UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"Análisis del efecto de adición de ceniza de totora en las propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos de subrasante de la Parroquia Tarqui, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza"

Trabajo de titulación, Modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil otorgado por la Universidad Técnica de Ambato

Autor: Edwin Andres Viteri Llerena

Tutor: Ing. Favio Paúl Portilla Yandún, Msc.

Ambato – Ecuador

2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA"** elaborado por el estudiante Edwin Andres Viteri Llerena, portador de la cédula de ciudadanía número 1804700563, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2026

.....

Ing. Favio Paúl Portilla Yandún, Msc.

C.C. 0401018783

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Edwin Andres Viteri Llerena**, con C.C. 1804700563 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, enero 2026



.....

Edwin Andres Viteri Llerena

C.C. 180470056-3

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este 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 experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2026



.....

Viteri Llerena Edwin Andres

C.C. 180470056-3

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Edwin Andres Viteri Llerena** de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA"**.

Ambato, enero 2026

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Jorge Cevallos Mg.	Ing. Rodrigo Acosta Mg.
C.C. 1801854017	C.C 1801950880
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada paso, brindarme fortaleza en los momentos difíciles y sabiduría para alcanzar mis metas.

A la Virgencita, por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre y por llenarme de esperanza y paz a lo largo de este camino.

A mis padres, Edwin y Lupe por su amor incondicional, su apoyo incesante y por ser el ejemplo de esfuerzo y perseverancia que me inspira.

A mi hermana Fernanda, por su cariño, paciencia y por estar siempre presente acompañándome en cada paso que doy.

*A mis abuelitos Leopoldo (+) y Fabiola (+) y a mi gran amigo Ismael (+)**,** quienes desde el cielo me acompañan, me cuidan y siguen siendo una fuente de fortaleza y motivación en mi vida.*

AGRADECIMIENTO

A *Dios*, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino. Por darme la oportunidad de alcanzar este logro, brindarme sabiduría para superar los desafíos y serenidad para seguir adelante aun cuando las fuerzas parecían faltar. A la *Virgencita del Rosario de Agua Santa*, por ser mi consuelo y mi luz en los días de incertidumbre, por acompañarme con su ternura y recordarme siempre que la fe y la esperanza abren caminos donde parece no haberlos.

A mi padre, *Edwin*, por su ejemplo de esfuerzo, humildad y constancia. Gracias por enseñarme que el trabajo y la perseverancia son las verdaderas herramientas para alcanzar los sueños. Tú apoyo silencioso pero firme, tus palabras sabias y tu amor incondicional, que han sido mi mayor motivación para seguir adelante.

A mi madre, *Lupe* por su amor inagotable, su paciencia y su entrega. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por estar siempre presente con tus palabras de aliento, por tus sacrificios y por ser el pilar que sostiene todo lo que soy. Este logro es tan tuyo como mío.

A mi hermana *Fernanda*, mi compañera incondicional, por su cariño sincero, su alegría que ilumina mis días y por estar siempre dispuesta a escuchar, apoyar y acompañar. Gracias por que tu presencia ha sido un recordatorio constante de que nunca estoy solo.

A mi *familia*, por ser mi refugio, mi hogar y mi mayor fuente de fortaleza. Gracias por su apoyo constante, por celebrar mis logros como propios y por darme ese amor sincero que me impulsa a seguir soñando.

A *mis abuelitos Leopoldo (+), Fabiola (+),* quienes, aunque ya no están físicamente, permanecen vivos en cada recuerdo, en cada palabra y en cada enseñanza que me dejaron. Su amor, su ternura y su ejemplo siguen guiando mis pasos desde el cielo.
Y a mi amigo *Ismael (+)***,** cuya ausencia aún duele, pero cuyo recuerdo ilumina este logro. Gracias por tu amistad sincera, por los momentos compartidos y por haber sido parte de una etapa importante de mi vida. Sé que desde donde estén, se sienten orgullosos y celebran conmigo este logro.

A mis *amigos*, por su compañía, apoyo y sus palabras de aliento en los momentos difíciles, hicieron de este proceso una experiencia más llevadera y significativa. A todos quienes me acompañaron en este camino, gracias infinitas.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO iii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO iv
ÍNDICE DE FIGURAS vi
ÍNDICE DE TABLAS vii
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 2
III. OBJETIVOS 5
A. OBJETIVO GENERAL 5
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 6
I. EQUIPOS Y MATERIALES 6
A. FASE I 6
B. FASE II 7
C. FASE III 15
II. MÉTODOS 15
A. FASE I 15
1) Análisis morfológico y obtención de ceniza de totora 15
2) Recolección de materia Prima 15
3) Ceniza de totora 17
B. FASE II 20
1) Contenido de Humedad Natural 20
2) Gravedad Específica 21

