

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE
SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A
SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.**

AUTOR:

Deivys Ismael Hidalgo Benavides

TUTOR:

Ing. Mg. Vinicio Almeida

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de graduación, certifico que el presente Trabajo Experimental realizado por el Sr. Deivys Ismael Hidalgo Benavides egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, y ha sido bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE”**, el cual reúne todos los requisitos para ser sometido a evaluación, se ha concluido de manera satisfactoria.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, 22 de Noviembre de 2016

Ing. Mg. Vinicio Almeida

TUTOR

AUTORÍA

Yo, Deivys Ismael Hidalgo Benavides, con C.I. 160055630-0 Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE”** es de mi completa autoría.

Deivys Ismael Hidalgo Benavides

C.I. 160055630-0

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo de Titulación dentro de las regularidades de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 22 de Noviembre de 2016

Autor

Deivys Ismael Hidalgo Benavides

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el Trabajo Experimental, bajo el título: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE”, realizado por Deivys Ismael Hidalgo Benavides, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero de 2017

Para constancia firman:

Ing. Mg. Byron Cañizares
Profesor Calificador

Ing. Mg. Dilon Moya
Profesor Calificador

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino y bendecirme siempre.

A mi amiga y madre, Beatriz, por su paciencia ante mis malgenios, por ser quien con sus palabras me reconforto en todo momento y brindo un apoyo incondicional.

A mi padre Gustavo, que, aunque encontrándose en otro país, siempre me brindó su apoyo y sus palabras de aliento.

A mis hermanas Carmita y Gabi, y a mi hermano Javier, quienes me supieron apoyar a su manera. Quienes siempre están dándome la mano en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Gustavo y Beatriz, quienes con su apoyo y cariño me supieron impulsar en todo momento.

A mis hermanos, personas fundamentales para llevar a cabo este Proyecto y quienes siempre están a mi lado ayudándome.

A mi compañera de trabajos y deberes, por brindarme su apoyo en los buenos y malos momentos, por sus consejos y ayuda en la etapa universitaria.

A mis amigos y amigas, quienes siempre me han brindado su apoyo.

A mi tutor, Ing. Mg. Vinicio Almeida, por brindarme sus conocimientos y ser guía esencial para llevar a cabo este Trabajo de Titulación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
AUTORÍA.....	II
DERECHOS DE AUTOR	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	IX
RESUMEN EJECUTIVO	XI
CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1.TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2.ANTECEDENTES.....	1
1.3.JUSTIFICACIÓN	2
1.4.OBJETIVOS	3
1.4.1.Objetivo General	3
1.4.2.Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.1.Suelo.....	4
2.1.1.1.Fases del Suelo.....	4
2.1.1.2.Relaciones Fundamentales	5
2.1.1.3.Propiedades Índice del Suelo	8
2.1.1.4.Caracterización física del Suelo	10
2.1.2.Suelos Arcillosos.....	11
2.1.2.1.Propiedades Fisicoquímicas de las Arcillas	11
2.1.2.2.Clasificación de las Arcillas.....	13
2.1.2.3.Consistencia y Sensibilidad de las Arcillas.....	14
2.1.3.Estabilización de suelos	15
2.1.3.1.Tipos de Estabilización	16
2.1.3.2.Ventajas de Suelos Estabilizados	18
2.1.4.Enzimas Orgánicas.....	19
2.1.4.1.Aplicación de Enzimas Orgánicas en la Estabilización de Suelos.....	19
2.1.4.2.Construcción de un Camino o Vía	20
2.1.4.3.Homologación.....	21
2.2.HIPÓTESIS.....	24
2.3.SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	24
2.3.1.Variable Independiente	24
2.3.2.Variable Dependiente.....	24

CAPÍTULO III	25
METODOLOGÍA	25
3.1.NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.1.1.Investigación Aplicada.....	25
3.1.2.Investigación Experimental.....	25
3.1.3.Investigación de Laboratorio	25
3.2.POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
3.2.1.Población o Universo	26
3.2.2.Muestra.....	26
3.3.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	29
3.3.1.Variable Independiente	29
3.3.2.Variable Dependiente.....	30
3.4.PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	31
3.5.PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	32
3.5.1.Plan de procesamiento de la información	32
3.5.2.Plan de Análisis.....	32
CAPÍTULO IV	33
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	33
4.1.RECOLECCIÓN DE DATOS	33
4.1.1.Análisis Mecánico de los Suelos.....	33
4.1.2.Relaciones Fundamentales	35
4.1.3.Gravedad Específica.....	37
4.1.4.Límites de Atterberg	39
4.1.5.Densidad Máxima y Humedad Óptima del Suelo.....	44
4.1.6.Capacidad de Soporte (CBR).....	46
4.2.ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	48
4.2.1.Análisis Mecánico de los suelos	48
4.2.2.Relaciones Fundamentales	49
4.2.3.Gravedad Específica.....	53
4.2.4.Límites de Atterberg	55
4.2.5.Densidad Máxima y Humedad Óptima del suelo	58
4.2.6.Capacidad de Soporte (CBR).....	60
4.3.VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	62
4.3.1.Determinación de Coeficientes de Correlación.....	62
4.3.2.Verificación de Hipótesis.....	70
CAPÍTULO V	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1.CONCLUSIONES	73
5.2.RECOMENDACIONES.....	75
MATERIAL DE REFERENCIA	76
1.BIBLIOGRAFÍA	76
2.ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Índice de Tablas

Tabla N° 1. Consistencia de las Arcillas.....	15
Tabla N° 2. Sensibilidad de las Arcillas	15
Tabla N° 3. Operacionalización de Variable Independiente.....	29
Tabla N° 4. Operacionalización de Variable Dependiente	30
Tabla N° 5. Plan de Recolección de Información.....	31
Tabla N° 6. Tamices de Fracción Fina.....	33
Tabla N° 7. Tabla Resumen del Ensayo de Granulometría e Identificación de Suelo.....	34
Tabla N° 8. Tabla Resumen de las Relaciones Fundamentales de los Suelos	36
Tabla N° 9. Tabla Resumen de Gravedad Específica de las muestras de suelo.....	38
Tabla N° 10. Tabla Resumen de Gravedad Específica de los agentes estabilizadores	38
Tabla N° 11. Tabla Resumen de Límites de Atterberg de suelo natural.....	40
Tabla N° 12. Tabla Resumen de Límites de Atterberg de las Combinaciones	41
Tabla N° 13. Porcentajes de Cemento agregados a diferentes suelos.....	42
Tabla N° 14. Tabla Resumen de Ensayo Proctor Modificado	44
Tabla N° 15. Tabla Resumen de Ensayo Proctor Modificado de las Combinaciones	44
Tabla N° 16. Tabla Resumen Ensayo de CBR.....	46
Tabla N° 17. Tabla Resumen Ensayo de CBR de las Combinaciones	46
Tabla N° 18. Calificación del suelo en función de la subrasante.....	61
Tabla N° 19. Covarianza de las variables de CBR por Método Karl Pearson	62
Tabla N° 20. Coeficiente de Correlación de las variables de CBR / Suelo-Enzima.....	63
Tabla N° 21. Coeficiente de Correlación de las variables de CBR / Suelo-5% Cemento	64
Tabla N° 22. Coeficiente de Correlación de las variables de CBR / Suelo-10% Cemento	64
Tabla N° 23. Covarianza de las variables de CBR por el Método Normal.....	65
Tabla N° 24. Correlación de las variables de CBR por el Método Normal	66
Tabla N° 25. Tabla resumen de Correlación.....	69

Índice de Figuras

Figura N° 1. Fases del Suelo.....	5
Figura N° 2. Hinchamiento de un Arcilla.....	12
Figura N° 3. Mapa de Suelos de la Provincia de Pastaza.....	26
Figura N° 4. Muestra #1-Barrio La Merced.....	27
Figura N° 5. Muestra #2-Barrio El Chofer.....	27
Figura N° 6. Ubicación las muestras.....	28
Figura N° 7. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.....	34
Figura N° 8. Ensayo de Cono y Arena de Ottawa.....	35
Figura N° 9. Extracción de suelo/Ensayo de cono y arena.....	36
Figura N° 10. Ensayo para determinar la Gravedad Específica de la Muestra #1.....	37
Figura N° 11. Ensayo para determinar la Gravedad Específica del Cemento.....	38
Figura N° 12. Ensayo de la Copa de Cassagrande.....	40
Figura N° 13. División en cuadrantes/Determinación de Límite Líquido.....	43
Figura N° 14. Formación de rollitos de suelo/Determinación de Límite Plástico.....	43
Figura N° 15. Pesaje de cilindro con el suelo compactado.....	45
Figura N° 16. Cilindros sumergidos en agua para determinar esponjamiento.....	47
Figura N° 17. Comparación del % de suelo que pasa el tamiz 200.....	48
Figura N° 18. Comparación del Peso Volumétrico de los suelos.....	49
Figura N° 19. Comparación de la Densidad Seca de los suelos.....	50
Figura N° 20. Comparación del Contenido de Humedad.....	50
Figura N° 21. Comparación de la Relación de Vacíos de los suelos.....	51
Figura N° 22. Comparación de la Porosidad de los suelos.....	52
Figura N° 23. Comparación de Gravedad Específica.....	53
Figura N° 24. Comparación de Gravedad Específica/Cemento.....	54
Figura N° 25. Límites de Atterberg de las muestras de suelo arcilloso.....	55
Figura N° 26. Límites de Atterberg de la muestra #1 / Barrio La Merced.....	56
Figura N° 27. Límites de Atterberg de la muestra #2 / Barrio El Chofer.....	57
Figura N° 28. Densidad Máxima de las muestras de suelo arcilloso y combinaciones...58	58
Figura N° 29. Humedad Óptima de las muestras de suelo arcilloso y combinaciones....59	59
Figura N° 30. CBR% de las muestras de suelo arcilloso y combinaciones.....	60
Figura N° 31. Fórmula en Excel para Determinar Covarianza.....	67
Figura N° 32. Utilización de Fórmula Covarianza.....	68
Figura N° 33. Fórmula en Excel para Determinar Correlación.....	68
Figura N° 34. Utilización de Fórmula Correlación.....	69
Figura N° 35. Interpretación de Coeficientes de Correlación.....	70

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.”

AUTOR: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

TUTOR: Ing. Mg. Vinicio Almeida

FECHA: Noviembre 2016

El presente proyecto experimental de investigación tiene como objeto definir los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante.

Los suelos arcillosos a ser experimentados mediante la aplicación de agentes químicos estabilizadores, se obtuvieron de la ciudad de Puyo, Pastaza, diferenciándolos bajo inspección visual como anaranjado-rojizo obtenido del Barrio La Merced para la muestra #1 y para la muestra #2 como gris-blanquecino obtenido del Barrio El Chofer. La extracción de las muestras se efectuó mediante la realización de calicatas en los sitios mencionados.

Se efectuaron los ensayos de granulometría y límites de Atterberg para la identificación del suelo mediante las tablas SUCS. Además de identificar las relaciones fundamentales de los suelo mediante el ensayo de cono y arena de Ottawa. Para determinar la capacidad portante del suelo CBR (Relación de Soporte California) se efectuó mediante la ejecución del ensayo Proctor Modificado Tipo B, el cual describa la densidad máxima y la humedad óptima del suelo. Así también se colocaron muestras en agua para la obtención del esponjamiento que puede generarse en arcillas plásticas.

Se utilizó enzimas orgánicas y porcentajes de cemento, para mejorar las propiedades de las muestras de suelo arcilloso, además de comparar las muestras estabilizadas con estos agentes y escoger la mejor alternativa, basados en el costo y beneficio que puede conllevar estabilizar suelos pobres, que no brindan sustento a obras ingenieriles.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

1.2. ANTECEDENTES

La utilización de elementos tales como el cemento y las enzimas orgánicas en los procesos de estabilización de suelos arcillosos son de gran beneficio al momento de realizar obras de construcción debido a que el lugar de cimentación de las mismas se conforma de manera homogénea, intensificando las propiedades de este suelo arcilloso; razón por la cual se toma a consideración para la presente investigación las aplicaciones e indagaciones que han desarrollado a través de los años varios autores a cerca de los mencionados procesos de estabilización.

Las enzimas orgánicas aplicadas a un suelo de sub-rasante resulta de gran importancia cuando el tipo de suelo no cumple las especificaciones para conformar una construcción vial, según Cedeño Plaza: la aplicación de enzimas como estabilizante de un suelo mejora la capacidad portante, aumentando su valor CBR de 9,5% (suelo natural) a 15,8 (suelo con enzima).^[1]

Así como también se ve expresado según Ravines Merino: el aditivo estabilizador de enzimas orgánicas aplicado a un suelo, desarrolla una acción aglutinante sobre los materiales de finos plásticos-arcillosos, evitando que estos absorban demasiada agua.^[2]

El cemento usado como estabilizador de suelo se desarrolla especialmente para la construcción de carreteras y presas de tierra. De acuerdo a la primera aplicación de este proceso de estabilización de suelo-cemento en Estados Unidos en el año de 1935, se demostró que el cemento es usado para estabilizar suelo de tipo arenoso y arcilloso, causando en estos la disminución de límite líquido, así como también incrementando el índice de plasticidad y la manejabilidad de suelos arcillosos.^[3]

1.3. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento y desarrollo acaecido en los últimos años en nuestro país, se ve diferenciado notoriamente por la construcción de nuevas vías, así como la readecuación de las existentes; supliendo la necesidad de comunicación de años atrás que existía entre las ciudades del país, aumentando y potenciando el comercio interno, turismo, así también el desarrollo cultural y social.^[4] El parque automotor se ve sustancialmente en aumento en las vías de nuestro país obligando a tener las mismas en un correcto estado para la circulación del tránsito.^[5]

En los suelos de la Región Oriental de nuestro país, específicamente en la provincia de Pastaza es necesario contar con vías idóneas para el tránsito, ya que al ser muy grande en extensión existe la necesidad de comunicación entre sus pueblos, y resulta un tanto dificultoso debido a que en la mayoría de su territorio existe suelo arcilloso.^[6]

La conformación de un pavimento efectivo depende fundamentalmente del suelo en el que se lo realice, es así que nace el desarrollo de la investigación de la estabilización de suelo con enzimas orgánicas aplicado a una sub-rasante, especialmente en suelos del cantón Pastaza los cuales regularmente presentan propiedades físico-mecánicas deficientes.^[7]

En ciertas ocasiones es imprescindible optimizar las propiedades y características de los suelos, para que conformen capas idóneas para el sustento de las vías.^[8]

La utilización de un estabilizador aplicado a una sub-rasante beneficiará en gran medida la calidad y firmeza del suelo.^[9]

Lo antes mencionado servirá de fundamento sustancial para el desarrollo de la presente investigación sobre el análisis de una sub-rasante estabilizada con enzimas orgánicas y suelo-cemento.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Definir los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de las enzimas orgánicas aplicadas a un suelo arcilloso.
- Identificar y evaluar el comportamiento del suelo arcilloso estabilizado con cemento.
- Comparar los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicados a suelos arcillosos de sub-rasante.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El desarrollo de la presente investigación enmarcada en el análisis comparativo de los procesos de estabilización de enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante; requerirá de un sustento teórico acerca del suelo, estabilización, enzima y cemento que se especifican a continuación.

2.1.1. Suelo

Desde la perspectiva de la ingeniería se define al suelo como una delgada capa que se encuentra sobre la corteza terrestre que permite sobre ella el sustento de una obra. De acuerdo a la mecánica de los suelos resulta decir que el suelo es un conjunto de partículas minerales, provocado por la descomposición química o desintegración mecánica de las rocas.^[10]

Además, se ve propuesto como todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicios, hasta una arenisca parcialmente cementada, dejando excluidas todas las rocas ígneas o metamórficas y los depósitos altamente que no se ablande o desintegren rápido.

2.1.1.1. Fases del Suelo

Un suelo específicamente se ve formado de tres fases consideradas como fase sólida, líquida (agua) y gaseosa (aire).

- a) *Sólida*.- Fase formada por las partículas de suelo de diferente tamaño.
- b) *Líquida*.- La humedad presentada en la masa de suelo por origen de agua superficial o subterránea (capilaridad).
- c) *Gaseosa*.- La porosidad en el suelo se ve representada por los espacios de aire que quedan entre las partículas de suelo

Representados en el siguiente gráfico:

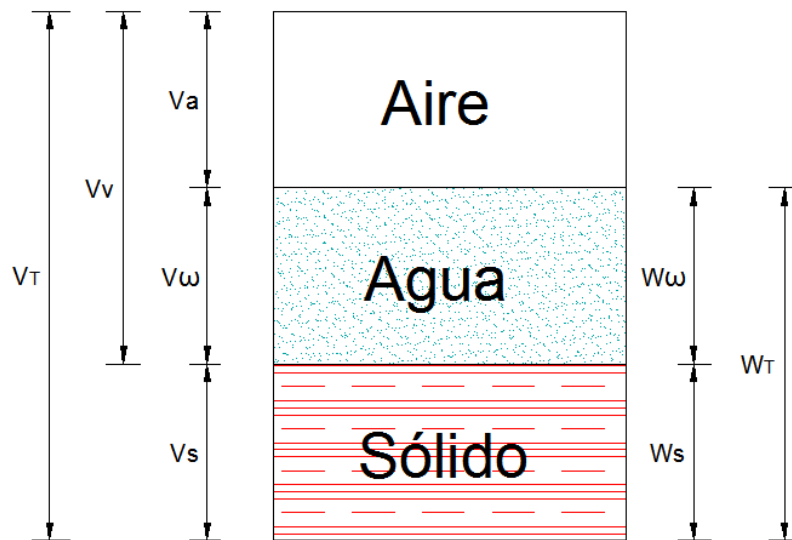


Figura N° 1. Fases del Suelo

En Donde,

V_a = Volumen de Aire

V_w = Volumen de Agua

V_s = Volumen de Sólido (Suelo)

V_v = Volumen de Vacíos

V_T = Volumen Total

W_w = Peso del Agua

W_s = Peso de Sólido (Suelo)

W_T = Peso Total

2.1.1.2. Relaciones Fundamentales

Durante varios años los ingenieros dedicados a la construcción, especialmente en la antigüedad no veían de gran importancia el suelo de fundación de los edificios que construían, simplemente seguían los procedimientos estructurales de una edificación de la época basados en construcciones similares existentes; obviando que para el cumplimiento de una vida útil adecuada de la estructura era necesario conocer: el tipo de suelo, características, propiedades entre otros. ^[11]

Contenido de Humedad

Es la propiedad física que demuestra el porcentaje de agua que contiene un suelo, de acuerdo a la relación de peso de suelo húmedo y el peso de suelo seco. Resulta importante determinar el contenido de humedad de un suelo debido a que en gran parte el agua contenida en este, afecta el comportamiento y resistencia al momento de construir una obra. El contenido de humedad se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{W\omega}{W_s} * 100$$

En Donde,

ω = Contenido de Humedad

$W\omega$ = Peso del Agua

W_s = Peso de Sólidos

Relación de Vacíos

Es la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos. Esta propiedad determina qué porcentaje de suelo se encuentra compactado y lo contrario. Los valores de relación de vacíos pueden ir desde 0 hasta infinito, representando los valores bajos o cercanos a 0 un grado alto de suelo compacto y valores altos un grado respectivamente de suelo suelto. La relación de vacíos se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

En Donde,

e = Relación de Vacíos

V_v = Volumen de Vacíos

V_s = Volumen de Sólidos

Porosidad

Está representada por la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de su masa. La porosidad en un suelo demuestra que a porcentajes altos un suelo representa gran cantidad de vacíos y en cambio cuando existen porcentajes bajos indica que el suelo se encuentra perfectamente consolidado. La porosidad se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

En Donde,

n = Porosidad

V_v = Volumen de Vacíos

V_t = Volumen Total de la masa del suelo

Grado de Saturación de Agua

Es la relación existente entre el volumen de agua y el volumen de los vacíos. Esta relación indica el porcentaje de agua existente en un suelo, es así que un porcentaje bajo como 0% representa un suelo seco y un porcentaje alto cercano a 100% indica que el suelo se encuentra muy saturado de agua. El grado de saturación de agua se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$G\omega = \frac{V\omega}{V_v} * 100$$

En Donde,

$G\omega$ = Grado de Saturación de Agua

$V\omega$ = Volumen de Agua

V_v = Volumen de vacíos

Grado de Saturación de Aire

Es la relación que existe entre el volumen del aire con respecto al volumen de los vacíos. Los porcentajes indicados en esta relación representan el grado de consolidación de un

suelo, es así que un bajo porcentaje demuestra alta consolidación y un alto porcentaje de aire una baja consolidación. El grado de saturación de aire se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Ga = \frac{Va}{Vv} * 100$$

En Donde,

Ga = Grado de Saturación de Aire

Va = Volumen de Aire

Vv = Volumen de vacíos

2.1.1.3. Propiedades Índice del Suelo

Humedad

La humedad de un suelo se ve expresada básicamente como la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. La humedad se ve eventualmente representada en porcentaje con relación a la cantidad de suelo. ^[12] Es así que podemos determinar el porcentaje de humedad en un suelo a través de la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{M(\text{suelo}) - M(\text{suelo secado al horno})}{M(\text{suelo secado al horno})} * 100$$

En Donde,

$\%H$ = Porcentaje de Humedad

M = Masa

Densidad

La densidad es la diferencia que existe entre la masa del suelo con respecto a su volumen. El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades:

- *Densidad Real.*- Es la relación que existe entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo, ya que se ve determinado por la composición mineralógica y química de la fase sólida.

- *Densidad Aparente.*- Se define como el peso de una unidad de volumen de suelo que incluye su espacio poroso. Esta densidad representa el contenido total de porosidad en un suelo. ^[13]

Gravedad Específica

Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua y libre de gas, a la misma temperatura. ^[14]

Granulometría

Consistente en la medición y graduación de suelo, desarrollado a través de la utilización de varios tamices, de fracción gruesa y fina. En la clasificación de los suelos para usos de ingeniería se debe eventualmente realizar un análisis granulométrico del suelo, ya que el suelo deberá ser el adecuado para la conformación de carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques y otro tipo de estructuras. La información obtenida de un análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo. ^[15]

Límites Atterberg

Los límites de Atterberg deben su nombre al agrónomo, científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916), empleados principalmente para medir la plasticidad. Debido al estudio realizado por este científico, señaló tres valores de plasticidad, los cuales son los siguientes:

- *Límite Líquido.*- Representa el contenido de humedad con el cual el suelo empezará a fluir bajo la acción de una fuerza aplicada.
- *Límite Plástico.*- El contenido mínimo de humedad con el cual el suelo puede ser convertido por rodadura en un rollito largo y delgado.
- *Índice Plástico.*- Resultante de la diferencia que existe entre el límite líquido y límite plástico. ^[16]

2.1.1.4. Caracterización física del Suelo

Las características que presentan los suelos se deben a los agentes que lo modifican, diferenciándolos unos de otros. Las características físicas que principalmente se ve en un suelo pueden ser:

Color

Es la característica que se puede encontrar con más notoriedad en los suelos, diferenciándose por lo general en los cortes de talud, en donde se puede observar su estratigrafía diferenciada por los colores. Los colores que se pueden encontrar en un suelo son:

- *Rojo o pardo rojizo.*- Originado por materiales como el óxido de hierro no hidratado. Los suelos con este color demuestran especialmente un excelente drenaje.
- *Amarillo.*- Generalmente debe su color a la presencia de óxido de hierro hidratado. Los suelos arenosos presentan especialmente ese tipo de color debido a la mezcla de arenas de color casi blanco con materia orgánica.^[17]
- *Gris o blancuzco.*- Este color se origina por la acumulación de carbonato de calcio u otras sales en el suelo.
- *Púrpura.*- Debida a la presencia de un alto porcentaje de manganeso.

El color es variable fundamental para determinar el contenido de humedad, por esta razón lo esencial es determinar la humedad en el campo en condiciones normales de la misma.

Textura

Es la característica que hace referencia al tamaño en sí, de las diversas partículas que contiene el suelo. Estas partículas de suelo pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño en gravas, arenas, limos y arcillas. La textura del suelo depende de los procesos de formación y del material parental que actúan en el mismo.^[18]

Estructura

Es una de las características de mayor importancia del suelo, ya que demuestra la manera en como las partículas de suelo (arena, arcilla, limo) se encuentran dispuestas o unidas, en sí representan el conjunto de un suelo denotándose cuando se observa perfiles estratigráficos.

2.1.2. Suelos Arcillosos

La arcilla se define como todo mineral que ostenta un tamaño de partículas inferior a 2 μm o 0,002 mm; se encuentra formada por dos elementos: silicatos y feldespatos. ^[19]

Los feldespatos constituyentes en una arcilla representan el 60 % de rocas ígneas, creadas por el enfriamiento solidificación del magma, en la corteza terrestre. ^[20]

El carácter de la arcilla influye mucho en el drenaje del suelo, su resistencia, compresibilidad y particularmente su reacción a los cambios de humedad. Cualquier método para mejorar el comportamiento de un suelo que contenga minerales arcillosos se debe basar en el conocimiento del carácter físico y químico de este complejo tipo de suelo. ^[21]

Una arcilla tiende siempre a la expansión volumétrica al ser aliviada de cargas pre-actuantes; las características de expansividad guardan estrecha relación con las de compresibilidad, pudiéndose hacer la afirmación de que las arcillas más expansivas en descarga son también fuertemente compresibles en proceso de carga en la rama virgen de su curva de compresibilidad. Se ha encontrado que la expansibilidad de una arcilla depende del tipo de mineral de arcilla que la componga y que esa expansibilidad aumenta en el orden caolinita, illita, montmorillonita. ^[22]

2.1.2.1. Propiedades Físicoquímicas de las Arcillas

Las propiedades fisicoquímicas de las arcillas se derivan del tamaño de sus partículas (inferiores a 0,002mm), morfología y sustituciones isomórficas. Las propiedades pueden ser:

Capacidad de Absorción

Es la propiedad que expresa la relación de agua contenida en el suelo con respecto a la masa sólida del mismo. La capacidad de absorción está directamente ligada a las características texturales de un suelo (porosidad y superficie específica). [23]

Hidratación e Hinchamiento

Son propiedades características de las esmectitas. Es la propiedad del suelo que indica la expansión del mismo por carga o absorción de agua, dando a lugar a un hinchamiento del suelo.

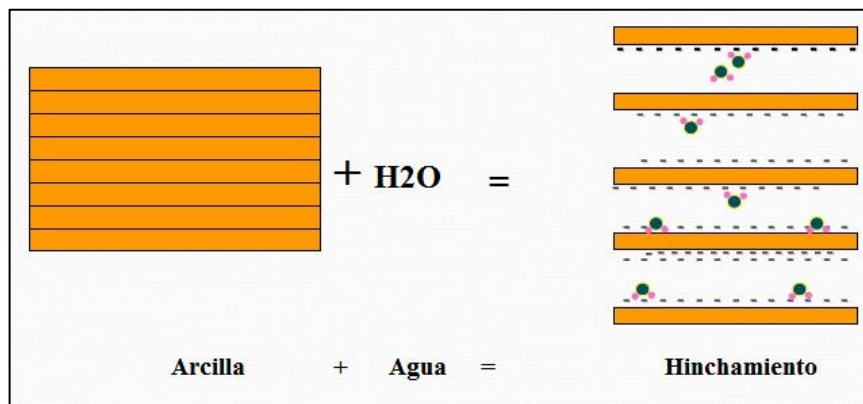


Figura N° 2. Hinchamiento de un Arcilla

Plasticidad

Esta propiedad se debe a que el agua forma una especie de envoltura sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. [23]

Tixotropía

Es la propiedad que indica la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas al sufrir una presión tienden a volverse de estado sólido a uno semilíquido.

Capacidad de Intercambio Catiónico

Es la capacidad de cambiar iones fijados en la superficie exterior de sus cristales o atraer cationes a su superficie. [24]

Superficie Específica

La superficie específica de una arcilla es el área de la superficie externa más el área de la superficie interna de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/gr . [25]

2.1.2.2. Clasificación de las Arcillas

Las arcillas se clasifican en diferentes tipos de acuerdo a las características y propiedades que estas presenten, su clasificación puede ser:

Caolinitas o Arcilla Blanca

El caolín es de naturaleza residual o in situ, originadas por alteración hidrotermal, hipogénica o epigénica, de rocas ígneas ácidas. Presentan una coloración por lo general blanquecina. La caolinita es de buena cristalización en placas hexagonales y fino tamaño de partícula. [26] Es utilizada especialmente para la elaboración de cerámica y para brindar rigidez a tejidos de algodón (almidonar).

Arcilla Refractaria

Es el tipo de arcilla que se encuentra compuesto por caolinita con pequeñas cantidades de cuarzo, mica, anatasa, rutilo y óxido de hierro. Tienen una edad de 300 hasta 100 millones de años, originadas o formadas a finales del Paleozoico.

Arcilla Montmorillonita

Se la conoce también como una arcilla expansiva, es decir presenta grandes cambios de volumen, directamente relacionado a la humedad presente en este suelo. Este tipo de

arcilla es un desafío en la ingeniería geotécnica debido a que cuando adquieren agua se expande y se contraen al secarse, produciendo fisuras y grietas.

Arcilla Illita

Esta arcilla presenta minerales parecidos a la mica muscovita. Es una arcilla que se encuentra especialmente en depósitos marinos. Presenta características medianamente plásticas e inexpandibles. ^[27]

Arcilla de alta Alúmina

Es una arcilla como su nombre mismo lo indica contiene altas concentraciones de alúmina (superior a 39,6%), y además incluye hidratos de aluminio. Su uso eventualmente es ocupado en las industrias refractarias y de cerámica.

Arcilla de Liga

Son arcillas plásticas, que contienen alto porcentaje de partículas finas. Resulta de Liga debido a que al unirse con otros componentes arcillosos, sus partículas se unifican, dando lugar a cuerpos más resistentes y densos.

Arcilla Haloisítica

Es una arcilla cuyo componente principal es la haloisita. Su composición química presenta una semejanza a las caolinitas.

Atapulgita

Arcilla compuesta principalmente por el mineral atapulgita o paligorsquita. Presenta una textura fibrosa, de origen hidrotermal o sedimentario. De uso en la preparación de arcillas activadas y como catalizadores para usos diversos. ^[26]

2.1.2.3. Consistencia y Sensibilidad de las Arcillas

La consistencia de las arcillas se ve descrita comúnmente por los términos blando, compacto, resistente y duro. La manera de medir la consistencia de una arcilla es

efectuando el ensayo de resistencia a la compresión simple de muestras en forma cilíndrica o prismática. [28]

Consistencia	<i>Resistencia a la Compresión Simple</i> <i>Kg/cm²</i>
Muy Blanda	Menos de 0,25
Blanda	0,25 - 0,5
Medianamente compacta	0,5 - 1
Compacta	1,0 - 2,0
Muy compacta	2,0 - 4,0
Dura	Mayor de 4,0

Tabla N° 1. Consistencia de las Arcillas

La sensibilidad de las arcillas hace referencia al efecto que produce el amasado sobre la consistencia de las mismas, independiente de la naturaleza física de las causas del fenómeno. La sensibilidad de las arcillas mayormente varía entre los valores de 1 a 8, es así que se puede verificar la sensibilidad de una arcilla de acuerdo a la siguiente tabla:

Sensibilidad	<i>Descripción</i>
1 - 2	Ligeramente Sensitiva
2 - 4	Medianamente Sensitiva
4 - 8	Muy Sensitiva
8 - 16	Ligeramente Activa
16 - 32	Medianamente Activa
32 - 64	Muy Activa
> 64	Extra activa

Tabla N° 2. Sensibilidad de las Arcillas

2.1.3. Estabilización de suelos

Es común que los especialistas en construcción encuentren si es apto o no un suelo para realizar sobre este una construcción, es así que debe optar por:

- Realizar la obra sobre el suelo existente sin modificarlo, siempre y cuando tome en cuenta la calidad de la obra que está efectuando,
- Sustituir el suelo que no cumpla las condiciones especificadas en los requerimientos constructivos, por otro suelo que cumpla con las características necesarias para llevar a cabo la obra,
- Cambiar las propiedades del material añadiendo sustancias que permitan un mejoramiento de las características del suelo, haciéndolo idóneo para levantar sobre este una construcción.

