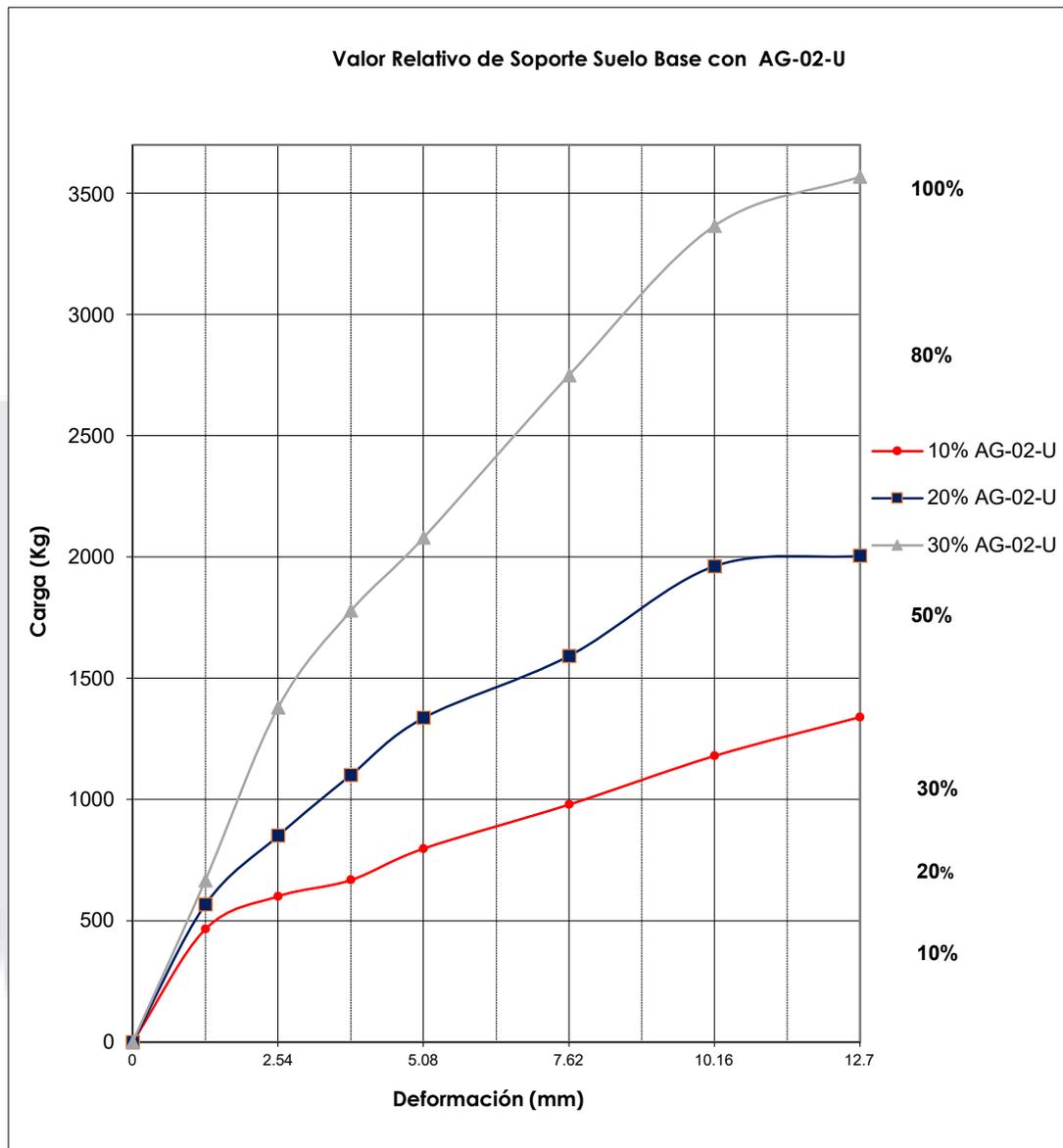


Figura 17. Curva carga-deformación del material base con AG-02-U. Elaboración propia.

Con los resultados anteriores, podemos considerar a la mezcla de suelo como un material de calidad para subrasante (10% de suelo carbonatado), de calidad para subbase y de calidad para base (para el 20% y 30% de suelo carbonatado respectivamente).

### 5.8 Valor relativo de soporte material base combinado con el suelo carbonatado BC-01-U

En la figura 18, se observa el comportamiento de la curva de deformación-carga del suelo combinado con 10%, 20% y 30% de masa carbonatada, en la cual se evalúa la carga aplicada al vástago para generar la penetración requerida por la normatividad.

Obteniendo que para una penetración de 2.54 mm, el valor de soporte del suelo es del 48.11%, 56.62% y 64.71% respectivamente para cada una de las mezclas.

En la tabla 15, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio para cada una de las muestras.

Tabla 15. VRS y Expansión del suelo base con BC-01-U.

<b>Resultados Mezcla con BC-01-U</b>			
	<b>10% BC-01-U</b>	<b>20% BC-01-U</b>	<b>30% BC-01-U</b>
V.R.S. (%)	48.11	56.62	64.71
Expansión (%)	0.20%	0.57%	0.64%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1721.75	1668.48	1844.37
Humedad Óptima (%)	17.4	17.92	17.92
Límite Líquido	34.00	31.00	34.00
Límite Plástico	22.00	20.00	25.00
Índice Plástico	12.00	11.00	9.00

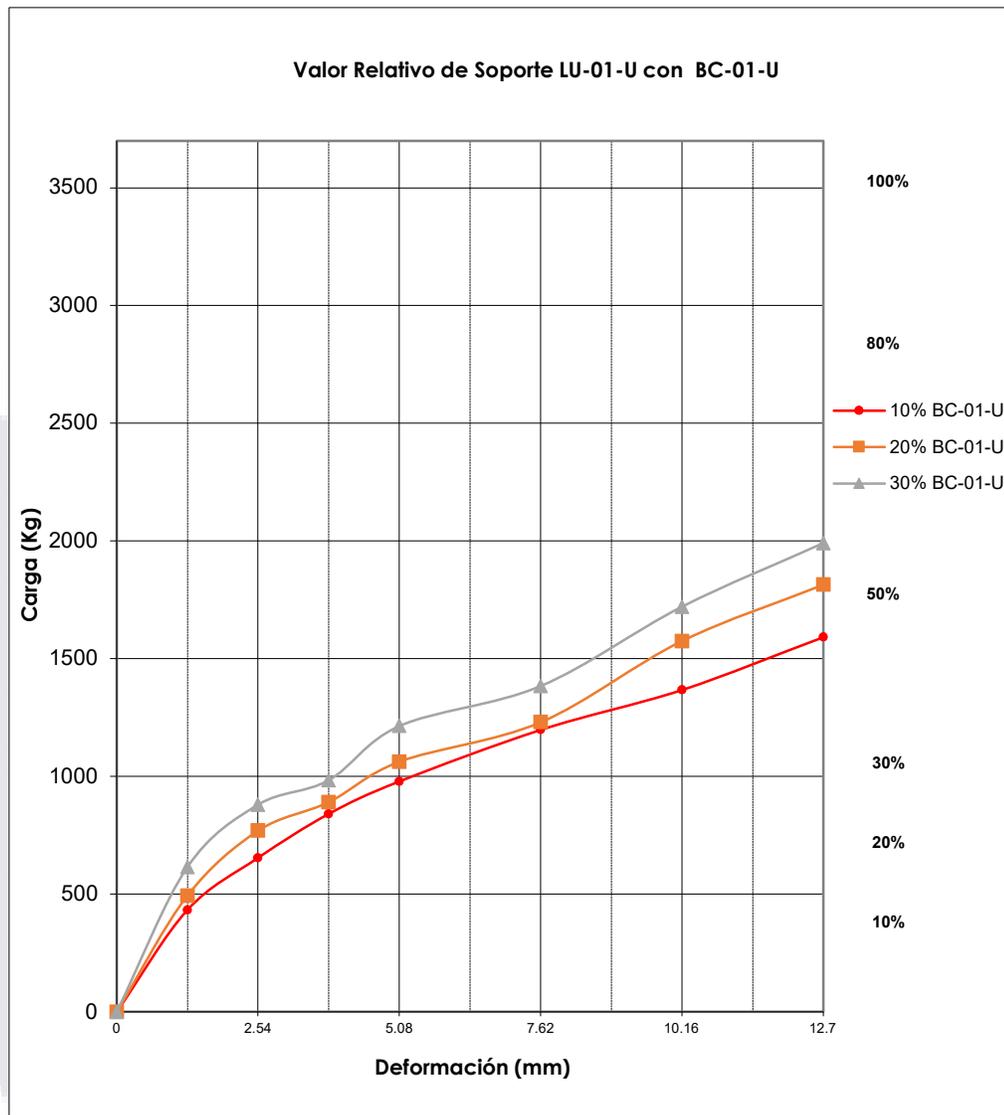


Figura 18. Curva carga-deformación del material base con BC-01-U. Elaboración propia.

Con los resultados anteriores, podemos considerar a la mezcla de suelo como un material de calidad para subrasante (10% de suelo carbonatado) y de calidad para subbase (para el 20% y 30% de suelo carbonatado).

# CAPÍTULO

6

## **DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

## 6.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 6.1 Comparación VRS suelo base y suelos carbonatados

A continuación, se presentarán los resultados correspondientes al valor relativo de soporte para los suelos que sirvieron de base para realizar las mezclas; estos parámetros nos servirán para comparar las variaciones presentadas al realizar los ensayos de las diferentes mezclas.

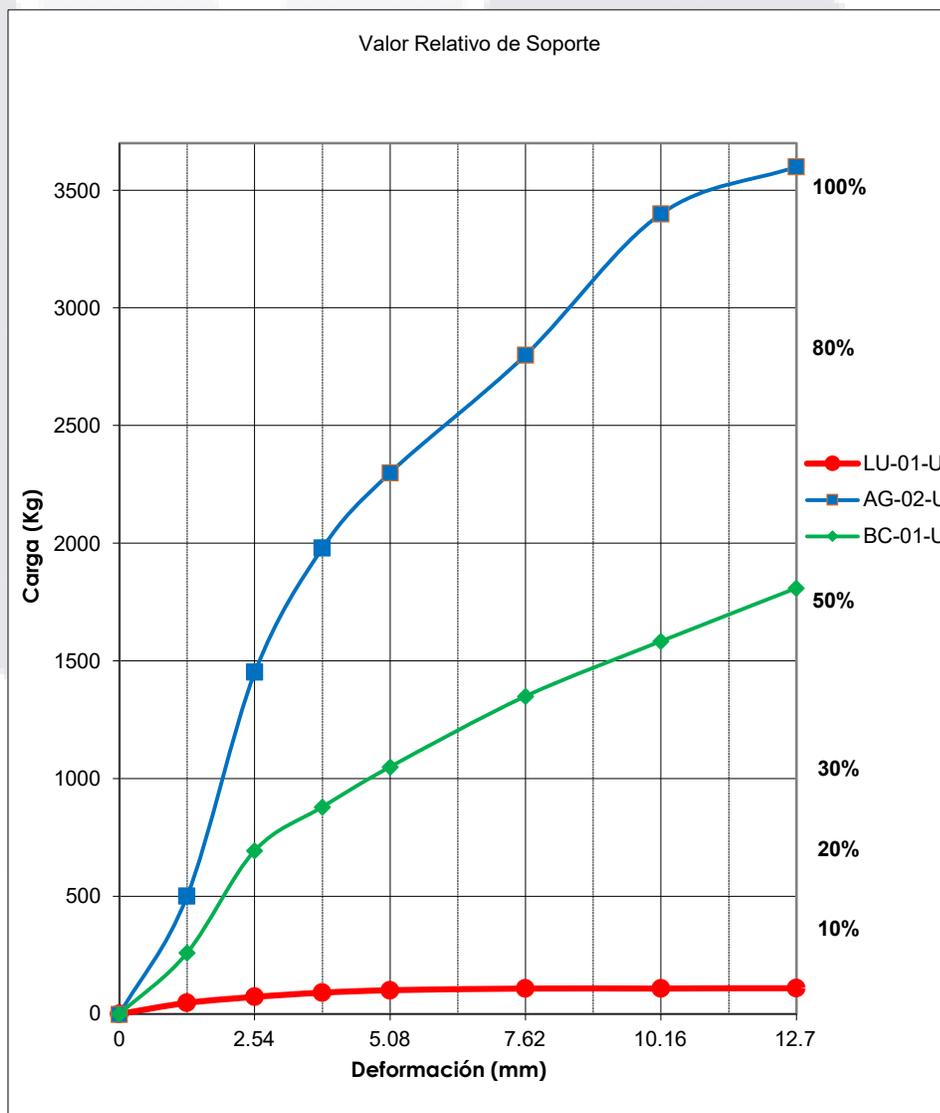


Figura 19. Curva carga-deformación comparación VRS suelos. Elaboración propia.