3) Análisis Granulométrico 21
4) Límites de Atterberg 23
5) Clasificación de Suelos 25
6) Proctor Modificado 30
7) California Bearing Ratio 31
C. FASE III 32
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 33
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 33
A. FASE I 33
B. FASE II 33
C. FASE III 51
II. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 51
A. HIPÓTESIS 51
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 51
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 53
I. CONCLUSIONES 53
II. RECOMENDACIONES 56
BIBLIOGRAFÍA 58
ANEXOS 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Ubicación de la muestra 1 16
Fig. 2- Ubicación de la muestra 2 16
Fig. 3- Ubicación de la muestra 3 17
Fig. 4- Recolección de la planta de totora 18
Fig. 5- Secado de la planta de totora 18
Fig. 6- Calcinación de la planta de totora 19

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CENIZA DE TOTORA [4] 3
TABLA II INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD . 9
TABLA III INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA 9
TABLA IV
INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA GRANULOMETRÍA..... 10
TABLA V INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO
..... 11
TABLA VI INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA PROCTOR 12
TABLA VII INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CBR 13
TABLA VIII CLASIFICACIÓN AASHTO PRIMER GRUPO [12]..... 26
TABLA IX CLASIFICACIÓN AASHTO SEGUNDO GRUPO [12] 26
TABLA X SUCS SUELO TIPO GRAVA [12]..... 28
TABLA XI SUCS SUELO TIPO ARENA [12] 28
TABLA XII SUCS SUELO TIPO LIMO Y ARCILLA [12] 29
TABLA XIII MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES [13] 32
TABLA XIV RESULTADOS PROCTOR MUESTRA 1 34
TABLA XV RESULTADOS PROCTOR MUESTRA 2..... 34
TABLA XVI RESULTADOS PROCTOR MUESTRA 3 35
TABLA XVII RESULTADOS CBR MUESTRA 1 37
TABLA XVIII RESULTADOS CBR MUESTRA 2 37
TABLA XIX RESULTADOS CBR MUESTRA 3..... 38
TABLA XX ESPONJAMIENTO MUESTRA 1..... 40
TABLA XXI ESPONJAMIENTO MUESTRA 2..... 41
TABLA XXII ESPONJAMIENTO MUESTRA 3 43
TABLA XXIII PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO..... 44
TABLA XXIV GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO NATURAL Y PORCENTAJE
ÓPTIMO DE CT 45
TABLA XXV GRANULOMETRÍA MUESTRA 1..... 46
TABLA XXVI GRANULOMETRÍA MUESTRA 2..... 47
TABLA XXVII GRANULOMETRÍA MUESTRA 3 47
TABLA XXVIII LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 1..... 48
TABLA XXIX LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 2 49

TABLA XXX LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 3..... 50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Contenido de humedad Muestra 1 60
Anexo 2: Gravedad Específica Muestra Natural 61
Anexo 3: Granulometría Muestra 1 Natural 62
Anexo 4: Límites de Atterberg Muestra 1 Natural 63
Anexo 5: Clasificación M1 Natural AASHTO 64
Anexo 6: Clasificación M1 Natural SUCS 65
Anexo 7: Proctor Modificado M1Natural 66
Anexo 8: CBR Muestra 1 Natural 67
Anexo 9: Proctor Modificado M1, 5% de CT 69
Anexo 10: CBR Muestra 1, 5% de CT 70
Anexo 11: Gravedad Específica Muestra 1, 8% de CT 72
Anexo 12: Granulometría Muestra 1, 8% de CT 73
Anexo 13: Límites de Atterberg Muestra 1, 8% de CT 74
Anexo 14: Clasificación M1, 8% de CT AASHTO 75
Anexo 15: Clasificación M1, 8% de CT SUCS 76
Anexo 16: Proctor Modificado M1, 8% de CT 77
Anexo 17: CBR Muestra 1, 8% de CT 78
Anexo 18: Proctor Modificado M1, 10% de CT 80
Anexo 19: CBR Muestra 1, 10% de CT 81
Anexo 20: Proctor Modificado M1, 12% de CT 83
Anexo 21: CBR Muestra 1, 12% de CT 84
Anexo 22: Esponjamiento Muestra 1 86
Anexo 23: Contenido de humedad Muestra 2 87
Anexo 24: Gravedad Específica Muestra Natural 88
Anexo 25: Granulometría Muestra 2 Natural 89
Anexo 26: Límites de Atterberg Muestra 2 Natural 90
Anexo 27: Clasificación M2 Natural AASHTO 91
Anexo 28: Clasificación M2 Natural SUCS 92
Anexo 29: Proctor Modificado M2 Natural 93
Anexo 30: CBR Muestra 2 Natural 94
Anexo 31: Proctor Modificado M2, 5% de CT 96
Anexo 32: CBR Muestra 2, 5% de CT 97