Es así que una estabilización de suelo procura brindar una mejora al suelo fundamentalmente en el aumento de su capacidad de soporte y una disminución en su sensibilidad frente al agua y a otras condiciones medioambientales desfavorables. ^[29]

Como objetivos sustanciales para realizar una estabilización a un suelo pueden ser:

- Secar zonas húmedas para facilitar su compactación
- Mejorar calidad y resistencia del suelo
- Disminuir permeabilidad, compresibilidad y absorción de agua
- Evitar hundimientos y asentamientos
- Prevenir los deslizamientos de masas de suelo en rellenos o en taludes

2.1.3.1. Tipos de Estabilización

Existen varios tipos o procesos empleados al momento de realizar una estabilización de suelos, estos tipos de estabilizaciones se ven demostradas en las siguientes:

Estabilización Mecánica

Se define como aquella estabilización en la que exclusivamente consiste en mezclar un suelo con otros. Este proceso de estabilización se ve marcado por el uso de la granulometría. Además este tipo de estabilización se lo puede obtener con:

- *Mezcla de dos suelos.*- Como su nombre lo indica consiste en la mezcla de ciertos porcentajes de una fracción de grava con una fracción de arena, según disponga la necesidad del proyecto.

- *Mezcla de tres suelos.*- Básicamente consiste en la mezcla de ciertos porcentajes de una fracción de grava, con la fracción de arenas y un filler o llenador, que eventualmente vendría siendo un limo.
- *Mezcla de suelos y otros materiales.*- Resultan de la mezcla de suelo con las escorias producidas en altos hornos.

Estabilización Física

Son estabilizaciones que se efectúan mediante el uso de maquinaria o equipo adecuado para la realización de este tipo de proceso. Los métodos de estabilización física pueden ser:

- *Estabilización por compactación.*- Se desarrolla mediante la utilización de equipos de carga, es así que para suelos friccionantes es preciso utilizar equipos de carga y vibración y equipo de amasado para suelos cohesivos.
- *Estabilización por Precarga.*- Este tipo de proceso de estabilización se desarrolla con la utilización de la presión del agua sobre el suelo, ya que evita a través de este proceso se evita deformaciones y asentamientos no deseados.
- *Estabilización por Preconsolidación.*- Consiste en la colocación de cargas temporales, que pueden permanecer de 6 meses a 1 año o más sobre el suelo que se provee estabilizar. Estas cargas aplicadas al suelo ocasionan asentamientos por consolidación, incrementando la resistencia y disminuyendo la relación de vacíos.
- *Estabilización con drenes verticales de Arena.*- Se fundamenta en la colocación de arenas limpias en perforaciones realizadas al suelo, consiguiendo que estas arenas actúen como filtros para extraer el agua.
- *Estabilización con Colchón de Arena.*- Con la finalidad de extraer el agua del suelo se coloca una capa baja de arena sobre suelos blandos saturados, permitiendo un suelo al cabo de un período de tiempo un suelo apto para el desarrollo de un proyecto.

Estabilización Química

La estabilización química consiste en la utilización de productos elaborados como el cemento, cal, entre otros; que al ser mezclados con los diferentes tipos de suelo, proporcionan una mejora en sus características.

- *Estabilización con cemento.*- Se fundamenta en la colocación de cemento a manera de polvo o en forma de lechada en la superficie del suelo o realizando perforaciones en el mismo. Para el desarrollo de esta estabilización el suelo deberá tener un diámetro máximo de partículas de 3", un porcentaje del 15% al 100% de suelo que pase el tamiz #40, y una plasticidad de límite líquido menor al 40% e índice plástico menor al 18%. Las cantidades de cemento a emplearse variaran entre el 8% al 18%.
- *Estabilización con Cal.*- Este proceso de estabilización se desarrolla especialmente para casos en donde existe suelo arcilloso. Parámetros de dosificación de cal entre el 2% y 8% con respecto al peso de suelo seco. En suelos arcillosos puede presentarse estabilización por modificación (corto plazo) y por cementación (largo plazo).
- *Estabilización con Emulsiones Asfálticas.*- Se efectúan a través de la utilización de asfalto aplicado al suelo. Es frecuentemente utilizado para estabilizar capas de base o sub-base. Consigue mayor penetración que una lechada debido a que presenta mejor viscosidad.

2.1.3.2. Ventajas de Suelos Estabilizados

Ventajas Técnicas

Entre las ventajas que se pueden mencionar, las siguientes:

- Proporciona una adecuada capacidad de soporte al suelo, aumentando la vida útil de la obra que sobre esta se vaya a construir,
- Debido a la estabilidad que presenta el suelo, impide que se produzca cambios de volumen por hinchamiento o retracción,
- Permite la utilización de los mismos suelos de sitio, mejorando sus características hasta el grado deseado.

Ventajas Económicas y Ambientales

Entre las ventajas se pueden mencionar:

- La utilización de suelos del mismo sitio, evita el desalojo y el uso de material de préstamo, evitando gastos de transporte,
- Efectuar la estabilización con la mezcla de suelos evita la contaminación que puede representar el uso de químicos,
- Acortamiento de plazos de ejecución de la obra,
- Debido a la estabilización del suelo de cimentación, se ahorra en el espesor de las otras capas del pavimento si es el caso de una obra vial.

2.1.4. Enzimas Orgánicas

Una enzima es un compuesto natural orgánico de gran semejanza a las proteínas que actúan como un catalizador de partículas de suelo. ^[30]

2.1.4.1. Aplicación de Enzimas Orgánicas en la Estabilización de Suelos

El aditivo estabilizador enzimático se presenta en forma líquida y en polvo, de carácter no contaminante, ni perjudicial al ser humano, altamente concentrado, de olor agradable y fácil manejo. ^[31]

La enzima no presenta toxicidad al suelo, debido a que resulta de componentes orgánicos como la caña de azúcar (melaza) y otros. Aplicado en suelos arcillosos disminuye los costos de reparación y mantenimiento.

La implementación de un estabilizador a base de enzimas orgánicas aplicada a un suelo, tendrá como resultado el incremento de los valores de CBR, disminución de la absorción de agua, incremento en la densidad del suelo, baja permeabilidad. El uso de enzimas como medio estabilizante de suelo reducirá los costos de transporte vinculados al cambio de suelo, es decir al material de desalojo y a la colocación de relleno (agregado grueso).

La enzima utiliza como ligante los finos cohesivos no granulares, el material de subrasante a utilizar deberá tener un alto contenido de finos. ^[32] La reducida capacidad de absorción de humedad evita cambios de volumen por saturación de agua y elimina el ciclo de congelamiento y descongelamiento cuando el clima así lo genere.

2.1.4.2. Construcción de un Camino o Vía

La dosificación requerida para la aplicación del aditivo, será de acuerdo a las especificaciones que indique el fabricante del producto; es así que por lo general se considera que 1 litro de enzima servirá para 30 m³ o 33 m³ de material compacto, y el agua se agregara dependiendo de la humedad en la que se encuentre el suelo al momento de realizar el proceso de estabilización.

La construcción de un camino deberá efectuarse en capas no mayores a 30 cm y no menores a 15 cm, para obtener una compactación adecuada. Se debe poner mucha atención en el contenido de humedad y la forma de mezclado para obtener una distribución uniforme del aditivo en el material del camino.

El aditivo enzimático también es utilizado para el sellamiento de la base granular en los caminos terciarios, controlando la pérdida de finos. Se aplica en una solución de 1 parte de enzima por 10 000 partes de agua. Este tratamiento es altamente efectivo reduciendo los finos en suspensión producto del tráfico vehicular, evitando así los tratamientos temporales y las grandes cantidades de agua que normalmente se requieren para solucionar este problema.

Los caminos tratados con productos enzimáticos conservan un funcionamiento por más de 10 años. Además la vida útil de un camino depende de diversos factores:

- Condiciones climáticas adversas,
- Tipos de suelos utilizados en la construcción,
- Diseño geométrico de la vía,
- Tipo de tráfico vehicular, velocidades de diseño y usos,
- Recubrimiento para superficies de rodadura,
- Mantenimiento en general

Para la construcción de caminos provisorios se tomará en cuenta o a consideración la disminución en los espesores, teniendo siempre en cuenta, que las cargas por ejes proyectadas no destruyan prematuramente el camino.

2.1.4.3. Homologación

El uso del aditivo estabilizador de suelos incrementa el valor estructural de suelos con características plásticas, incrementando la impermeabilidad en contra de la acción del agua mejorando valores de soporte, acelera la acción cohesiva como ligante de partículas de suelo creando un firme y permanente estrato. ^[31]

Materiales

- *Agregados Pétreos.*- Representa los materiales por estabilizar, estos podrán ser triturados, clasificados o una mezcla de ambos y deberán estar exentos de materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial. Además deberán cumplir con: granulometría, plasticidad, resistencia a la abrasión, solidez.
- *Aditivo Enzimático.*- Se presentará en forma líquida y deberá constar con la debida garantía del fabricante, además de la eficiencia del producto, forma de aplicación y uso, fechas de elaboración y vencimiento. Se deberá garantizar que el producto no afecte al medio ambiente (suelo, vegetación, seres vivos).
- *Agua.*- El agua a utilizar para la estabilización deberá ser limpia, libre de impurezas que fuesen perjudiciales o tóxicas. ^[33]

Equipo

El equipo a utilizar al momento de la estabilización será:

- Motoniveladora convencional (equipada con puntas escarificadoras),
- Camión Tanque equipado con aditamento irrigador,
- Máquina Compactadora de rodillo metálico,
- Máquina Compactadora de Rodillo Neumático,
- Máquina Compactadora Pata de Cabra (para suelo con alto contenido de arcilla).

Procedimiento de Trabajo

Los caminos deberán estar contruidos de acuerdo a un buen diseño de ingeniería. Previo a la aplicación del estabilizador de suelos se deberá realizar ensayos o pruebas de laboratorio de los materiales disponibles en campo para determinar sus características.

Se deberá alcanzar y mantener un contenido de humedad óptimo durante su mezclado, homogeneización y compactación. El estabilizado trabaja con mejor rendimiento de 2-3% por debajo del contenido óptimo de humedad. Nunca se deberá compactar cuando el suelo se encuentre por encima del límite óptimo de humedad.

Se mantendrá el suficiente esfuerzo de compactación durante su construcción para obtener la densidad máxima, pero se usará menos esfuerzo de compactación cuando se use el estabilizador de suelos.

El camino se tendrá que curar antes de abrirse al tráfico vehicular verificando su estado lo más continuo posible y ejecutar una inspección final. El secado del material creará menos plasticidad y reducirá su impermeabilidad aumentando su resistencia.

- *Paso 1.-* Se utilizará la hoja de la motoniveladora para abrir el suelo a una profundidad de 15 cm. Se construirá camellones con el material removido. Se retirará el material que no cumpla con la granulometría, usando solo los materiales acondicionados para este tipo de estabilización, especialmente finos.



- *Paso 2.-* Se agregará el estabilizador en el tanque con agua. Se rociará el estabilizador ya diluido sobre los camellones y se procederá a extender el material con la hoja, para esparcir el estabilizador y homogeneizar la mezcla. Después de realizada la mezcla de todo el material se procederá al tendido de otras capas si es necesario.



- *Paso 3.-* Se realizará pasadas con el rodillo respectivo, el rodillo vibratorio para las primeras pasadas, el rodillo pata de cabra y rodillo neumático están recomendados para suelos arcillosos.



2.2. HIPÓTESIS

Los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, permitirán mejorar las características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable Independiente

Estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento.

2.3.2. Variable Dependiente

Características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Investigación Aplicada

La investigación a realizarse es de tipo aplicada, debido a que en el proceso de conformación de la presente investigación se utilizará conocimientos aprendidos durante la carrera, específicamente en la cátedra de mecánica de suelos, los cuales serán empleados en la realización de los ensayos pertinentes para el desarrollo de este proyecto.

3.1.2. Investigación Experimental

Para el desarrollo de la investigación será necesario experimentar el suelo arcilloso con enzimas orgánicas y también con cemento, intentando mejorar las propiedades físico-mecánicas de este tipo de suelo en estudio.

3.1.3. Investigación de Laboratorio

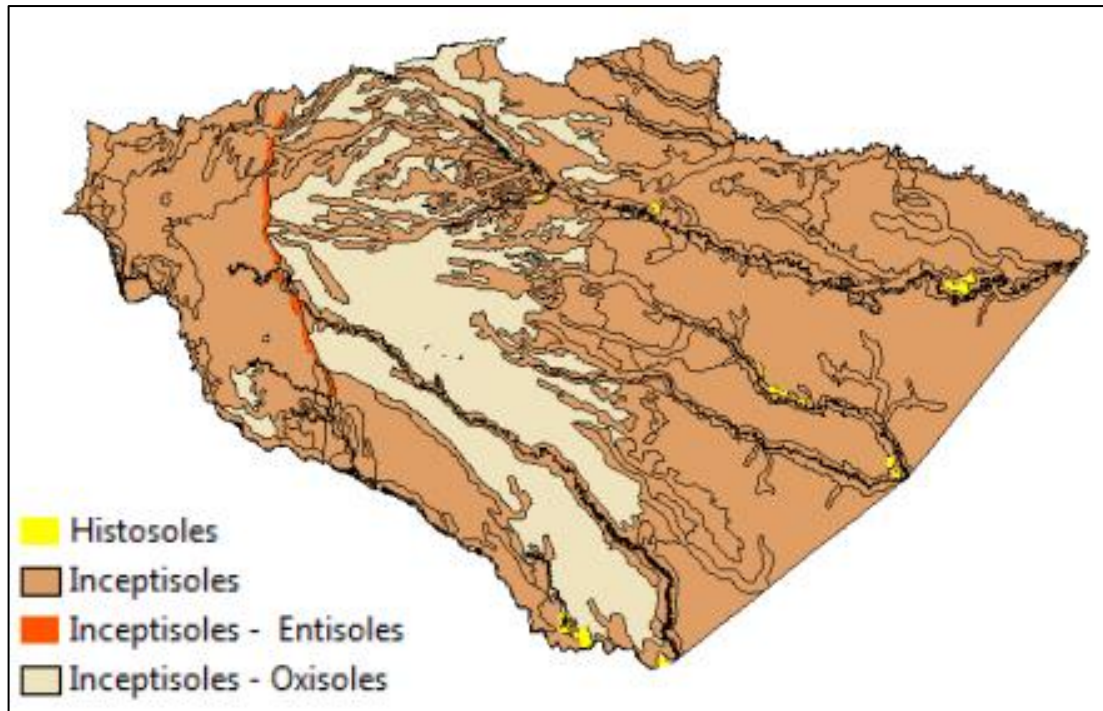
La investigación en mención será de carácter de laboratorio, ya que es preciso indicar que los ensayos realizados al suelo, y a las mezclas de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, serán desarrollados dentro del Laboratorio de Mecánica de Suelos, el cual nos brinda el equipamiento necesario para llevar a cabo el presente estudio.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población o Universo

La población los constituyen los suelos arcillosos de la ciudad de Puyo, perteneciente a la Provincia de Pastaza.

Figura N° 3. Mapa de Suelos de la Provincia de Pastaza



Fuente: Zonificación Ecológica – ECORAE (2007)

3.2.2. Muestra

Para el desarrollo del proyecto de investigación se tomaron dos calicatas como muestra de suelos arcillosos característicos de la ciudad de Puyo, Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza, tomando en cuenta el tipo de arcillas que se describe en las siguientes imágenes:

Figura N° 4. Muestra #1-Barrio La Merced



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

La muestra anterior se tomó, debido a que se encuentra en gran parte del territorio de la ciudad de Puyo, esta se identifica por su coloración amarillo-rojizo.

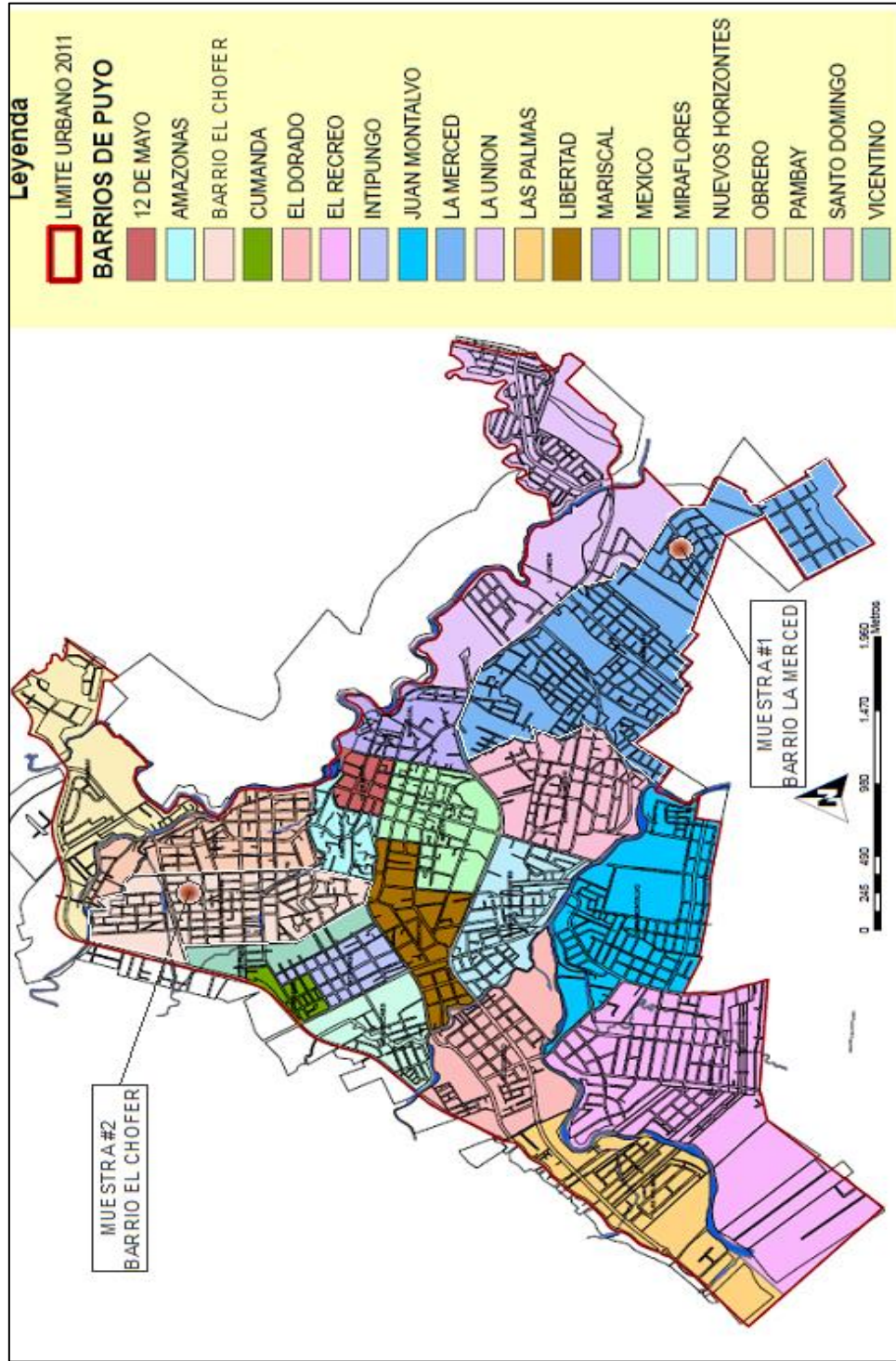
Figura N° 5. Muestra #2-Barrio El Chofer



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

La muestra anterior se tomó, debido a que se encuentra frecuentemente en la ciudad de Puyo, se identifica por su coloración plomo-blanquecina, recibe en nombre de caolinita.

Figura N° 6. Ubicación las muestras



Fuente: Mapa de Barrios de la ciudad de Puyo

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente

- Estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento.

Tabla N° 3. Operacionalización de Variable Independiente

Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Estabilización de suelo: procuran brindar una mejora al suelo fundamentalmente en el aumento de su capacidad de soporte y una disminución en su sensibilidad frente al agua y a otras condiciones medioambientales desfavorables.</p>	Enzimas Orgánicas	Características de las Enzimas	¿Cómo influyen las características de las enzimas orgánicas aplicadas a suelos arcillosos?	Investigación Bibliográfica.
		Cantidad de Enzimas	¿Cuál será la dosis correcta para mejorar un suelo arcilloso con enzimas orgánicas?	Investigación Bibliográfica. Ensayos de Laboratorio.
	Cemento	Cantidad del Cemento	¿Qué porcentaje de cemento será adecuado para brindar una adecuada estabilización?	Ensayos de Laboratorio.

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

3.3.2. Variable Dependiente

- Características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante.

Tabla N° 4. Operacionalización de Variable Dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Características Físicas: Las características que presentan los suelos se deben a los agentes que lo modifican, diferenciándolos unos de otros.	Propiedades Físicas de un suelo arcilloso	Color	¿Qué clase de arcilla es más propensa a ser estabilizada?	Ensayos de Laboratorio.
		Textura	¿Cambiará la textura de la arcilla al ser estabilizada?	Investigación Bibliográfica. Ensayos de Laboratorio.
Características Mecánicas: Las características mecánicas que presenta un suelo, suele referirse al comportamiento de este ante diversos agentes tales como la resistencia, permeabilidad, entre otros.	Propiedades índice de un suelo arcilloso	Capacidad Portante CBR%	¿Cómo influye una estabilización en la capacidad portante de una arcilla?	Ensayos de Laboratorio.
		Límites de Plasticidad	¿Qué tipo de estabilización afectará la plasticidad de una arcilla?	Ensayos de Laboratorio.

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla N° 5. Plan de Recolección de Información

<i>Preguntas Básicas</i>	Explicación
¿Para qué?	Comparar las propiedades físico-mecánicas de los procesos de estabilización de suelo-cemento y suelo con enzimas orgánicas, aplicados a suelos arcillosos de subrasante.
¿A qué?	Suelo arcilloso Suelo arcilloso con enzimas orgánicas Suelo arcilloso con cemento
¿Sobre qué aspectos?	-Densidades Máximas y Humedades óptimas del suelo arcilloso, mezcla de suelo-cemento y mezcla de suelo con enzimas orgánicas. -Límites de Plasticidad del suelo arcilloso, mezcla suelo-cemento y mezcla de suelo con enzimas orgánicas. -CBR de suelo arcilloso y las mezclas de suelo-cemento y suelo más enzimas orgánicas.
¿Quién?	Deivys Ismael Hidalgo Benavides
¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio
¿Con qué?	Equipo de Laboratorio Norma AASHTO Norma ASTM Norma NEVI-12 Cámara de curado

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1. Plan de procesamiento de la información

- Selección de la información necesaria para la realización de los ensayos pertinentes para efecto de este estudio, tales como:
 - Determinación de Densidad del suelo arcilloso
 - Límites de Plasticidad o Atterberg
 - Granulometría
 - Ensayo Proctor Modificado tipo B
 - Gravedad Específica
 - Ensayo de Soporte California CBR
- Tabulación de datos de acuerdo a las variables expuestas en la hipótesis
- Realización de gráficas de resultados

3.5.2. Plan de Análisis

- Con relación a lo estipulado en los objetivos e hipótesis, analizar e interpretar los resultados obtenidos
- Verificación de la hipótesis
- Determinación de conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de suelo, es necesario realizar ensayos correspondientes de identificación de suelo, contenidos óptimos de humedad, resistencia del suelo natural, capacidad de soporte de carga, entre otros; que permitirán un conocimiento del comportamiento de las muestras de suelo antes y después de haber sido combinadas con cemento y enzimas orgánicas respectivamente. Es así que se han desarrollado los siguientes ensayos:

4.1.1. Análisis Mecánico de los Suelos

Es necesario realizar un análisis mecánico del suelo en estudio, para identificar el tipo de suelo, es así que se lo determina mediante resultados que brinde el ensayo de granulometría al ser identificado en la tabla del SUCS.

Para la realización del ensayo mecánico de Granulometría se utilizó los tamices de fracción fina siguientes:

Tabla N° 6. Tamices de Fracción Fina

Malla N°	Abertura mm
#10	2,000
#40	0,425
#60	0,250
#100	0,150
#200	0,075

Fuente: U.S. Bureau of Standards

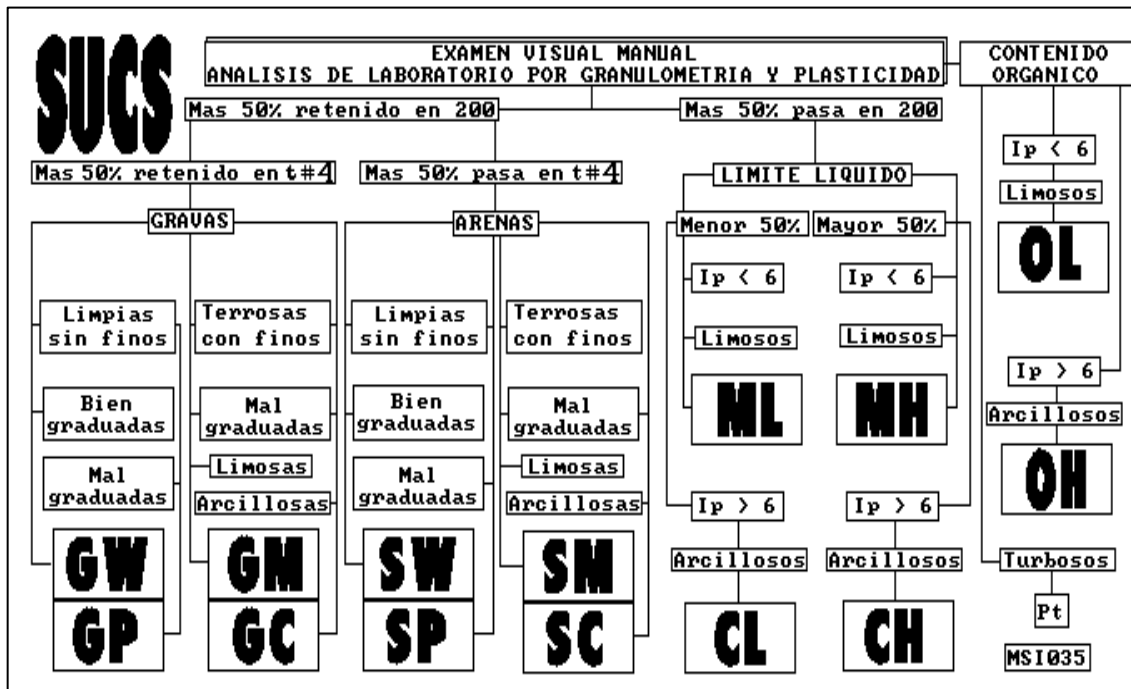
Tabla N° 7. Tabla Resumen del Ensayo de Granulometría e Identificación de Suelo

Muestra	Ubicación	Identificación SUCS	% Pasa Tamiz #200
1	Barrio La Merced/Puyo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	56,46
2	Barrio El Chofer/Puyo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	51,54

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

La identificación del tipo de suelo se lleva a cabo a partir de la utilización de la siguiente tabla:

Figura N° 7. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS



Fuente: SUCS

En la cual se puede identificar que de las muestras de suelo ensayadas, el 50% de su masa pasa el tamiz #200, resultado que conjuntamente con el límite líquido e índice plástico mostrados en la tabla N°10 revela el tipo de suelo.

Proceso de Ensayo:

Se pesan 500 gr de suelo, este debe estar en condiciones secas, en una balanza electrónica.

Se coloca la muestra en la serie de tamices, y posteriormente el conjunto de tamices se los ubica en la máquina vibradora por un tiempo de 15 minutos.

Para finalizar se pesa el suelo retenido en cada tamiz y se anota.

4.1.2. Relaciones Fundamentales

Las relaciones fundamentales se determinaron mediante el uso del ensayo de cono y arena de Ottawa.

Figura N° 8. Ensayo de Cono y Arena de Ottawa



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Ensayo que básicamente consiste en la relación de peso y volumen. Así también la ayuda de contenidos de humedad, tomados en campo el momento de realización del ensayo.

Tabla N° 8. Tabla Resumen de las Relaciones Fundamentales de los Suelos

Propiedad		Muestra #1 Barrio La Merced	Muestra #2 Barrio El Chofer
Peso Volumétrico del suelo	(gm)	0,751	0,838
Densidad seca	(gd)	0,470	0,467
Contenido de humedad	(w%)	59,70	79,48
Relación de vacíos	(e)	4,478	4,800
Porosidad	(n%)	81,74	82,76
Grado de Saturación de agua	(Gw%)	34,35	44,86
Grado de Saturación de aire	(Ga%)	65,65	55,14

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Proceso del Ensayo:

Se pesa el envase con su respectivo cono y la arena de Ottawa que lo contiene. Ya en campo lo primero es identificar el sitio en donde se realizará dicho ensayo; procedemos a limpiar la zona y colocamos la placa metálica, seguidamente con ayuda de una cuchara se excava y extrae suelo de la circunferencia que indica la placa (se realizó una excavación aproximada de 15cm) y la colocamos en un recipiente, para después ser pesada.

Figura N° 9. Extracción de suelo/Ensayo de cono y arena



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Se ubica el equipo (envase+cono+arena) en el lugar donde se extrajo el suelo natural y se procede a abrir la llave, dejando caer la arena dentro del hueco realizado.

Después de ubicar el suelo en el hueco, se cierra la llave y se levanta lentamente el equipo, intentando no regar la arena contenida en el cono; se recoge la arena contenida en el cono y se pesa.

El equipo (envase+cono+arena) se pesa después de haber cerrado la llave y se anota.

4.1.3. Gravedad Específica

Para la obtención de la gravedad específica de las muestras #1 y #2, así como la del cemento a utilizarse en la estabilización de suelo-cemento; se obtuvo mediante el ensayo del picnómetro.

Figura N° 10. Ensayo para determinar la Gravedad Específica de la Muestra #1



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Para la obtención de la gravedad específica de las muestras #1 y #2 se utilizó agua y se desarrolló el ensayo como dicta la norma correspondiente INEN 857, entre otras indicadas en los anexos correspondientes.

Así, en cambio para la obtención de la gravedad específica del cemento se utilizó gasolina y se desarrolló el ensayo como dicta en la norma correspondiente INEN 156.

Figura N° 11. Ensayo para determinar la Gravedad Específica del Cemento



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Es así que se obtuvieron los datos de gravedad específica siguientes:

Tabla N° 9. Tabla Resumen de Gravedad Específica de las muestras de suelo

Muestra	Ubicación	Color	Descripción	Gravedad Específica
1	Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	2,648
2	Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blanquecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	2,709

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Tabla N° 10. Tabla Resumen de Gravedad Específica de los agentes estabilizadores

Estabilizador	Descripción	Gravedad Específica Ensayada	Gravedad Específica Fábrica
Cemento Hidráulico Tipo III	Cemento Selva Alegra	2,602	3,00
Enzima Orgánica	Permazyme 11x	-----	1,0 – 1,10

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

La gravedad específica del producto de enzimas orgánicas viene dado de acuerdo a las especificaciones de fábrica.

Proceso de Ensayo:

Se pesa 50 gr. de suelo.

Se coloca agua en el picnómetro hasta la marca de aforo y se pesa.

Se coloca los 50 gr. de suelo dentro del picnómetro con agua, seguidamente se extrae el aire realizando movimientos giratorios del picnómetro, y además se limpia los excedentes de materia orgánica con la ayuda de un papel. Con la ayuda de una pipeta extraemos agua excedente hasta la marca de aforo.

Tomamos la temperatura con un termómetro, ubicándolo dentro del picnómetro con agua y suelo. Se pesa el conjunto de picnómetro+agua+suelo.

El contenido de agua y suelo del picnómetro se ubica en un recipiente y se pesa; posteriormente es colocado al horno por 24 horas. Al día siguiente se pesa nuevamente el recipiente dejado en el horno.