En el gráfico anterior, se aprecia los materiales que fueron elegidos para llevar a cabo la campaña experimental. La serie roja, corresponde al suelo base (LU-01-U), dicho suelo obtuvo un valor relativo de soporte muy bajo, por lo que se considera un material de mala calidad y que no puede ser utilizado en terraplenes o capas de una terracería.

Por otro lado, las series en color azul y verde corresponden a los suelos con contenido de carbonato de calcio, en estos suelos AG-02-U y BC-01-U, se obtuvo que el 34 % y 13% de su peso correspondía a carbonato de calcio respectivamente. Estos suelos carbonatados, obtuvieron capacidades de carga muy por encima que la mostrada por el suelo base.

Los suelos obtuvieron los siguientes resultados:

*Tabla 16. Resultados VRS de los suelos.*

<b>Suelo</b>	<b>VRS (%)</b>
Suelo base (LU-01-U)	5.37
Suelo carbonatado 1 (AG-02-U)	106.76
Suelo carbonatado 2 (BC-01-U)	51.10

## 6.2 Comparación VRS

En el grafico se muestran los resultados obtenidos en la determinación del valor relativo de soporte de las muestras de suelo combinadas y en su estado original.



Figura 20. Comparación VRS suelos.

Tal y como se ilustra en la figura anterior, el suelo base al que se le adiciona algún agente mejorante experimentó un incremento en su capacidad de carga.

Al añadirse entre 1%, 2% y 3% de cal a la muestra, la capacidad de carga aumento hasta el 25.07%, 27.87% y 32.72 % del valor relativo de soporte, respectivamente, lo cual debe resaltarse, ya que, de ser un material de muy mala calidad, con la capacidad carga resultante al agregar la cal, podría considerarse como un material para terracerías con calidad para subrasante de acuerdo con los requerimientos de la SCT.

Por otro lado, al agregarse cemento al suelo base en misma proporción (1%, 2% y 3%), el valor relativo de soporte se vio incrementado hasta el 34.39%, 43.54% y 50.80%.

El añadir cal y cemento al suelo base, presento muy buenos resultados, ya que, aunado al incremento de su capacidad de carga, el comportamiento volumétrico se mantuvo controlado, es decir la expansión de las muestras no vario considerablemente, sino que se mantuvo siempre por debajo de la unidad.

En este sentido, la cal y el cemento son unos materiales que brindan a los suelos con un comportamiento mecánico deficiente la capacidad de admitir esfuerzos mayores. En los estudios realizados por Das (2013), se mencionaba que al agregar hasta el 5 % de cemento o cal, la capacidad de carga y sus condiciones plásticas de los materiales mejoraban considerablemente, tal y como ocurrió con el suelo LU-01-U.

Para los ensayos con suelos carbonatados en los que se añadió entre 10%, 20% y 30% de suelo carbonatado a la muestra de suelo base. Se obtuvieron estos resultados: para la mezcla con el suelo con carbonato de calcio AG-02-U el valor relativo de soporte paso de tener 5.07% a 44.19%, 62.57% y 101.47% respectivamente. Con el suelo carbonatado 2 (BC-01-U) se obtuvo un incremento del valor de soporte de 48.11%, 56.62% y 64.71% para cada una de las mezclas.

Del mismo modo, como ocurrió con el tepetate mezclado con los sillares que se encuentran en la ciudad de Querétaro, al añadir a un terreno otro suelo, se mejoran sus características físicas y mecánicas, que proporcionan al suelo

de mala calidad, las cualidades necesarias para responder de manera efectiva a las cargas que son aplicadas sobre ellas.

Probablemente, el incremento de las capacidades de carga entre las mezclas de suelos que contenían carbonato de calcio radica en el efecto puzolánico que se presenta cuando se realiza la mezcla del suelo y se hidrata y brinda una mejor cohesión entre las partículas de los suelos, tal y como se comportaron los suelos lacustres de Texcoco al añadirles oxido de calcio.

### 6.3 Expansión

En el grafico se muestran los porcentajes de variación volumétrica que sufrieron las mezclas de suelo en su estado original y mejorado al entrar en contacto con el agua.



Figura 21. Porcentaje de expansión. Elaboración propia.

De acuerdo con la normatividad aplicable a las vías terrestres, la SCT menciona que el porcentaje de expansión en ningún caso deberá ser mayor al 5 %, por lo tanto, se cumple a cabalidad con este parámetro al no rebasar el 1 % en ninguna de las pruebas realizadas.

#### 6.4 Análisis Económico

Para analizar cuál de las mezclas propuestas para el mejoramiento de un suelo es económicamente más viable, debemos idealizar que el material a mejorar se encuentra en la zona de los trabajos a realizar al igual que el suelo carbonatado con el que se realizará la mezcla, aunque también este último se podría encontrar en una distancia muy corta del área de trabajo. Por lo anterior, resulta imprescindible no considerar acarreos externos a la obra, lo que aumentaría y generaría un sobre costo en el mejoramiento de suelos.

En el análisis realizado se toma en cuenta la formación de la capa de subrasante con el uso de equipo mayor para el tendido, homogeneizado y humedecido del material, así como la compactación de la mezcla de suelo mejorado. También los costos por mano de obra e insumos necesarios para su correcta ejecución.

Para conocer el costo de cada una de las mezclas descritas en la metodología de la presente investigación, se realizó el análisis de precios unitarios para cada una de las mezclas, enseguida evaluaremos los precios unitarios de las mezclas que presentaron una mayor capacidad de carga: suelo base con 3 % de cal, suelo base con 3 % de cemento, suelo base con 30 % de AG-02-U y suelo base con 30 % de BC-01-U.

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 3						
Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cal al 3%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.						Unidad : m3
						Cantidad : 1.00
						Precio unitario : \$ 139.02
						Total : \$ 139.02
Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CAL01	Cal Hidratada	kg	30.00000	\$ 2.21	\$ 66.30
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 122.31</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
Costo Directo						\$ 128.07
Indirecto de Oficina		0.00%				\$ 0.00
Indirecto de Obra		0.00%				\$ 0.00
Financiamiento		0.00%				\$ 0.00
Utilidad		8.00%				\$ 10.25
Cargos Adicionales		0.50%				\$ 0.70
Precio Unitario						\$ 139.02

\*\* CIENTO TREINTA Y NUEVE PESOS 02/100 M.N. \*\*

Figura 22. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 3% de cal. Elaboración propia.

En la figura 21, se muestra el precio unitario para la mezcla de suelo base con el 3 % de cal que fue de \$ 139.02 pesos por metro cúbico.

Del mismo modo, para la mezcla de suelo con el 3% de cemento se obtuvo un precio unitario de \$ 182.71 pesos por metro cúbico, como se muestra en la figura 22.

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 6						
Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cemento al 3%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.						Unidad : m3
						Cantidad : 1.00
						Precio unitario : \$ 182.71
						Total : \$ 182.71
Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CEM01	Cemento Gris	kg	36.00000	\$ 2.96	\$ 106.56
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 162.57</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
Costo Directo				168.330000		\$ 168.33
Indirecto de Oficina		0.00%		168.33		\$ 0.00
Indirecto de Obra		0.00%		168.33		\$ 0.00
Financiamiento		0.00%		168.33+0.00+0.00		\$ 0.00
Utilidad		8.00%		168.33+0.00+0.00+0.00		\$ 13.47
Cargos Adicionales		0.50%		(168.33+0.00+0.00+0.00+13.47)/(1-0.005)		\$ 0.91
<b>Precio Unitario</b>				168.33+0.00+0.00+0.00+13.47+0.91		<b>\$ 182.71</b>

\*\* CIENTO OCHENTA Y DOS PESOS 71/100 M.N. \*\*

Figura 23. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 3% de cemento. Elaboración propia.

Para las mezclas de terrenos con el 30 % de los suelos carbonatados AG-02-U y BC-01-U, se obtuvo que el precio unitario fue de \$80.75 y 79.38 pesos por metro cúbico respectivamente, como se muestra en la figura 23 y 24.

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 9						
Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 30%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.						Unidad : m3
						Cantidad : 1.00
						Precio unitario : \$ 80.75
						Total : \$ 80.75
Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
	SC01	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1628.79 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.30000	\$ 42.09	\$ 12.63
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 68.64</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
Costo Directo				74.400000		\$ 74.40
Indirecto de Oficina			0.00%	74.40		\$ 0.00
Indirecto de Obra			0.00%	74.40		\$ 0.00
Financiamiento			0.00%	74.40+0.00+0.00		\$ 0.00
Utilidad			8.00%	74.40+0.00+0.00+0.00		\$ 5.95
Cargos Adicionales			0.50%	(74.40+0.00+0.00+0.00+5.95)(1-0.005)		\$ 0.40
Precio Unitario				74.40+0.00+0.00+0.00+5.95+0.40		\$ 80.75

\*\* OCHENTA PESOS 75/100 M.N. \*\*

Figura 24. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 30% de AG-02-U. Elaboración propia.

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 12						
Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 30%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.						Unidad : m3
						Cantidad : 1.00
						Precio unitario : \$ 79.38
						Total : \$ 79.38
Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	SC02	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1656.82 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.27000	\$ 42.09	\$ 11.36
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 67.37</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
Costo Directo				73.130000		\$ 73.13
Indirecto de Oficina			0.00%	73.13		\$ 0.00
Indirecto de Obra			0.00%	73.13		\$ 0.00
Financiamiento			0.00%	73.13+0.00+0.00		\$ 0.00
Utilidad			8.00%	73.13+0.00+0.00+0.00		\$ 5.85
Cargos Adicionales			0.50%	(73.13+0.00+0.00+0.00+5.85)(1-0.005)		\$ 0.40
Precio Unitario				73.13+0.00+0.00+0.00+5.85+0.40		\$ 79.38
** SETENTA Y NUEVE PESOS 38/100 M.N. **						

Figura 25. Precio Unitario por m3 de la mezcla de suelo base con el 30% de BC-01-U. Elaboración propia.

En la tabla 17, se muestran los costos por m<sup>3</sup> de material mejorado cuyo análisis de precio unitario se encuentra en los anexos del presente documento.