Anexo 33: Gravedad Específica Muestra 2, 8% de CT 99
Anexo 34: Granulometría Muestra 2, 8% de CT 100
Anexo 35: Límites de Atterberg Muestra 2, 8% de CT 101
Anexo 36: Clasificación M2, 8% de CT AASHTO 102
Anexo 37: Clasificación M2, 8% de CT SUCS 103
Anexo 38: Proctor Modificado M2, 8% de CT 104
Anexo 39: CBR Muestra 2, 8% de CT 105
Anexo 40: Proctor Modificado M2, 10% de CT 107
Anexo 41: CBR Muestra 2, 10% de CT 108
Anexo 42: Proctor Modificado M2, 12% de CT 110
Anexo 43: CBR Muestra 2, 12% de CT 111
Anexo 44: Esponjamiento Muestra 2 113
Anexo 45: Contenido de humedad Muestra 3 114
Anexo 46: Gravedad Específica Muestra Natural 115
Anexo 47: Granulometría Muestra 3 Natural 116
Anexo 48: Límites de Atterberg Muestra 3 Natural 117
Anexo 49: Clasificación M3 Natural AASHTO 118
Anexo 50: Clasificación M3 Natural SUCS 119
Anexo 51: Proctor Modificado M3 Natural 120
Anexo 52: CBR Muestra 3 Natural 121
Anexo 53: Proctor Modificado M3, 5% de CT 123
Anexo 54: CBR Muestra 3, 5% de CT 124
Anexo 55: Gravedad Específica Muestra 3, 8% de CT 126
Anexo 56: Granulometría Muestra 3, 8% de CT 127
Anexo 57: Límites de Atterberg Muestra 3, 8% de CT 128
Anexo 58: Clasificación M3, 8% de CT AASHTO 129
Anexo 59: Clasificación M3, 8% de CT SUCS 130
Anexo 60: Proctor Modificado M3, 8% de CT 131
Anexo 61: CBR Muestra 3, 8% de CT 132
Anexo 62: Proctor Modificado M3, 10% de CT 134
Anexo 63: CBR Muestra 3, 10% de CT 135
Anexo 64: Proctor Modificado M3, 12% de CT 137
Anexo 65: CBR Muestra 3, 12% de CT 138
Anexo 66: Esponjamiento Muestra 3 140

Anexo 67: Gravedad Especifica de CT 141
Anexo 68: Granulometría de CT 142
Anexo 69: Límites de Atterberg de CT 143
Anexo 70: Anexos Fotográficos 144

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CT	Ceniza de Totora
M1	Muestra de suelo 1
M2	Muestra de suelo 2
M3	Muestra de suelo 3
DSM	Densidad Seca Máxima
CBR	California Bearing Ratio
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
IP	Índice de Plasticidad
SM	Arena limosa
ASTM	American Society for Testing and Materials
FICM	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
UTA	Universidad Técnica de Ambato

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio analiza el efecto de la incorporación de ceniza de totora como material estabilizante en suelos arcillosos utilizados como subrasante en la parroquia Tarqui, cantón Puyo. La investigación surge ante la necesidad de mejorar el comportamiento mecánico de suelos locales que, en su estado natural, presentan elevada humedad, alta plasticidad y baja capacidad portante, condiciones que limitan su desempeño en proyectos viales. El trabajo se desarrolló mediante la caracterización física y mecánica de tres muestras representativas. Inicialmente, los suelos mostraron contenidos de humedad muy elevados, gravedad específica típica de materiales finos y porcentajes significativos de partículas que pasan el tamiz #200, confirmando su clasificación como suelos limo–arcillosos según los sistemas AASHTO y SUCS. Con la incorporación de ceniza de totora en diferentes proporciones (5 %, 8 %, 10 % y 12 %), se evaluaron cambios en los límites de Atterberg, granulometría, comportamiento Proctor y valores de CBR.

Los resultados demostraron que el 8 % de ceniza constituye la dosificación óptima. A este contenido de CT, los suelos reducen de forma marcada su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, evidenciando una disminución en su cohesividad y una mejor respuesta frente a la humedad. Asimismo, la densidad seca máxima incrementó notablemente y la humedad óptima descendió, indicando un proceso de compactación más eficiente. En términos de resistencia, los valores de CBR experimentaron su mayor aumento precisamente con el 8 % de ceniza, alcanzando mejoras superiores al 90 % en comparación con el suelo natural. La ceniza actuó modificando la textura del suelo, disminuyendo la cantidad de finos y aportando partículas más ligeras que permiten un empaquetamiento más estable. Esto resultó en una mejora global de la capacidad portante del material, efecto decisivo para su aplicación en subrasantes. Con porcentajes superiores al 8 %, los beneficios disminuyen debido al exceso de partículas livianas, lo que reduce la densidad seca y la resistencia. Los hallazgos respaldan que la adición del 8 % de ceniza de totora es una alternativa viable, económica y ambientalmente favorable para fortalecer suelos arcillosos empleados en infraestructura vial. Su utilización contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles, aprovechando recursos naturales y mejorando el desempeño estructural de las subrasantes en obras de ingeniería civil.

PALABRAS CLAVE: CENIZA DE TOTORA, SUBRASANTES, ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, CLASIFICACIÓN DE SUELOS, CBR

ABSTRACT

This study examines the effect of incorporating totora ash as a stabilizing material in clayey soils used as subgrade in the Tarqui parish, Puyo canton. The research arises from the need to improve the mechanical performance of local soils which, in their natural state, exhibit high moisture content, elevated plasticity, and low bearing capacity—conditions that limit their suitability for road construction. The work was carried out through the physical and mechanical characterization of three representative samples. Initially, the soils showed very high moisture contents, a specific gravity typical of fine-grained materials, and significant percentages of particles passing the No. 200 sieve, confirming their classification as silty–clayey soils according to AASHTO and SUCS systems. By incorporating totora ash in different proportions (5%, 8%, 10%, and 12%), changes in Atterberg limits, grain-size distribution, Proctor behavior, and CBR values were evaluated.