4.1.4. Límites de Atterberg

Para la determinación del límite líquido se empleó el ensayo de Cassagrande, que básicamente expresa la relación del contenido de agua contenido en el suelo y el número de golpes en la copa de Cassagrande; el límite líquido del suelo se determina en el gráfico correspondiente (Ver Anexo D), de acuerdo al punto de intersección de la curva de escurrimiento con la ordenada de 25 golpes; ya que significa que el suelo alcanza una resistencia al corte $0 < S < 0,25 \text{gr/cm}^2$.

Mientras que para la determinación del límite plástico se realizaron pequeños rollos de suelo de aproximadamente 3mm de diámetro, hasta ver ligeros resquebrajamiento de acuerdo al agua que contenga.

Figura N° 12. Ensayo de la Copa de Cassagrande



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

El Índice de Plasticidad de un suelo arcilloso (cohesivo), resulta de la diferencia existente entre el límite líquido y el límite plástico.

$$I_p = LL - LP$$

Los límites de Atterberg de las muestras ensayadas se muestran a continuación:

Tabla N° 11. Tabla Resumen de Límites de Atterberg de suelo natural

Muestra	Ubicación	Color	Descripción	Límite Líquido (LL%)	Límite Plástico (LP%)	Índice de Plasticidad %
1	Barrio La Merced/ Puyo	Anaranjado-rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	60,5	54,17	6,33
2	Barrio El Chofer/ Puyo	Gris-blanquecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	86,0	66,67	19,33

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

La plasticidad de los suelos se efectuó además con las estabilizaciones correspondientes al proyecto, es así que se señala en la siguiente:

Tabla N° 12. Tabla Resumen de Límites de Atterberg de las Combinaciones

Combinación	Muestra #	Color	Descripción	Límite Líquido (LL%)	Límite Plástico (LP%)	Índice de Plasticidad %
Suelo – Enzima	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	58,5	53,17	5,33
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blancuecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	86,0	70,37	15,63
Suelo – Cemento 5%	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	61,2	55,71	5,49
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blancuecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	88,6	71,63	16,97
Suelo – Cemento 10%	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	58,6	54,17	4,43
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blancuecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	85,0	70,48	14,52

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Para la utilización de los porcentajes de cemento se llevó a cabo la designación del 5% y 10% de cemento, debido a que estos suelos representan altos porcentajes de humedad. De acuerdo a José Toirac Corral en su estudio de: “El Suelo-Cemento como material de Construcción”, los porcentajes de cemento para suelo arcilloso fluctúan entre 4% y 12%, porcentajes que se detallan a continuación:

Tabla N° 13. Porcentajes de Cemento agregados a diferentes suelos

Tipo de suelo	Cantidad del cemento (%)
Roca triturada, grava con arena y arcilla bien graduada	0.5-2
Arena bien graduada	2-4
Arena pobremente graduada	4-6
Arcilla arenosa	4-6
Arcilla limosa	6-8
Arcilla con plasticidad alta	8-12
Suelos orgánicos	10-15

Fuente: José Toirac Corral

Proceso del Ensayo:

Límite Líquido

Se tamiza una muestra de suelo por el tamiz #40, lo que pase por el tamiz se procede a ensayar.

Se coloca el suelo en un recipiente, seguidamente se coloca agua y se mezcla homogéneamente. Se procede a colocarlo en la copa, y partimos por la mitad la muestra; se efectúa los golpes correspondientes según indique la normativa (Ver Anexo D). Con la ayuda de una pequeña espátula se divide la muestra en cuadrantes y se toma 2 pequeñas partes; se las coloca en recipientes metálicos, seguido de pesar las muestras tomadas y enviadas al horno por 24 horas, finalmente se pesan las muestras dejadas con anterioridad en el horno.

Figura N° 13. División en cuadrantes/Determinación de Límite Líquido

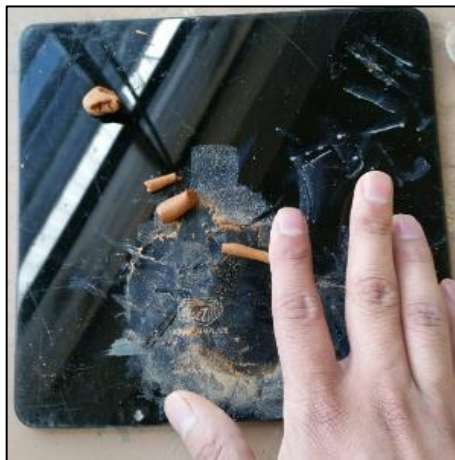


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Límite Plástico

Utilizando el mismo suelo del ensayo para determinar el límite líquido, se procede a buscar el contenido de agua idóneo que permita realizar los rollitos de suelo antes que se resquebrajen. Con la ayuda de las manos y un vidrio templado procedemos a hacer los rollos, seguidamente los cortamos teniendo en cuenta que tenga un diámetro de 3mm y un largo similar a los 3cm; se coloca en recipientes y son pesados, posteriormente se ubican en el horno por 24 horas para después ser pesados.

Figura N° 14. Formación de rollitos de suelo/Determinación de Límite Plástico



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

4.1.5. Densidad Máxima y Humedad Óptima del Suelo

La determinación de la densidad máxima y humedad óptima del suelo se desarrolló mediante la ejecución del ensayo de Proctor modificado tipo B para suelos que pasen el tamiz #4. La humedad obtenida en este ensayo será base fundamental para el desarrollo del ensayo para determinar la capacidad de soporte del suelo (CBR).

Tabla N° 14. Tabla Resumen de Ensayo Proctor Modificado

Muestra	Ubicación	Color	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Humedad Óptima (%)
1	Barrio La Merced/ Puyo	Anaranjado- rojizo	1,1452	30,8
2	Barrio El Chofer/ Puyo	Gris-blanquecino	1,1483	35,4

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Tabla N° 15. Tabla Resumen de Ensayo Proctor Modificado de las Combinaciones

Combinación	Muestra #	Color	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Humedad Óptima (%)
Suelo – Enzima	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	1,164	31,5
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blanquecino	1,1722	33,5
Suelo – Cemento 5%	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	1,1453	32,0
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blanquecino	1,1976	36,8
Suelo – Cemento 10%	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado-rojizo	1,143	33,8
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris-blanquecino	1,18	38

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Proceso del Ensayo

Se tamiza el suelo por el tamiz #4, todo el suelo que pasa el tamiz es utilizado en el ensayo. Se pesa 6000 gr de suelo por cada cilindro a ensayar (4 cilindros), de acuerdo a la norma AASHTO T-180.

Seguidamente se mide los cilindros (altura, diámetro) y su respectivo peso (cilindro sin collarín+retorta).

Se mezcla el suelo con el respectivo contenido de agua, ayudado de una probeta, y se coloca la mezcla dentro del cilindro ubicándolo en 5 capas, y en cada capa se realiza 56 golpes ayudados con un martillo de compactación.

Acabada la compactación se saca el collarín del cilindro y se procede a enrasar el suelo que sobresale el cilindro, seguidamente se pesa este cilindro con el suelo compactado.

Figura N° 15. Pesaje de cilindro con el suelo compactado



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Se toma suelo de la parte superior e inferior del cilindro y se coloca en recipientes metálicos, para determinar contenidos de humedad.

4.1.6. Capacidad de Soporte (CBR)

Tabla N° 16. Tabla Resumen Ensayo de CBR

Muestra	Ubicación	Color	Descripción	CBR (%)
1	Barrio La Merced/ Puyo	Anaranjado- rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	3,81
2	Barrio El Chofer/ Puyo	Gris-blanquecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	2,05

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Tabla N° 17. Tabla Resumen Ensayo de CBR de las Combinaciones

Combinación	Muestra #	Color	Descripción	CBR (%)
Suelo – Enzima	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado- rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	9,2
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris- blanquecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	4,82
Suelo – Cemento 5%	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado- rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	6,86
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris- blanquecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	5,37
Suelo – Cemento 10%	(1) Barrio La Merced/Puyo	Anaranjado- rojizo	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	6,94
	(2) Barrio El Chofer/Puyo	Gris- blanquecino	CH(Arcilla de Alta Plasticidad)	7,65

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Proceso del Ensayo

Para determinar el CBR de un suelo, procedemos a realizar la compactación mediante el ensayo de Proctor modificado tipo B, proceso descrito anteriormente.

Se procede a realizar la compactación de los cilindros con el martillo de compactación dando al suelo 11, 27 y 56 golpes por cada cilindro, distribuidos en 5 capas, de acuerdo a la norma AASHTO T193-63. Los cilindros son enrasados y pesados con retorta y sin retorta. Seguidamente se ubica en tinas con agua, para determinar el esponjamiento del suelo, por 3 días. Se coloca deformímetros en cada tina de esponjamiento, para determinar la deformación que sufre el suelo al ser sumergido en el agua.

A los tres días se sacan los cilindros y se coloca a escurrir, para seguidamente ser ensayados en la máquina para determinación de CBR. Se obtienen contenidos de humedad realizando toma de muestras en recipientes metálicos y son colocados al horno.

Figura N° 16. Cilindros sumergidos en agua para determinar esponjamiento

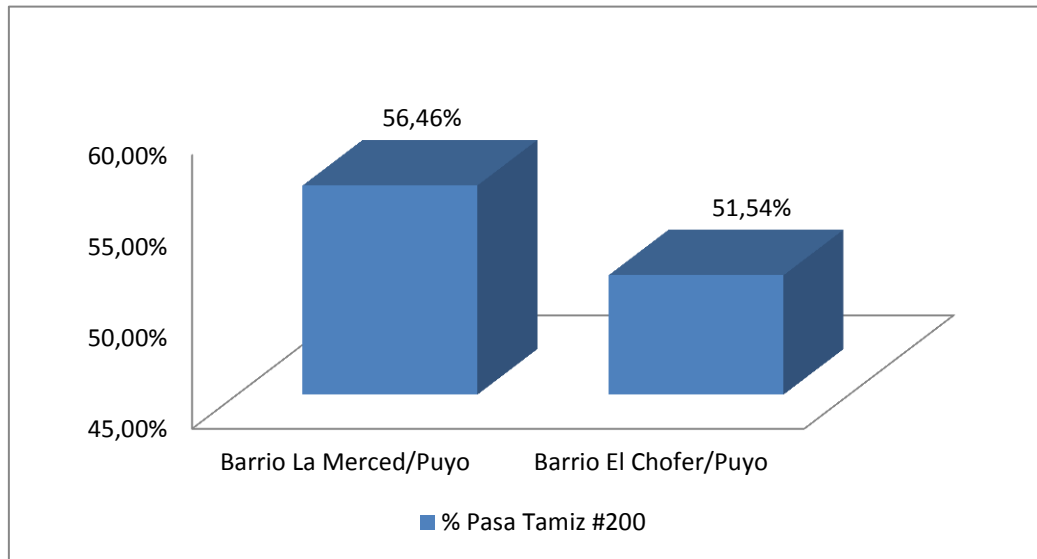


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1. Análisis Mecánico de los suelos

Figura N° 17. Comparación del % de suelo que pasa el tamiz 200



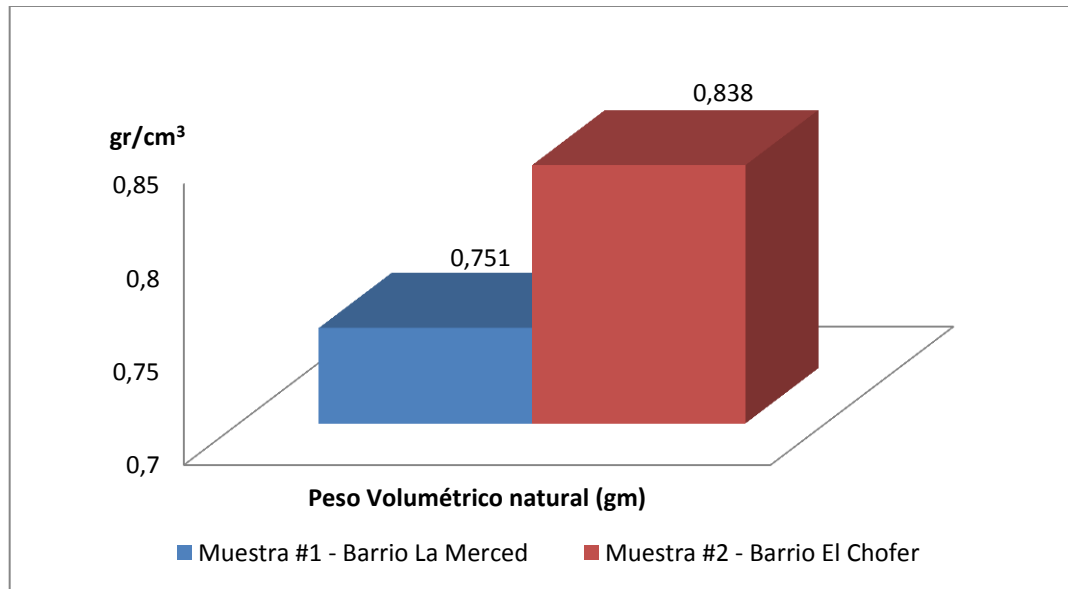
Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

El suelo arcilloso de color anaranjado-rojizo obtenido del Barrio La Merced de la ciudad de Puyo, representa un porcentaje alto de finos, de acuerdo a lo que se indica en la tabla respectiva a la curva granulométrica en la que el porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200 es 56,46% y 51,54 para el suelo arcilloso de color gris-blanquecino obtenido del Barrio El Chofer de la ciudad de Puyo. Valores correspondientes a un suelo arcilloso, según la tabla SUCS de clasificación del suelo, en la que se indica que para suelos arcilloso los porcentajes de suelo que debe pasar el tamiz #200 es del 50%. La muestra #1 representa mayor porcentaje que pasa el tamiz #200 debido a que antes del ensayo se trituró el suelo, porque este se encontraba formado de terrones de arcilla seca.

4.2.2. Relaciones Fundamentales

Figura N° 18. Comparación del Peso Volumétrico de los suelos

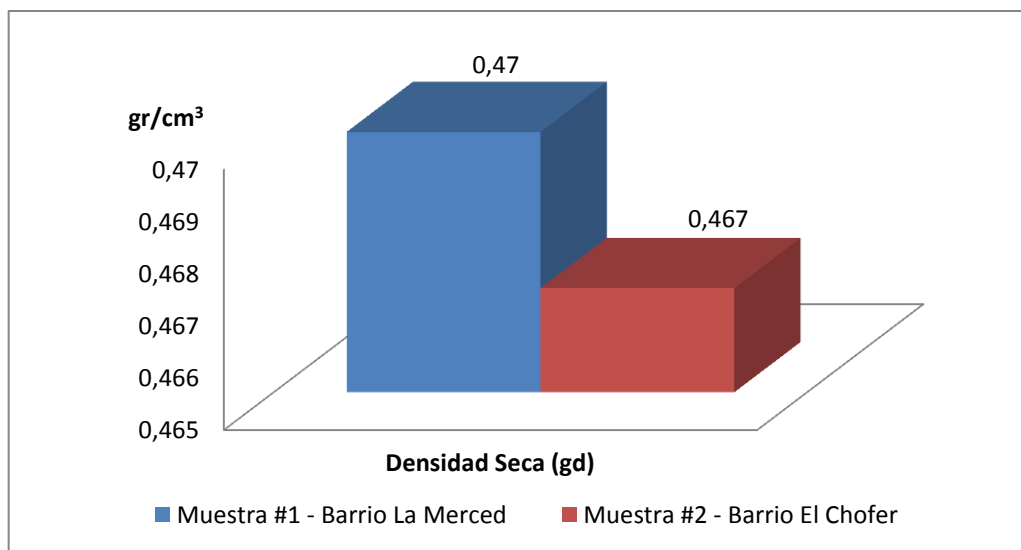


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

El peso volumétrico natural del suelo (gm) de la muestra #1 es de $0,751 \text{ gr/cm}^3$; que representa la masa del suelo dividida para el volumen de agua que contiene el suelo. Mientras que la muestra #2 es de $0,838 \text{ gr/cm}^3$, es decir que las muestras de suelo ensayadas se encuentran con un alto porcentaje de agua, por lo que estos suelos son muy compresibles, de poca resistencia, deformables e inestables; de acuerdo a los valores indicados, teniendo un suelo más saturado de agua el de la muestra #2 con respecto a la muestra#1.

Figura N° 19. Comparación de la Densidad Seca de los suelos

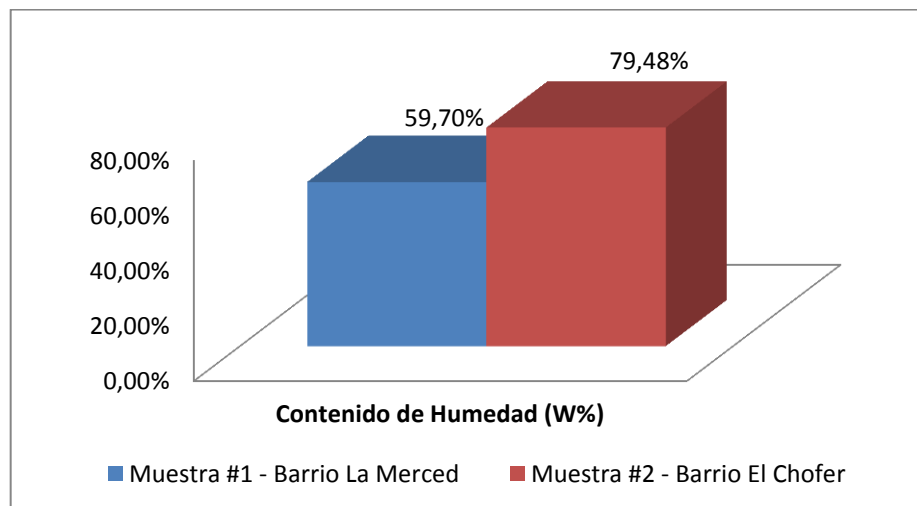


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

El peso volumétrico seco del suelo (*gd*) de la muestra #1 es de 0,47 gr/cm³ y de la muestra #2 es de 0,467 gr/cm³; indicando que la muestra #1 se encuentra más densificada por efectos de la compactación que la muestra #2; pero aun así las dos muestras de suelo arcilloso son suelos inestables.

Figura N° 20. Comparación del Contenido de Humedad

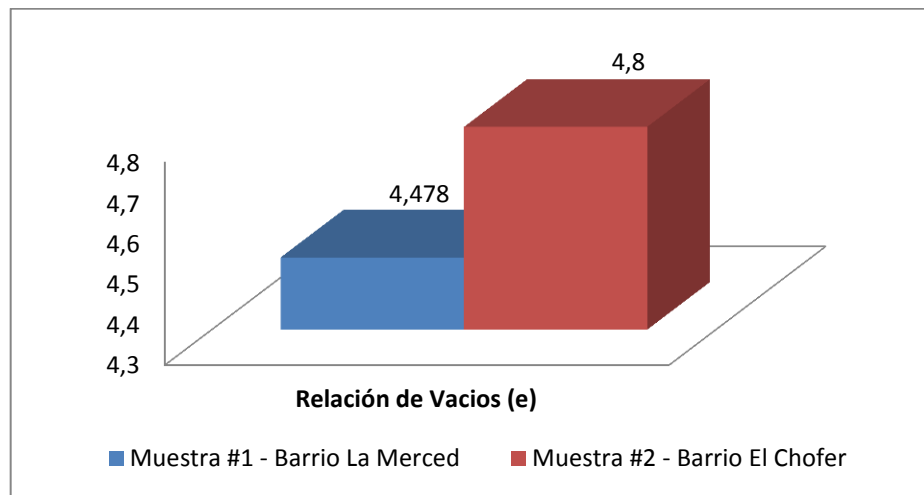


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

El contenido de Humedad ($w\%$) de la muestra #1 es de 59,7% y de la muestra #2 es de 79,84%; cantidades que representan el porcentaje de agua que se encuentra en el suelo, es así que el suelo gris-blanquecino representa mayor porcentaje de humedad que el suelo anaranjado-rojizo, indicando que el suelo arcilloso anaranjado-rojizo presenta un suelo más estable y resistente que el suelo gris-blanquecino. A pesar que los dos contenidos de humedad son muy altos, ya que son arcillas.

Figura N° 21. Comparación de la Relación de Vacíos de los suelos

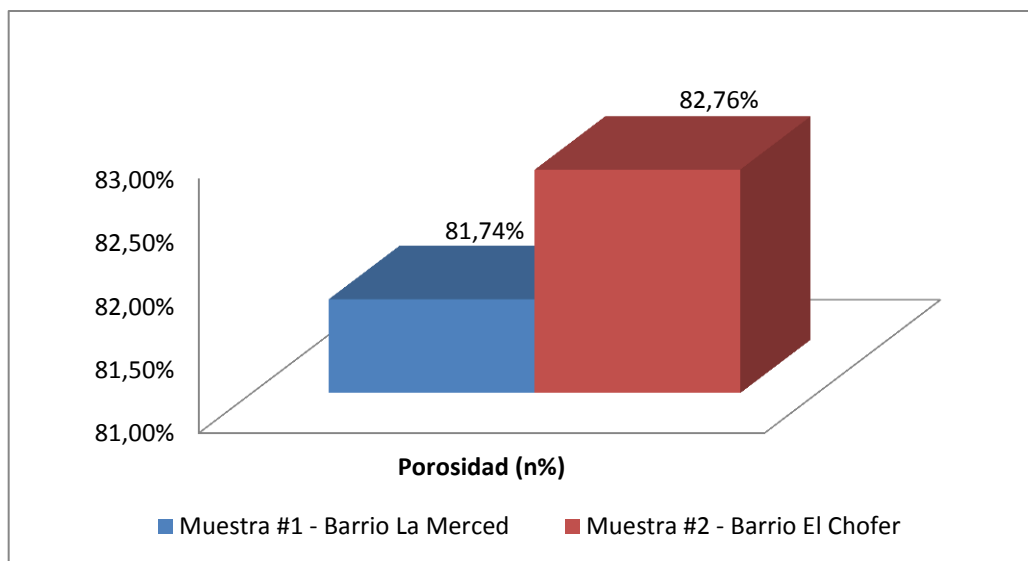


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

La relación de vacíos (e) de 4,478 de la muestra #1 y de 4,8 de la muestra #2, indican que el suelo arcilloso gris-blanquecino presenta mayor número de suelo suelto.

Figura N° 22. Comparación de la Porosidad de los suelos



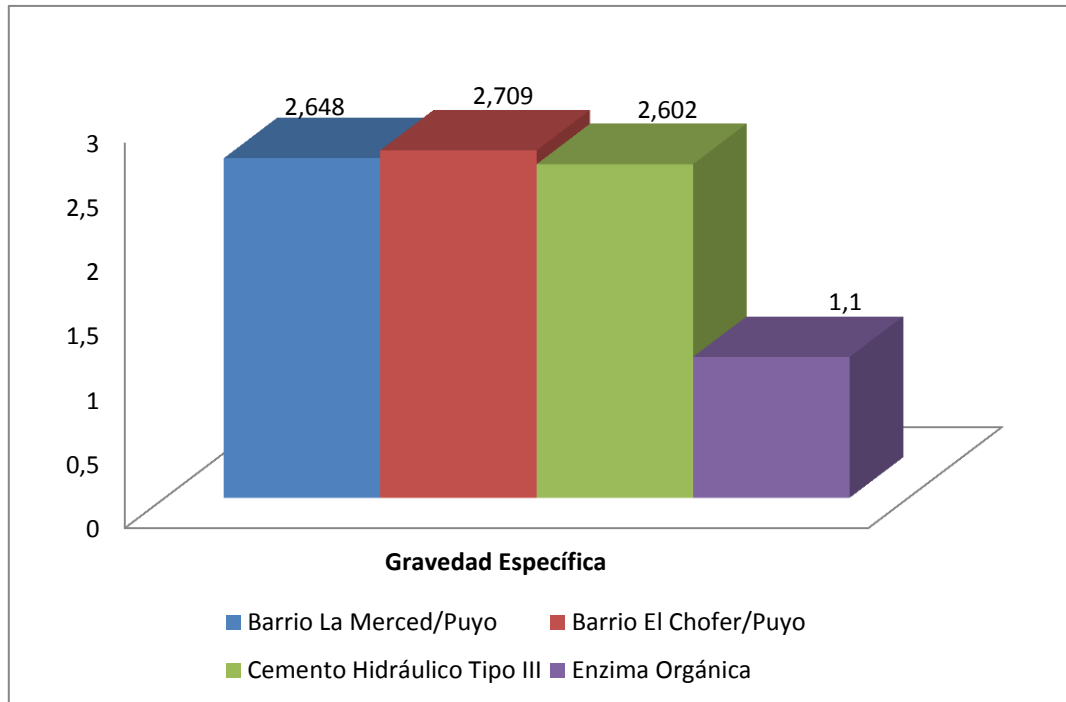
Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

La porosidad (n) de las dos muestras de arcillas, revelan valores altos, los cuales fluctúan entre el 80%, lo que significa que son suelos altamente compresibles, que no presentan consolidación. Además suelos que indican potenciales asentamientos e inestabilidades. Pero cabe indicar que son valores aceptables de acuerdo al rango de valores típicos para suelos cohesivos ecuatorianos que varían entre 40% y 90%.

4.2.3. Gravedad Específica

Figura N° 23. Comparación de Gravedad Específica



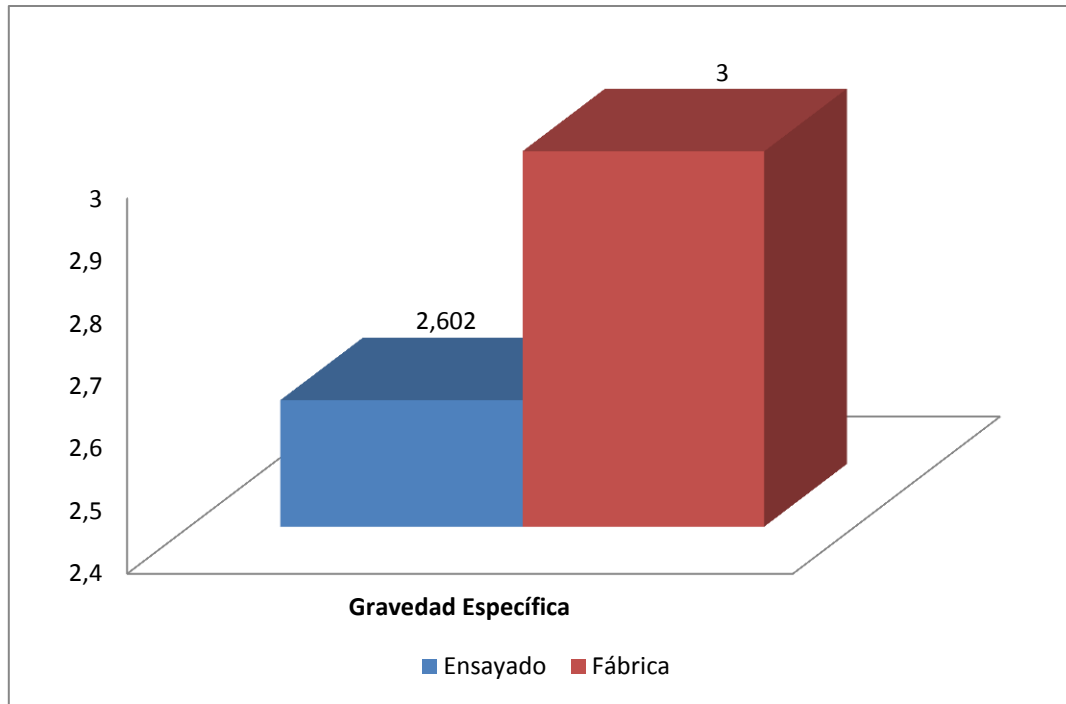
Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

La muestra de suelo arcilloso tomada del Barrio La Merced, denominado bajo inspección visual de color anaranjado-rojizo, presenta una gravedad específica semejante al valor de suelos friccionantes para suelo típicos del Ecuador, siendo este de 2,65.

La muestra de suelo arcilloso tomada del Barrio El Chofer, denominado bajo inspección visual de color gris-blanquecino, presenta una gravedad específica semejante al valor de suelo cohesivo para suelo típicos del Ecuador, siendo este de 2,71.

Figura N° 24. Comparación de Gravedad Específica/Cemento

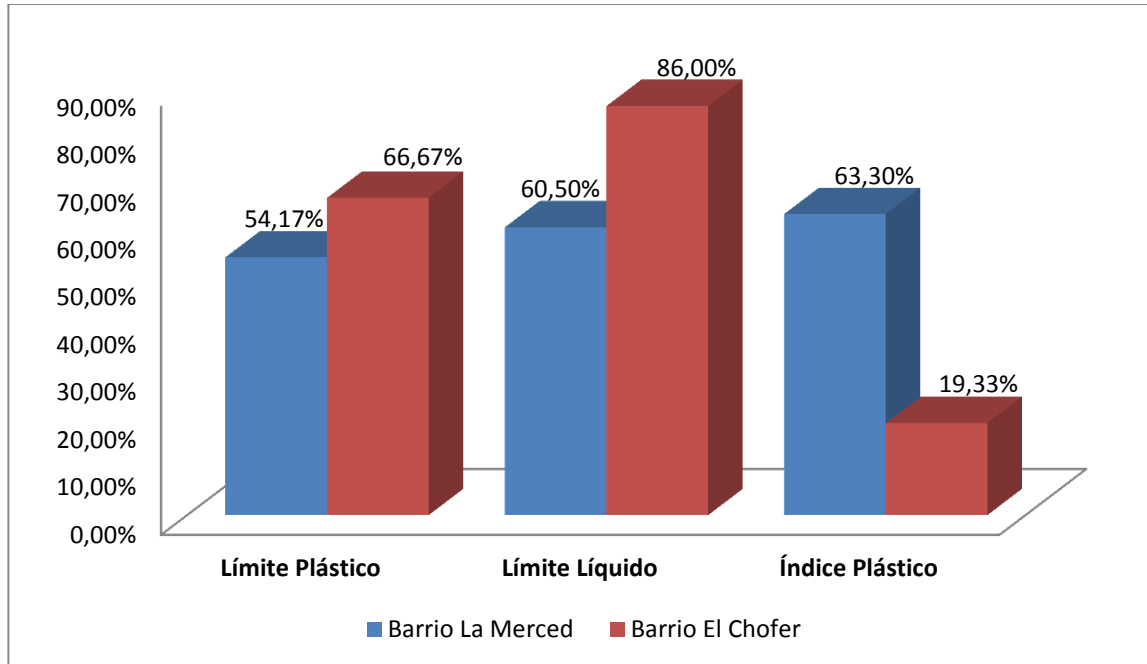


Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Cabe recalcar que la gravedad específica del producto enzimático viene expuesta bajo criterio de fábrica, valor que se indica de 1,1. Así también el cemento viene indicado de fábrica con una gravedad específica de 3, pero se desarrolló el ensayo siguiendo el debido procedimiento que indica la norma INEN correspondiente, arrojando un valor de 2,602.