La mezcla con suelos carbonatados resultó ser más barata que cuando se le añade algún conglomerante como la cal y el cemento. El precio entre las mezclas que contienen suelos carbonatados es muy similar debido a que el peso volumétrico de ellos es muy parecido, por ello se observan pequeñas variaciones ya que el volumen a agregar está en función de su peso.

Tabla 17. Costo de las mezclas, precios promedio para el mes de mayo 2021.

Agente	Costo por m <sup>3</sup>
Cal 1%	\$ 91.04
Cal 2%	\$ 115.03
Cal 3%	\$ 139.02
Cemento 1%	\$ 105.60
Cemento 2%	\$ 144.15
Cemento 3%	\$ 128.43
Suelo con 10% AG-02-U	\$ 71.62
Suelo con 20% AG-02-U	\$ 76.19
Suelo con 30% AG-02-U	\$ 80.75
Suelo con 10% BC-01-U	\$ 71.16
Suelo con 20% BC-01-U	\$ 75.28
Suelo con 30% BC-01-U	\$ 79.38

De esta forma, se podría establecer que resultaría viable usar el mejoramiento de suelos con terrenos naturalmente cementados, con contenido de carbonato de calcio, ya que la mayor capacidad de carga presentada por la cal o el cemento se asemeja al resultado obtenido por el 10% de suelo carbonatado añadido.

En este sentido, estaríamos generando un ahorro de hasta el 60% de los costos al usar mezclas con suelos carbonatados y resultaría una opción viable técnica y económicamente. Sin embargo, encontrar un punto de extracción de material que contenga carbonato de calcio puede resultar difícil y habría que realizar una serie de pruebas para determinar el porcentaje de concentración, además el volumen requerido para realizar la mejora de resultaría poco asequible en una obra de grandes dimensiones.

# CAPÍTULO

7



## **CONCLUSIONES**

## 7. CONCLUSIONES

### 7.1 Conclusión General

Como se ha demostrado con la experimentación realizada en esta investigación, podemos afirmar que los suelos con contenido de carbonato de calcio brindan al suelo pobre (en términos de material utilizable para vías de comunicación) características físicas y químicas que lo permiten mejorar mecánicamente. Los suelos con contenido natural de carbonato de calcio presentaron un mejor resultado que las mezclas de suelo combinadas con cal y cemento en proporciones de 1 y 3%, aumentando hasta en un 60% la capacidad de carga del suelo base.

En esta investigación, la dosificación del suelo combinado con un material naturalmente cementado con carbonato de calcio resultó de agregar 30% del suelo carbonatado 1 (AG-02-U), que contenía un 34% de carbonato de calcio.

Debido a lo anterior, combinar suelos con terrenos naturalmente cementados podría ser una alternativa viable técnica y económicamente debido a la contribución en el aumento de la capacidad de carga, la disminución en los límites líquidos y plástico, así como el bajo costo que mantendría este proceso constructivo siempre y cuando los materiales se encuentren a pie de obra, de lo contrario la alternativa seguiría siendo viable técnicamente pero no económica.

## 7.2 Conclusiones Particulares

- A. La capacidad de carga adquirida por el suelo al ser mejorado con suelos naturalmente cementados con carbonato de calcio permite que éste último funja como un conglomerante que brinda a las partículas una mayor unión que las hace más resistentes a los esfuerzos que actúan sobre ellas.
- B. Al agregar entre el 20% y 30% de suelo carbonatado arrojó los mejores resultados en cuanto a la capacidad de carga se refiere.
- C. Para realizar la mezcla de suelo con un material con carbonato de calcio es necesario contar con ambos obra, ya que el costo de extracción y transportación elevaría los costos y el tiempo de ejecución y se debería optar por el uso de cal o cemento.

## 7.3 Nichos de investigación

Como temas para futuras investigaciones que se desprenden de la presente, podrían desarrollarse estudios explicar cómo es que se mejora la capacidad de carga al realizar estas mezclas de suelo (si modifica las características físicas y químicas del suelo base). Además, al tener una reacción puzolánica el carbonato de calcio, convendría evaluar como el curado en intervalos de tiempo podría ayudar en el aumento de la capacidad de carga.

## FUENTES DE CONSULTA

- Chang , R., College , W. (2002). *Química*. McGraw-Hill.
- Choi, S. G., Park, S. S., Wu, S., Chu, J. (2017). Methods for Calcium Carbonate Content Measurement of Bio cemented Soils. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(11), 06017015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002064](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002064)
- Das, B. M. (2013). *Fundamentals of geotechnical engineering* (4th ed). Stamford, CT: Cengage Learning.
- Frías-Guzmán, D. H., Hernández-Marín, M. (2019). Experimental Study on Tensile Strength of Undisturbed and Disturbed Sandy Soil Samples from Aguascalientes Valley, Mexico. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(2), 833-843. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0653-1>
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson.
- Hernández Ávila, J., Salinas Rodríguez, E., Blanco Piñón, A., Cerecero Sáenz, E., Rodríguez Lugo, V. (2014). *Carbonato de calcio en México: características geológicas, mineralógicas y aplicaciones*. OmniaScience.
- International Soil Reference and Information Centre Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). *Procedures for soil analysis*.
- Kassim, J. K. (2013). Method for Estimation of Calcium Carbonate in Soils from Iraq. *International Journal of Environment*, 1(1), 9-19. <https://doi.org/10.3126/ije.v1i1.8524>
- Kim, T.-H., Hwang, C. (2003). Modeling of tensile strength on moist granular earth material at low water content. *Engineering Geology*, 69(3-4), 233-244. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00284-3](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00284-3)
- Laboratorio de Edafología. Carbonatos. UNAM.
- Lambe, W., Whitman, R. (1972). *Mecánica de Suelos*. LIMUSA.

- Liu, Y., Chang, C. W., Namdar, A., She, Y., Lin, C. H., Yuan, X., Yang, Q. (2019). Stabilization of expansive soil using cementing material from rice husk ash and calcium carbide residue. *Construction and Building Materials*, 221, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.157>
- M-MMP-06/03 (2003). Métodos de muestreo y pruebas de materiales. Parte 1: Suelos y materiales para terracerías. Granulometría de materiales compactables para terracerías. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- M-MMP-11/08 (2008). Métodos de muestreo y pruebas de materiales. Parte 1: Suelos y materiales para terracerías. Valor relativo de California y expansión. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- N-CMT-1-01/02 (2002). Características de los materiales. Parte 1: Materiales para terracerías. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- N-CMT-4-02-001/11 (2002). Características de los materiales. Parte 4: Materiales para pavimentos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Ogundare, D. A., Familusi, A. O., Osunkunle, A. B., Olusami, J. O. (2018). Utilization of Geotextile for Soil Stabilization. *American Journal of Engineering Research*, 9.
- Paul Garnica Anguas, Guadalupe Evangelina Itandehui Martínez Peña, Edgar Jair Prado Cardona. (2003). Aspectos resistencia a la tensión y fatiga de suelos estabilizados con cal.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., y Thornburn, T. H. (2004). Ingeniería de cimentaciones. LIMUSA.
- Pedro Mateo Armendáriz Márquez. (2012). Materiales de alta densidad utilizando tepetate. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Síntesis geográfica de Aguascalientes. (1981). México, D.F: Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.

Taylor, D. W. (1961). Principios fundamentales de mecánica de suelos.  
Ciudad de México: Compañía Editorial Continental S.A.



**ANEXOS**



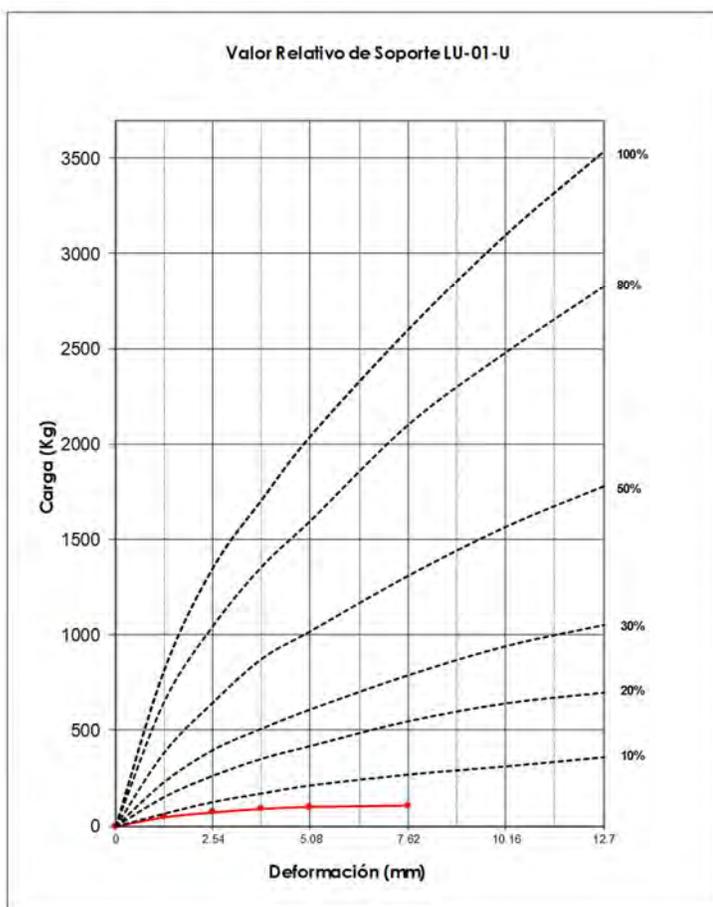


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



TEMA TESIS:	MEJORAMIENTO P POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café



Datos	
MOLDE	1
Masa Seca	
Masa húmeda	3988
Agua agregada	
Altura molde	12.65
Altura faltante	2.24
Altura del material	10.41
Área (cm²)	194.83
Volúmen (cm³)	2028.2
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	1966
Masa Volumétrica Seca	1747
Húmedad Óptima	12.56
Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	48.00
2.54	73.00
3.81	91.00
5.08	101.00
7.62	108.00
10.16	0.00
12.7	0.00
Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	4.39
Lectura Final	4.36
Diferencia	0.03
% de Expansión	0.29%
Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
Masa tara + muestra húmeda (g)	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	544.2
Masa del agua (g)	55.8
Masa de muestra seca (g)	444.2
% de humedad	12.56

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	5.37
% de Expansión	0.29%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1746.86
Húmedad Óptima (%)	12.6
Límite Líquido	58.48
Límite Plástico	19.61
Índice Plástico	38.87