The results showed that an 8% ash content constitutes the optimal dosage. At this proportion, the soils exhibited a marked reduction in liquid limit, plastic limit, and plasticity index, indicating decreased cohesiveness and improved performance under moisture variations. Likewise, the maximum dry density increased notably, while the optimum moisture content decreased, revealing a more efficient compaction process. In terms of strength, the CBR values showed their highest increase precisely with 8% ash, achieving improvements greater than 90% compared with the natural soil. The ash modified the soil texture by reducing the amount of fines and introducing lighter particles that allow for a more stable packing arrangement. This resulted in an overall enhancement of the material's bearing capacity, a decisive factor for its application in subgrades. With ash contents above 8%, the benefits diminished due to the excess of lightweight particles, which lowered both dry density and strength. The findings support that adding 8% totora ash is a viable, economical, and environmentally favorable alternative for strengthening clayey soils used in road infrastructure. Its application contributes to sustainable development by utilizing natural resources and improving the structural performance of subgrades in civil engineering works.

KEYWORDS: TOTORA ASH, SUBGRADES, SOIL STABILIZATION, SOIL CLASSIFICATION, CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

A lo largo de este capítulo se expone una de las principales problemáticas en Ecuador, la misma que está basada en el mal estado de la infraestructura vial, ya sea vías urbanas y rurales, esto se produce principalmente en lugares con suelos de baja capacidad física y mecánica. Es importante mencionar en este aspecto a un tipo de suelo problemático como son los suelos arcillosos, los mismos que son habituales en la Amazonía de nuestro país, ya que poseen propiedades que imposibilitan su uso en infraestructuras de obras civiles. Ante este reto, el uso de materia prima sostenible, renovable y alternativa como lo es la ceniza de totora, la misma que es obtenida a partir de una especie de planta acuática cuantiosa en el país, constituye así una solución potencial para mejorar las condiciones del suelo. La presente investigación basada en estas adiciones naturales aporta al desarrollo de métodos eco amigables y baratos que apoyan a la sostenibilidad en el área constructiva.[1]

La investigación sobre la incorporación de ceniza de totora en suelos arcillosos surge como respuesta a la necesidad de mejorar las condiciones del suelo en la parroquia Tarqui, donde la capacidad portante del suelo limita el avance civil del sector. Esta alternativa tiene como objetivo aprovechar un recurso renovable, natural y sostenible, permitiendo así abaratar costos y fomentar un modelo sostenible.

La adición de ceniza de totora como estabilizante, representa una alternativa viable y replicable en otras provincias o regiones con condiciones geológicas similares. Además, la investigación aporta al pensamiento científico en el campo de la ingeniería geotécnica, generando nuevas oportunidades para la optimización de suelos mediante el uso de materiales naturales. Los principales beneficiarios serán las comunidades locales, autoridades encargadas de obras públicas del sector y profesionales de la construcción quienes tendrán una nueva herramienta para un mejor desarrollo sostenible.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La estabilización de suelos arcillosos a partir de ceniza de material orgánico ha adquirido popularidad en la Ingeniería Civil, enfocado en la mecánica de suelos, este enfoque significativamente ha tomado fuerza en regiones en donde la calidad del suelo limita básicamente el desarrollo constructivo. En este ámbito, la ceniza de totora, obtenida a partir de la combustión controlada de la planta acuática Schoenoplectus californicus, se presenta como una alternativa sostenible y económica para mejorar la calidad de suelos con alta plasticidad y baja capacidad portante.

Las cenizas obtenidas a partir de material orgánico son un subproducto sólido derivado tras la combustión incompleta de material vegetal como madera, hojas o residuos agrícolas. En la estabilización de suelos, estas cenizas se utilizan como aditivos para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de suelos problemáticos, como los arcillosos o expansivos. Su aplicación busca incrementar la resistencia, reducir la plasticidad y mejorar la calidad del suelo, haciendo que sea más adecuado para la construcción de infraestructuras como carreteras y caminos rurales. [2]

En este caso, la investigación centrada en la planta Schoenoplectus californicus, conocida comúnmente como totora, es una planta herbácea acuática perteneciente a la familia Cyperaceae. Es nativa de América del Sur y se encuentra principalmente en cuerpos de agua dulce como lagunas, humedales y orillas de ríos y lagos. Su sistema radicular denso ayuda a prevenir la erosión y estabilizar los suelos en áreas propensas a deslizamientos. También se ha utilizado en sistemas de humedales construidos para la depuración de aguas residuales.[3]