4.2.4. Límites de Atterberg

Figura N° 25. Límites de Atterberg de las muestras de suelo arcilloso



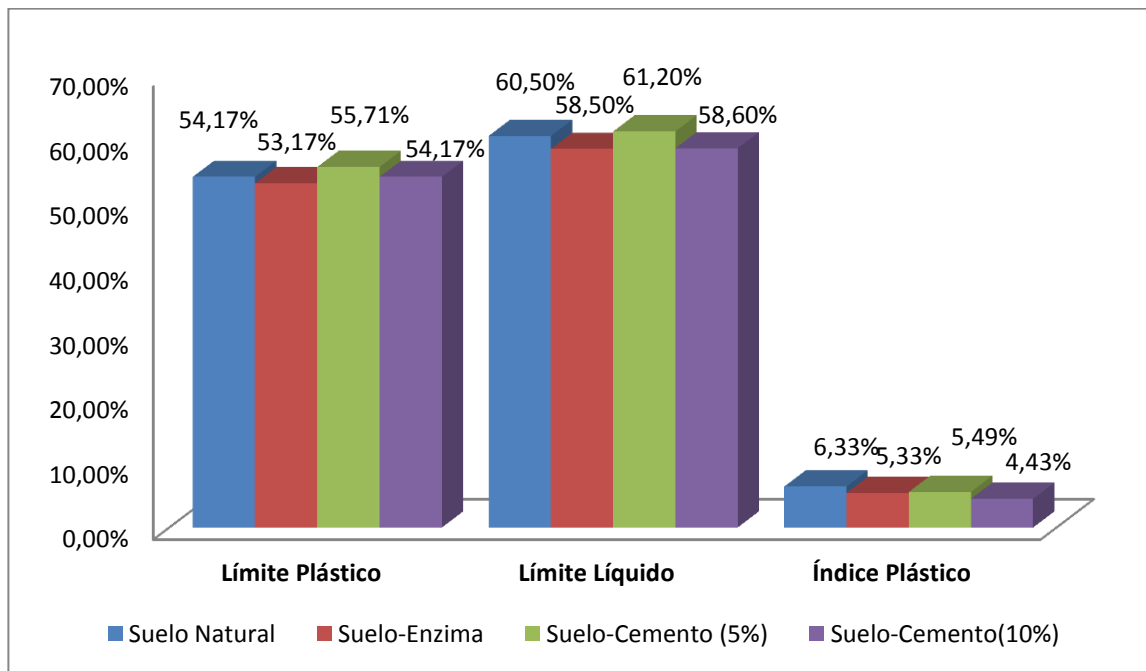
Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

La muestra de suelo tomada del barrio El Chofer, caracterizada por inspección visual de color gris-blanquecino, presenta un índice plástico de 19,33% que es mayor a 6, demostrando que el suelo ensayado es una arcilla. El límite Líquido determinado por el contenido de humedad contenido en este y su relación con el número de golpes que se ejecuten en la copa de Cassagrande, identificado mediante la ilustración de la curva de escurrimiento arroja un valor de 86% a los 25 números de golpes, que teóricamente significa que el suelo alcanza una resistencia al corte. El límite plástico resultante de la conformación de pequeños rollos, que indican el límite existente entre el estado plástico y semisólido, se obtuvo un valor de 66,67%; valor que indica nuevamente la naturaleza del suelo, siendo una arcilla de alta plasticidad según las cartas de Identificación de suelos SUCS.

Además, la ilustración indica que el suelo denominado muestra#1 contiene propiedades plásticas menores que la muestra #2, teniendo esta un límite líquido igual a 60,5%, límite que se encuentra entre el estado plástico y líquido. Cabe indicar que las dos muestras de suelo arcillosos presentan valores no adecuados para suelos que podrían ser sustento de una obra ingenieril.

Figura N° 26. Límites de Atterberg de la muestra #1 / Barrio La Merced



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

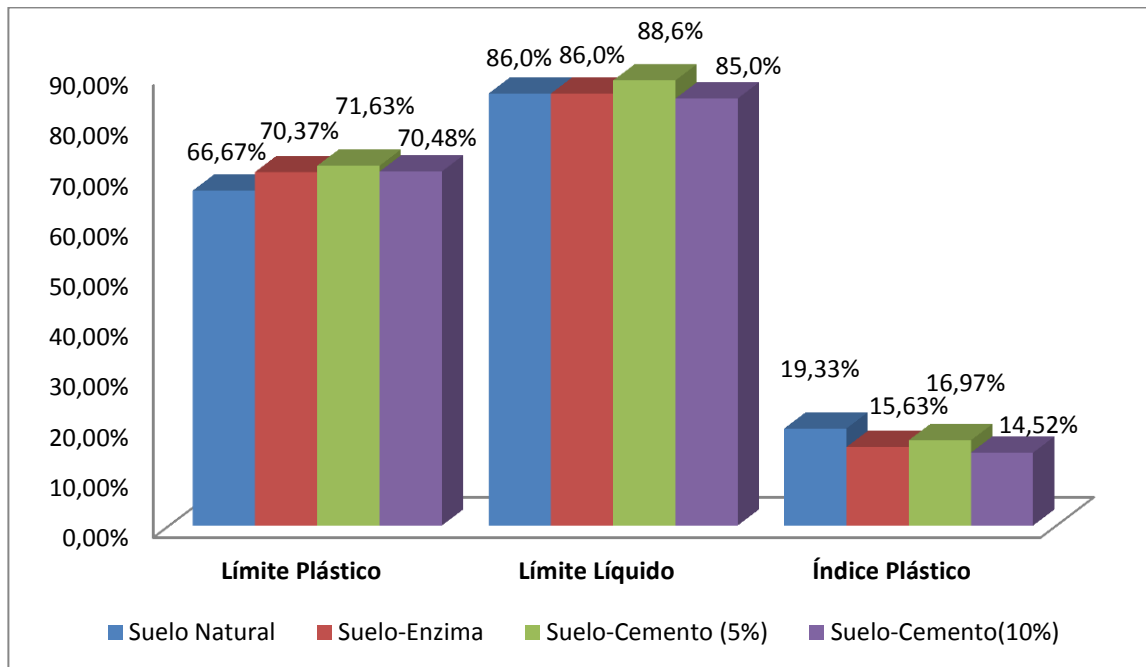
Interpretación:

En base a los resultados indicados en la Figura N° 26, expresa la disminución existente entre los porcentajes de Límites de Atterberg debido a la aplicación de los estabilizadores, sirve de ayuda para mejorar las condiciones plásticas del suelo, haciéndolo más idóneo para servir como suelo sustentable para el desarrollo de obras ingenieriles.

Tales valores expresados indican sobre todo la variación del límite líquido existente entre el suelo natural (60,15%), suelo-enzima (58,5%) y suelo con 10% de cemento (58,5%); evidenciando que estos sistemas son aplicables para mejorar la condición de un

suelo arcilloso, fundamentalmente disminuyendo los contenidos de humedad existentes. Tanto el cemento como las enzimas orgánicas cumplen la función de absorber el contenido de humedad, de acuerdo a lo indicado en la Figura N° 26, es así que la plasticidad se ve un tanto disminuida con relación al estado natural del suelo.

Figura N° 27. Límites de Atterberg de la muestra #2 / Barrio El Chofer



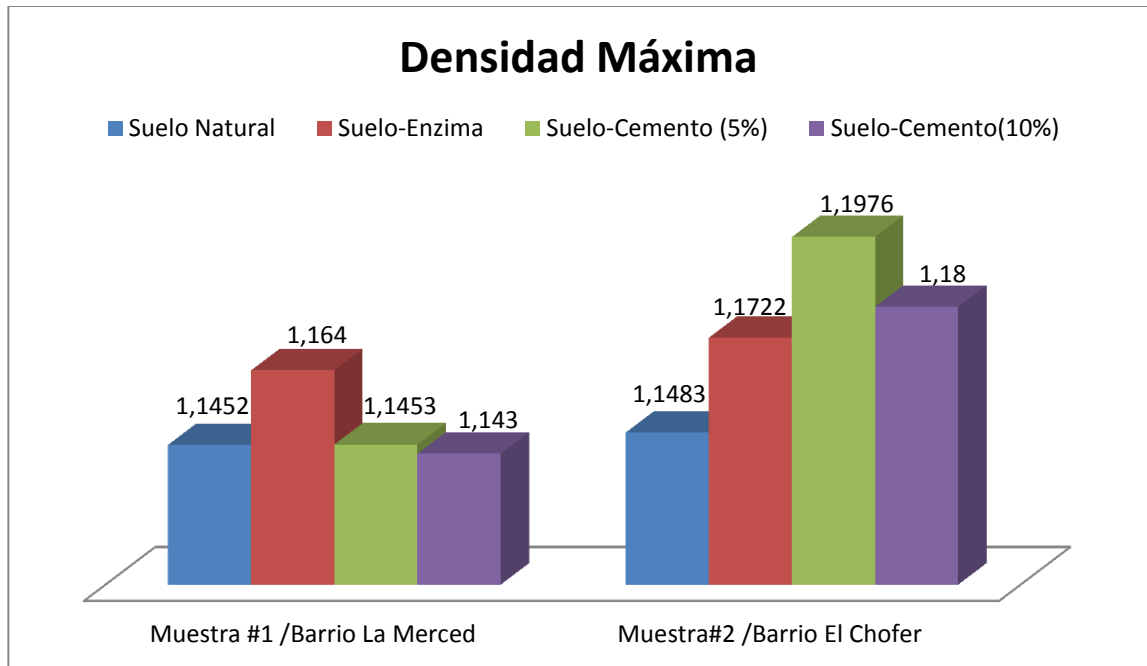
Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

Los resultados obtenidos de límite líquido se mantienen uniforme rodeando el valor de 86%, tanto para el suelo natural como para los estabilizadores, indicando que el suelo mantiene su contenido de humedad y la influencia del estabilizador aplicado no altera significativamente sus propiedades. Debido a la aplicación de los agentes estabilizadores se puede disminuir el índice plástico, evidenciado en la Figura N°27.

4.2.5. Densidad Máxima y Humedad Óptima del suelo

Figura N° 28. Densidad Máxima de las muestras de suelo arcilloso y combinaciones



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

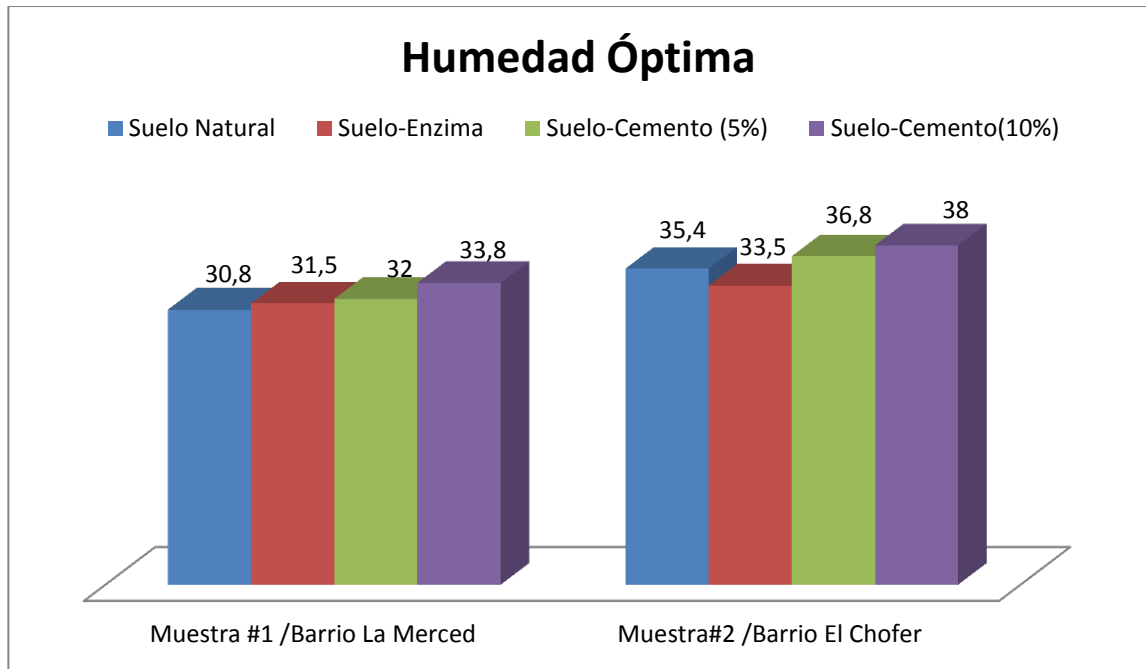
Interpretación:

La aplicación de un agente estabilizador de enzimas orgánicas permite mejorar su consolidación tanto en el suelo denominado anaranjado-rojizo como en el suelo gris-blanquecino, según lo demuestra los valores correspondientes a la Figura N°28, donde la diferencia que se observa en las 2 muestras entre las densidades del suelo natural y el suelo combinado con enzimas orgánicas difiere de 1,14 a 1,17 respectivamente. Ya que a mayores densidades mayor consolidación y resistencia tiene un suelo.

La aplicación de cemento a un suelo arcilloso de acuerdo a lo indicado en la Figura N° 28 demuestra que el cemento aplicado en mayores porcentajes disminuyen la densidad del conjunto. Además de acuerdo a lo mostrado en la Figura N°28, en la muestra #1 existe un mejor comportamiento de la enzima, mientras que no es así con el cemento, debido a que el cemento absorbe el agua que contiene el suelo, impidiendo que exista

una adecuada consolidación; no es así con la muestra #2 en la cual el 5% de cemento tiene mayores valores de acuerdo a las de la enzima.

Figura N° 29. Humedad Óptima de las muestras de suelo arcilloso y combinaciones



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

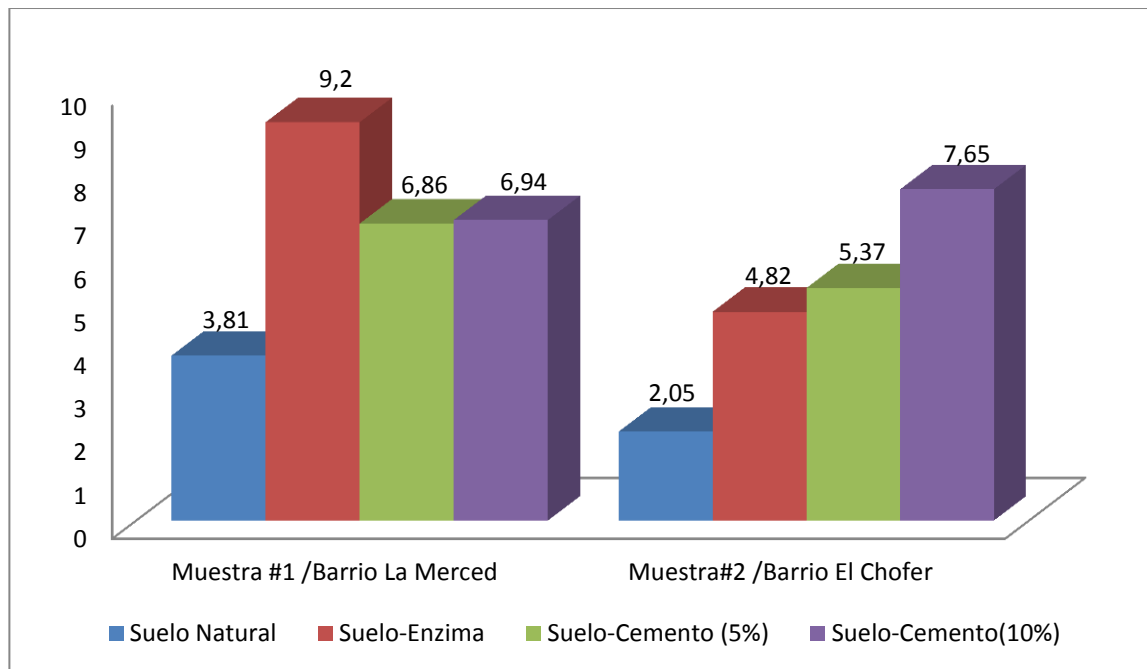
Interpretación:

Los porcentajes de humedad óptimos obtenidos para la muestra #1, se generan mediante la ejecución del ensayo Proctor Modificado Tipo B, tales valores indican la cantidad de agua necesaria en el suelo para generar una correcta compactación del suelo, es así que los datos varían de acuerdo a la necesidad de cada estabilizador para llevar a cabo un adecuado funcionamiento. Las enzimas orgánicas de acuerdo a las especificaciones de fábrica del producto Permazyme 11x, la humedad necesaria será la que se obtenga del suelo natural, por esta razón las cantidades de humedad óptima entre suelo natural y suelo-enzima no varían considerablemente. El cemento aplicado al suelo en estudio como agente estabilizador necesita de una gran cantidad de agua, debido a su propiedad de absorción, es así que arrojan los valores de 32% para suelo con 5% de cemento y 33,8% para suelo con 10% de cemento, mencionando que a mayor porcentaje de

cemento, mayor humedad necesaria. Sucede lo mismo para la muestra #2 que arrojan los valores de 36,8% para suelo con 5% de cemento y 38% para suelo con 10% de cemento.

4.2.6. Capacidad de Soporte (CBR)

Figura N° 30. CBR% de las muestras de suelo arcilloso y combinaciones



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Interpretación:

Los resultados de CBR% obtenidos para suelo natural corresponde a una arcilla de alta plasticidad CH de acuerdo a la tabla de identificación de suelos SUCS. Resultados que corresponden a 3,81% para la muestra #1 y 2,05% para la muestra #2, indicando que las muestras de suelo arcilloso son una subrasante muy pobre.

La capacidad portante de la muestra #1 mejora sustancialmente al aplicar estabilizadores según lo indicado en la figura N°30, obteniendo un mayor CBR cuando es combinado con enzimas orgánicas (9,2%), debido al poder aglutinante que tiene este agente estabilizador, de acuerdo a los datos obtenidos de esponjamiento, resistiendo a la infiltración del agua. Además la acción del cemento aplicado a esta muestra de suelo arcilloso no presenta mayores variaciones al aplicar altos porcentajes de este.

El cemento aplicado a las muestras de suelo arcilloso aumenta la capacidad portante tanto para la muestra #1 y muestra #2, como lo demuestran los valores indicados en la Figura N° 30, pero tiene mayor influencia en la muestra #2 debido al mayor porcentaje de humedad existente en este suelo.

Tabla N° 18. Calificación del suelo en función de la subrasante

CBR %	CALIFICACIÓN	USO	SUCS
0-3	Muy Pobre	Subrasante	CH, MH
3-7	Pobre	Subrasante	CH, MH
7-20	Regular	Subrasante	CL, ML, SC, SM, SP
20-50	Bueno	Base - Sub base	GM, GC, SW, SM, SP, GP
> 50	Excelente	Base	GW, GM

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos para Ingeniería Civil. Bowles J. (1980)

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

4.3.1. Determinación de Coeficientes de Correlación

Nomenclatura:

A = Valores obtenidos de CBR / Suelo Natural

X = Valores obtenidos de CBR / Suelo con Enzimas Orgánicas

Y = Valores obtenidos de CBR / Suelo con 5% de Cemento

Z = Valores obtenidos de CBR / Suelo con 10% de Cemento

A' = Media Aritmética de CBR / Suelo Natural

X' = Media Aritmética de CBR / Suelo con Enzimas Orgánicas

Y' = Media Aritmética de CBR / Suelo con 5% de Cemento

Z' = Media Aritmética de CBR / Suelo con 10% de Cemento

a = Diferencia de cada valor de CBR y media aritmética / Suelo Natural

x = Diferencia de cada valor de CBR y media aritmética / Suelo con Enzimas Orgánicas

y = Diferencia de cada valor de CBR y media aritmética / Suelo con 5% de Cemento

z = Diferencia de cada valor de CBR y media aritmética / Suelo con 10% de Cemento

ax = Producto entre valores de Suelo Natural y Suelo con Enzimas Orgánicas

ay = Producto entre valores de Suelo Natural y Suelo con 5% de Cemento

az = Producto entre valores de Suelo Natural y Suelo con 10% de Cemento

rs-e = Coeficiente de Correlación de CBR entre Suelo Natural y Suelo-Enzima

rs-5c = Coeficiente de Correlación de CBR entre Suelo Natural y Suelo-5%Cemento

rs-10c = Coeficiente de Correlación de CBR entre Suelo Natural y Suelo-10%Cemento

N = Número de Muestras

- **Coeficiente de Correlación por el Método de Karl Pearson**

Determinación de Covarianza:

Tabla N° 19. Covarianza de las variables de CBR por Método Karl Pearson

Muestra	A	X	Y	Z	a = A-A'	x = X-X'	y = Y-Y'	z = Z-Z'	ax	ay	az
1) Barrio La Merced	3,81	9,2	6,86	6,94	0,88	2,19	0,745	-0,355	1,927	0,655	-0,312
2) Barrio El Chofer	2,05	4,82	5,37	7,65	-0,88	-2,19	-0,745	0,355	1,927	0,655	-0,312
	A'	X'	Y'	Z'					Σax	Σay	Σaz
	2,93	7,01	6,115	7,295					3,854	1,311	-0,624

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

$$\text{Covarianza Suelo} - \text{Enzima} = \frac{\Sigma ax}{N}$$

$$\text{Covarianza Suelo} - \text{Enzima} = \frac{3,854}{2}$$

$$\text{Covarianza Suelo} - \text{Enzima} = 1,927$$

$$\text{Covarianza Suelo} - 5\% \text{Cemento} = \frac{\Sigma ay}{N}$$

$$\text{Covarianza Suelo} - 5\% \text{Cemento} = \frac{1,311}{2}$$

$$\text{Covarianza Suelo} - 5\% \text{Cemento} = 0,656$$

$$\text{Covarianza Suelo} - 10\% \text{Cemento} = \frac{\Sigma az}{N}$$

$$\text{Covarianza Suelo} - 10\% \text{Cemento} = \frac{-0,624}{2}$$

$$\text{Covarianza Suelo} - 10\% \text{Cemento} = -0,312$$

Determinación de Correlación – Enzima Orgánica:

Tabla N° 20. Coeficiente de Correlación de las variables de CBR / Suelo-Enzima

Muestra	A	X	a = A-A'	a ²	x = X-X'	x ²	ax
1) Barrio La Merced	3,81	9,2	0,88	0,774	2,19	4,796	1,927
2) Barrio El Chofer	2,05	4,82	-0,88	0,774	-2,19	4,796	1,927
	A'	X'		Σa ²		Σx ²	Σax
	2,93	7,01		1,548		9,592	3,854

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

$$r_{s-e} = \frac{\Sigma ax}{\sqrt{(\Sigma a^2)^2 (\Sigma x^2)^2}}$$

$$r_{s-e} = \frac{3,854}{\sqrt{(1,548)^2 (9,592)^2}}$$

$$r_{s-e} = 0,259$$

Determinación de Correlación – 5% Cemento:

Tabla N° 21. Coeficiente de Correlación de las variables de CBR / Suelo-5% Cemento

Muestra	A	Y	a = A-A'	a ²	y = Y-Y'	y ²	ay
1) Barrio La Merced	3,81	6,86	0,88	0,774	0,745	0,555	0,655
2) Barrio El Chofer	2,05	5,37	-0,88	0,774	-0,745	0,555	0,655
	A'	Y'		Σa ²		Σy ²	Σay
	2,93	6,115		1,548		1,11	1,311

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

$$r_{s-5c} = \frac{\Sigma ay}{\sqrt{(\Sigma a^2)^2 (\Sigma y^2)^2}}$$

$$r_{s-5c} = \frac{1,311}{\sqrt{(1,548)^2 (1,11)^2}}$$

$$r_{s-5c} = \mathbf{0,763}$$

Determinación de Correlación – 10% Cemento:

Tabla N° 22. Coeficiente de Correlación de las variables de CBR / Suelo-10% Cemento

Muestra	A	Z	a = A-A'	a ²	z = Z-Z'	z ²	az
1) Barrio La Merced	3,81	6,94	0,88	0,774	-	0,126	-0,312
2) Barrio El Chofer	2,05	7,65	-0,88	0,774	0,355	0,126	-0,312
	A'	Z'		Σa ²		Σz ²	Σaz
	2,93	6,115		1,548		0,252	-0,625

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

$$r_{s-10c} = \frac{\Sigma az}{\sqrt{(\Sigma a^2)^2 (\Sigma z^2)^2}}$$

$$r_{s-10c} = \frac{-0,625}{\sqrt{(1,548)^2 (0,252)^2}}$$

$$r_{s-10c} = \mathbf{-1,601}$$

- **Coefficiente de Correlación por el Método Normal utilizando Fórmula Clásica**

Determinación de Covarianza:

Tabla N° 23. Covarianza de las variables de CBR por el Método Normal

Muestras	A	X	Y	Z	AX	AY	AZ
1) Barrio La Merced	3,81	9,2	6,86	6,94	35,052	26,137	26,441
2) Barrio El Chofer	2,05	4,82	5,37	7,65	9,881	11,009	15,683
	A'	X'	Y'	Z'	ΣAX	ΣAY	ΣAZ
	2,93	7,01	6,115	7,295	44,933	37,145	42,124

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

$$\text{Covarianza Suelo – Enzima} = \frac{\Sigma AX}{N} - (A' * X')$$

$$\text{Covarianza Suelo – Enzima} = \frac{44,933}{2} - (2,93 * 7,01)$$

$$\text{Covarianza Suelo – Enzima} = \mathbf{1,927}$$

$$\text{Covarianza Suelo – 5\%Cemento} = \frac{\Sigma AY}{N} - (A' * Y')$$

$$\text{Covarianza Suelo – 5\%Cemento} = \frac{37,145}{2} - (2,93 * 6,115)$$

$$\text{Covarianza Suelo – 5\%Cemento} = \mathbf{0,656}$$

$$\text{Covarianza Suelo – 10\%Cemento} = \frac{\Sigma AZ}{N} - (A' * Z')$$

$$\text{Covarianza Suelo – 10\%Cemento} = \frac{42,124}{2} - (2,93 * 7,295)$$

$$\text{Covarianza Suelo – 10\%Cemento} = \mathbf{-0,312}$$

Determinación de Correlación:

Tabla N° 24. Correlación de las variables de CBR por el Método Normal

Muestras	A	X	Y	Z	AX	AY	AZ	A ²	X ²	Y ²	Z ²
1) Barrio La Merced	3,81	9,2	6,86	6,94	35,05	26,13	26,44	14,52	84,64	47,06	48,16
2) Barrio El Chofer	2,05	4,82	5,37	7,65	9,881	11,01	15,68	4,20	23,23	28,84	58,53
	ΣA	ΣX	ΣY	ΣZ	ΣAX	ΣAY	ΣAZ	ΣA^2	ΣX^2	ΣY^2	ΣZ^2
	5,86	14,02	12,23	14,59	44,93	37,14	42,12	18,72	107,87	75,90	106,69

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

$$r_{s-e} = \sqrt{\frac{\left(\Sigma AX - \frac{\Sigma A * \Sigma X}{N}\right)^2}{\left(\Sigma A^2 - \frac{(\Sigma A)^2}{N}\right)\left(\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}\right)}}$$

$$r_{s-e} = \sqrt{\frac{\left(44,93 - \frac{5,86 * 14,02}{2}\right)^2}{\left(18,72 - \frac{(5,86)^2}{2}\right)\left(107,87 - \frac{(14,02)^2}{2}\right)}}$$

$$r_{s-e} = 1,00$$

$$r_{s-5c} = \sqrt{\frac{\left(\Sigma AY - \frac{\Sigma A * \Sigma Y}{N}\right)^2}{\left(\Sigma A^2 - \frac{(\Sigma A)^2}{N}\right)\left(\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N}\right)}}$$

$$r_{s-5c} = \sqrt{\frac{\left(37,14 - \frac{5,86 * 12,23}{2}\right)^2}{\left(18,72 - \frac{(5,86)^2}{2}\right)\left(75,90 - \frac{(12,23)^2}{2}\right)}}$$

$$r_{s-5c} = 1,00$$

$$r_{s-10c} = \sqrt{\frac{\left(\Sigma AX - \frac{\Sigma A * \Sigma Z}{N}\right)^2}{\left(\Sigma A^2 - \frac{(\Sigma A)^2}{N}\right)\left(\Sigma Z^2 - \frac{(\Sigma Z)^2}{N}\right)}}$$

$$r_{s-10c} = \sqrt{\frac{\left(42,12 - \frac{5,86 * 14,59}{2}\right)^2}{\left(18,72 - \frac{(5,86)^2}{2}\right)\left(106,69 - \frac{(14,59)^2}{2}\right)}}$$

$$r_{s-10c} = 1,00$$

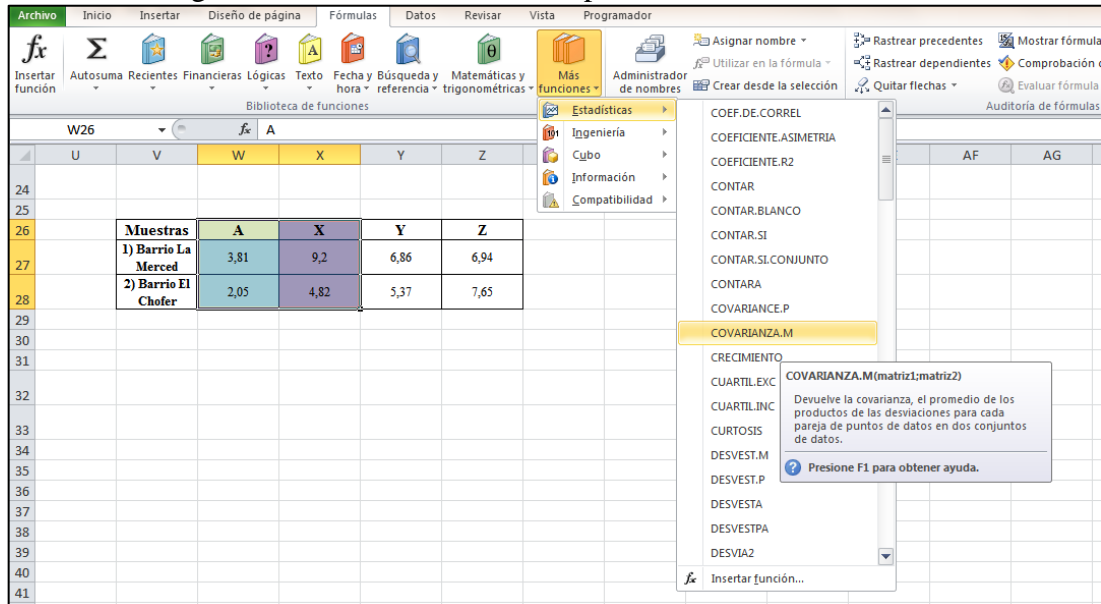
Debido a que Covarianza es negativo; Correlación es Negativo:

$$r_{s-10c} = -1,00$$

- **Coefficientes de Correlación mediante la utilización de Formulas en Excel**

Determinación de Covarianza:

Figura N° 31. Fórmula en Excel para Determinar Covarianza



Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Figura N° 32. Utilización de Fórmula Covarianza

Muestras	A	X	Y	Z
1) Barrio La Merced	3,81	9,2	6,86	6,94
2) Barrio El Chofer	2,05	4,82	5,37	7,65

=COVARIANZA.M(W27:W28;X27:X28)

COVARIANZA.M(matriz1; matriz2)

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Covarianza Suelo – Enzima = 3,854

Covarianza Suelo – 5%Cemento = 1,311

Covarianza Suelo – 10%Cemento = -0,625

Determinación de Correlación:

Figura N° 33. Fórmula en Excel para Determinar Correlación

The screenshot shows the Excel interface with the 'Insertar función' (Insert Function) dialog box open. The 'COEF.DE.CORREL' function is selected. The spreadsheet background shows the same data table as in Figure 32. The dialog box includes a description: 'Devuelve el coeficiente de correlación de dos conjuntos de datos.' and a prompt to press F1 for help.

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Figura N° 34. Utilización de Fórmula Correlación

Muestras	A	X	Y	Z
1) Barrio La Merced	3,81	9,2	6,86	6,94
2) Barrio El Chofer	2,05	4,82	5,37	7,65

=COEF.DE.CORREL(W27:W28;X27:X28)
 COEF.DE.CORREL(matriz1; matriz2)

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Correlación Suelo – Enzima = 1,00

Correlación Suelo – 5%Cemento = 1,00

Correlación Suelo – 10%Cemento = -1,00

Tabla N° 25. Tabla resumen de Correlación

Covarianza	Karl Pearson	Método Normal	Fórmula Excel
Suelo-Enzima	0,259	1,00	1,00
Suelo-5%Cemento	0,763	1,00	1,00
Suelo-10%Cemento	-1,601	-1,00	-1,00

Fuente: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Figura N° 35. Interpretación de Coeficientes de Correlación

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a 0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a 0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a 0,69	Correlación negativa moderada
-0,3 a 0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a 0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,1 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: M. Suarez, Correlación y Regresión Aplicando Excel y Graph. Ibarra-Ecuador

4.3.2. Verificación de Hipótesis

Obtenidos los Coeficientes de Correlación, planteamos las siguientes hipótesis:

Ho: Los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, no permiten mejorar las características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante.