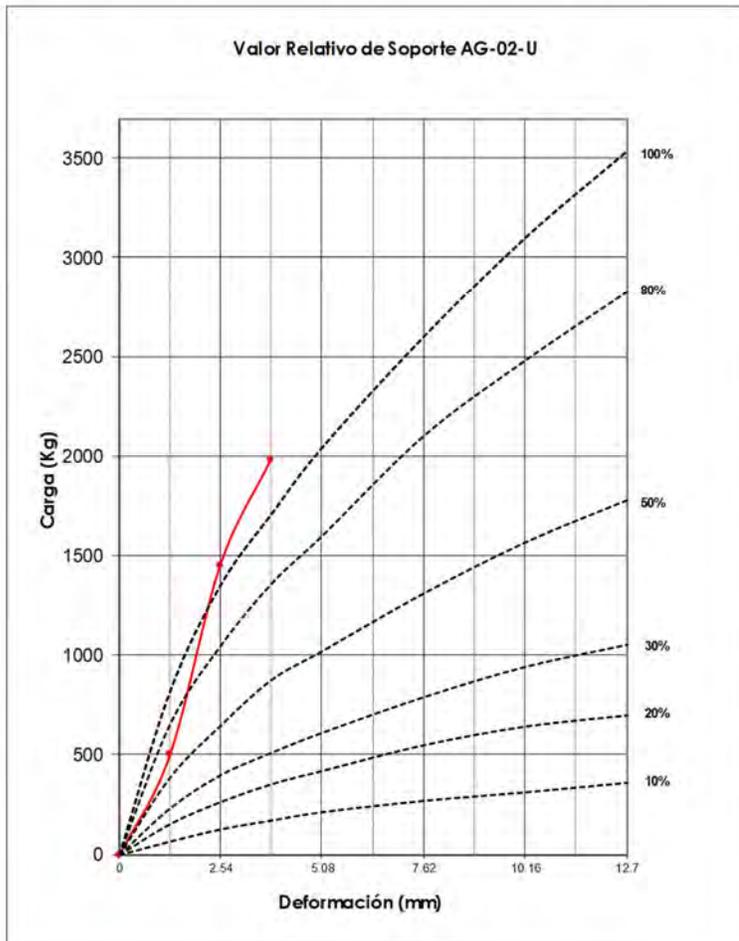


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	AG-02-U
Caract. del material:	Tepetate Rojizo Con Carbonatos AG-02-U



Datos	
MOLDE	13
Masa Seca	
Masa húmeda	3878
Agua agregada	
Altura molde	12.75
Altura faltante	2.05
Altura del material	10.7
Área (cm <sup>2</sup> )	194.70
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	2083.3
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1861
Masa Volumétrica Seca	1629
Húmedad Óptima	14.29

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	500.00
2.54	1452.00
3.81	1979.00
5.08	0.00
7.62	0.00
10.16	0.00
12.7	0.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	2.63
Lectura Final	2.60
Diferencia	0.03
% de Expansión	0.28%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	537.5
Masa del agua (g)	62.5
Masa de muestra seca (g)	437.5
% de humedad	14.29

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	106.76
% de Expansión	0.28%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1628.79
Húmedad Óptima (%)	14.3
Límite Líquido	25.00
Límite Plástico	18.00
Índice Plástico	7.00

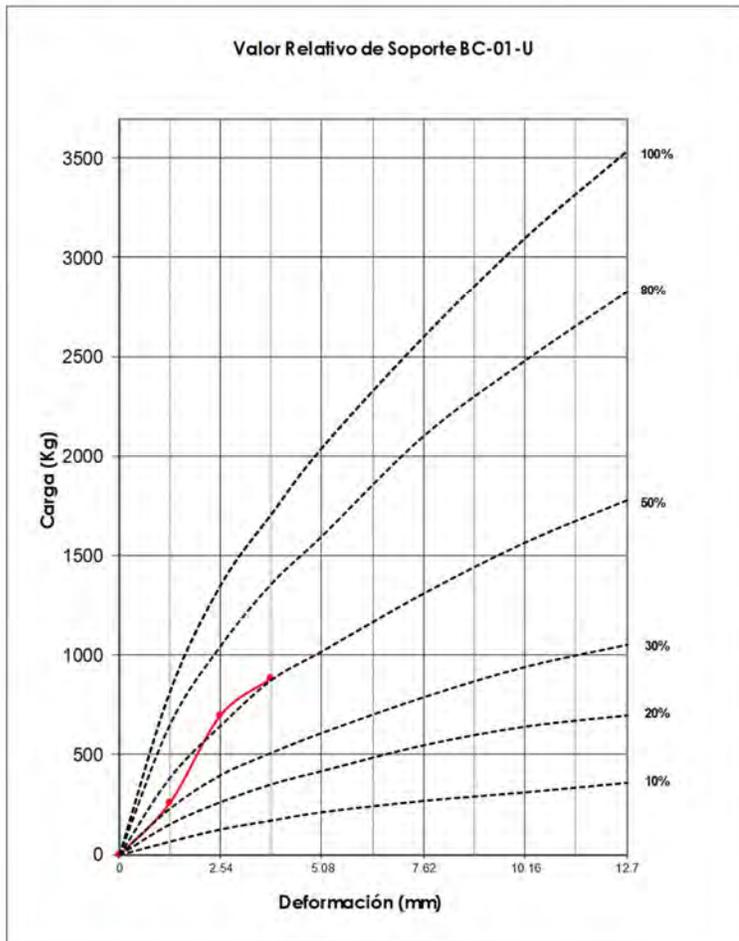


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	BC-01-U
Caract. del material:	Tepetate café con Carbonatos SC2



Datos	
MOLDE	4
Masa Seca	
Masa húmeda	3988
Agua agregada	
Altura molde	12.52
Altura faltante	1.9
Altura del material	10.62
Área (cm²)	194.33
Volúmen (cm³)	2063.8
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	1932
Masa Volumétrica Seca	1657
Húmedad Óptima	16.63

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	260.00
2.54	695.00
3.81	879.80
5.08	
7.62	
10.16	
12.7	

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.80
Lectura Final	3.80
Diferencia	0.00
% de Expansión	0.00%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	528.7
Masa del agua (g)	71.3
Masa de muestra seca (g)	428.7
% de humedad	16.63

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	51.10
% de Expansión	0.00%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1656.82
Húmedad Óptima (%)	16.6
Límite Líquido	31.00
Límite Plástico	22.00
Índice Plástico	9.00

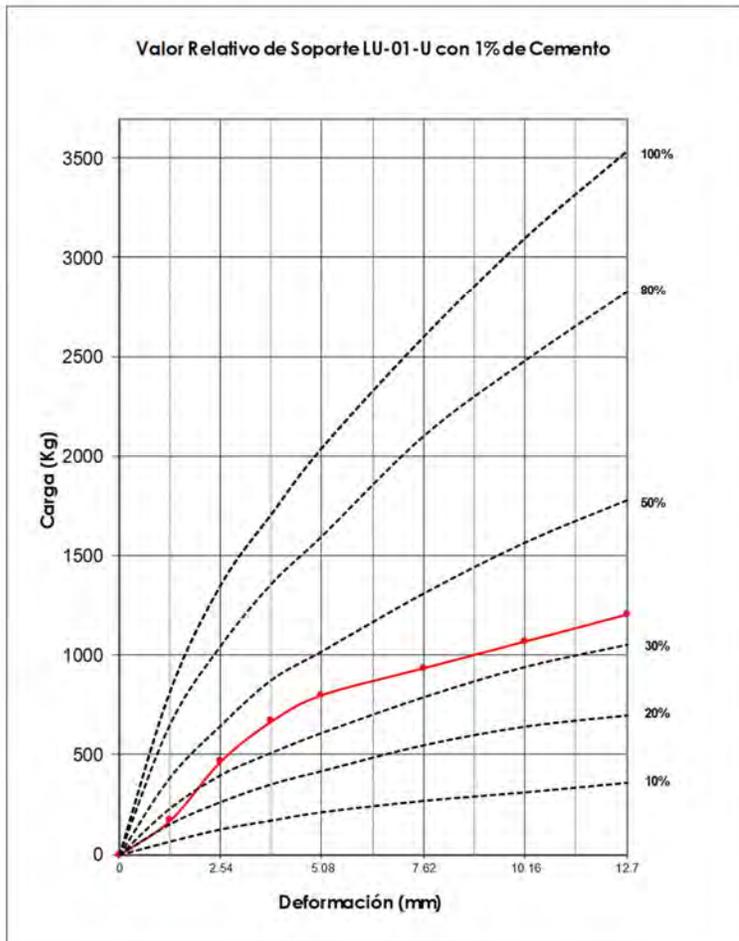


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado con 1% de cemento Portland ordinario



Datos	
MOLDE	2
Masa Seca	
Masa húmeda	3991
Agua agregada	
Altura molde	12.62
Altura faltante	2.13
Altura del material	10.49
Área (cm <sup>2</sup> )	194.83
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	2043.8
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1953
Masa Volumétrica Seca	1666
Húmedad Óptima	17.21

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	171.55
2.54	467.65
3.81	667.40
5.08	799.00
7.62	932.95
10.16	1066.90
12.7	1200.85

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	4.12
Lectura Final	4.08
Diferencia	0.04
% de Expansión	0.38%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	526.6
Masa del agua (g)	73.4
Masa de muestra seca (g)	426.6
% de humedad	17.21

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	34.39
% de Expansión	0.38%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1666.10
Húmedad Óptima (%)	17.2
Límite Líquido	39.00
Límite Plástico	16.00
Índice Plástico	23.00

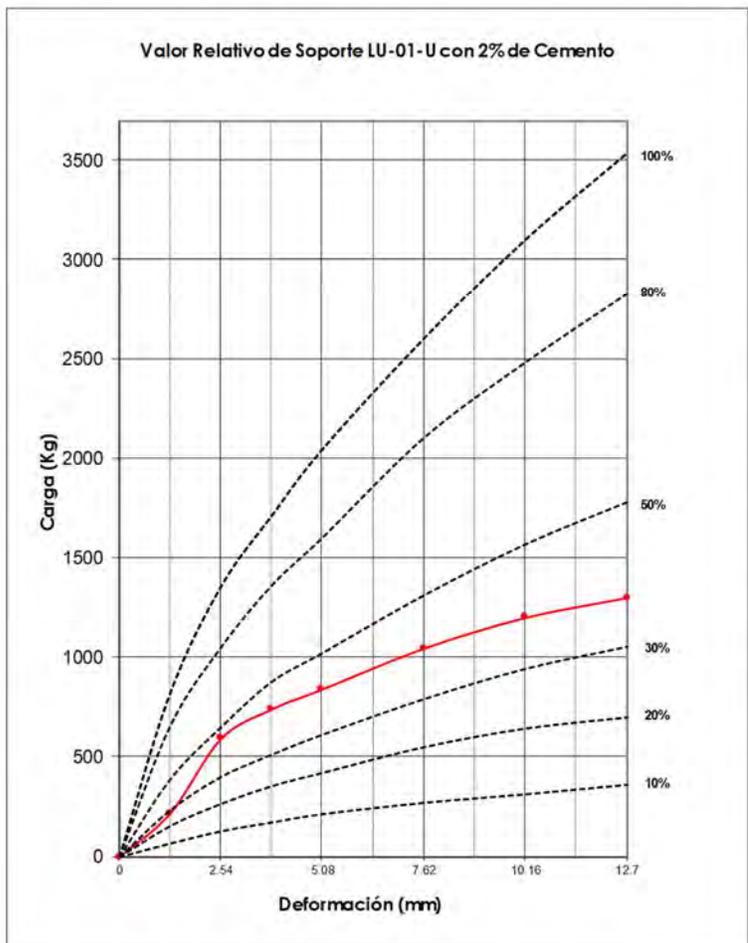


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado con 2% de cemento Portland ordinario



Datos	
MOLDE	3
Masa Seca	
Masa húmeda	4000
Agua agregada	
Altura molde	12.60
Altura faltante	2.54
Altura del material	10.06
Área (cm <sup>2</sup> )	191.17
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	1923.2
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	2080
Masa Volumétrica Seca	1758
Húmedad Óptima	18.34

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	218.55
2.54	592.20
3.81	740.25
5.08	841.30
7.62	1045.68
10.16	1200.00
12.7	1300.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.92
Lectura Final	3.88
Diferencia	0.04
% de Expansión	0.40%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	522.5
Masa del agua (g)	77.5
Masa de muestra seca (g)	422.5
% de humedad	18.34