La ceniza de totora es un subproducto de la quema de la planta de totora, comúnmente encontrada en nuestro país. Estudios han demostrado que la incorporación de ceniza de totora en suelos arcillosos mejora sus propiedades físico-mecánicas, como la capacidad de soporte (CBR), densidad máxima seca y reducción del índice de plasticidad. Estas mejoras hacen que la ceniza de totora sea un material con mucho potencial para la estabilización de suelos en la construcción de caminos rurales y otras infraestructuras. En un estudio realizado por la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, se analizó cómo influye la adición de ceniza de totora en las muestras de subrasante arcillosa, encontrando mejoras significativas en las propiedades físico-mecánicas del suelo.[4]

La ceniza de totora sometida a calcinación (alrededor de 600 grados centígrados) se caracteriza por una composición química predominante en óxidos metálicos, destacando el

óxido de silicio (SiO_2), responsable de sus cualidades puzolánicas. Un estudio de la Universidad Continental indica que la ceniza de totora reciclada y calcinada posee una elevada cantidad de sílice amorfa, lo que la hace idónea para su uso en la estabilización de suelos y como aditivo en la producción de paneles de fibrocemento. Además del SiO_2, se han detectado otros compuestos como óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), los cuales aportan a sus características químicas y mecánicas.[5]

Mediante una investigación desarrollada para su caracterización, su composición química fue establecida mediante un análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X realizado en el laboratorio Físico Químico Ambiental Perú S.A.C., ubicado en la ciudad de Trujillo.[4]

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CENIZA DE TOTORA [4]

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
DIÓXIDO DE SILICIO (SiO2)	45.36
OXIDO DE CALCIO (CaO)	9.84
TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al2O3)	13.68
TRIOXIDO DE HIERRO (Fe2O3)	5.95
OXIDO DE POTASIO (K2O)	9.51
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)	1.98
PENTOXIDO DE FOSFORO (P2O5)	2.17
OXIDO DE COBRE (CuO)	0.45
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO3)	<0.01
OXIDO DE ZINC (ZnO)	0.029
OXIDO DE MANGANESO (MnO)	0.014
PERDIDA POR QUEMADO	11.02

El mejoramiento de suelos es un conjunto de técnicas aplicadas para modificar las propiedades físicas y mecánicas del terreno, con el fin de incrementar su capacidad portante, reducir asentamientos y permitir un mejor comportamiento ante cargas estructurales. Estas técnicas incluyen métodos mecánicos y químicos como la estabilización con cal o cemento. La elección de la técnica adecuada depende de las características específicas del suelo y los requisitos del proyecto de construcción. El objetivo es garantizar una base sólida y segura para las estructuras, optimizando costos y tiempos de ejecución. [6]

Centrándonos en la investigación los suelos arcillosos son aquellos que contienen una alta proporción de partículas finas de arcilla, generalmente menores a 0.002 mm. Estas partículas finas confieren al suelo una alta plasticidad, cohesión y capacidad de retención de agua. Sin embargo, presentan desafíos en términos de drenaje y compactación debido a su baja

permeabilidad y alta susceptibilidad a la expansión y contracción con cambios de humedad. Estas características pueden afectar negativamente su desempeño como subrasante en la construcción de pavimentos.[7]

Por su parte la subrasante es la capa de suelo natural que se encuentra inmediatamente debajo de la estructura del pavimento. Su principal función es soportar las cargas del tráfico y transmitirlas adecuadamente al cuerpo del terraplén. Una subrasante de baja calidad puede provocar deformaciones permanentes, hundimientos y daños en el pavimento. Por lo tanto, es esencial mejorar sus propiedades mecánicas para garantizar la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales. Según diferentes estudios la subrasante debe ser evaluada y mejorada para asegurar la estabilidad y durabilidad de las infraestructuras viales. La investigación destaca la importancia de caracterizar adecuadamente la subrasante y aplicar técnicas de estabilización cuando sea necesario. [8]

A través de estudios se ha demostrado que la incorporación de ceniza de totora en porcentajes adecuados en suelos arcillosos permite reducir de manera notoria el índice de plasticidad del suelo, además de mejorar su capacidad portante y aumentar su densidad seca. La adición de esta escoria de origen vegetal en mayor dosificación permite la conformación de una estructura más sólida del suelo, produciendo así una disminución de la expansión y fortaleciendo la capacidad portante del suelo, esto se da especialmente en suelos con mucha humedad como los que se encuentran en regiones húmedas. [9]

En la actualidad, ante el mayor interés por prácticas con mayor sostenibilidad en el sector constructivo, la exploración hacia nuevas opciones de materiales como la ceniza de totora tiene un impulso relevante, su uso no solo permite mejorar de manera significante las propiedades del suelo, sino que, además contribuye a la inserción de prácticas más responsables con el medio ambiente, Se ha concluido que mediante la aplicación de este aditivo, es posible obtener suelos menos plásticos y con buenas características de soporte, lo cual impacta de una buena manera sobre la viabilidad de proyectos viales como estructurales. [10]

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de la adición de ceniza de totora en las propiedades físico-mecánicas de los suelos arcillosos de subrasante de la Parroquia Tarqui, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Efectuar un muestreo representativo de suelos arcillosos en la zona de estudio, mediante la aplicación de ensayos de laboratorio, así como realizar el análisis morfológico y composicional de la planta de totora con el fin de obtener ceniza mediante un proceso controlado de calcinación.