Hi: Los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, permiten mejorar las características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante.

Para plantear los resultados en la hipótesis se utilizará la Figura N°35, de la siguiente manera obtenemos los valores aceptables para la correlación:

Hipótesis Nula (Ho):

- Si el coeficiente de Correlación es Positivo Ho: $r \leq 0,39$
- Si el coeficiente de Correlación es Negativo Ho: $r \geq - 0,39$

Hipótesis Alternativa (Hi):

- Si el coeficiente de Correlación es Positivo **Hi: $r \geq 0,39$**
- Si el coeficiente de Correlación es Negativo **Hi: $r \leq - 0,39$**

El Coeficiente de Correlación es 1,00 para las estabilizaciones de Suelo con Enzimas Orgánicas y Suelo con 5% de Cemento; mientras que de – 1,00 para la estabilización de Suelo con 10% de Cemento.

Podemos decir que:

Hipótesis Nula:

$$r \leq 0,39$$

$$1,00 \leq 0,39$$

El valor de Correlación obtenido no resulta menor que 0,39; se descarta la hipótesis Nula.

Hipótesis Alternativa:

$$r \geq 0,39$$

$$1,00 \geq 0,39$$

El valor de Correlación obtenido resulta ser mayor que 0,39, se mantiene la hipótesis alternativa.

Hipótesis Nula:

$$r \geq - 0,39$$

$$-1,00 \geq - 0,39$$

El valor negativo de Correlación obtenido no resulta mayor que 0,39; se descarta la hipótesis Nula.

Hipótesis Alternativa:

$$r \leq - 0,39$$

$$- 1,00 \leq - 0,39$$

El valor negativo de Correlación obtenido resulta ser menor que 0,39, se mantiene la hipótesis alternativa.

Es así que para todos los casos de estabilización descritos en el proyecto de investigación se acepta la Hipótesis Alternativa (Hi), Los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, permiten mejorar las características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La Identificación y Clasificación del Suelo obtenidos de la ciudad del Puyo, fue de una Arcilla de Alta Plasticidad CH para las 2 muestras, según indica la tabla SUCS correspondiente a Identificación y Clasificación del suelo.
- El ensayo correspondiente a la toma de las muestras se efectuó siguiendo los procedimientos indicados en la norma para la construcción de caminos y puentes del MTOP, se determinó el valor de CBR en un estado de compactación del suelo, ya que el análisis de las propiedades se realizó a 1m de profundidad, mediante calicatas.
- Las muestras de suelo ensayadas indican que son suelos con propiedades altamente plásticas y que se encuentran saturados de agua, según lo describen las relaciones fundamentales, es así que estos suelos son pobremente resistentes para soportar obras ingenieriles.
- La plasticidad del suelo correspondiente al Barrio La Merced se ve ligeramente disminuida por la aplicación del agente estabilizador de enzimas orgánicas respecto a los valores de plasticidad natural de este; mientras que no sucede lo mismo con el suelo correspondiente al Barrio El Chofer, debido a su alto contenido de humedad.
- La aplicación del cemento a las muestras de suelo, modifican su contenido de humedad, debido a que este ayuda a absorber el agua, por esta razón los contenidos óptimos de humedad identificados en el ensayo Proctor Modificado aumentan de acuerdo al porcentaje de cemento que se adicione a la combinación suelo-cemento.

- De acuerdo a los resultados obtenidos de CBR 3,81% para la muestra #1 obtenida del Barrio La Merced y CBR 2,05% para la muestra #2 obtenida del Barrio El Chofer, los suelos identificados son unas arcillas de alta plasticidad de subrasante muy pobres de acuerdo a lo indicado en la tabla N°18. Este tipo de suelo demuestran ser adecuados para ser estabilizados.
- La aplicación del agente enzimático como estabilizador de suelos, se ve enmarcado en el resultado obtenido con la muestra #1 con un valor de 9,2% de CBR con respecto al valor de CBR natural de 3,81%; evidenciando el incremento en la capacidad portante que puede tener una arcilla de este tipo al ser estabilizada con este agente estabilizador.
- El suelo extraído del Barrio La Merced denominado anaranjado-rojizo presenta mejores condiciones para ser estabilizado que el suelo obtenido del Barrio El chofer denominado de color gris-blanquecino, de acuerdo a los diferentes ensayos expuestos en esta investigación.
- Para aplicación de estos sistemas de estabilización en campo, se debe tomar en cuenta los resultados obtenidos de CBR, es así que se opta por la aplicación de enzimas orgánicas, de acuerdo al beneficio que puede obtener una subrasante, debido al mejoramiento obtenido en suelos arcillosos de color anaranjado-rojizo representado por la muestra #1, los cuales se encuentran en mayor cantidad en la región amazónica. Además de ser este agente estabilizador amigable con el medio ambiente. Mientras que se opta por la aplicación de cemento como estabilizante de un suelo arcilloso, de acuerdo al costo que este puede originar (Ver Anexo A), siendo un componente más económico y que se puede encontrar fácilmente en el mercado.

5.2. RECOMENDACIONES

- Emplear instrumentos de medición exactos al momento de dimensionar la cantidad de aditivo estabilizador a base de enzimas orgánicas, que va a ser aplicado al suelo en cada ensayo a ejecutarse.
- Realizar variaciones del contenido de enzima orgánico aplicado al suelo para posteriores investigaciones, debido a que el ensayo se ejecutó de acuerdo a lo indicado en el producto 1ltr de enzima para 30 m³ de suelo.
- Hacer la toma de muestras mediante pozos a cielo abierto o calicatas de acuerdo a lo indicado en la norma correspondiente MTOP, para obtener resultados adecuados.
- Para la ejecución de los ensayos correspondientes, prever que el suelo extraído se encuentra totalmente seco, para no alterar el contenido de humedad obtenido mediante el ensayo Proctor Modificado, y no alterar los valores de CBR.
- Para la determinación de las relaciones fundamentales de los suelos, es necesario que el equipo de cono y arena de Ottawa se encuentre calibrados adecuadamente, para obtener resultados precisos.
- Proceder a triturar el suelo arcilloso en estado seco antes de realizar el ensayo de granulometría, para obtener resultados adecuados, debido a que durante el secado se producen terrones de suelo.

MATERIAL DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- ^[1] D. G. Cedeño Plaza. “Investigación de la Estabilización de Suelos con Enzima Aplicado a la Sub-rasante de la Avenida Quitumbe-Ñan, Cantón Quito”. Universidad Central del Ecuador, Ecuador, 2013.
- ^[2] M. A. Ravines Merino. “Pruebas con un Producto Enzimático como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras”. Universidad de Piura, Perú, 2010.
- ^[3] M. Das Braja. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. Estados Unidos: International Thomson Editores, 2001.
- ^[4] Ministerio del Transporte y Obras Públicas del Ecuador MTOP. “Infraestructura Vial”. *Revista de la Rendición de Cuentas MTOP 2012*, pp. 12, Marzo. 2013.
- ^[5] Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. *Anuario de Estadísticas de Transporte 2013*. Quito, Ecuador, 2013.
- ^[6] Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza. “Componente Biofísico”. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza*, 2014.
- ^[7] Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza. “Suelos”. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza*, 2014, pp. 22.
- ^[8] E. Juárez Badillo, A. Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos: Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos Tomo II*. México: Limusa Noriega Editores, 1973.
- ^[9] Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador MTOP. “Capítulo 400 Pavimentos”. *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002*. Quito, Ecuador, 2002.
- ^[10] C. Crespo Villalaz. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa Noriega Editores, 2004, pp. 18.
- ^[11] E. Juárez Badillo, A. Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa Noriega Editores, 2005, pp. 53.
- ^[12] W. Forsythe. *Manual de Laboratorio de Física de Suelos*. Costa Rica: Editorial IICA, 1985, pp. 17.

- ^[13] E. Heredia Mendoza. “Densidad Real Aparente y Porosidad del Suelo”. Disponible en: “https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_PORSIDAD_DEL_SUELO”.
- ^[14] Norma I.N.V.E - 128 -07. “*Determinación de la Gravedad Específica de los Suelos y del Llenante Mineral*”.
- ^[15] J. E. Bowles. *Manual de Laboratorio de Suelos*. Madrid, España: Cincel, 1972, pp. 35.
- ^[16] L. D. Baver, W. H. Gardner, W. R. Gardner. *Física de Suelos*. Mexico: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 1973, pp. 93
- ^[17] F. Suarez de Castro. *Conservación de Suelos*. Costa Rica: Editorial IICA, 1979, pp. 14.
- ^[18] Scribd, Noviembre 2010. “El Suelo y Sus Características”. Disponible en: “<https://es.scribd.com/doc/43541675/El-Suelo-y-Sus-Características>”.
- ^[19] H. Condori, Agosto 2012. “Estructuras y Tipos de Arcillas”. Disponible en: “<http://www.slidshare.net/herlicondoriflores/estructuras-y-tipos-de-arcillas-herli>”.
- ^[20] E. Besoain. *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1985.
- ^[21] G. B. Sowers, G. F. Sowers. *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Editorial Limusa – Wiley S.A., 1972, pp. 39.
- ^[22] E. Juárez Badillo, A. Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos: Flujo de Agua en Suelos Tomo III*. México: Editorial Limusa S.A., 1974, pp. 401.
- ^[23] E. García Romero, M. Suarez Barrios. “Geología de Arcillas”, Disponible en: “<http://www.campus.usal.es/~delcien/doc/GA.pdf>”.
- ^[24] C. I. Mendoza Muñoz. “Caracterización Molecular de Nanocompuestos Epóxicos y Arcillas”. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 2014.
- ^[25] E. García Romero, M. Suarez Barrios. “Las Arcillas: Propiedades y Usos”. Disponible en: “<http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/arcillas.htm#propfq>”.
- ^[26] P. De Liberto. *Las Arcillas: Clasificación, Identificación, Usos y Especificaciones Industriales*. México: Sociedad Geológica Mexicana, pp. 5. 1964.

- ^[27] A. Cruz Ruiz, Febrero 2014. “Clasificación de las Arcillas en base a su estabilidad”. Disponible en: “https://www.academia.edu/6325388/clasificacion_arcillas”.
- ^[28] K. Terzaghi, R. B. Peck. *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. España: El Ateneo Editorial, pp. 29. 1995.
- ^[29] Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid, España: IECA Editores, 2008.
- ^[30] SECSA, Octubre 2008. “Manual Técnico del Estabilizador de Suelos Permzyme”. Disponible en: “https://www.secsasa.com/Productos/PERMA_ZYME_11X.pdf”.
- ^[31] Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador MTOP. “Capítulo 402-9 Estabilización de Subrasante con Enzimas Orgánicas”. *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002*. Quito, Ecuador, pp. IV-34 2002.
- ^[32] D. G. Cedeño Plaza. “Investigación de la Estabilización de Suelos con Enzima Aplicado a la Sub-rasante de la Avenida Quitumbe-Ñan, Cantón Quito”. Universidad Central del Ecuador, Ecuador, pp.41, 2013.
- ^[33] Instituto Nacional de Vías INVIAS. “Capítulo 3 Afirmados, Sub-bases y Bases”. *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2012*. Bogotá, Colombia, 2012.

2. ANEXOS

Anexo A

Análisis de Precios Unitarios



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS
 ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

AUTOR: Deivys Ismael Hidalgo Benavides					
TUTOR: Ing. Mg. Vinicio Almeida					
RUBRO: Estabilización con enzimas orgánicas incluido aditivo				UNIDAD: m ²	
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Motoniveladora	1	25	25	0,002	0,050
Rodillo	1	25	25	0,002	0,050
Tanquero	1	15	15	0,002	0,030
					0,000
SUBTOTAL M					0,130
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Chofer CH C1	1	4,79	4,79	0,002	0,010
Operador OP C1	2	3,66	7,32	0,002	0,015
Ayudate de Maquinaria EO D2	2	3,30	6,60	0,002	0,013
					0,000
SUBTOTAL N					0,037
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Enzima Orgánica	lt	0,004	500,00	2,000	
Agua	m ³	0,0016	1,00	0,002	
					0,000
SUBTOTAL O					2,002
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
					0,000
SUBTOTAL P					0,000
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	
				2,170	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS
 ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

AUTOR: Deivys Ismael Hidalgo Benavides					
TUTOR: Ing. Mg. Vinicio Almeida					
RUBRO: Estabilización de la subrasante con cemento (5%)				UNIDAD: m ²	
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Motoniveladora	1	25	25	0,002	0,050
Rodillo	1	25	25	0,002	0,050
Tanquero	1	15	15	0,002	0,030
					0,000
SUBTOTAL M					0,130
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Chofer CH C1	1	4,79	4,79	0,002	0,010
Operador OP C1	2	3,66	7,32	0,002	0,015
Ayudate de Maquinaria EO D2	2	3,30	6,60	0,002	0,013
					0,000
SUBTOTAL N					0,037
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Cemento 5%	qq	0,220	7,95	1,749	
Agua	m ³	0,0020	1,00	0,002	
					0,000
SUBTOTAL O					1,751
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
					0,000
SUBTOTAL P					0,000
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	
				1,920	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS
 ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

AUTOR: Deivys Ismael Hidalgo Benavides					
TUTOR: Ing. Mg. Vinicio Almeida					
RUBRO: Estabilización de la subrasante con cemento (10%)				UNIDAD: m2	
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Motoniveladora	1	25	25	0,002	0,050
Rodillo	1	25	25	0,002	0,050
Tanquero	1	15	15	0,002	0,030
					0,000
SUBTOTAL M					0,130
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Chofer CH C1	1	4,79	4,79	0,002	0,010
Operador OP C1	2	3,66	7,32	0,002	0,015
Ayudate de Maquinaria EO D2	2	3,30	6,60	0,002	0,013
					0,000
SUBTOTAL N					0,037
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Cemento 5%	qq	0,440	7,95	3,498	
Agua	m ³	0,0020	1,00	0,002	
					0,000
SUBTOTAL O					3,500
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
					0,000
SUBTOTAL P					0,000
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	
					3,670

Anexo B

Granulometría

- **Muestra #1**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Observación Visual: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS
Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.*

GRANULOMETRÍA DEL SUELO - MUESTRA#1

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

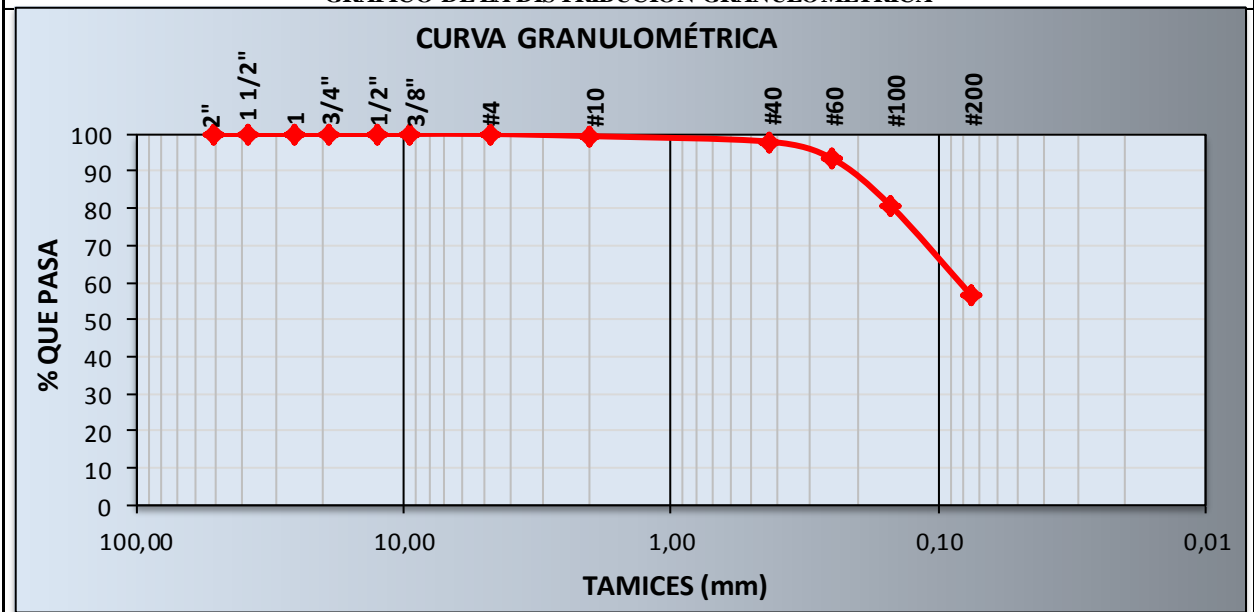
Normas: ASTM D 421-58 Y D 422-63 ; AASHTO T-87-70 Y T-88-70

Masa de la Muestra: 500 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DEL SUELO

TAMIZ	mm	PESO RET/ACUM (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,520	0,00	0,00	100,00
#4	4,760	0,00	0,00	100,00
PASA #4		500,00	100,00	
#10	2,000	2,90	0,58	99,42
#40	0,425	10,40	2,08	97,92
#60	0,250	32,8	6,56	93,44
#100	0,150	97,1	19,42	80,58
#200	0,075	217,7	43,54	56,46
PASA #200		282,30	56,46	
TOTAL		500,00		
Peso cuarteo antes del lavado			500,00	
Peso cuarteo después de lavado			217,70	
Diferencia o pasa el tamiz # 200			282,30	

GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



- **Muestra #2**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS
 Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.*

GRANULOMETRÍA DEL SUELO - MUESTRA#2

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

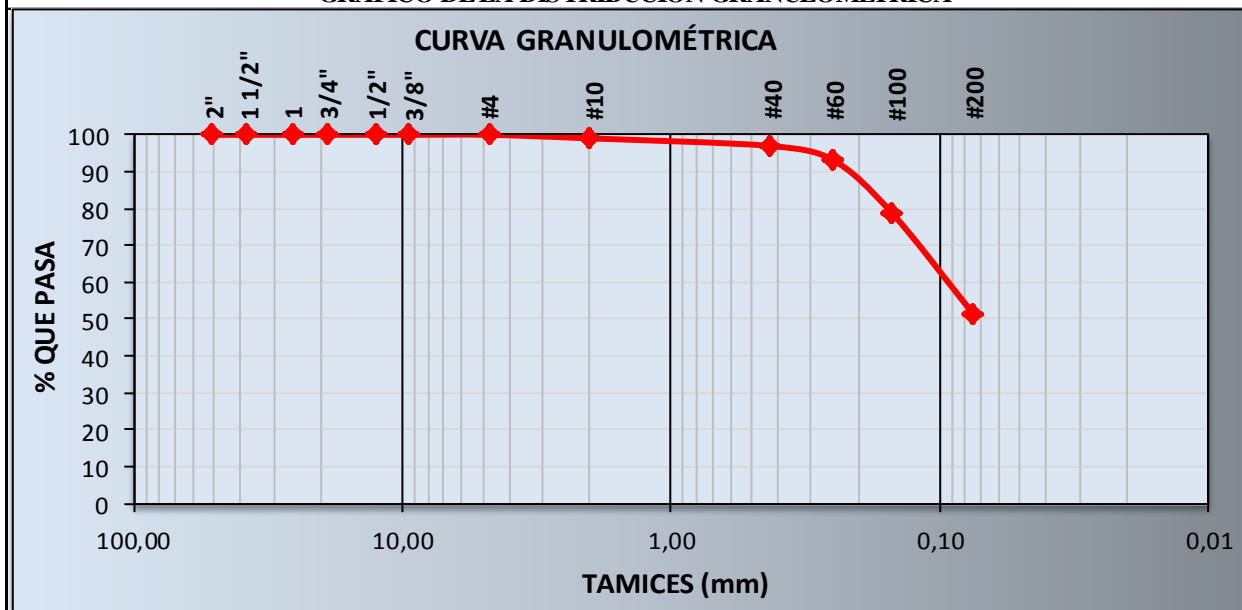
Normas: ASTM D 421-58 Y D 422-63 ; AASHTO T-87-70 Y T-88-70

Masa de la Muestra: 500 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DEL SUELO

TAMIZ	mm	PESO RET/ACUM (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,520	0,00	0,00	100,00
#4	4,760	0,00	0,00	100,00
PASA #4		500,00	100,00	
#10	2,000	4,80	0,96	99,04
#40	0,425	15,10	3,02	96,98
#60	0,250	33,8	6,76	93,24
#100	0,150	106,2	21,24	78,76
#200	0,075	242,3	48,46	51,54
PASA #200		257,70	51,54	
TOTAL		500,00		
Peso cuarteo antes del lavado			500,00	
Peso cuarteo después de lavado			242,30	
Diferencia o pasa el tamiz # 200			257,70	

GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Anexo C

Relaciones Fundamentales de los

Suelos

- **Muestra #1**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Cono y Arena de Ottawa

Observación Visual: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS
 ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.*

PROPIEDADES ÍNDICE POR MÉTODO DEL CONO Y ARENA - MUESTRA #1

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza			
Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides			
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida			
Normas: ASTM-D-2167; AASHTO-T-205		Gs =	2,576

DETERMINACIÓN DEL PESO DE SUELO EXTRAÍDO O PESO DE LA MASA

Ensayo número	1
Peso de la masa del suelo + PesoRec	1512,30
Peso del Recipiente	135,30
Peso de la masa del suelo gr. $W_m = W_M + Rec - Rec$	1377,00

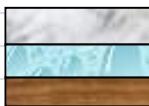
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO O VOLUMEN DE LA MASA

Peso inicial frasco + cono + arena	7136,00
Peso final frasco + cono + arena	2742,70
Peso arena en el cono	1492,80
Peso arena en la perforación	2900,50
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582
Volumen de la perforación V_m	1833,44

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente número	1		2	
Peso húmedo + recipiente W_{m+rec}	172,6	gr	129,2	gr
Peso seco + recipiente W_{s+rec}	119,9	gr	91,9	gr
Peso recipiente rec	30,2	gr	30,4	gr
Peso del agua W_w	52,7	gr	37,3	gr
Peso de los sólidos W_s	89,70	gr	61,5	gr
Contenido de humedad w%	58,75	gr	60,65	gr
Contenido de humedad promedio w%	59,70			

DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO

FASES DEL SUELO		Volumen		Peso	
V _v		1498,72	cm ³		
V _a		983,96	cm ³	0,00	
V _w		514,76	cm ³	514,76	gr
V _s		334,72	cm ³	862,24	gr
V_m	W_m	1833,44	cm ³	1377,00	gr

DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS SUELOS

Peso Volumétrico del suelo gm	0,751	gr/cm ³
Densidad seca gd	0,470	gr/cm³
Contenido de humedad w%	59,70	%
Relación de vacíos e = V_v/V_s	4,478	natural
Porosidad n% = V_v/V_m*100	81,74	%
Grado de Saturación de agua Gw% = V_w/V_v*100	34,35	%
Grado de Saturación de aire Ga%	65,65	%

- **Muestra #2**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Cono y Arena de Ottawa

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

PROPIEDADES ÍNDICE POR MÉTODO DEL CONO Y ARENA - MUESTRA #2

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: ASTM-D-2167; AASHTO-T-205

Gs = 2,709

DETERMINACIÓN DEL PESO DE SUELO EXTRAÍDO O PESO DE LA MASA

Ensayo número	1
Peso de la masa del suelo + PesoRec	1014,30
Peso del Recipiente	135,30
Peso de la masa del suelo gr. $W_m = W_M + Rec - Rec$	879,00

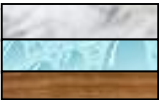
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO O VOLUMEN DE LA MASA

Peso inicial frasco + cono + arena	6763,00
Peso final frasco + cono + arena	4372,60
Peso arena en el cono	731,70
Peso arena en la perforación	1658,70
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582
Volumen de la perforación V_m	1048,48

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	1		2	
Recipiente número				
Peso húmedo + recipiente $W_m + rec$	127,6	gr	143,8	gr
Peso seco + recipiente $W_s + rec$	83,7	gr	94,5	gr
Peso recipiente rec	30,2	gr	30,4	gr
Peso del agua W_w	43,9	gr	49,3	gr
Peso de los sólidos W_s	53,50	gr	64,1	gr
Contenido de humedad $w\%$	82,06	gr	76,91	gr
Contenido de humedad promedio $w\%$	79,48			

DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO

<u>FASES DEL SUELO</u>		Volumen		Peso	
V_v		867,70	cm ³		
V_a		478,44	cm ³	0,00	
V_w	W_w	389,26	cm ³	389,26	gr
V_s	W_s	180,78	cm ³	489,74	gr
V_m	W_m	1048,48	cm ³	879,00	gr

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO ANALIZADO

Peso Volumétrico del suelo gm	0,838	gr/cm ³
Densidad seca gd	0,467	gr/cm³
Contenido de humedad w%	79,48	%
Relación de vacíos e = V_v/V_s	4,800	natural
Porosidad n% = $V_v/V_m * 100$	82,76	%
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v * 100$	44,86	%
Grado de Saturación de aire Ga%	55,14	%

Anexo D

Gravedad Específica

- **Muestra #1**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Gravedad Específica

Observación Visual: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO - MUESTRA#1

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza			
Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides			
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida			
Normas: AASHTO T-100-70 ; ASTM D854 - 58 ; INEN 857			
Masa de la Muestra: 50 gr.			

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO

PARA OBTENER LOS PESOS Y VOLUMENES		
Muestra número	1	2
Picnómetro número (Pg)	NS19	ALEMAN-GERMAN
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	659,6	652,4
Pg + agua + suelo (sumergido) Wbws	687,1	679,9
Desplazamiento agua Ws + Wbw - Wbws	16,3	17
Temperatura del agua y suelo en °C	19	19
Factor de Corrección por temperatura = K	0,9984	0,9984
PARA OBTENER LOS SÓLIDOS		
Recipiente número	1	2
Recipiente + peso suelo seco	150,9	153,2
Peso del recipiente	107,1	108,7
Peso del suelo seco Ws	43,8	44,5
Gs = (Ws * K) / (Ws+Wbw-Wbws)	2,683	2,613
GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO	2,648	

- **Muestra #2**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Gravedad Específica

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO - MUESTRA#2

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASHTO T-100-70 ; ASTM D854 - 58 ; INEN 857

Masa de la Muestra: 50 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO

PARA OBTENER LOS PESOS Y VOLUMENES

Muestra número	1	2
Picnómetro número (Pg)	NS19	ALEMAN-GERMAN
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	663,5	652,4
Pg + agua + suelo (sumergido) Wbws	687,6	683,9
Desplazamiento agua Ws + Wbw - Wbws	14,2	18,2
Temperatura del agua y suelo en °C	21	21
Factor de Corrección por temperatura = K	0,998	0,998

PARA OBTENER LOS SÓLIDOS

Recipiente número	1	2
Recipiente + peso suelo seco	156	159,2
Peso del recipiente	117,7	109,5
Peso del suelo seco Ws	38,3	49,7
Gs = (Ws * K) / (Ws+Wbw-Wbws)	2,692	2,725

GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO **2,709**



- **Cemento**

Descripción

Tipo: Portland

Ensayo: Gravedad Específica

Marca: Selva Alegre

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.</i>		
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO DEL CEMENTO		
Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides		
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida		
Normas: AASHTO T - 133; ASTM C 188 - 95, INEN 156		
Marca de Cemento: Selva Alegre		
Masa de la Muestra: 64 gr.		
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO		
PARA OBTENER LOS PESOS Y VOLUMENES		
Muestra número	1	
Picnómetro número (Pg)	PYREX	
Pg + gasolina W_{bgas}	542,2	gr
Pg + gasolina + cemento W_{bgc}	581,6	gr
Desplazamiento gasolina W_{cem} + W_{bgas} - W_{bgc}	24,6	cm ³
Temperatura de gasolina y cemento en °C	17	
Densidad del Agua a 4°C	1	gr/cm ³
Peso del cemento W_{cem}	64	gr
Densidad del Cemento W_{cem} / (W_{cem} + W_{bgas} - W_{bgc})	2,60	gr/cm ³
G_s = Densidad del Cemento / Densidad de Agua a 4°	2,602	

Anexo E

Límites de Atterberg

- **Muestra #1**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Gravedad Específica

Observación Visual: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #1 / SUELO NATURAL

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

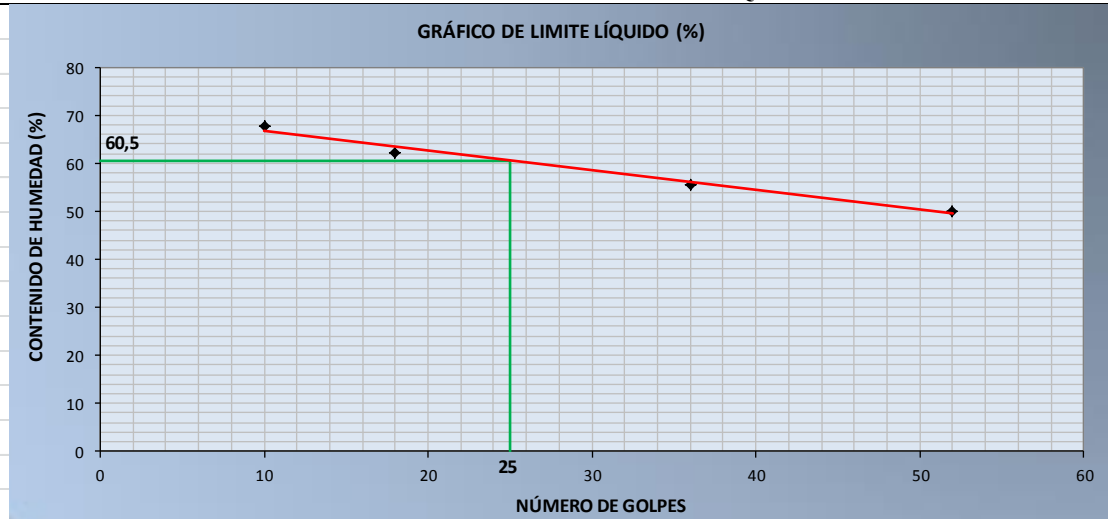
Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

Masa de la Muestra: 100 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	26,70	27,30	20,90	23,10	22,80	22,50	22,00	21,70
Peso seco + recipiente	Ws+rec	20,50	20,90	17,20	18,50	18,60	18,50	18,40	18,20
Peso recipiente	rec	11,60	11,20	10,90	11,50	10,90	11,40	11,10	11,30
Peso del agua	Ww	6,20	6,40	3,70	4,60	4,20	4,00	3,60	3,50
Peso de los sólidos	Ws	8,90	9,70	6,30	7,00	7,70	7,10	7,30	6,90
Contenido de humedad	w%	69,66	65,98	58,73	65,71	54,55	56,34	49,32	50,72
Contenido de humedad promedio	w%	67,82		62,22		55,44		50,02	
Número de golpes		10,00		18,00		36,00		52,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	6,40	7,20	7,50	7,10	7,10
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,30	6,80	7,00	6,80	6,70
Peso recipiente	rec	6,00	6,10	6,20	6,10	6,20
Peso del agua	Ww	0,10	0,40	0,50	0,30	0,40
Peso de los sólidos	Ws	0,30	0,70	0,80	0,70	0,50
Contenido de humedad	w%	33,33	57,14	62,50	42,86	80,00
Contenido de humedad promedio	w%	54,17				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (L _i %):	60,50				
Límite Plástico (L _p %):	54,17				
Índice de Plasticidad (I _p %):	6,33				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

CLASIFICACION SUCS:	CH (Arcilla de Alta Plasticidad)				
----------------------------	----------------------------------	--	--	--	--

- **Muestra #1 – Estabilización con Enzimas Orgánicas**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites Plásticos