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	43.54
% de Expansión	0.40%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1757.51
Húmedad Óptima (%)	18.3
Límite Líquido	35.00
Límite Plástico	22.00
Índice Plástico	13.00

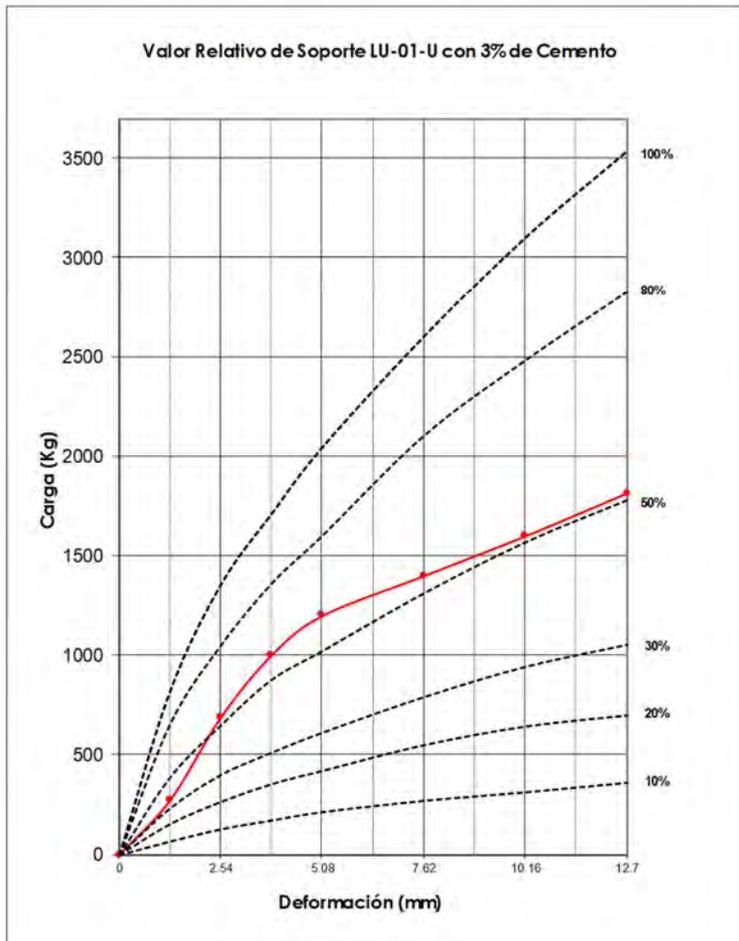


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	<b>MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS</b>	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	<b>LUN-01-U</b>
Caract. del material:	<b>Tepetate café mezclado con 3% de cemento Portland ordinario</b>



Datos	
MOLDE	4
Masa Seca	
Masa húmeda	4000
Agua agregada	
Altura molde	12.94
Altura faltante	2.54
Altura del material	10.55
Área (cm²)	195.32
Volúmen (cm³)	2060.6
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	1941
Masa Volumétrica Seca	1689
Húmedad Óptima	14.94

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	274.95
2.54	690.90
3.81	1002.22
5.08	1200.00
7.62	1400.00
10.16	1600.00
12.7	1815.20

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	4.58
Lectura Final	4.57
Diferencia	0.01
% de Expansión	0.09%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	535.0
Masa del agua (g)	65.0
Masa de muestra seca (g)	435.0
% de humedad	14.94

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	<b>50.80</b>
% de Expansión	<b>0.09%</b>
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	<b>1688.81</b>
Húmedad Óptima (%)	<b>14.9</b>
Límite Líquido	<b>35.00</b>
Límite Plástico	<b>22.00</b>
Índice Plástico	<b>13.00</b>

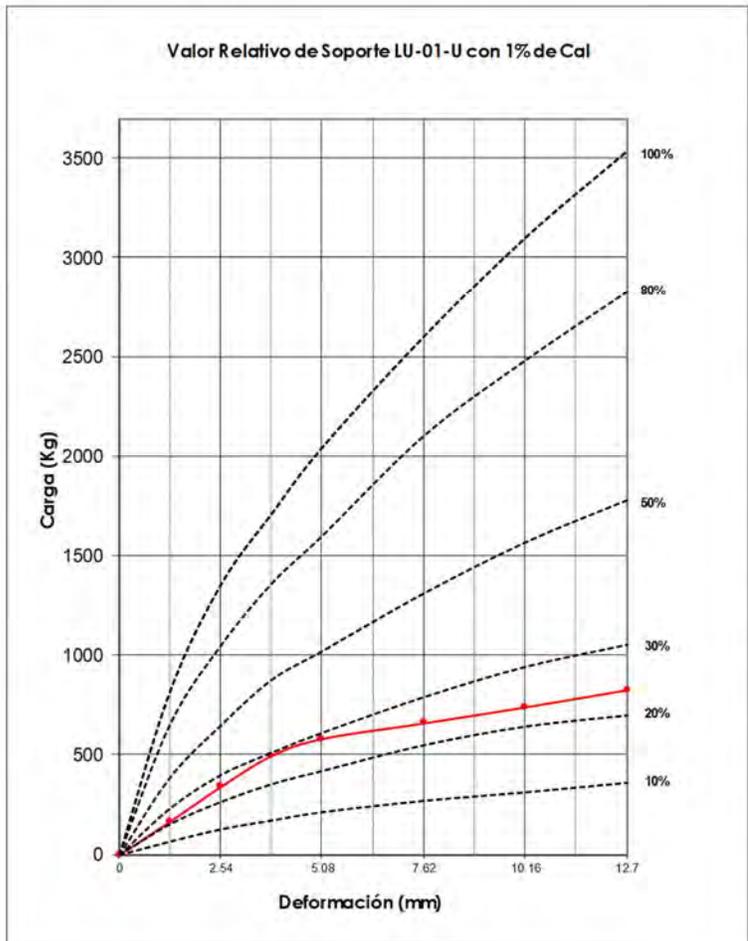


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado con 1% de Cal



Datos	
MOLDE	10
Masa Seca	
Masa húmeda	3981
Agua agregada	
Altura molde	12.60
Altura faltante	2.05
Altura del material	10.55
Área (cm <sup>2</sup> )	194.32
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	2050.1
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1942
Masa Volumétrica Seca	1763
Húmedad Óptima	10.13

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	167.20
2.54	341.00
3.81	496.00
5.08	581.00
7.62	659.00
10.16	739.00
12.7	825.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.70
Lectura Final	3.69
Diferencia	0.01
% de Expansión	0.09%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	554.0
Masa del agua (g)	46.0
Masa de muestra seca (g)	454.0
% de humedad	10.13

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	25.07
% de Expansión	0.09%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1763.23
Húmedad Óptima (%)	10.1
Límite Líquido	29.00
Límite Plástico	18.00
Índice Plástico	11.00

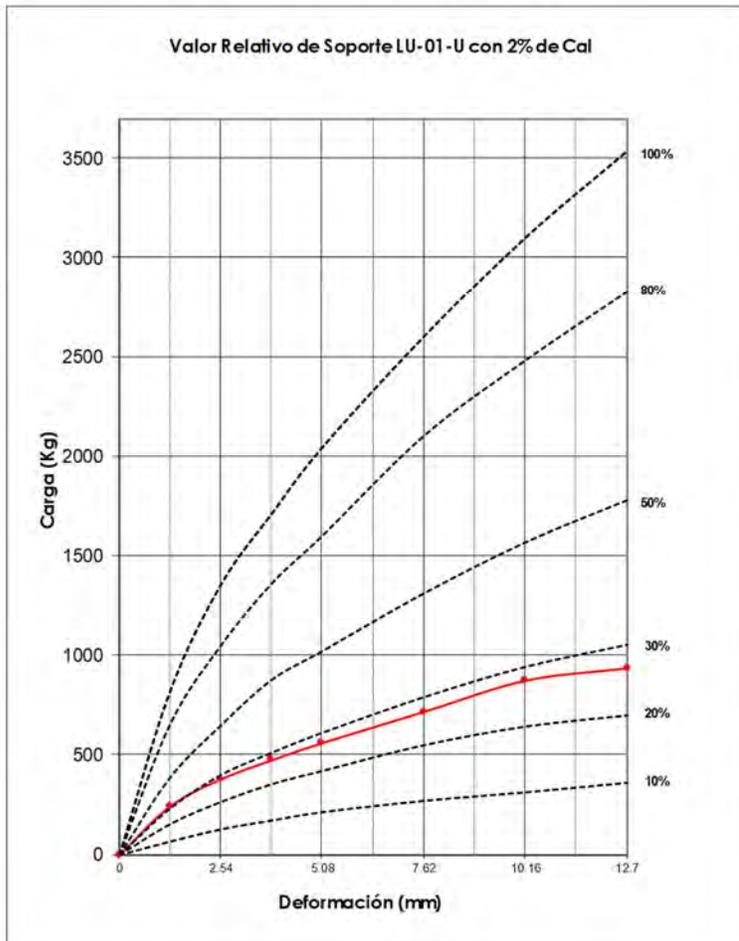


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	<b>MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS</b>	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	<b>LUN-01-U</b>
Caract. del material:	<b>Tepetate café mezclado con 2% de Cal</b>



Datos	
MOLDE	21
Masa Seca	
Masa húmeda	3985
Agua agregada	
Altura molde	12.64
Altura faltante	2.59
Altura del material	10.05
Área (cm²)	194.83
Volúmen (cm³)	1958.0
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	2035
Masa Volumétrica Seca	1827
Húmedad Óptima	11.38

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	244.00
2.54	379.00
3.81	474.00
5.08	561.00
7.62	717.00
10.16	873.00
12.7	935.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.23
Lectura Final	3.22
Diferencia	0.01
% de Expansión	0.10%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	548.9
Masa del agua (g)	51.1
Masa de muestra seca (g)	448.9
% de humedad	11.38

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	<b>27.87</b>
% de Expansión	<b>0.10%</b>
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	<b>1827.20</b>
Húmedad Óptima (%)	<b>11.4</b>
Límite Líquido	<b>27.00</b>
Límite Plástico	<b>19.00</b>
Índice Plástico	<b>8.00</b>