2) Determinar las propiedades físico mecánicas de los suelos arcillosos en estado natural y con diferentes porcentajes de adición de ceniza, mediante los datos obtenidos por los diferentes ensayos de laboratorio como son, gravedad específica, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR de laboratorio.

3) Analizar los resultados obtenidos para establecer la proporción óptima de ceniza de totora que mejore la estabilidad y resistencia del suelo, como material de subrasante para el diseño de pavimentos.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, sustentado en la recolección y análisis de datos obtenidos en laboratorio para evaluar objetivamente las propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos utilizados como subrasante. El estudio contempla la caracterización de suelos naturales y su modificación mediante la adición de diferentes porcentajes de ceniza de totora, con el propósito de analizar el efecto de este aditivo sobre parámetros como la resistencia, la compactación y la plasticidad, en el contexto específico de la Parroquia Tarqui, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza. Se adoptó un enfoque exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, con el fin de analizar el impacto de la adición de ceniza de totora en el comportamiento físico-mecánico de suelos arcillosos de subrasante.

La metodología se organiza en tres fases: la primera fase comprende la recolección y preparación de la ceniza de totora proveniente de la combustión controlada del material vegetal; la segunda fase se centró en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural y con diferentes adiciones de ceniza, como la resistencia, la plasticidad y la capacidad de soporte, en condiciones representativas de la Parroquia Tarqui, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza.; y la tercera fase abarcó la caracterización físico-química tanto de la ceniza como del suelo arcilloso base, así como la evaluación de su compatibilidad.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

Con el fin de ejecutar el proyecto, se utilizaron diversos materiales y equipos técnicos que hicieron posible alcanzar los objetivos propuestos en cada etapa de esta investigación. A continuación, se expone el detalle del uso de estos recursos, organizados según cada fase del proyecto.

A. FASE I

Para la selección y caracterización del suelo y la obtención de la ceniza vegetal, se utilizó como muestra suelos arcillosos representativos de la parroquia Tarqui, Cantón Puyo, mediante un muestreo sistemático en zonas donde se proyecta actividad vial. El muestreo se realizó con herramientas de campo como palas y sacos con la finalidad de almacenar la materia prima. Las

muestras con las que se realizó el contenido de humedad se utilizó bolsas ziploc etiquetadas con la finalidad de mantener la humedad.

Paralelamente, se analizó la morfología de la planta de totora, junto con su altura y estado de crecimiento. Una vez examinado lo mencionado anteriormente se recolectó la planta de totora (Schoenoplectus californicus) desde zonas húmedas, se procedió a su secado al aire libre y posteriormente se desarrolló la calcinación de la planta de forma controlada en un tanque metálico pequeño. Esto permitió transformar la biomasa en ceniza. Esta fase posibilitó obtener tanto una muestra representativa del suelo como un insumo vegetal transformado (ceniza), que se utilizó como aditivo en fases posteriores del estudio.

B. FASE II

En la segunda fase, destinada a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, se emplearon equipos y materiales específicos según el tipo de ensayo realizado. Para la prueba de contenido de humedad se utilizaron recipientes metálicos pequeños enumerados, un horno industrial (Humboldt, modelo H-30145E) y una balanza digital (Shimadzu).

En relación con el análisis granulométrico, se utilizó un conjunto de tamices (marca CONTROLS, modelo 15-D2365/J), compuesto por los tamices #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 y la base o fuente. Además, se empleó una tamizadora (marca MATEST, modelo SERVER P), cuya función es agitar el conjunto de tamices, facilitando el paso de las partículas del suelo de un tamiz a otro en función de su tamaño.

Para la realización del ensayo de gravedad específica de los sólidos se usó un picnómetro de vidrio calibrado, una balanza analítica, agua destilada, una pipeta de vidrio y un termómetro de mercurio para controlar la temperatura del ensayo y un horno para obtener la masa del suelo seco. Además, se utilizó un embudo para poder incluir la muestra de suelo que pasa el tamiz #4 dentro del picnómetro. Estos equipos permiten medir con precisión las variaciones de masa necesarias para el cálculo según lo mencionado en la norma ASTM D854.

Asimismo, para el ensayo de límites de Atterberg, que incluye el límite líquido y el límite plástico, se empleó el suelo que pase por el tamiz #40. Los equipos requeridos son la Copa Casagrande (marca CONTROLS, modelo 22-T0031/F), un acanalador, una placa de vidrio, un mortero de porcelana y una espátula. La Copa Casagrande es un dispositivo con una cuchara de bronce que realiza movimientos de golpeo controlados para determinar el punto de ruptura de

la muestra. El acanalador es una herramienta curva de acero inoxidable utilizada para crear una ranura central en la muestra. La placa de vidrio sirvió para formar rollos de suelo necesarios para el ensayo de límite plástico. El mortero permitió homogeneizar la muestra para ambos límites, y la espátula se utilizó para mezclar y nivelar el material.