Marca de Enzimas Orgánicas: Permzyme 11x

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #2 / SUELO - ENZIMA

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

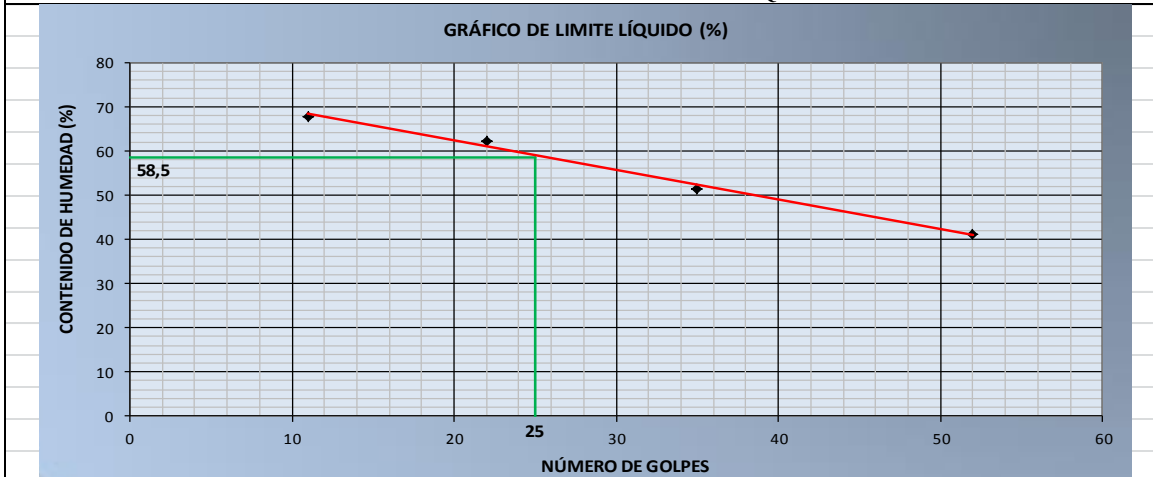
Cantidad de Permazyme 11x: 0,01 mltr

Masa de la Muestra: 100 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	26,70	27,30	20,90	23,10	22,80	22,50	22,00	21,70
Peso seco + recipiente	Ws+rec	20,50	20,90	17,20	18,50	18,80	18,70	18,60	18,90
Peso recipiente	rec	11,60	11,20	10,90	11,50	10,90	11,40	11,10	11,30
Peso del agua	Ww	6,20	6,40	3,70	4,60	4,00	3,80	3,40	2,80
Peso de los sólidos	Ws	8,90	9,70	6,30	7,00	7,90	7,30	7,50	7,60
Contenido de humedad	w%	69,66	65,98	58,73	65,71	50,63	52,05	45,33	36,84
Contenido de humedad promedio	w%	67,82		62,22		51,34		41,09	
Número de golpes		11,00		22,00		35,00		52,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	7,40	7,10	7,30	7,20	6,40
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,80	6,80	6,90	6,70	6,00
Peso recipiente	rec	6,20	6,10	6,10	6,10	5,40
Peso del agua	Ww	0,60	0,30	0,40	0,50	0,40
Peso de los sólidos	Ws	0,60	0,70	0,80	0,60	0,60
Contenido de humedad	w%	100,00	42,86	50,00	83,33	66,67
Contenido de humedad promedio	w%	53,17				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Li%):	58,50				
Límite Plástico (Lp%):	53,17				
Índice de Plasticidad (Ip%):	5,33				

- **Muestra #1 – Estabilización 5% de Cemento**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites Plásticos

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #1 / SUELO - CEMENTO (5%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

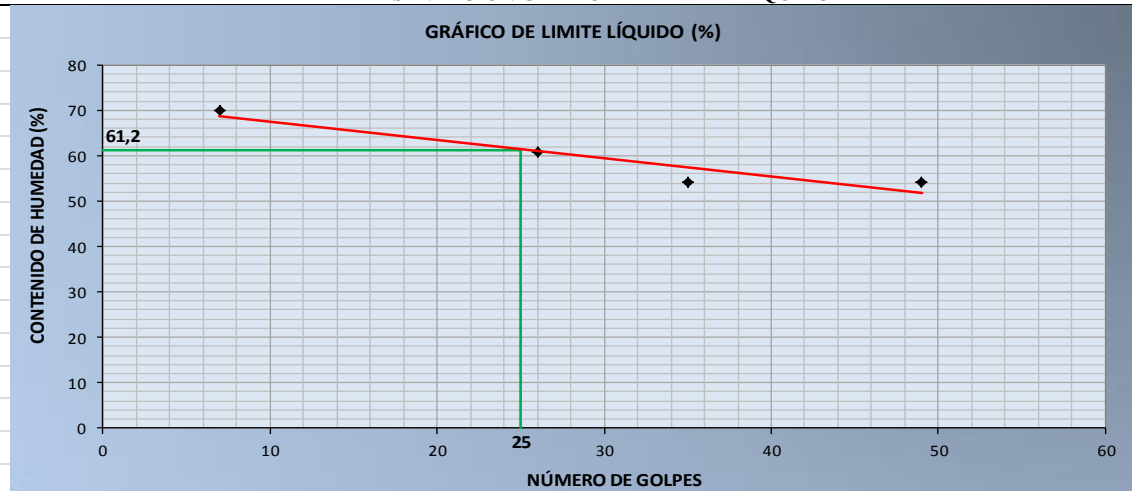
Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

Masa de la Muestra: 105 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	19,70	18,80	23,20	23,40	22,30	23,70	23,10	26,10
Peso seco + recipiente	Ws+rec	16,30	15,70	18,60	18,70	18,30	19,30	18,80	21,00
Peso recipiente	rec	11,50	11,20	11,10	10,90	10,90	11,20	11,00	11,40
Peso del agua	Ww	3,40	3,10	4,60	4,70	4,00	4,40	4,30	5,10
Peso de los sólidos	Ws	4,80	4,50	7,50	7,80	7,40	8,10	7,80	9,60
Contenido de humedad	w%	70,83	68,89	61,33	60,26	54,05	54,32	55,13	53,13
Contenido de humedad promedio	w%	69,86		60,79		54,19		54,13	
Número de golpes		7,00		26,00		35,00		49,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	7,10	7,10	6,60	7,70	6,50
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,80	6,80	6,50	7,10	6,10
Peso recipiente	rec	6,20	6,10	6,20	6,10	5,40
Peso del agua	Ww	0,30	0,30	0,10	0,60	0,40
Peso de los sólidos	Ws	0,60	0,70	0,30	1,00	0,70
Contenido de humedad	w%	50,00	42,86	33,33	60,00	57,14
Contenido de humedad promedio	w%	55,71				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Li%):	61,20				
Límite Plástico (Lp%):	55,71				
Índice de Plasticidad (Ip%):	5,49				

- **Muestra #1 – Estabilización 10% de Cemento**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites Plásticos

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #1 / SUELO - CEMENTO (10%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

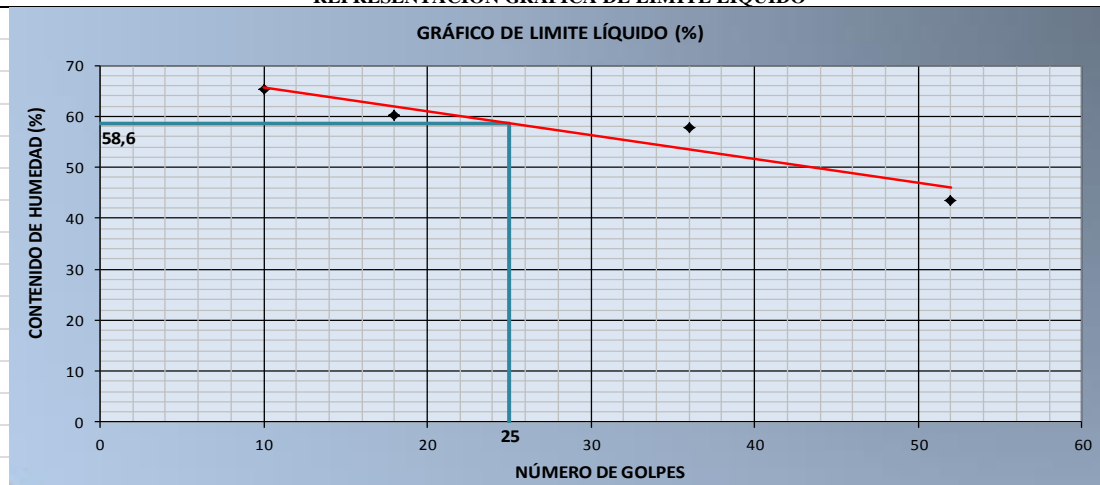
Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

Masa de la Muestra: 110 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	22,40	28,40	23,70	22,90	21,50	24,30	25,30	27,50
Peso seco + recipiente	Ws+rec	16,90	23,50	18,90	18,50	17,60	19,70	20,60	23,10
Peso recipiente	rec	10,80	11,40	11,20	10,90	11,20	11,30	11,40	10,90
Peso del agua	Ww	5,50	4,90	4,80	4,40	3,90	4,60	4,70	4,40
Peso de los sólidos	Ws	6,10	12,10	7,70	7,60	6,40	8,40	9,20	12,20
Contenido de humedad	w%	90,16	40,50	62,34	57,89	60,94	54,76	51,09	36,07
Contenido de humedad promedio	w%	65,33		60,12		57,85		43,58	
Número de golpes		10,00		18,00		36,00		52,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	7,30	7,00	7,10	7,10	7,40
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,90	6,70	6,80	6,90	6,90
Peso recipiente	rec	6,20	6,00	6,00	6,10	6,10
Peso del agua	Ww	0,40	0,30	0,30	0,20	0,50
Peso de los sólidos	Ws	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80
Contenido de humedad	w%	57,14	42,86	37,50	25,00	62,50
Contenido de humedad promedio	w%	54,17				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Li%):	58,60					
Límite Plástico (Lp%):	54,17					
Índice de Plasticidad (Ip%):	4,43					

- **Muestra #2**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites de Plasticidad

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #2 / SUELO NATURAL

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

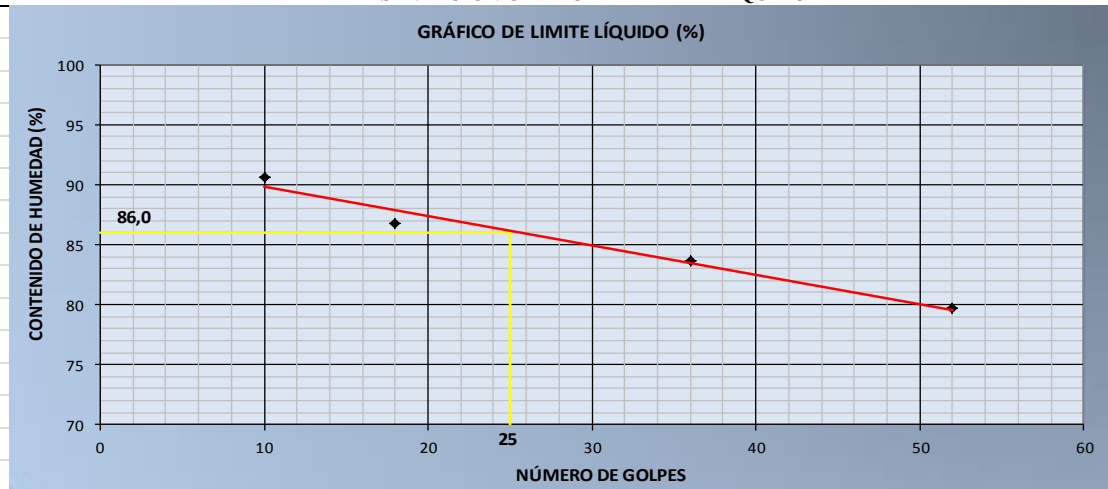
Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

Masa de la Muestra: 100 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	21,00	19,50	20,40	19,90	19,20	18,40	17,90	16,60
Peso seco + recipiente	Ws+rec	16,40	15,40	16,00	15,80	15,40	15,00	15,10	14,30
Peso recipiente	rec	11,30	10,90	10,90	11,10	10,90	10,90	11,60	11,40
Peso del agua	Ww	4,60	4,10	4,40	4,10	3,80	3,40	2,80	2,30
Peso de los sólidos	Ws	5,10	4,50	5,10	4,70	4,50	4,10	3,50	2,90
Contenido de humedad	w%	90,20	91,11	86,27	87,23	84,44	82,93	80,00	79,31
Contenido de humedad promedio	w%	90,65		86,75		83,69		79,66	
Número de golpes		10,00		18,00		36,00		52,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	6,6	6,7	6,7	6,7	6,8
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,4	6,5	6,4	6,5	6,6
Peso recipiente	rec	6,1	6,2	6	6,2	6,2
Peso del agua	Ww	0,20	0,20	0,30	0,20	0,20
Peso de los sólidos	Ws	0,30	0,30	0,40	0,30	0,40
Contenido de humedad	w%	66,67	66,67	75,00	66,67	50,00
Contenido de humedad promedio	w%	66,67				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Li%):	86,00				
Límite Plástico (Lp%):	66,67				
Índice de Plásticidad (Ip%):	19,33				

- **Muestra #2 – Estabilización con Enzimas Orgánicas**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites de Plasticidad

Marca de Enzimas Orgánicas: Permzyme 11x

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #2 / SUELO - ENZIMA

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

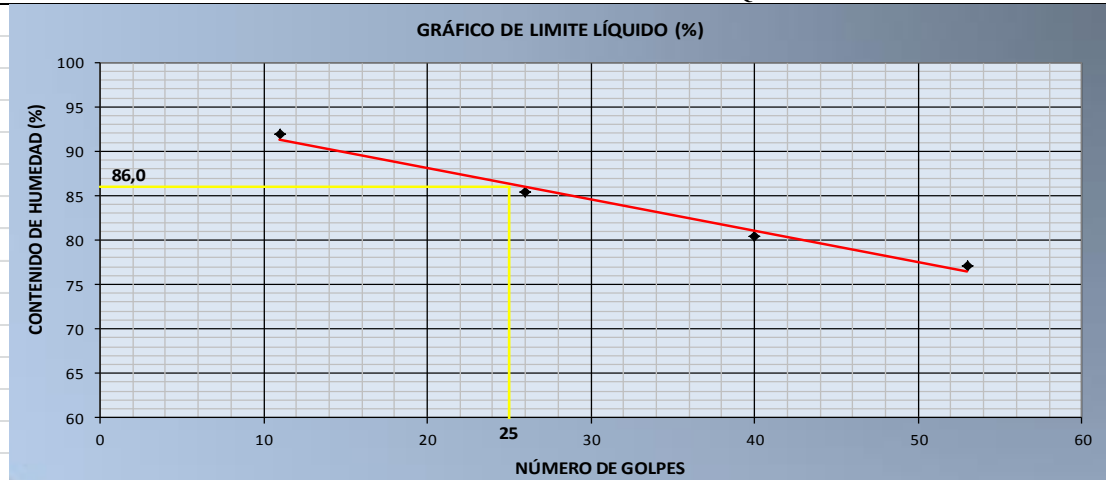
Cantidad de Permazyme 11x: 0,01 mltr

Masa de la Muestra: 100 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	23,60	22,70	24,20	21,50	22,20	18,90	18,20	19,00
Peso seco + recipiente	Ws+rec	18,70	16,40	18,60	16,70	17,80	15,30	15,10	15,90
Peso recipiente	rec	11,40	11,00	11,30	11,60	12,10	11,00	11,40	11,50
Peso del agua	Ww	4,90	6,30	5,60	4,80	4,40	3,60	3,10	3,10
Peso de los sólidos	Ws	7,30	5,40	7,30	5,10	5,70	4,30	3,70	4,40
Contenido de humedad	w%	67,12	116,67	76,71	94,12	77,19	83,72	83,78	70,45
Contenido de humedad promedio	w%	91,89		85,41		80,46		77,12	
Número de golpes		11,00		26,00		40,00		53,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	7,10	7,30	7,20	7,10	7,30
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,70	6,90	6,90	6,60	6,60
Peso recipiente	rec	6,10	6,00	6,20	6,10	6,00
Peso del agua	Ww	0,40	0,40	0,30	0,50	0,70
Peso de los sólidos	Ws	0,60	0,90	0,70	0,50	0,60
Contenido de humedad	w%	66,67	44,44	42,86	100,00	116,67
Contenido de humedad promedio	w%	70,37				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Lp%):	86,00
Límite Plástico (Lp%):	70,37
Índice de Plásticidad (Ip%):	15,63

- **Muestra #2 – Estabilización con 5% de Cemento**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites de Plasticidad

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #2 / SUELO - CEMENTO (5%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

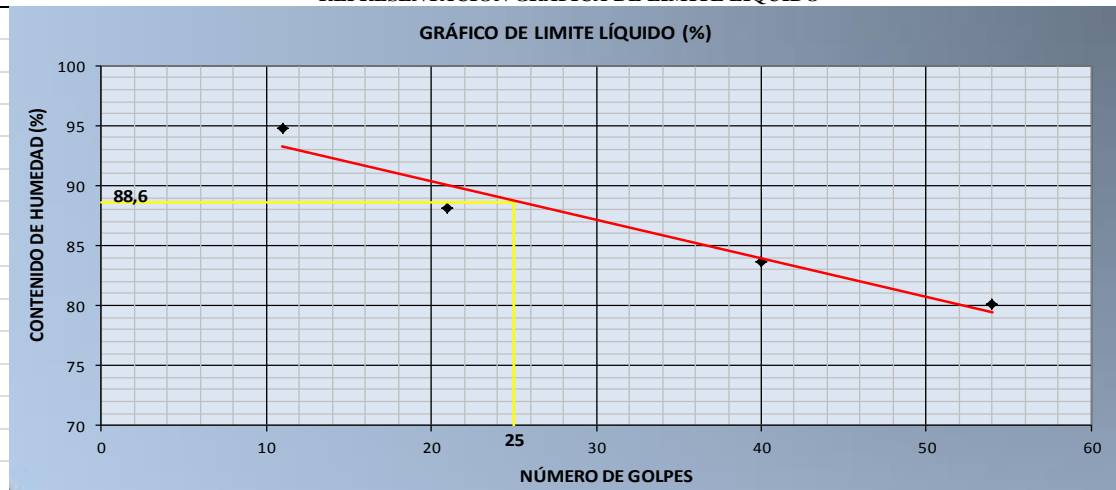
Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

Masa de la Muestra: 105 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	19,40	18,60	18,40	18,50	16,90	16,60	18,20	17,20
Peso seco + recipiente	Ws+rec	15,50	15,10	15,00	15,20	14,30	14,10	14,80	14,50
Peso recipiente	rec	11,50	11,30	11,20	11,40	11,30	11,00	10,90	10,80
Peso del agua	Ww	3,90	3,50	3,40	3,30	2,60	2,50	3,40	2,70
Peso de los sólidos	Ws	4,00	3,80	3,80	3,80	3,00	3,10	3,90	3,70
Contenido de humedad	w%	97,50	92,11	89,47	86,84	86,67	80,65	87,18	72,97
Contenido de humedad promedio	w%	94,80		88,16		83,66		80,08	
Número de golpes		11,00		21,00		40,00		54,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	7,10	7,00	7,20	7,20	6,60
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,60	6,50	6,70	6,80	6,00
Peso recipiente	rec	5,80	6,10	6,30	6,20	5,30
Peso del agua	Ww	0,50	0,50	0,50	0,40	0,60
Peso de los sólidos	Ws	0,80	0,40	0,40	0,60	0,70
Contenido de humedad	w%	62,50	125,00	125,00	66,67	85,71
Contenido de humedad promedio	w%	71,63				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Lp%):	88,60					
Límite Plástico (Lp%):	71,63					
Índice de Plasticidad (Ip%):	16,97					

- **Muestra #2 – Estabilización con 10% de Cemento**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Límites de Plasticidad

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO,
 APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.*

LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRA #2 / SUELO - CEMENTO (10%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

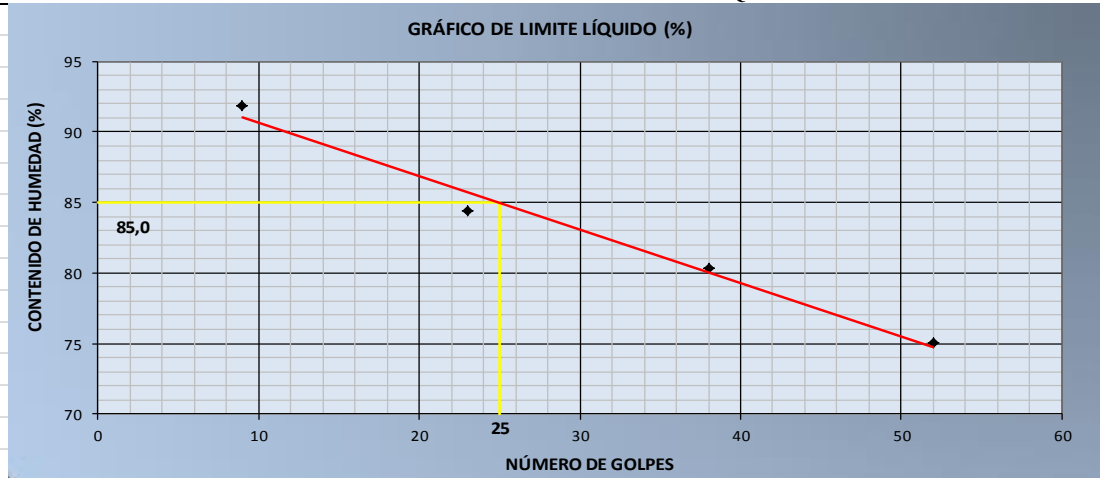
Normas: AASHTO T89-68 Y T90-70 ; ASTM 423-66 Y D424-59

Masa de la Muestra: 110 gr.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	18,40	19,60	17,40	16,50	18,80	17,50	19,40	18,20
Peso seco + recipiente	Ws+rec	14,90	15,50	14,80	13,80	16,30	14,10	16,80	14,50
Peso recipiente	rec	11,20	10,90	10,80	11,20	11,40	11,00	11,30	10,90
Peso del agua	Ww	3,50	4,10	2,60	2,70	2,50	3,40	2,60	3,70
Peso de los sólidos	Ws	3,70	4,60	4,00	2,60	4,90	3,10	5,50	3,60
Contenido de humedad	w%	94,59	89,13	65,00	103,85	51,02	109,68	47,27	102,78
Contenido de humedad promedio	w%	91,86		84,42		80,35		75,03	
Número de golpes		9,00		23,00		38,00		52,00	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO

Recipiente número		1	2	3	4	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	7,20	6,80	6,80	7,00	7,10
Peso seco + recipiente	Ws+rec	6,70	6,60	6,40	6,50	6,80
Peso recipiente	rec	6,00	6,10	5,90	6,20	6,30
Peso del agua	Ww	0,50	0,20	0,40	0,50	0,30
Peso de los sólidos	Ws	0,70	0,50	0,50	0,30	0,50
Contenido de humedad	w%	71,43	40,00	80,00	166,67	60,00
Contenido de humedad promedio	w%	70,48				

LÍMITES DE PLASTICIDAD O ATTERBERG

Límite Líquido (Li%):	85,00					
Límite Plástico (Ip%):	70,48					
Índice de Plasticidad (Ip%):	14,52					

Anexo F

**Densidad Máxima y Humedad
Óptima del Suelo**

- **Muestra #1**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

Masa de la Muestra: 24000 gr.

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2370,457	Diámetro del Molde	15,29	cm
Altura de Caída	18"			Altura del Molde	12,91	cm
Peso Inicial Deseado	6000	6000		6000		6000

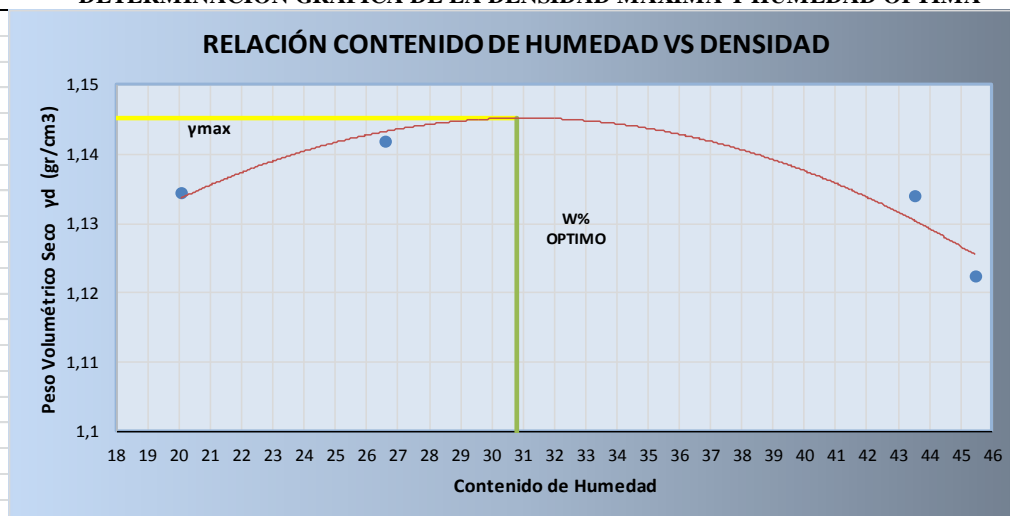
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	7	14	21	28
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19217	19414	19846	19858
Peso suelo humedo Wm (gr)	3229	3426	3858	3870
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1,362	1,445	1,628	1,633

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W_r	30,60	33,30	33,20	30,50	30,60	33,20	31,00	28,80
Rec+suelo humedo W_r+W_m	86,60	97,50	105,80	98,80	129,70	88,70	116,90	146,00
Rec+suelo seco $W_s + W_m$	78,30	85,60	89,60	85,40	100,90	71,20	90,80	108,40
Peso solidos W_s	47,70	52,30	56,40	54,90	70,30	38,00	59,80	79,60
Peso del agua W_w	8,30	11,90	16,20	13,40	28,80	17,50	26,10	37,60
Cont. Humedad $\omega\%$	17,40	22,75	28,72	24,41	40,97	46,05	43,65	47,24
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	20,08		26,57		43,51		45,44	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,134		1,142		1,134		1,123	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,1452**

Humedad Óptima = **30,8**

- **Muestra #1 – Estabilización con Enzimas Orgánicas**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Marca de Enzimas Orgánicas: Permazyme 11x

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO - ENZIMA

Ubicación: Barrio La Merced Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

Masa de la Muestra: 24000 gr.

Cantidad de Permazyme 11x: 0,1 mlt

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2370,457	Diámetro del Molde	15,29	cm
Altura de Caída	18"			Altura del Molde	12,91	cm
Peso Inicial Deseado	6000	6000		6000	6000	

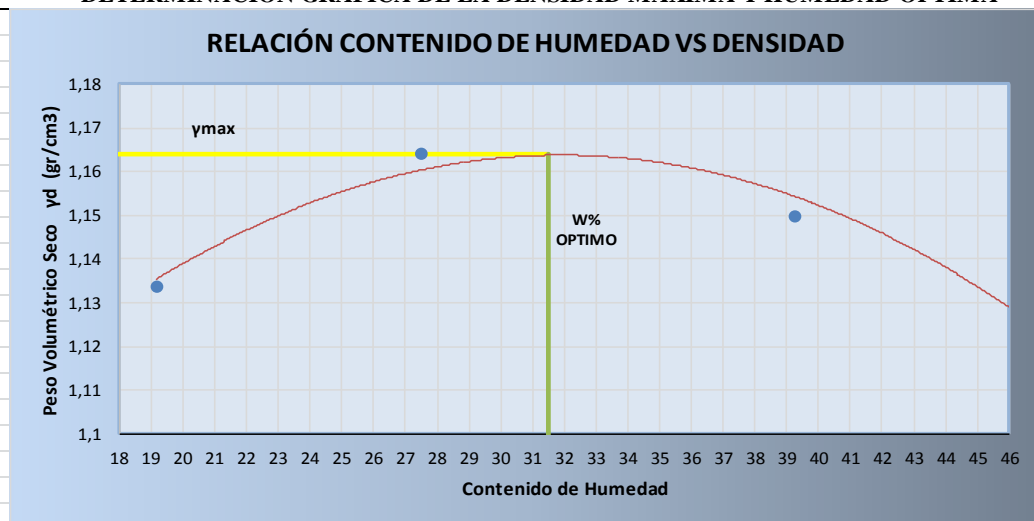
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	7	14	21	28
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19191	19507	19784	19907
Peso suelo humedo Wm (gr)	3203	3519	3796	3919
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1,351	1,485	1,601	1,653

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W_r	24,80	26,70	24,30	26,10	24,40	23,30	24,60	26,10
Rec+suelo humedo W_r+W_m	113,00	115,00	96,50	98,10	91,80	84,50	93,50	108,80
Rec+suelo seco $W_s + W_m$	98,80	100,80	80,80	82,70	73,90	66,30	71,40	82,80
Peso solidos W_s	74,00	74,10	56,50	56,60	49,50	43,00	46,80	56,70
Peso del agua W_w	14,20	14,20	15,70	15,40	17,90	18,20	22,10	26,00
Cont. Humedad $\omega\%$	19,19	19,16	27,79	27,21	36,16	42,33	47,22	45,86
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	19,18		27,50		39,24		46,54	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,134		1,164		1,150		1,128	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,164**

Humedad Óptima = **31,5**

- **Muestra #1 – Estabilización 5% de Cemento**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO-CEMENTO (5%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

Masa de la Muestra: 24000 gr.

Masa de Cemento: 1200 gr.

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2370,457	Diámetro del Molde	15,29	cm
Altura de Caída	18"	Peso de Cemento x 4	300	Altura del Molde	12,91	cm
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

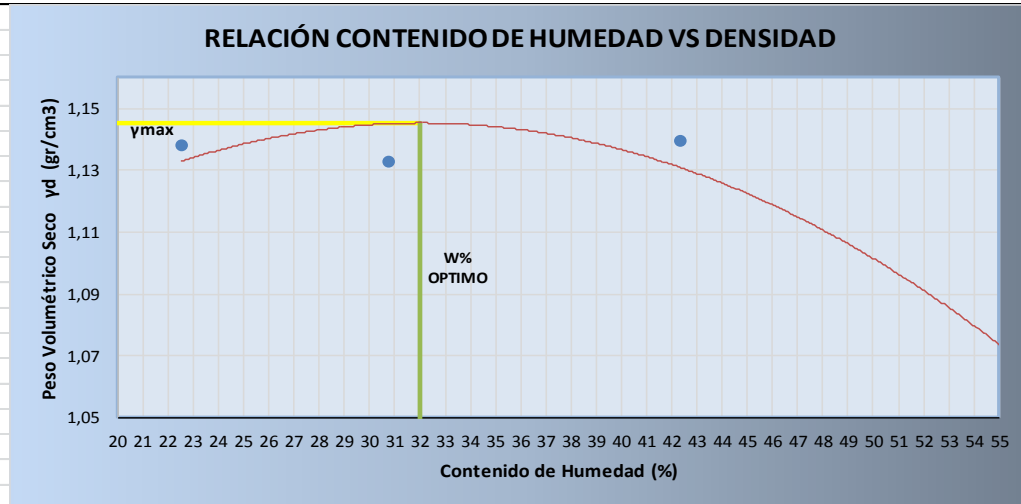
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	9	18	27	36
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19293	19499	19832	19925
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3305	3511	3844	3937
Peso unitario húmedo γ_m (gr/cm ³)	1,394	1,481	1,622	1,661

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W _r	31,70	30,20	30,40	32,90	31,80	31,50	32,20	34,60
Rec+suelo húmedo W _r +W _m	123,60	130,20	124,30	110,90	119,90	124,40	183,70	169,80
Rec+suelo seco W _s + W _m	106,50	112,10	102,30	92,50	93,70	96,80	124,30	122,60
Peso solidos W _s	74,80	81,90	71,90	59,60	61,90	65,30	92,10	88,00
Peso del agua W _w	17,10	18,10	22,00	18,40	26,20	27,60	59,40	47,20
Cont. Humedad ω %	22,86	22,10	30,60	30,87	42,33	42,27	64,50	53,64
Cont. Humedad promedio ω %	22,48		30,74		42,30		59,07	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,138		1,133		1,140		1,044	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,1453**

Humedad Óptima = **32**

- **Muestra #1 – Estabilización 10% de Cemento**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO-CEMENTO (10%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

Masa de la Muestra: 24000 gr.