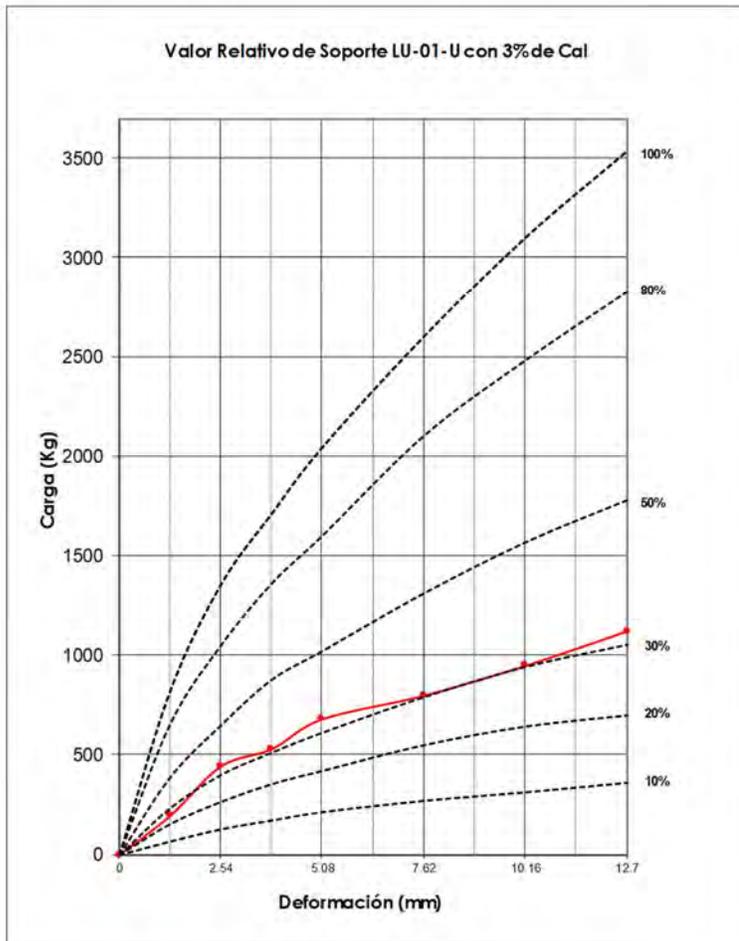


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado con 3% de Cal



Datos	
MOLDE	14
Masa Seca	
Masa húmeda	3994
Agua agregada	
Altura molde	12.60
Altura faltante	2.39
Altura del material	10.21
Área (cm <sup>2</sup> )	193.59
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	1976.6
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	2021
Masa Volumétrica Seca	1809
Húmedad Óptima	11.73

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	197.00
2.54	445.00
3.81	532.00
5.08	682.00
7.62	800.00
10.16	950.00
12.7	1123.20

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.23
Lectura Final	3.22
Diferencia	0.01
% de Expansión	0.10%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	547.5
Masa del agua (g)	52.5
Masa de muestra seca (g)	447.5
% de humedad	11.73

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	32.72
% de Expansión	0.10%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1808.52
Húmedad Óptima (%)	11.7
Límite Líquido	27.00
Límite Plástico	19.00
Índice Plástico	8.00

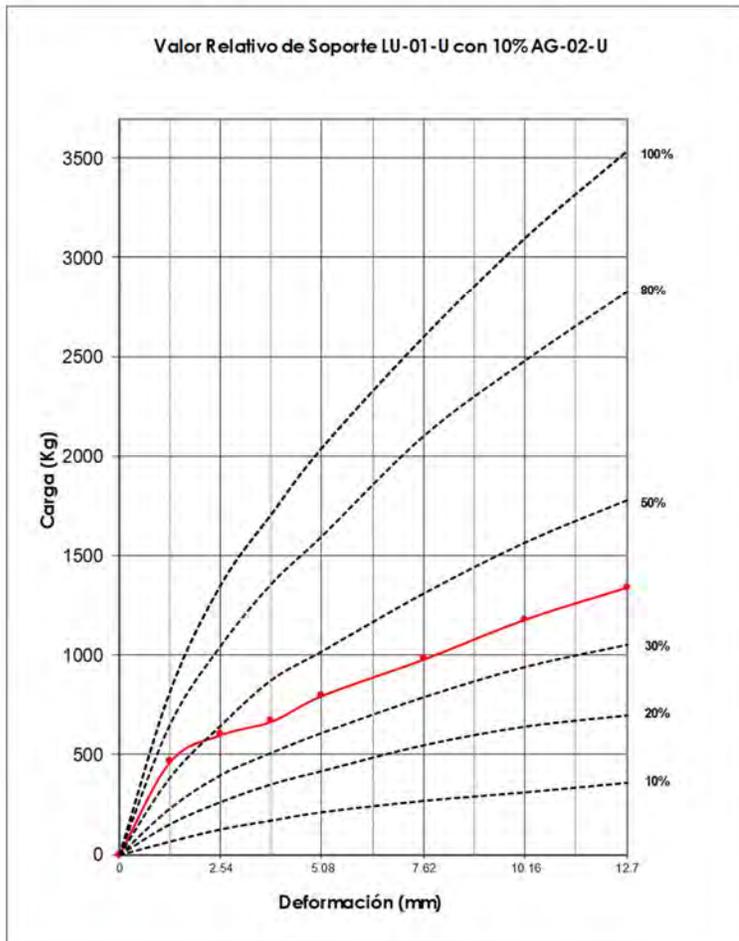


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado 10% SC1



Datos	
MOLDE	9
Masa Seca	
Masa húmeda	3988
Agua agregada	
Altura molde	12.33
Altura faltante	1.21
Altura del material	11.12
Área (cm <sup>2</sup> )	196.07
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	2180.3
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1829
Masa Volumétrica Seca	1590
Húmedad Óptima	15.02

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	466.00
2.54	601.00
3.81	668.50
5.08	798.00
7.62	980.00
10.16	1180.00
12.7	1340.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	2.82
Lectura Final	2.73
Diferencia	0.09
% de Expansión	0.81%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	534.7
Masa del agua (g)	65.3
Masa de muestra seca (g)	434.7
% de humedad	15.02

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	44.19
% de Expansión	0.81%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1590.23
Húmedad Óptima (%)	15.0
Límite Líquido	31.00
Límite Plástico	23.00
Índice Plástico	8.00

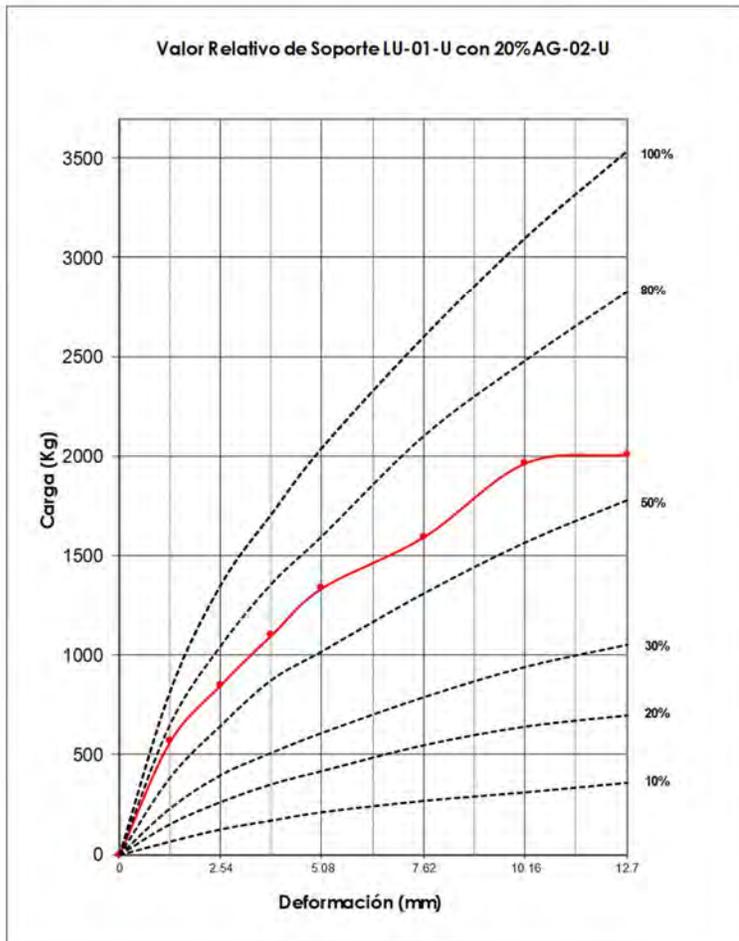


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado 10% SC1



Datos	
MOLDE	18
Masa Seca	
Masa húmeda	3975
Agua agregada	
Altura molde	12.48
Altura faltante	1.55
Altura del material	10.93
Área (cm <sup>2</sup> )	196.88
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	2151.9
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	1847
Masa Volumétrica Seca	1555
Húmedad Óptima	18.82

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	567.00
2.54	851.00
3.81	1101.00
5.08	1337.00
7.62	1592.00
10.16	1962.00
12.7	2005.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.08
Lectura Final	3.04
Diferencia	0.04
% de Expansión	0.37%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	520.8
Masa del agua (g)	79.2
Masa de muestra seca (g)	420.8
% de humedad	18.82

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	62.57
% de Expansión	0.37%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1554.61
Húmedad Óptima (%)	18.8
Límite Líquido	33.00
Límite Plástico	24.00
Índice Plástico	9.00

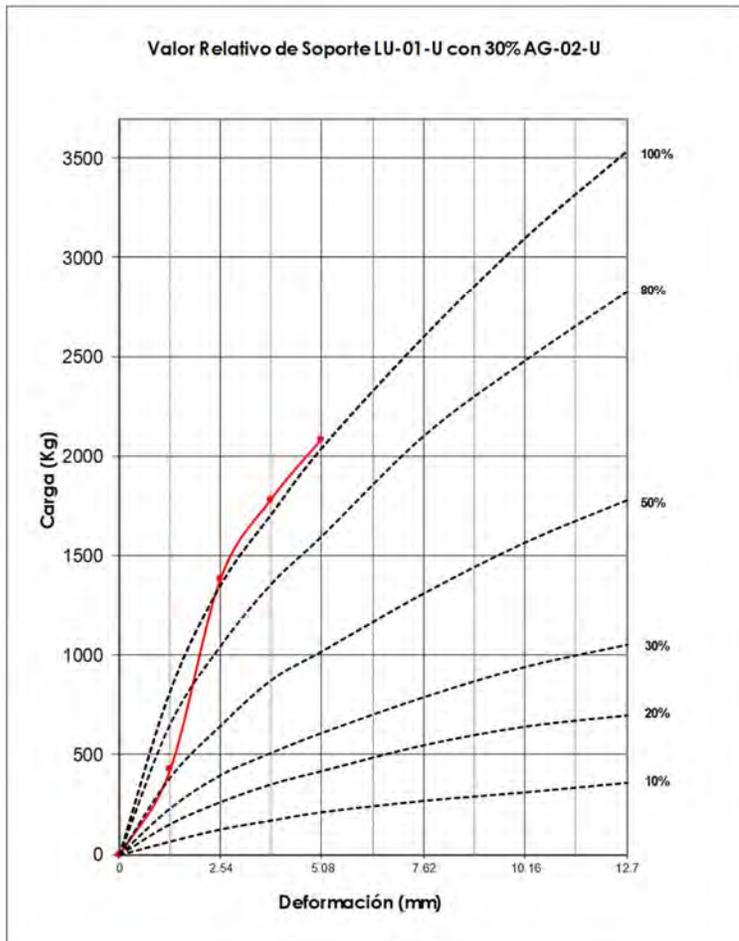


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado 10% SC1



Datos	
MOLDE	13
Masa Seca	
Masa húmeda	3975
Agua agregada	
Altura molde	12.75
Altura faltante	2.05
Altura del material	10.7
Área (cm²)	194.70
Volúmen (cm³)	2083.3
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	1908
Masa Volumétrica Seca	1606
Húmedad Óptima	18.82

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	423.00
2.54	1380.00
3.81	1779.00
5.08	2080.00
7.62	0.00
10.16	0.00
12.7	0.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.08
Lectura Final	3.04
Diferencia	0.04
% de Expansión	0.37%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	520.8
Masa del agua (g)	79.2
Masa de muestra seca (g)	420.8
% de humedad	18.82

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	101.47
% de Expansión	0.37%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1605.81
Húmedad Óptima (%)	18.8
Límite Líquido	33.00
Límite Plástico	24.00
Índice Plástico	9.00