En cuanto al ensayo Proctor modificado, se ejecutó siguiendo una serie de pasos que involucraron la utilización de suelo que pase por el tamiz #4, junto con un molde cilíndrico metálico (marca CONTROLS, modelo ASTM/AASHTO), el cual se colocó sobre una base plana y se complementó con un collarín en la parte superior y una retorta en la parte inferior.

También se empleó un martillo de compactación (marca CONTROLS, modelo 33-T0076), el cual proporcionó la energía de compactación necesaria conforme a las especificaciones que están normadas. Adicionalmente, se utilizó una probeta graduada (marca BRAND, modelo GRADUADA) para medir con precisión el volumen de agua requerido durante el ensayo.

Posteriormente, se llevó a cabo el ensayo CBR, utilizando los valores de humedad óptima obtenidos previamente en el ensayo Proctor modificado. Para este ensayo se requirió el uso del mismo equipamiento del Proctor modificado, además de pesas metálicas (marca CONTROLS, modelo ASTM/AASHTO), una placa metálica perforada, un trípode (marca CONTROLS, modelo 34-T0093) y una máquina Multispeed (marca CONTROLS, modelo 34-V1172). Las pesas incluían anillos metálicos de 4,54 ± 0,02 kg y pesas ranuradas de 2,27 ± 0,02 kg. La placa perforada de 15 cm de diámetro se colocó sobre el molde. El trípode permitió instalar un deformímetro para medir la expansión del suelo, mientras que la máquina Multispeed se utilizó para aplicar una carga de penetración mediante un pistón sobre la muestra previamente sumergida.

Finalmente, en esta etapa del proyecto, destinada a determinar el porcentaje adecuado de ceniza de totora para mejorar la capacidad de soporte del suelo, se empleó nuevamente los materiales y procedimientos utilizados en los ensayos de Proctor modificado y CBR. A estos se añadió la ceniza de totora como material estabilizante, la cual se incorporó en diferentes porcentajes para analizar su efecto en las propiedades mecánicas del suelo.

A partir de las muestras se realizó ensayos laboratorio como contenido de humedad, gravedad específica, granulometría, límite líquido y limite plástico, Proctor modificado y ensayo CBR, los cuales se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas

ASSHTO y ASTM utilizando equipos como se detalla en la TABLA II, TABLA III, TABLA IV, TABLA V, TABLA VI y TABLA VII.

TABLA II

INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Balanza		- Marca: SHIMADZU - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Horno		- Marca: HUMBOLT H-30145E - Voltaje: 110V - Laboratorio de la FICM – UTA.
Recipientes de contenido de Humedad		- Dimensión: 13 cm. - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Fundas Ziploc		- N/A
Muestras de suelo		- Obtenidas en campo

TABLA III

INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Gravedad Específica		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Balanza		- Marca: SHIMADZU - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.

Horno		- Marca: HUMBOLT H-30145E - Voltaje: 110V - Laboratorio de la FICM – UTA.
Recipientes Ondos		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Termómetro de mercurio		- N/A
Embudo		- Proveniente del laboratorio de la FICM- UTA
Pipeta de laboratorio		- Laboratorio de la FICM – UTA - Graduada

TABLA IV

INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA GRANULOMETRÍA

GRANULOMETRÍA		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Balanza		- Marca: SHIMADZU - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Moldes		- Obtenido del Laboratorio de la FICM – UTA.
Tamizadora		- Obtenida Laboratorio de FICM-UTA - Marca, MATEST, modelo Server P

Tamices		- 8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200, Fuente. - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. -

TABLA V
INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO

LÍMITE LÍQUIDO		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Copa Casagrande		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Acanalador ASTM (Casagrande)		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Recipientes		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Muestra de Suelo		- Obtenida en campo.
Espátula		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Mortero de porcelana		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
LÍMITE PLÁSTICO		

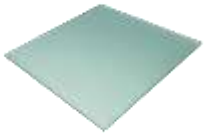
Instrumento	Fotografía	Detalle
Placa de vidrio		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Espátula		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Recipiente		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.

TABLA VI
INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA PROCTOR

PROCTOR		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Bandeja		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Molde cilíndrico y collar		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Controls
Enrasador		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Balanza		- Marca: SHIMADZU - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Palustre		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.

Separador (Retorta)		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Alicate		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Horno		- Marca: HUMBOLT - Voltaje: 110V - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Martillo compactador		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Controls - Modelo 33-T0076
Probeta		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Brand

TABLA VII
INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CBR

CBR		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Bandeja		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Molde cilíndrico y collar		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Controls
Enrasador		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.

Balanza		- Marca: SHIMADZU - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Palustre		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Separador (Retorta)		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Alicate		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Horno		- Marca: HUMBOLT - Voltaje: 110V - Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA.
Martillo compactador		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Controls - Modelo 33-T0076
Probeta		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Brand
Pesas Metálicas		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Brand
Trípode de expansión		- Proveniente del Laboratorio de la FICM – UTA. - Marca Brand

C. FASE III

Se aplicó un método estadístico a los datos recopilados, utilizando herramientas como Excel en el cual, se elaboraron gráficas comparativas de las propiedades clave del suelo en función del porcentaje de ceniza. Esta fase consolidó los hallazgos del estudio, permitiendo emitir conclusiones basadas en evidencia técnica y sustentabilidad del uso de ceniza de totora como alternativa viable de estabilización de suelos arcillosos.