Masa de Cemento: 2400 gr.

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2370,457	Diámetro del Molde	15,29	cm
Altura de Caída	18"	Peso de Cemento x4	600	Altura del Molde	12,91	cm
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

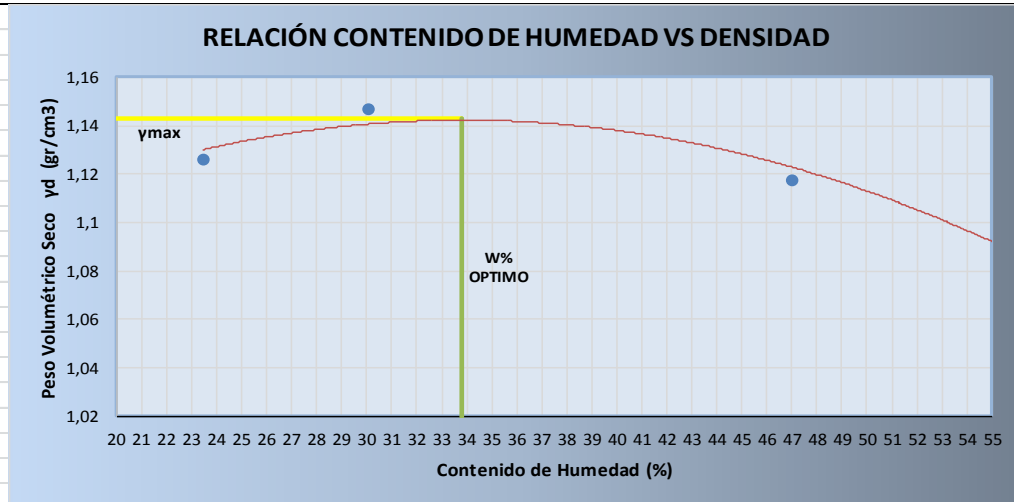
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	9	18	27	36
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19284	19524	19884	20025
Peso suelo humedo Wm (gr)	3296	3536	3896	4037
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1,390	1,492	1,644	1,703

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W _r	30,10	30,20	32,10	31,50	34,50	30,80	32,20	31,80
Rec+suelo humedo W _r +W _m	118,60	127,60	121,30	124,80	113,40	117,80	132,50	120,40
Rec+suelo seco W _s + W _m	103,20	107,60	100,10	103,90	87,80	90,40	94,60	89,40
Peso solidos W _s	73,10	77,40	68,00	72,40	53,30	59,60	62,40	57,60
Peso del agua W _w	15,40	20,00	21,20	20,90	25,60	27,40	37,90	31,00
Cont. Humedad ω %	21,07	25,84	31,18	28,87	48,03	45,97	60,74	53,82
Cont. Humedad promedio ω %	23,45		30,02		47,00		57,28	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,126		1,147		1,118		1,083	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,143**

Humedad Óptima = **33,8**

- **Muestra #2**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	15190	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2370,457	Diámetro del Molde	15,29	cm
Altura de Caída	18"			Altura del Molde	12,91	cm
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

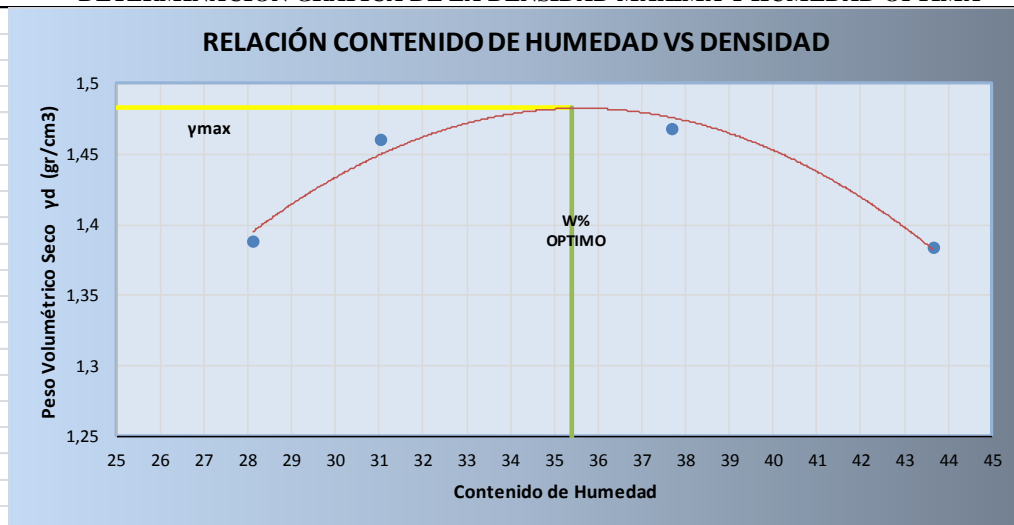
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	6	12	18	24
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19407	19726	19984	19905
Peso suelo humedo Wm (gr)	4217	4536	4794	4715
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1,779	1,914	2,022	1,989

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W _r	26,1	26,4	26,8	22,9	26,2	25,1	22,7	24,8
Rec+suelo humedo W _r +W _m	93,7	107	92,3	93,4	104,1	105	92,6	95,7
Rec+suelo seco W _s + W _m	78,8	89,4	76,9	76,6	82,9	83	71,5	74
Peso solidos W _s	52,70	63,00	50,10	53,70	56,70	57,90	48,80	49,20
Peso del agua W _w	14,90	17,60	15,40	16,80	21,20	22,00	21,10	21,70
Cont. Humedad ω %	28,27	27,94	30,74	31,28	37,39	38,00	43,24	44,11
Cont. Humedad promedio ω %	28,10		31,01		37,69		43,67	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,389		1,461		1,469		1,384	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,483**

Humedad Óptima = **35,4**

- **Muestra #2 – Estabilización con Enzimas Orgánicas**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Marca de Enzimas Orgánicas: Permazyme 11x

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #2 / SUELO - ENZIMA

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

Cantidad de Permazyme 11x: 0,1 mlt para cada muestra

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	15988	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2370,457	Diámetro del Molde	15,29	cm
Altura de Caída	18"			Altura del Molde	12,91	cm
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

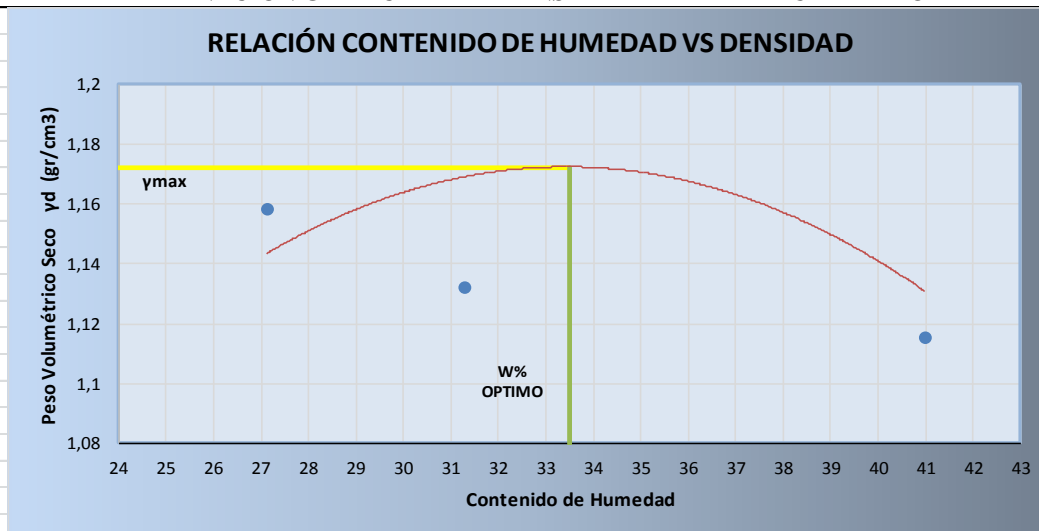
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	7	12	17	22
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19479	19512	19886	19716
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3491	3524	3898	3728
Peso unitario húmedo γ_m (gr/cm ³)	1,473	1,487	1,644	1,573

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W_r	24,10	24,60	24,20	25,30	22,80	24,10	25,20	26,10
Rec+suelo húmedo W_r+W_m	109,50	119,90	102,30	114,30	115,20	121,30	125,70	152,80
Rec+suelo seco W_s+W_m	87,30	104,60	81,80	95,40	89,70	95,70	92,40	121,80
Peso sólidos W_s	63,20	80,00	57,60	70,10	66,90	71,60	67,20	95,70
Peso del agua W_w	22,20	15,30	20,50	18,90	25,50	25,60	33,30	31,00
Cont. Humedad $\omega\%$	35,13	19,13	35,59	26,96	38,12	35,75	49,55	32,39
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	27,13		31,28		36,94		40,97	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,158		1,132		1,201		1,116	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,1722**

Humedad Óptima = **33,5**

- **Muestra #2 – Estabilización con 5% de Cemento**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO-CEMENTO (5%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	14778	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2325,15	Diámetro del Molde	15,22	cm
Altura de Caída	18"	Peso de Cemento x 4	300	Altura del Molde	12,78	cm
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	

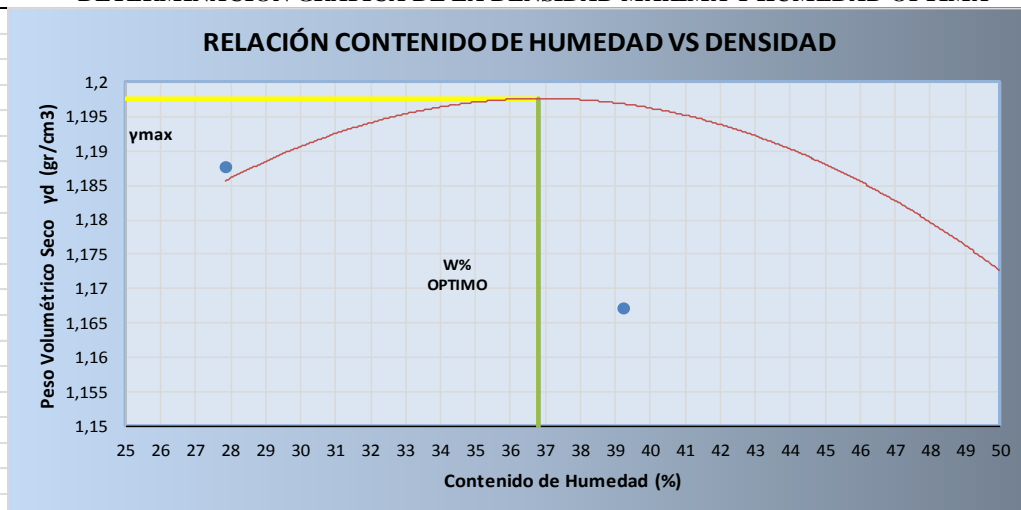
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	8	16	24	32
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18309	18556	18792	18887
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3531	3778	4014	4109
Peso unitario húmedo γ_m (gr/cm ³)	1,519	1,625	1,726	1,767

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W_r	24,30	25,20	25,70	23,40	25,80	25,10	24,80	24,50
Rec+suelo húmedo W_r+W_m	107,90	114,70	97,90	112,30	123,20	132,50	146,00	193,70
Rec+suelo seco $W_s + W_m$	89,50	95,40	78,20	86,50	92,40	104,30	102,40	138,80
Peso sólidos W_s	65,20	70,20	52,50	63,10	66,60	79,20	77,60	114,30
Peso del agua W_w	18,40	19,30	19,70	25,80	30,80	28,20	43,60	54,90
Cont. Humedad $\omega\%$	28,22	27,49	37,52	40,89	46,25	35,61	56,19	48,03
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	27,86		39,21		40,93		52,11	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,188		1,167		1,225		1,162	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,1976**

Humedad Óptima = **36,8**

- **Muestra #2 – Estabilización con 10% de Cemento**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Proctor Modificado Tipo B

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO TIPO B - MUESTRA #1 / SUELO-CEMENTO (10%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Normas: AASTHO T-180

ESPECIFICACIONES

Número de Golpes	56	Peso del Martillo	10 lb	Peso del Molde	14778	gr
Número de Capas	5	Volumen del Molde	2325,15	Diámetro del Molde	15,22	cm
Altura de Caída	18"	Peso de Cemento x4	600	Altura del Molde	12,78	cm
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	

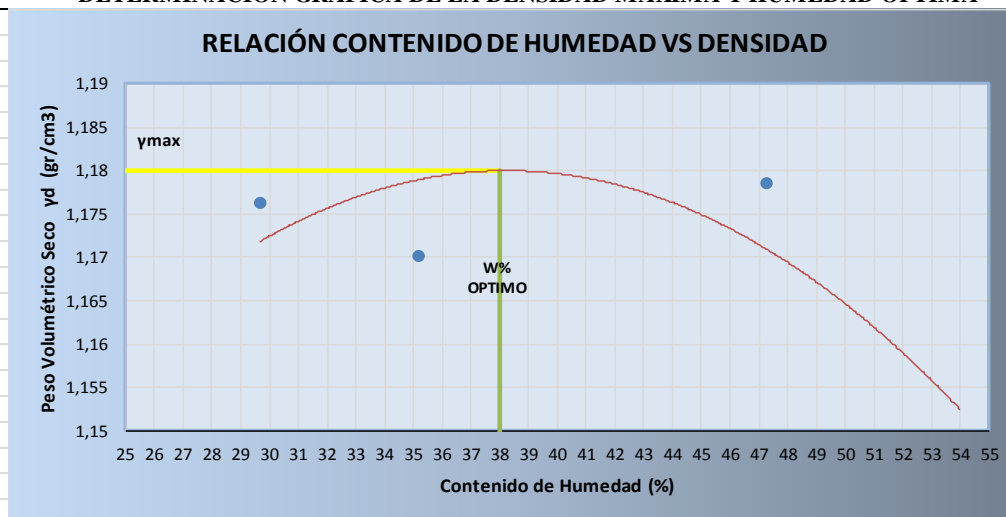
PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Numero	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	8	16	24	32
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18324	18456	18813	18892
Peso suelo humedo Wm (gr)	3546	3678	4035	4114
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1,525	1,582	1,735	1,769

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W_r	24,30	25,20	25,70	23,40	25,80	25,10	24,80	24,50
Rec+suelo humedo W_r+W_m	110,20	105,30	115,30	106,20	118,50	126,40	139,40	134,60
Rec+suelo seco $W_s + W_m$	91,20	86,40	90,40	86,20	85,70	97,60	98,70	96,50
Peso solidos W_s	66,90	61,20	64,70	62,80	59,90	72,50	73,90	72,00
Peso del agua W_w	19,00	18,90	24,90	20,00	32,80	28,80	40,70	38,10
Cont. Humedad $\omega\%$	28,40	30,88	38,49	31,85	54,76	39,72	55,07	52,92
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	29,64		35,17		47,24		54,00	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,176		1,170		1,179		1,149	

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



RESULTADOS

Densidad Máxima = **1,18**

Humedad Óptima = **38**

Anexo G

Capacidad de Soporte (CBR)

- **Muestra #1**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #1 SUELO NATURAL

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	30,80

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	18349	11349	20013	11429	19701	13299
Peso Molde	13554	6400	15852	7036	15190	8393
P. Humedo	4795	4949	4161	4393	4511	4906
Volumen Muestra	2305,73	2305,73	2063,19	2063,19	2345,72	2345,72
Densidad Humedad	2,080	2,146	2,017	2,129	1,923	2,091
Densidad Seca	1,533	1,465	1,480	1,416	1,404	1,357
Den. Seca Prom.	1,499		1,448		1,380	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
P. Hum. + Recipiente	84,1	86,3	93,1	81,5	74,4	99,6	89,9	85,2	100,4
P. Seco + Recipiente	68,5	69,9	72,7	67	61,4	75,2	71,9	68,3	74,2
Peso Recipiente	24,7	24	28,8	26,8	25,8	26,8	23	22,8	25,8
Peso Agua	15,6	16,4	20,4	14,5	13	24,4	18	16,9	26,2
Peso de Sólidos	43,8	45,9	43,9	40,2	35,6	48,4	48,9	45,5	48,4
Contenido Humedad %	35,62	35,73	46,47	36,07	36,52	50,41	36,81	37,14	54,13
Con. Hum. Prom. %	35,67			36,29			36,98		
W% absorbida	10,80			14,12			17,16		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
09/08/2016 14:15 a.m	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
10/08/2016 14:15 a.m	0,3	0,76	0,06	0,5	1,27	0,11	1	2,54	0,20
11/08/2016 14:15 a.m	0,5	1,27	0,10	0,7	1,78	0,16	1,3	3,30	0,26



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #1 SUELO NATURAL

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)

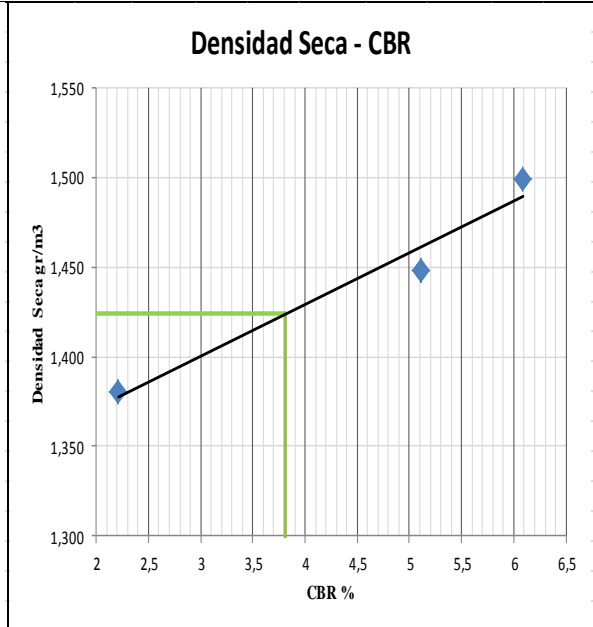
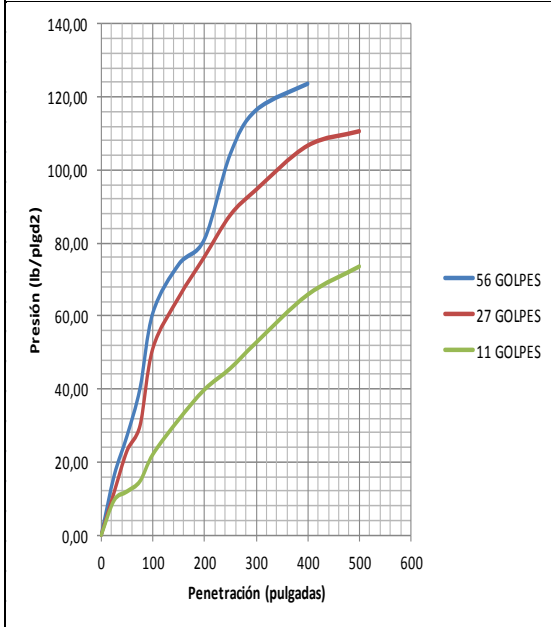
AREA DEL PISTÓN = 3 pulg²

NORMA: ASTM D-1883

VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)

Molde Número		1						2						3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR				
Min.	Seg.	mm	pulg *10-3		Leída	Corregida			Leída	Corregida			Leída	Corregida					
				lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%				
		0	0	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00					
0	30	0,64	25	48,83	16,28		35,28	11,76		28,57	9,52								
1	0	1,27	50	81,63	27,21		69,36	23,12		35,77	11,92								
1	30	1,91	75	120,39	40,13		89,78	29,93		44,17	14,72								
2	0	2,54	100	182,61	60,87	6,09	153,45	51,15	51,15	5,12	66,31	22,10	22,10	2,21					
3	0	3,81	150	222,32	74,11		195,14	65,05		94,77	31,59								
4	0	5,08	200	243,16	81,05		228,74	76,25		119,52	39,84								
5	0	6,35	250	313,14	104,38		262,94	87,65		136,94	45,65								
6	0	7,62	300	349,16	116,39		283,74	94,58		158,10	52,70								
8	0	10,16	400	370,85	123,62		320,00	106,67		197,50	65,83								
10	0	12,70	500	393,14			331,80	110,60		220,68	73,56								
CBR Corregido							6,09			5,12					2,21				

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES		RESISTENCIAS		DENSIDAD MAX	
1,499	gr/cm ³	6,09	%	1,499	gr/cm ³
1,448	gr/cm ³	5,12	%	1,424	gr/cm ³
1,380	gr/cm ³	2,21	%	CBR PUNTUAL	3,81 %

- **Muestra #1 – Estabilización con Enzimas Orgánicas**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Marca de Enzimas Orgánicas: Permzyme 11x

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #1 SUELO ENZIMA

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	31,50

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
Nº de Capas	5		5		5	
Nº de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	17435	10476	18782	11686	19568	12385
Peso Molde	13631	6477	15739	6923	15759	8962
P. Humedo	3804	3999	3043	4763	3809	3423
Volumen Muestra	2244,95	2244,95	2337,98	2337,98	2318,46	2318,46
Densidad Humedad	1,694	1,781	1,302	2,037	1,643	1,476
Densidad Seca	1,142	1,186	0,882	1,352	1,110	0,969
Den. Seca Prom.	1,164		1,117		1,040	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Nº	1			2			3		
P. Hum. + Recipiente	114,50	123,80	135,50	113,50	117,30	131,50	123,50	98,70	167,00
P. Seco + Recipiente	86,80	95,10	100,40	85,80	90,70	98,60	99,60	73,70	120,70
Peso Recipiente	32,20	32,60	30,50	31,20	30,70	33,70	30,50	33,00	32,20
Peso Agua	27,70	28,70	35,10	27,70	26,60	32,90	23,90	25,00	46,30
Peso de Sólidos	54,60	62,50	69,90	54,60	60,00	64,90	69,10	40,70	88,50
Contenido Humedad %	50,73	45,92	50,21	50,73	44,33	50,69	34,59	61,43	52,32
Con. Hum. Prom. %	48,33			47,53			48,01		
W% absorbida	1,89			3,16			4,31		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
15/08/2016 12:15 a.m	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000
16/08/2016 12:15 a.m	0	0,00	0,000	0,43	1,09	0,085	0,6	1,52	0,119
17/08/2016 12:15 a.m	0,01	0,03	0,002	0,5	1,27	0,099	0,61	1,55	0,121
18/08/2016 12:15 a.m	0,02	0,05	0,004	0,5	1,27	0,099	0,61	1,55	0,121



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #1 SUELO ENZIMA

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

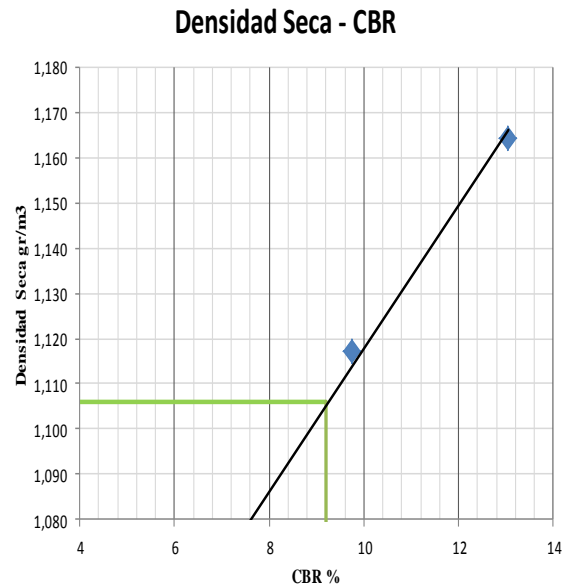
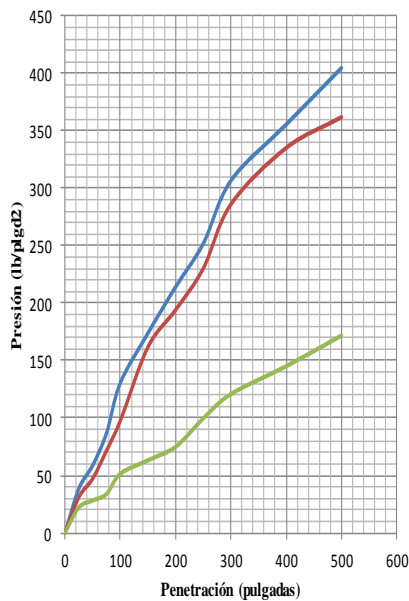
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)							
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
					lb/pulg ²			lb/pulg ²			lb/pulg ²				
0	30	0,64	25	115,70	38,57			93,2	31,07			66,4	22,13		
1	0	1,27	50	176,10	58,70			141,5	47,17			84,5	28,17		
1	30	1,91	75	260,40	86,80			214,6	71,53			101,3	33,77		
2	0	2,54	100	391,50	130,50	130,50	13,05	292,7	97,57	97,57	9,76	154,2	51,40	51,40	5,14
3	0	3,81	150	521,40	173,80			485,2	161,73			189,4	63,13		
4	0	5,08	200	642,20	214,07			582,1	194,03			224,6	74,87		
5	0	6,35	250	755,30	251,77			690,3	230,10			298,7	99,57		
6	0	7,62	300	919,60	306,53			857,9	285,97			362,3	120,77		
8	0	10,16	400	1066,30	355,43			1005,1	335,03			435,1	145,03		
10	0	12,70	500	1213,90	404,63			1085,4	361,80			515,1	171,70		
CBR Corregido							13,05				9,76				5,14

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES			RESISTENCIAS			DENSIDAD MAX		
1,164	gr/cm ³		13,05	%		1,164	gr/cm ³	
1,117	gr/cm ³		9,76	%		95% DEDM	1,106	gr/cm ³
1,040	gr/cm ³		5,14	%		CBR PUNTUAL	9,20	%

- **Muestra #1 – Estabilización 5% de Cemento**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR)-MUESTRA #1 SUELO CEMENTO(5%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	32,00

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	17567	10766	18482	12134	17472	10626
Peso Molde	13591	6437	15759	6943	13591	6794
P. Humedo	3976	4329	2723	5191	3881	3832
Volumen Muestra	2292,21	2292,21	2295,45	2295,45	2292,21	2292,21
Densidad Humedad	1,735	1,889	1,186	2,261	1,693	1,672
Densidad Seca	1,220	1,305	0,818	1,521	1,151	1,087
Den. Seca Prom.	1,262		1,169		1,119	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
P. Hum. + Recipiente	111,50	134,30	126,10	128,60	97,40	95,30	132,10	107,50	114,30
P. Seco + Recipiente	86,80	105,40	97,30	102,40	75,20	74,50	104,90	80,30	85,60
Peso Recipiente	31,80	32,20	32,90	32,50	33,00	31,80	31,20	32,90	32,20
Peso Agua	24,70	28,90	28,80	26,20	22,20	20,80	27,20	27,20	28,70
Peso de Sólidos	55,00	73,20	64,40	69,90	42,20	42,70	73,70	47,40	53,40
Contenido Humedad %	44,91	39,48	44,72	37,48	52,61	48,71	36,91	57,38	53,75
Con. Hum. Prom. %	42,19			45,04			47,15		
W% absorbida	2,53			3,67			6,60		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
09/08/2016 14:15 a.m	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000
10/08/2016 14:15 a.m	0,2	0,51	0,040	0,5	1,27	0,100	0,6	1,52	0,119
11/08/2016 14:15 a.m	0,3	0,76	0,060	0,5	1,27	0,100	0,6	1,52	0,119



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #1 SUELO CEMENTO(5%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)

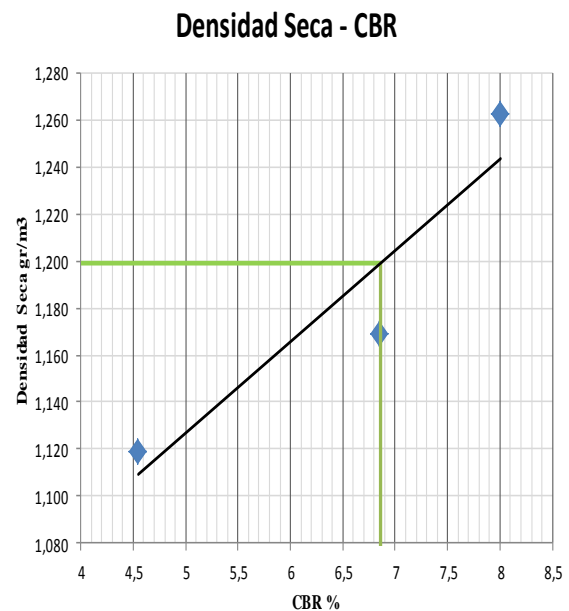
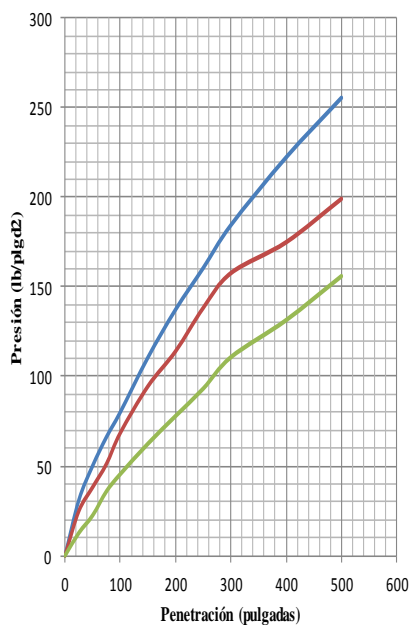
ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg²

NORMA: ASTM D-1883

VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)

Molde Número		1						2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3	lb	Leida	Corregida	%	lb	Leida	Corregida	%	lb	Leida	Corregida	%
		0	0	0,0											
0	30	0,64	25	92,90	30,97			74,6	24,87			37,9	12,63		
1	0	1,27	50	150,40	50,13			114,5	38,17			67,3	22,43		
1	30	1,91	75	198,50	66,17			153,5	51,17			107,6	35,87		
2	0	2,54	100	240,10	80,03	80,03	8,00	205,4	68,47	68,47	6,85	136,4	45,47	45,47	4,55
3	0	3,81	150	331,80	110,60			283,5	94,50			187,3	62,43		
4	0	5,08	200	411,90	137,30			342,1	114,03			233,7	77,90		
5	0	6,35	250	481,50	160,50			414,7	138,23			279,5	93,17		
6	0	7,62	300	553,20	184,40			472,9	157,63			332,1	110,70		
8	0	10,16	400	666,80	222,27			524,6	174,87			394,2	131,40		
10	0	12,70	500	766,40	255,47			597,3	199,10			467,8	155,93		
CBR Corregido							8,00				6,85				4,55

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES			RESISTENCIAS			DENSIDAD MAX			95% DEDM			CBR PUNTUAL		
1,262	gr/cm ³		8,00	%		1,262	gr/cm ³							
1,169	gr/cm ³		6,85	%		1,199	gr/cm ³							
1,119	gr/cm ³		4,55	%					6,86	%				

- **Muestra #1 – Estabilización 10% de Cemento**

Descripción

Clasificación del suelo según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual del suelo: Arcilla de color anaranjado rojizo

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: La Merced



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR)-MUESTRA #1 SUELO CEMENTO(10%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	33,80

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	19132	12874	17612	10553	17593	12713
Peso Molde	15759	8605	14591	5775	14595	7798
P. Humedo	3373	4421	3021	4568	2998	4475
Volumen Muestra	2292,21	2292,21	2295,45	2295,45	2292,21	2292,21
Densidad Humedad	1,472	1,929	1,316	1,990	1,308	1,952
Densidad Seca	1,035	1,333	0,907	1,338	0,889	1,270
Den. Seca Prom.	1,184		1,123		1,079	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1			2			3		
P. Hum. + Recipiente	111,50	134,30	126,10	128,60	97,40	95,30	132,10	107,50	114,30
P. Seco + Recipiente	86,80	105,40	97,30	102,40	75,20	74,50	104,90	80,30	85,60
Peso Recipiente	31,80	32,20	32,90	32,50	33,00	31,80	31,20	32,90	32,20
Peso Agua	24,70	28,90	28,80	26,20	22,20	20,80	27,20	27,20	28,70
Peso de Sólidos	55,00	73,20	64,40	69,90	42,20	42,70	73,70	47,40	53,40
Contenido Humedad %	44,91	39,48	44,72	37,48	52,61	48,71	36,91	57,38	53,75
Con. Hum. Prom. %	42,19			45,04			47,15		
W% absorbida	2,53			3,67			6,60		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
15/08/2016 12:15 a.m	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000
16/08/2016 12:15 a.m	0,1	0,25	0,020	0,45	1,14	0,090	0,5	1,27	0,099
17/08/2016 12:15 a.m	0,2	0,51	0,040	0,5	1,27	0,100	0,6	1,52	0,119
18/08/2016 12:15 a.m	0,2	0,51	0,040	0,5	1,27	0,100	0,6	1,52	0,119