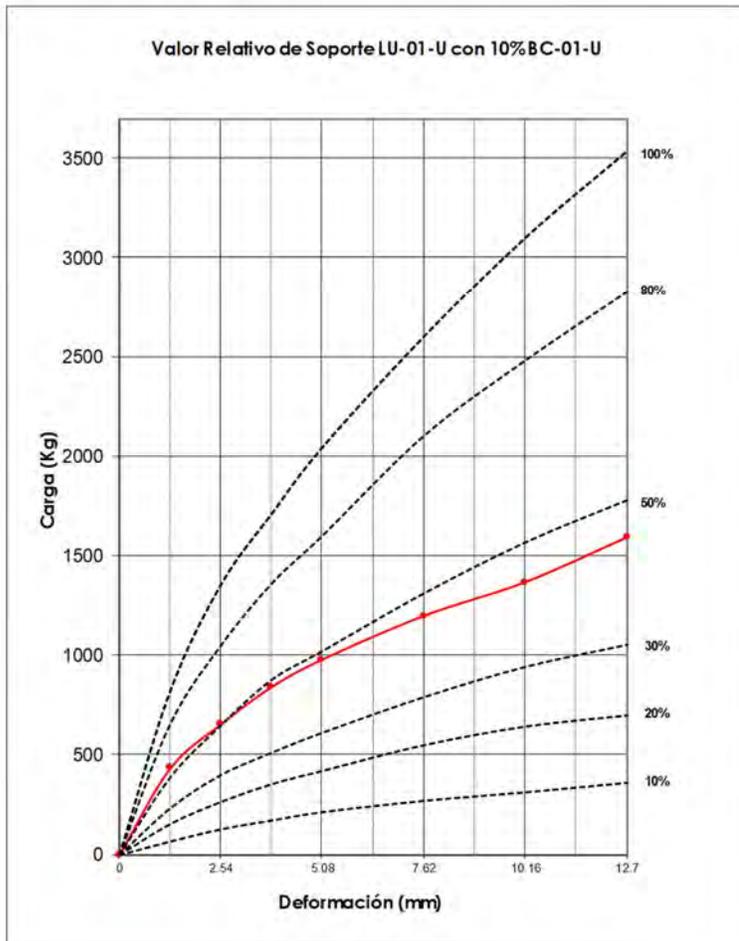


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado 10% SC2



Datos	
MOLDE	15
Masa Seca	
Masa húmeda	3980
Agua agregada	
Altura molde	12.64
Altura faltante	2.51
Altura del material	10.13
Área (cm <sup>2</sup> )	194.33
Volúmen (cm <sup>3</sup> )	1968.6
Masa Vol. Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	2022
Masa Volumétrica Seca	1722
Húmedad Óptima	17.43

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	432.96
2.54	654.36
3.81	841.32
5.08	979.08
7.62	1198.28
10.16	1367.64
12.7	1592.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	3.70
Lectura Final	3.68
Diferencia	0.02
% de Expansión	0.20%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	525.8
Masa del agua (g)	74.2
Masa de muestra seca (g)	425.8
% de humedad	17.43

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	48.11
% de Expansión	0.20%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1721.75
Húmedad Óptima (%)	17.4
Límite Líquido	34.00
Límite Plástico	22.00
Índice Plástico	12.00

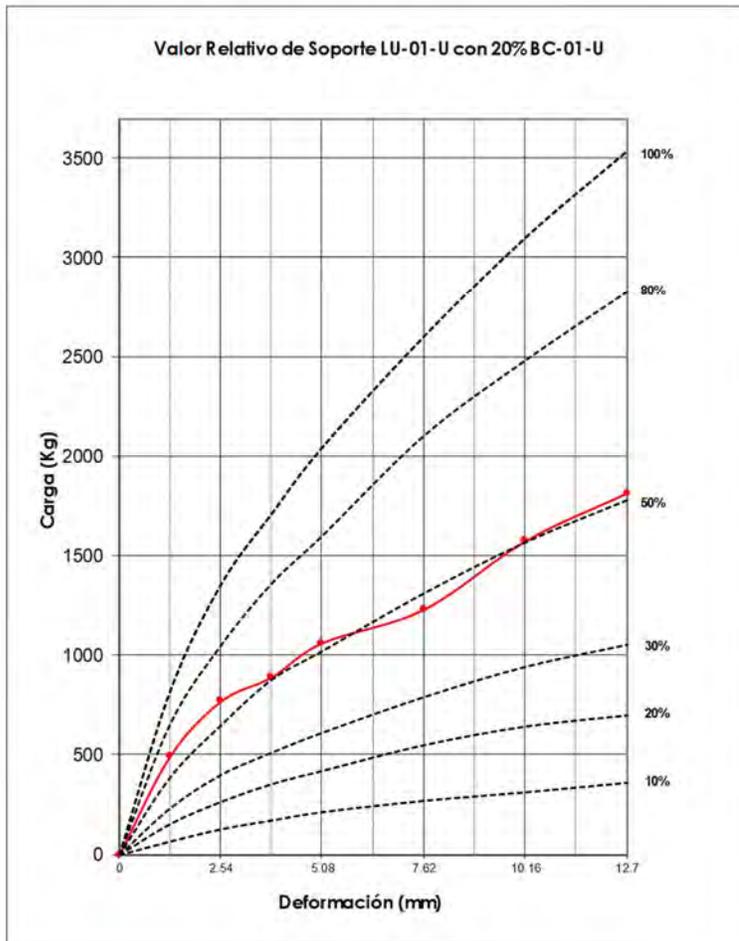


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



<b>TEMA TESIS:</b>	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado 20% SC2



Datos	
MOLDE	8
Masa Seca	
Masa húmeda	3988
Agua agregada	
Altura molde	12.64
Altura faltante	2.17
Altura del material	10.47
Área (cm²)	193.59
Volúmen (cm³)	2026.9
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	1968
Masa Volumétrica Seca	1668
Húmedad Óptima	17.92

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	494.00
2.54	770.00
3.81	891.00
5.08	1063.00
7.62	1231.00
10.16	1575.00
12.7	1815.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	4.09
Lectura Final	4.03
Diferencia	0.06
% de Expansión	0.57%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	524.0
Masa del agua (g)	76.0
Masa de muestra seca (g)	424.0
% de humedad	17.92

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	56.62
% de Expansión	0.57%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1668.48
Húmedad Óptima (%)	17.9
Límite Líquido	31.00
Límite Plástico	20.00
Índice Plástico	11.00

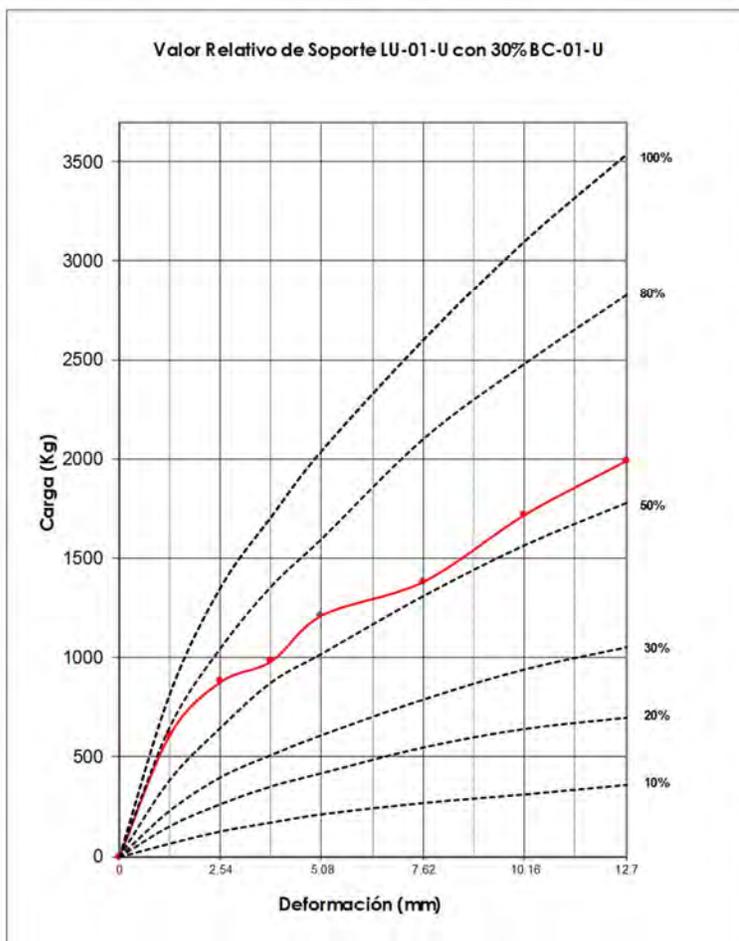


MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL



TEMA TESIS:	MEJORAMIENTO POTENCIAL MECANICO DEL TERRENO AL INCORPORAR SUELOS CEMENTADOS	ENSAYE No. :	01

Clave de la muestra:	LUN-01-U
Caract. del material:	Tepetate café mezclado 20% SC2



Datos	
MOLDE	21
Masa Seca	
Masa húmeda	3979
Agua agregada	
Altura molde	12.55
Altura faltante	3.16
Altura del material	9.39
Área (cm²)	194.83
Volúmen (cm³)	1829.5
Masa Vol. Húmeda (kg/m³)	2175
Masa Volumétrica Seca	1844
Húmedad Óptima	17.92

Deformación / Carga	
Deformación (mm)	Carga
1.27	615.00
2.54	880.00
3.81	984.00
5.08	1215.00
7.62	1384.00
10.16	1721.00
12.7	1991.00

Expansión	
Extensión No.	0
Lectura Inicial	4.09
Lectura Final	4.03
Diferencia	0.06
% de Expansión	0.64%

Contenido de Agua	
Tara No.	
Masa tara (g)	100.0
sa tara + muestra húmeda	600.0
Masa tara + muestra seca (g)	524.0
Masa del agua (g)	76.0
Masa de muestra seca (g)	424.0
% de humedad	17.92

Resultados de la Prueba	
V.R.S. 100% Saturado	64.71
% de Expansión	0.64%
Masa Vol. Seca Máxima (kg/m³)	1844.37
Húmedad Óptima (%)	17.9
Límite Líquido	34.00
Límite Plástico	25.00
Índice Plástico	9.00



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 1  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cal al 1%.  
 Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 91.04  
 Total : \$ 91.04

Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	CAL01	Cal Hidratada	kg	10.00000	\$ 2.21	\$ 22.10
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						\$ 78.11
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
Costo Directo				83.870000		\$ 83.87
Indirecto de Oficina		0.00%		83.87		\$ 0.00
Indirecto de Obra		0.00%		83.87		\$ 0.00
Financiamiento		0.00%		83.87+0.00+0.00		\$ 0.00
Utilidad		8.00%		83.87+0.00+0.00+0.00		\$ 6.71
Cargos Adicionales		0.50%		(83.87+0.00+0.00+0.00+6.71)/(1-0.005)		\$ 0.46
Precio Unitario				83.87+0.00+0.00+0.00+6.71+0.46		\$ 91.04

\*\* NOVENTA Y UN PESOS 04/100 M.N. \*\*



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 2  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cal al 2%.  
 Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 115.03  
 Total : \$ 115.03

Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CAL01	Cal Hidratada	kg	20.00000	\$ 2.21	\$ 44.20
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						\$ 100.21
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
Costo Directo				105.970000		\$ 105.97
Indirecto de Oficina		0.00%		105.97		\$ 0.00
Indirecto de Obra		0.00%		105.97		\$ 0.00
Financiamiento		0.00%		105.97+0.00+0.00		\$ 0.00
Utilidad		8.00%		105.97+0.00+0.00+0.00		\$ 8.48
Cargos Adicionales		0.50%		(105.97+0.00+0.00+0.00+8.48)/(1-0.005)		\$ 0.58
Precio Unitario				105.97+0.00+0.00+0.00+8.48+0.58		\$ 115.03

\*\* CIENTO QUINCE PESOS 03/100 M.N. \*\*



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 3  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cal al 3%.  
 Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 139.02  
 Total : \$ 139.02

Compues	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CAL01	Cal Hidratada	kg	30.00000	\$ 2.21	\$ 66.30
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 122.31</b>

<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>

<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>

Costo Directo		128.070000			\$	128.07
Indirecto de Oficina	0.00%	128.07			\$	0.00
Indirecto de Obra	0.00%	128.07			\$	0.00
Financiamiento	0.00%	128.07+0.00+0.00			\$	0.00
Utilidad	8.00%	128.07+0.00+0.00+0.00			\$	10.25
Cargos Adicionales	0.50%	(128.07+0.00+0.00+0.00+10.25)/(1-0.005)			\$	0.70
<b>Precio Unitario</b>		<b>128.07+0.00+0.00+0.00+10.25+0.70</b>			<b>\$</b>	<b>139.02</b>

\*\* CIENTO TREINTA Y NUEVE PESOS 02/100 M.N. \*\*



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 4  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cemento al 1%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 105.60  
 Total : \$ 105.60

Compues	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CEM01	Cemento Gris	kg	12.00000	\$ 2.96	\$ 35.52
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 91.53</b>

<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>

<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>

Costo Directo		97.290000			\$	97.29
Indirecto de Oficina	0.00%	97.29			\$	0.00
Indirecto de Obra	0.00%	97.29			\$	0.00
Financiamiento	0.00%	97.29+0.00+0.00			\$	0.00
Utilidad	8.00%	97.29+0.00+0.00+0.00			\$	7.78
Cargos Adicionales	0.50%	(97.29+0.00+0.00+0.00+7.78)/(1-0.005)			\$	0.53
<b>Precio Unitario</b>		<b>97.29+0.00+0.00+0.00+7.78+0.53</b>			<b>\$</b>	<b>105.60</b>

\*\* CIENTO CINCO PESOS 60/100 M.N. \*\*



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 5  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cemento al 2%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 144.15  
 Total : \$ 144.15

Compue	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CEM01	Cemento Gris	kg	24.00000	\$ 2.96	\$ 71.04
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 127.05</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	por	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
Costo Directo					132.810000	\$ 132.81
Indirecto de Oficina			0.00%		132.81	\$ 0.00
Indirecto de Obra			0.00%		132.81	\$ 0.00
Financiamiento			0.00%		132.81+0.00+0.00	\$ 0.00
Utilidad			8.00%		132.81+0.00+0.00+0.00	\$ 10.62
Cargos Adicionales			0.50%		(132.81+0.00+0.00+0.00+10.62)/(1-0.005)	\$ 0.72
Precio Unitario					132.81+0.00+0.00+0.00+10.62+0.72	\$ 144.15

\*\* CIENTO CUARENTA Y CUATRO PESOS 15/100 M.N. \*\*



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 6  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con cemento al 3%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 182.71  
 Total : \$ 182.71

Compue	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	CEM01	Cemento Gris	kg	36.00000	\$ 2.96	\$ 106.56
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 162.57</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	por	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
Costo Directo					168.330000	\$ 168.33
Indirecto de Oficina			0.00%		168.33	\$ 0.00
Indirecto de Obra			0.00%		168.33	\$ 0.00
Financiamiento			0.00%		168.33+0.00+0.00	\$ 0.00
Utilidad			8.00%		168.33+0.00+0.00+0.00	\$ 13.47
Cargos Adicionales			0.50%		(168.33+0.00+0.00+0.00+13.47)/(1-0.005)	\$ 0.91
Precio Unitario					168.33+0.00+0.00+0.00+13.47+0.91	\$ 182.71

\*\* CIENTO OCHENTA Y DOS PESOS 71/100 M.N. \*\*



**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 7  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 10%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 71.62  
 Total : \$ 71.62

Compuer	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	SC01	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1628.79 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.10000	\$ 42.09	\$ 4.21
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						<b>\$ 60.22</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						<b>\$ 0.17</b>
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						<b>\$ 5.59</b>
<b>Costo Directo</b>					65.980000	\$ 65.98
<b>Indirecto de Oficina</b>			0.00%		65.98	\$ 0.00
<b>Indirecto de Obra</b>			0.00%		65.98	\$ 0.00
<b>Financiamiento</b>			0.00%		65.98+0.00+0.00	\$ 0.00
<b>Utilidad</b>			8.00%		65.98+0.00+0.00+0.00	\$ 5.28
<b>Cargos Adicionales</b>			0.50%		(65.98+0.00+0.00+0.00+5.28)/(1-0.005)	\$ 0.36
<b>Precio Unitario</b>					65.98+0.00+0.00+0.00+5.28+0.36	\$ 71.62

**\*\* SETENTA Y UN PESOS 62/100 M.N. \*\***





**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 8

Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 20%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 76.19  
 Total : \$ 76.19

Compuer:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
	SC01	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1628.79 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.20000	\$ 42.09	\$ 8.42
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
<b>Total de Materiales</b>						\$ 64.43
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
Costo Directo				70.190000		\$ 70.19
Indirecto de Oficina			0.00%	70.19		\$ 0.00
Indirecto de Obra			0.00%	70.19		\$ 0.00
Financiamiento			0.00%	70.19+0.00+0.00		\$ 0.00
Utilidad			8.00%	70.19+0.00+0.00+0.00		\$ 5.62
Cargos Adicionales			0.50%	(70.19+0.00+0.00+0.00+5.62)/(1-0.005)		\$ 0.38
<b>Precio Unitario</b>				70.19+0.00+0.00+0.00+5.62+0.38		\$ 76.19

**\*\* SETENTA Y SEIS PESOS 19/100 M.N. \*\***





**Análisis de Precio Unitario**

<b>Descripción</b>	
Clave: 9	Unidad: m3
Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 30%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.	Cantidad: 1.00
	Precio unitario: \$ 80.75
	Total: \$ 80.75

Compuer	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
	SC01	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1628.79 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.30000	\$ 42.09	\$ 12.63
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
<b>Total de Materiales</b>						\$ 68.64
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
<b>Costo Directo</b>		74.400000				\$ 74.40
<b>Indirecto de Oficina</b>		0.00%	74.40			\$ 0.00
<b>Indirecto de Obra</b>		0.00%	74.40			\$ 0.00
<b>Financiamiento</b>		0.00%	74.40+0.00+0.00			\$ 0.00
<b>Utilidad</b>		8.00%	74.40+0.00+0.00+0.00			\$ 5.95
<b>Cargos Adicionales</b>		0.50%	(74.40+0.00+0.00+0.00+5.95)/(1-0.005)			\$ 0.40
<b>Precio Unitario</b>			74.40+0.00+0.00+0.00+5.95+0.40			\$ 80.75

\*\* OCHENTA PESOS 75/100 M.N. \*\*





**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 10  
 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 10%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 71.16  
 Total : \$ 71.16

Compuer	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
	SC02	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1656.82 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.09000	\$ 42.09	\$ 3.79
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
<b>Total de Materiales</b>						\$ 59.80
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
<b>Costo Directo</b>				65.560000		\$ 65.56
<b>Indirecto de Oficina</b>			0.00%	65.56		\$ 0.00
<b>Indirecto de Obra</b>			0.00%	65.56		\$ 0.00
<b>Financiamiento</b>			0.00%	65.56+0.00+0.00		\$ 0.00
<b>Utilidad</b>			8.00%	65.56+0.00+0.00+0.00		\$ 5.24
<b>Cargos Adicionales</b>			0.50%	(65.56+0.00+0.00+0.00+5.24)/(1-0.005)		\$ 0.36
<b>Precio Unitario</b>				65.56+0.00+0.00+0.00+5.24+0.36		\$ 71.16

\*\* SETENTA Y UN PESOS 16/100 M.N. \*\*





**Análisis de Precio Unitario**

**Descripción**

Clave: 11

Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 20%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.

Unidad : m3  
 Cantidad : 1.00  
 Precio unitario : \$ 75.28  
 Total : \$ 75.28

Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	SC02	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1656.82 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.18000	\$ 42.09	\$ 7.58
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						\$ 63.59
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
<b>Costo Directo</b>				69.350000		\$ 69.35
<b>Indirecto de Oficina</b>			0.00%	69.35		\$ 0.00
<b>Indirecto de Obra</b>			0.00%	69.35		\$ 0.00
<b>Financiamiento</b>			0.00%	69.35+0.00+0.00		\$ 0.00
<b>Utilidad</b>			8.00%	69.35+0.00+0.00+0.00		\$ 5.55
<b>Cargos Adicionales</b>			0.50%	(69.35+0.00+0.00+0.00+5.55)/(1-0.005)		\$ 0.38
<b>Precio Unitario</b>				69.35+0.00+0.00+0.00+5.55+0.38		\$ 75.28

\*\* SETENTA Y CINCO PESOS 28/100 M.N. \*\*





**Análisis de Precio Unitario**

<b>Descripción</b>	
Clave: 12 Formación y compactación de capa sub rasante con material producto del corte, mejorado con Suelo cor Carbonatos al 30%. Incluye: proceso constructivo como se marca en el diseño, uso de equipo mayor hasta alcanzar el 90% de su p.v.s.m., en capas de 20 cm máximo, humedad óptima, y todo lo necesario para su correcta colocación, el material sera producto del corte, volumen medido compacto.	Unidad : m3 Cantidad : 1.00 Precio unitario : \$ 79.38 Total : \$ 79.38

Compue:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	TEPETATE	Tepetate material de banco	m3	1.30000	\$ 39.28	\$ 51.06
	SC02	Suelo con carbonato de calcio con peso volumétrico de 1656.82 kg/m3. Incluye: extracción, cribado, carga y acarreo al primer kilómetro.	m3	0.27000	\$ 42.09	\$ 11.36
	AGUA01	Agua en Pipa	m3	0.15000	\$ 33.00	\$ 4.95
<b>Total de Materiales</b>						\$ 67.37
<b>Mano de Obra</b>						
	MO03	Peón	jor	0.00042	\$ 416.30	\$ 0.17
<b>Total de Mano de Obra</b>						\$ 0.17
<b>Equipo</b>						
H	VIBRO01	Vibrocompactador DYNAPAC	hora	0.00330	\$ 603.61	\$ 1.99
H	MOTO01	Motoconformador John Deere 670G	hora	0.00330	\$ 1,091.42	\$ 3.60
<b>Total de Equipo</b>						\$ 5.59
<b>Costo Directo</b>		73.130000			\$	73.13
<b>Indirecto de Oficina</b>		0.00%	73.13		\$	0.00
<b>Indirecto de Obra</b>		0.00%	73.13		\$	0.00
<b>Financiamiento</b>		0.00%	73.13+0.00+0.00		\$	0.00
<b>Utilidad</b>		8.00%	73.13+0.00+0.00+0.00		\$	5.85
<b>Cargos Adicionales</b>		0.50%	(73.13+0.00+0.00+0.00+5.85)/(1-0.005)		\$	0.40
<b>Precio Unitario</b>		73.13+0.00+0.00+0.00+5.85+0.40			\$	79.38

\*\* SETENTA Y NUEVE PESOS 38/100 M.N. \*\*