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #1 SUELO CEMENTO(10%)

Ubicación: Barrio La Merced, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

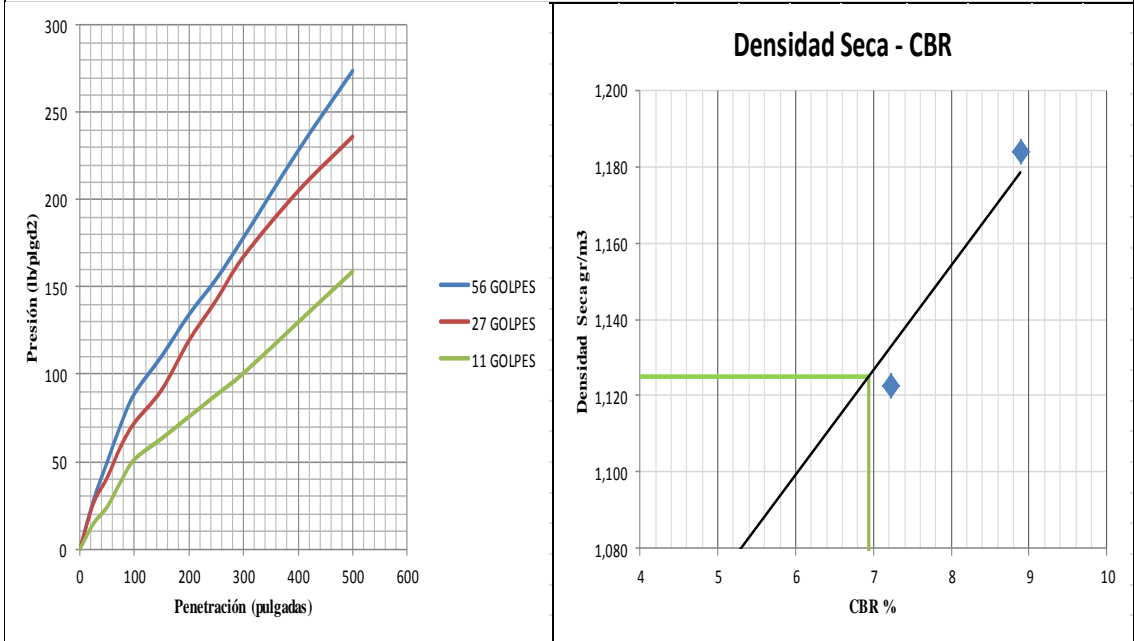
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%			
		0	0	0,0	0			0,00			0				
0	30	0,64	25	84,30	28,10		78,9	26,30		43,6	14,53				
1	0	1,27	50	149,30	49,77		122,5	40,83		72,3	24,10				
1	30	1,91	75	213,70	71,23		176,4	58,80		115,8	38,60				
2	0	2,54	100	266,80	88,93	8,89	216,8	72,27	7,23	153,7	51,23	51,23	5,12		
3	0	3,81	150	331,50	110,50		273,5	91,17		189,8	63,27				
4	0	5,08	200	402,69	134,23		358,2	119,40		227,18	75,73				
5	0	6,35	250	463,88	154,63		427,6	142,53		264,56	88,19				
6	0	7,62	300	535,07	178,36		502,3	167,43		301,94	100,65				
8	0	10,16	400	684,10	228,03		614,7	204,90		389,32	129,77				
10	0	12,70	500	821,50	273,83		708,4	236,13		476,7	158,90				
CBR Corregido						8,89			7,23				5,12		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES		RESISTENCIAS		DENSIDAD MAX		95% DEDM		CBR PUNTUAL	
1,184	gr/cm ³	8,89	%	1,184	gr/cm ³	1,125	gr/cm ³	6,94	%
1,123	gr/cm ³	7,23	%						
1,079	gr/cm ³	5,12	%						

- **Muestra #2**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO NATURAL

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	26,50

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	19772	12748	18907	11720	17459	10269
Peso Molde	15759	8605	15739	6923	13631	6834
P. Humedo	4013	4143	3168	4797	3828	3435
Volumen Muestra	2318,46	2318,46	2337,98	2337,98	2244,95	2244,95
Densidad Humedad	1,731	1,787	1,355	2,052	1,705	1,530
Densidad Seca	1,199	1,178	0,931	1,317	1,172	0,969
Den. Seca Prom.	1,188		1,124		1,071	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1			2			3		
P. Hum. + Recipiente	115,4	105,4	133,3	88,6	82,1	150,9	91,2	102,9	129,2
P. Seco + Recipiente	89,7	81,6	98,5	71,7	66,1	107,7	70,7	82,4	93,8
Peso Recipiente	31,2	28,5	31,2	32,1	33	30,2	29,5	32,6	32,6
Peso Agua	25,7	23,8	34,8	16,9	16	43,2	20,5	20,5	35,4
Peso de Sólidos	58,5	53,1	67,3	39,6	33,1	77,5	41,2	49,8	61,2
Contenido Humedad %	43,93	44,82	51,71	42,68	48,34	55,74	49,76	41,16	57,84
Con. Hum. Prom. %	44,38			45,51			45,46		
W% absorbida	7,33			10,23			12,38		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
09/08/2016 14:15 a.m	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
10/08/2016 14:15 a.m	0,3	0,76	0,06	0,5	1,27	0,10	1	2,54	0,20
11/08/2016 14:15 a.m	0,6	1,52	0,12	0,7	1,78	0,14	1,3	3,30	0,26



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO NATURAL

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

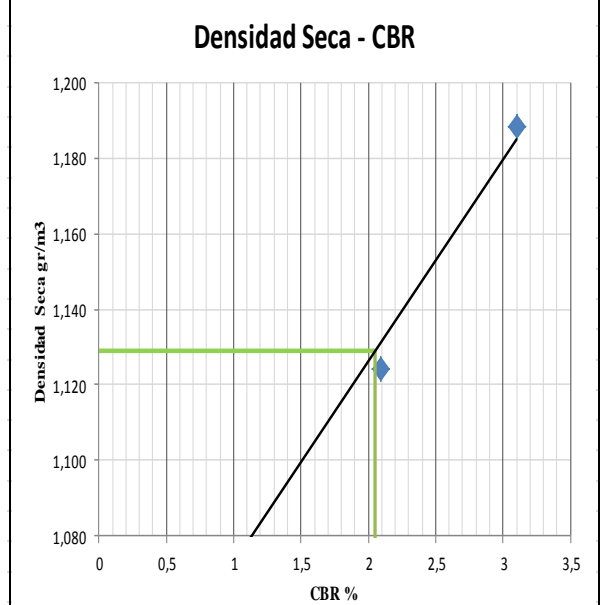
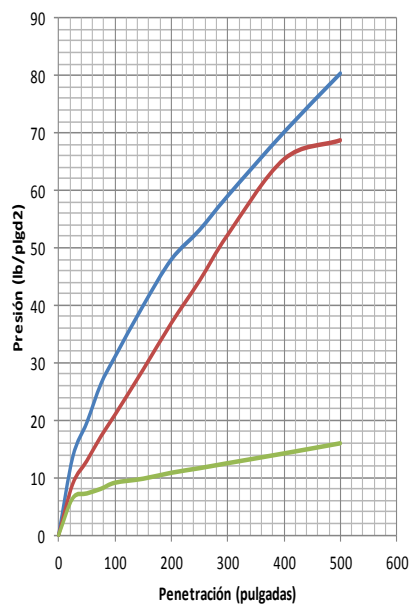
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)							
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
					lb/pulg ²			lb	lb/pulg ²			lb	lb/pulg ²		
0	30	0	0	0,0	0			0,0	0,00			0,0	0		
		0,64	25	40,7	13,57			26,7	8,90			19,2	6,40		
1	0	1,27	50	58,7	19,57			38,7	12,90			21,7	7,23		
1	30	1,91	75	78,9	26,30			51,5	17,17			24,1	8,03		
2	0	2,54	100	93,1	31,03	31,03	3,10	62,8	20,93	20,93	2,09	27,3	9,10	9,10	0,91
3	0	3,81	150	119,8	39,93			86,4	28,80			29,4	9,80		
4	0	5,08	200	143,9	47,97			110,7	36,90			32,5	10,83		
5	0	6,35	250	159,3	53,10			132,8	44,27			34,9	11,63		
6	0	7,62	300	177,1	59,03			156,8	52,27			37,5	12,50		
8	0	10,16	400	210,4	70,13			196,3	65,43			42,6	14,20		
10	0	12,70	500	241,1	80,37			206,2	68,73			47,9	15,97		
CBR Corregido							3,10				2,09				0,91

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES			RESISTENCIAS		DENSIDAD MAX		
1,188	gr/cm ³		3,10	%	1,188	gr/cm ³	
1,124	gr/cm ³		2,09	%	95% DEDM	1,129	gr/cm ³
1,071	gr/cm ³		0,91	%	CBR PUNTUAL	2,05	%

- **Muestra #2 – Estabilización con Enzimas Orgánicas**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Marca de Enzimas Orgánicas: Permzyme 11x

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS
 ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.*

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO-ENZIMA

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	28,20

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	12316	12375	11590	11684	9864	9916
Peso Molde	7133	7133	6805	6805	7210	7210
P. Humedo	5183	5242	4785	4879	2654	2706
Volumen Muestra	2244,95	2244,95	2337,98	2337,98	2318,46	2318,46
Densidad Humedad	2,309	2,335	2,047	2,087	1,145	1,167
Densidad Seca	1,518	1,505	1,348	1,325	0,767	0,734
Den. Seca Prom.	1,512		1,336		0,751	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1			2			3		
P. Hum. + Recipiente	115,40	107,90	153,00	97,80	121,60	150,80	118,30	132,10	149,50
P. Seco + Recipiente	88,20	80,60	109,90	72,80	94,70	106,90	87,50	101,30	105,80
Peso Recipiente	32,60	31,20	31,70	32,20	30,80	30,60	30,70	31,60	31,80
Peso Agua	27,20	27,30	43,10	25,00	26,90	43,90	30,80	30,80	43,70
Peso de Sólidos	55,60	49,40	78,20	40,60	63,90	76,30	56,80	69,70	74,00
Contenido Humedad %	48,92	55,26	55,12	61,58	42,10	57,54	54,23	44,19	59,05
Con. Hum. Prom. %	52,09			51,84			49,21		
W% absorbida	3,02			5,70			9,85		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
	22/08/2016 11:45 a.m	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0
23/08/2016 14:45 a.m	0,4	1,02	0,080	0,8	2,03	0,159	1,6	4,06	0,318
24/08/2016 14:45 a.m	0,5	1,27	0,100	1	2,54	0,198	1,9	4,83	0,378
25/08/2016 14:45 a.m	0,5	1,27	0,100	1,2	3,05	0,238	2	5,08	0,398



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO-ENZIMA

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

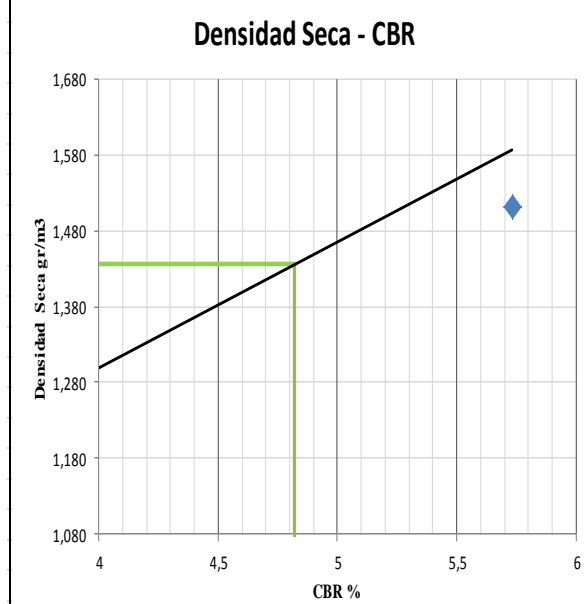
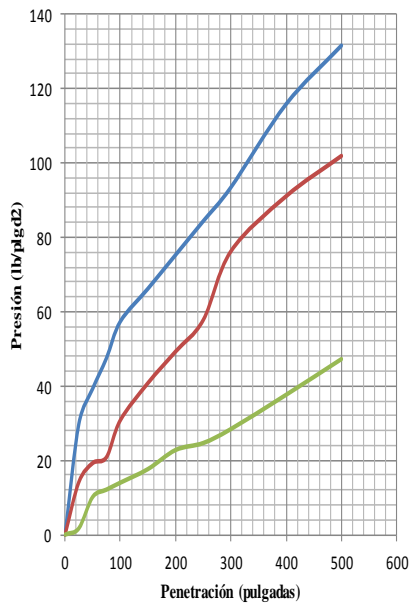
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones Leida Corregida		CBR %	Q Carga lb	Presiones Leida Corregida		CBR %	Q Carga lb	Presiones Leida Corregida		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		lb/pulg ²				lb/pulg ²				lb/pulg ²		
0	30	0	0	0,0	0			0,0	0,0			0,0	0		
1	0	0,64	25	89,40	29,80			42,4	14,13			5,1	1,70		
1	30	1,27	50	117,80	39,27			57,7	19,23			30,4	10,13		
2	0	1,91	75	142,50	47,50			62,5	20,83			36,3	12,10		
2	30	2,54	100	172,00	57,33	57,33	5,73	92,3	30,77	30,77	3,08	41,9	13,97	13,97	1,40
3	0	3,81	150	198,55	66,18			122,4	40,78			52,9	17,63		
4	0	5,08	200	225,80	75,27			147,8	49,27			68,3	22,77		
5	0	6,35	250	253,05	84,35			173,3	57,75			73,9	24,63		
6	0	7,62	300	280,30	93,43			228,7	76,23			85,2	28,40		
8	0	10,16	400	347,55	115,85			273,2	91,07			112,9	37,63		
10	0	12,70	500	394,80	131,60			305,7	101,90			141,7	47,23		
CBR Corregido							5,73				3,08				1,40

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES			RESISTENCIAS			DENSIDAD MAX		
1,512	gr/cm ³		5,73	%		1,512	gr/cm ³	
1,336	gr/cm ³		3,08	%		95% DEDM	1,436	gr/cm ³
0,751	gr/cm ³		1,40	%		CBR PUNTUAL	4,82	%

- **Muestra #2 – Estabilización con 5% de Cemento**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO-CEMENTO(5%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	29,00

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	12015	12038	12121	12134	10543	10592
Peso Molde	7219	7219	7454	7454	7186	7186
P. Humedo	4796	4819	4667	4680	3357	3406
Volumen Muestra	2292,21	2292,21	2295,45	2295,45	2292,21	2292,21
Densidad Humedad	2,092	2,102	2,033	2,039	1,465	1,486
Densidad Seca	1,423	1,378	1,354	1,303	0,951	0,922
Den. Seca Prom.	1,400		1,329		0,937	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1			2			3		
P. Hum. + Recipiente	124,60	112,30	127,40	109,60	135,40	118,70	123,10	97,30	139,30
P. Seco + Recipiente	95,10	85,90	94,90	80,70	105,80	87,50	92,80	73,40	99,60
Peso Recipiente	31,20	30,80	33,10	32,50	32,30	32,20	32,90	31,80	34,60
Peso Agua	29,50	26,40	32,50	28,90	29,60	31,20	30,30	23,90	39,70
Peso de Sólidos	63,90	55,10	61,80	48,20	73,50	55,30	59,90	41,60	65,00
Contenido Humedad %	46,17	47,91	52,59	59,96	40,27	56,42	50,58	57,45	61,08
Con. Hum. Prom. %	47,04			50,12			54,02		
W% absorbida	5,55			6,30			7,06		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
29/08/2016 12:30 a.m	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000
30/08/2016 12:30 a.m	0,3	0,76	0,060	0,7	1,78	0,141	1	2,54	0,198
31/08/2016 12:30 a.m	0,4	1,02	0,079	1	2,54	0,201	1,6	4,06	0,318
01/09/2016 12:30 a.m	0,4	1,02	0,079	1	2,54	0,201	1,7	4,32	0,337



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO-CEMENTO(5%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

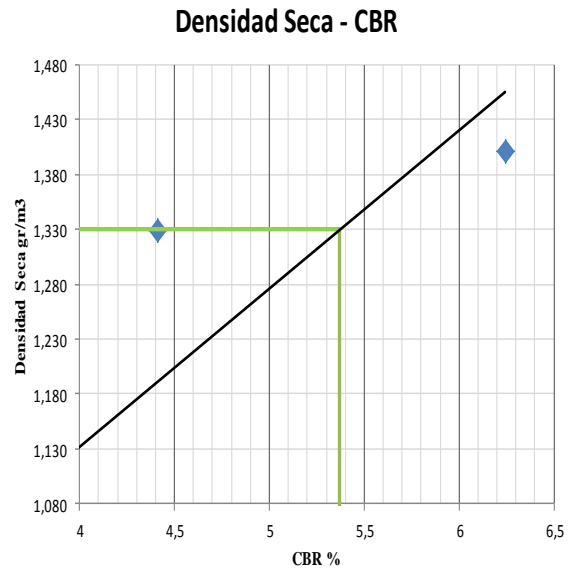
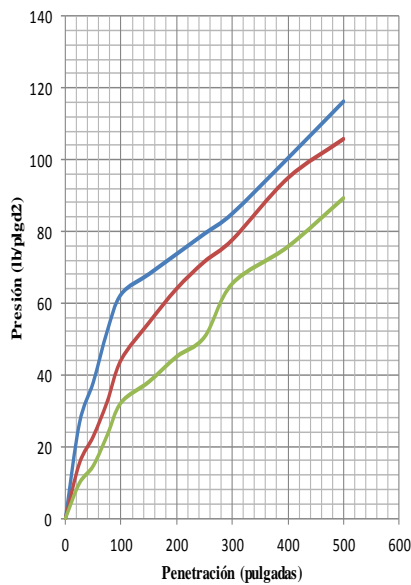
Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)							
Molde Número				1			2			3					
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leída	Corregida			Leída	Corregida			Leída	Corregida	
				lb/pulg ²				lb/pulg ²				lb/pulg ²			
		0	0	0,0	0			0,00				0			
0	30	0,64	25	79,20	26,40			45,8	15,27			29,2	9,73		
1	0	1,27	50	113,70	37,90			68,4	22,80			43,8	14,60		
1	30	1,91	75	156,40	52,13			97,4	32,47			69,3	23,10		
2	0	2,54	100	187,30	62,43	62,43	6,24	132,4	44,13	44,13	4,41	96,7	32,23	32,23	3,22
3	0	3,81	150	204,20	68,07			163,5	54,50			114,1	38,03		
4	0	5,08	200	221,10	73,70			192,1	64,03			135,2	45,07		
5	0	6,35	250	238,00	79,33			214,7	71,57			151,6	50,53		
6	0	7,62	300	254,90	84,97			232,9	77,63			196,3	65,43		
8	0	10,16	400	301,20	100,40			284,6	94,87			227,2	75,73		
10	0	12,70	500	348,70	116,23			317,3	105,77			267,8	89,27		
CBR Corregido							6,24				4,41				3,22

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES		RESISTENCIAS		DENSIDAD MAX		95% DEDM		CBR PUNTUAL	
1,400	gr/cm ³	6,24	%	1,400	gr/cm ³	1,330	gr/cm ³	5,37	%
1,329	gr/cm ³	4,41	%						
0,937	gr/cm ³	3,22	%						

- **Muestra #2 – Estabilización con 10% de Cemento**

Descripción

Clasificación según Sucs: CH (Arcilla de Alta Plasticidad)

Ensayo: Relación de Soporte California (CBR)

Marca de Cemento: Cemento Portland Tipo III

Observación Visual: Arcilla de color gris blanquecino

Ubicación

Provincia: Pastaza

Cantón: Pastaza

Parroquia: Puyo

Barrio: El Chofer



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO-CEMENTO(10%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	29,80

ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.

MOLDE	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo
P. Hum. + Molde	11732	11784	10642	10673	10972	11083
Peso Molde	7133	7133	6805	6805	7210	7210
P. Humedo	4599	4651	3837	3868	3762	3873
Volumen Muestra	2356,24	2356,24	2295,45	2295,45	2292,21	2292,21
Densidad Humedad	1,952	1,974	1,672	1,685	1,641	1,690
Densidad Seca	1,339	1,313	1,125	1,096	1,100	1,082
Den. Seca Prom.	1,326		1,110		1,091	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	1			2			3		
P. Hum. + Recipiente	111,50	124,80	132,50	128,10	107,50	114,30	118,30	132,10	139,50
P. Seco + Recipiente	86,80	95,40	99,30	98,60	81,50	85,60	87,50	101,30	100,80
Peso Recipiente	31,30	32,90	33,40	31,20	32,90	32,20	30,70	31,60	31,80
Peso Agua	24,70	29,40	33,20	29,50	26,00	28,70	30,80	30,80	38,70
Peso de Sólidos	55,50	62,50	65,90	67,40	48,60	53,40	56,80	69,70	69,00
Contenido Humedad %	44,50	47,04	50,38	43,77	53,50	53,75	54,23	44,19	56,09
Con. Hum. Prom. %	45,77			48,63			49,21		
W% absorbida	4,61			5,11			6,88		

ESPONJAMIENTO

Hora y fecha de iniciación	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100	Lectura del deformimetro x10 ⁻²		% (s/h)*100
	in	mm		in	mm		in	mm	
29/08/2016 12:30 a.m	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000
30/08/2016 12:30 a.m	0,15	0,38	0,030	0,6	1,52	0,120	0,5	1,27	0,099
31/08/2016 12:30 a.m	0,3	0,76	0,059	0,65	1,65	0,131	0,8	2,03	0,159
01/09/2016 12:30 a.m	0,3	0,76	0,059	0,65	1,65	0,131	0,9	2,29	0,179



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE.

COMPACTACIÓN DEL SUELO (CBR) - MUESTRA #2 SUELO-CEMENTO(10%)

Ubicación: Barrio El Chofer, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza

Ensayado por: Deivys Ismael Hidalgo Benavides

Revisado por: Ing. Mg. Vinicio Almeida

Norma: AASHTO T193-63; ASTM D1883-73

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)

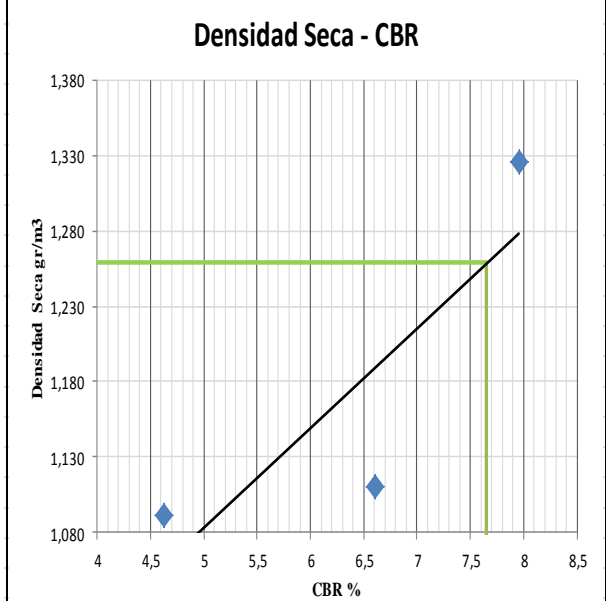
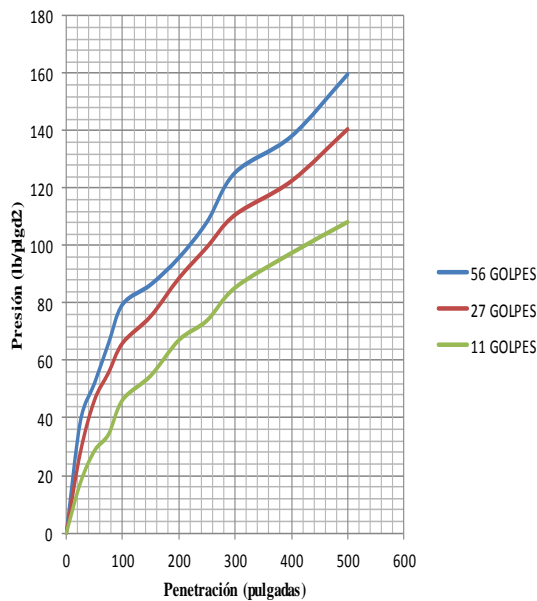
AREA DEL PISTÓN = 3 plg²

NORMA: ASTM D-1883

VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)

Molde Número		1					2					3				
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida		
					lb/pulg ²			lb/pulg ²				lb/pulg ²				
0	30	0,64	25	116,80	38,93		84,4	28,13		52,4	17,47					
1	0	1,27	50	156,20	52,07		138,6	46,20		85,7	28,57					
1	30	1,91	75	198,10	66,03		167,3	55,77		102,9	34,30					
2	0	2,54	100	238,70	79,57	79,57	198,3	66,10	66,10	6,61	138,9	46,30	46,30	4,63		
3	0	3,81	150	259,30	86,43		226,3	75,43		164,2	54,73					
4	0	5,08	200	287,40	95,80		265,9	88,63		201,3	67,10					
5	0	6,35	250	324,80	108,27		298,5	99,50		221,8	73,93					
6	0	7,62	300	376,30	125,43		332,2	110,73		256,1	85,37					
8	0	10,16	400	414,20	138,07		367,4	122,47		292,2	97,40					
10	0	12,70	500	478,90	159,63		421,7	140,57		324,7	108,23					
CBR Corregido							7,96			6,61				4,63		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES			RESISTENCIAS		DENSIDAD MAX		95% DEDM	
	1,326	gr/cm ³	7,96	%		1,326	gr/cm ³	
	1,110	gr/cm ³	6,61	%		1,259	gr/cm ³	
	1,091	gr/cm ³	4,63	%				
					CBR PUNTUAL		7,65	%

ANEXO H

ARCHIVO FOTOGRÁFICO

OBTENCIÓN DE MUESTRAS / REALIZACIÓN DE CALICATAS



Obtención de la Muestra #1 ubicada en el Barrio La Merced



Obtención de la Muestra #2 ubicada en el Barrio El Chofer

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



Trituración de suelo con la ayuda de un cilindro de hormigón



Pesaje de 500 gramos de suelo



Colocación del suelo en tamices



Tamizando el suelo por 15 mins. en tamizadora

DETERMINACIÓN DE RELACIONES FUNDAMENTALES / ENSAYO
DE CONO Y ARENA



Pesaje de recipiente + cono + arena inicial



Limpieza del sitio donde se realizará el ensayo



Colocación de placa en el sitio limpiado



Extracción del suelo demarcado por el agujero de la placa



Colocación de Arena de Ottawa en agujero realizado



Limpieza de Arena de Ottawa regada sobre la placa



Extracción de suelo de agujero / Muestra Barrio El Chofer

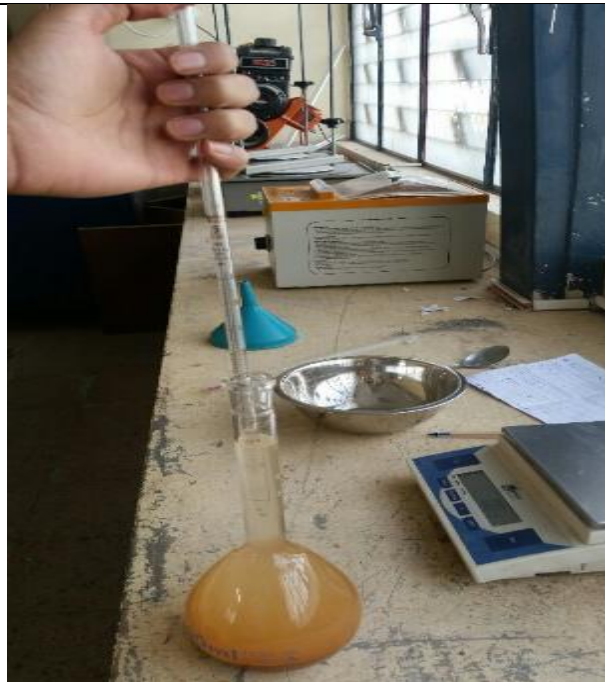


Colocación de Arena de Ottawa en agujero realizado / Muestra Barrio El Chofer

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA



Picnómetro utilizado en el ensayo



Retiro de excedente de agua, hasta marca de aforo



Tomando la temperatura del suelo + agua



Pesaje del contenido de suelo + agua



Colocación de Cemento en Picnómetro



Pesaje de Picnómetro + cemento

LÍMITES DE ATTERBERG



Mezclado de suelo más agua para realizar ensayo



División de suelo para ejecutar los golpes en la copa de Cassagrande



División de suelo por cuadrantes



Pesaje de muestra escogida de los cuadrantes



Realizando rollitos de suelo para determinar Límite Plástico



Colocación de rollito en recipiente metálico

DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Tamizado de suelo por tamiz No.4



Pesaje de 6000 gramos de suelo para realizar ensayo



Ejecución de golpes con martillo de compactación



Medición de enzima orgánica con ayuda de jeringuilla



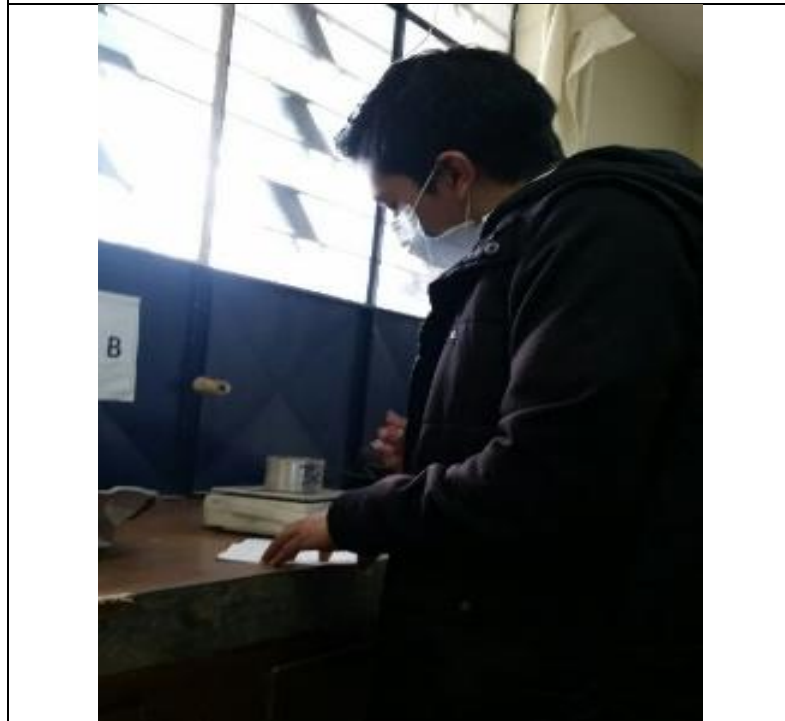
Mezclado de enzima orgánica con agua



Pesaje de cilindro + suelo



Pesaje de suelo humedo + recipiente



Pesaje de suelo seco + recipiente

CBR %



Pesaje de 6000 gramos de suelo



Medición de cantidad de enzima orgánica



Medición de dimensiones de cilindros a utilizar



Mezcla del suelo con el contenido de agua óptimo



Colocación de suelo dentro de cilindro en 5 capas



Pesaje de cilindro sin retorta



Colocación de deformímetros para medición de esponjamiento



Colocación de ensayo en máquina para determinar CBR