II. MÉTODOS

A. FASE I

Para llevar a cabo los ensayos, fue indispensable recolectar muestras directamente en el lugar de estudio. Estas fueron obtenidas utilizando palas y sacos para almacenar las muestras. Durante el proceso de excavación, resulta fundamental tomar una porción del suelo. Las muestras de suelo serán obtenidas de diferentes lugares mediante excavación de calicatas de 1.00 m x 1.00 m x 1.00 m, retirando la capa vegetal. Es importante almacenarlas adecuadamente, además las muestras más pequeñas se conservan en las bolsas ziploc con la finalidad de que conserve su contenido de humedad original. Esto se hace con el propósito de determinar su humedad natural. Para este análisis se empleó un horno (marca Humbolt, modelo H-30145E) con control de temperatura en un rango de 110 °C ± 5 °C, así como una balanza electrónica con una precisión de 0,1 gramos.

1) Análisis morfológico y obtención de ceniza de totora

Se realizó la recolección de totora, seguido de un análisis morfológico básico (altura, grosor, coloración, textura) y un registro fotográfico. Posteriormente, se efectuó el secado natural y calcinación en horno a temperatura controlada (entre 500°C y 700°C), registrando peso inicial y final para cuantificar el rendimiento en ceniza.

2) Recolección de materia Prima

a) Obtención del suelo

Las muestras de suelo que se ocuparon en la exploración fueron elegidas dentro del Cantón Puyo, específicamente en la Parroquia Tarqui. La elección de los sitios de muestreo se realizó mediante un método de recolección secundaria, basado en un análisis documental previo para identificar las áreas representativas de interés. Como consecuencia, se optaron tres ubicaciones

dentro de la parroquia que reflejan las condiciones típicas de los suelos de la zona, asegurando una adecuada representación para los análisis físico-mecánicos planteados en el estudio.

La muestra de suelo (M1) fue obtenida de la provincia de Pastaza, cantón Puyo, parroquia Tarqui en las coordenadas: Zona 17; 833697.00 m E; 9831479.00 m S.



Fig. 1- Ubicación de la muestra 1

La muestra de suelo (M2) fue obtenida de la provincia de Pastaza, cantón Puyo, parroquia Tarqui en las coordenadas: Zona 17; 831812.00 m E; 9829144.00m S.



Fig. 2- Ubicación de la muestra 2

La muestra de suelo (M3) fue obtenida de la provincia de Pastaza, cantón Puyo, parroquia Tarqui en las coordenadas: Zona 17; 832370.00 m E; 9829662.00 m S.



Fig. 3- Ubicación de la muestra 3

Los suelos fueron secados previamente, luego triturados para garantizar una buena granulometría, y finalmente se almacenaron en un lugar seco y limpio para prevenir cualquier tipo de impurezas.

3) Ceniza de totora

La obtención de la ceniza de totora inició con la recolección de las plantas en diferentes zonas húmedas donde se registra una abundante presencia de totora. Este proceso se llevó a cabo en varias etapas: recolección, secado, calcinación y tamizado, con el fin de obtener un material homogéneo y listo para su uso en los ensayos de estabilización de suelos.

a) Recolección y pretratamiento de la totora

Las plantas de totora fueron recolectadas en el Cantón Pelileo, en la Parroquia García Moreno. Para su procesamiento inicial, se realizó un tratamiento preliminar con el fin de retirar cualquier material extraño y disminuir el tamaño original de las plantas. Este procedimiento consistió en cortar las totoras en fragmentos más pequeños mediante herramientas manuales, obteniendo piezas de dimensiones manejables que facilitaron su secado y aseguraron una calcinación más uniforme.



Fig. 4- Recolección de la planta de totora

b) Secado de la planta de totora

Los fragmentos de totora pretratados fueron sometidos a un proceso de secado para reducir su contenido de humedad y garantizar una combustión eficiente en etapas posteriores. El secado se realizó en la parroquia de García Moreno, en un área ventilada con exposición solar a temperatura ambiente durante un periodo aproximado de un mes.



Fig. 5- Secado de la planta de totora

c) Calcinación controlada

La calcinación de la planta de totora se llevó a cabo en un tanque metálico pequeño, capaz de resistir altas temperaturas. El objetivo principal de este proceso fue eliminar completamente la materia orgánica presente en la totora y transformar la masa vegetal en una ceniza rica en sílice amorfa y otros compuestos minerales característicos del material. La calcinación se efectuó a una temperatura constante de aproximadamente 600 °C, determinada a partir de

estudios previos que indican que esta condición permite obtener una mayor reactividad puzolánica en la ceniza de totora.

El control de la temperatura se realizó mediante la observación del color y la intensidad de la llama, garantizando así la estabilidad térmica del proceso. Durante la calcinación, el material fue alimentado de manera continua a medida que se consumía la totora, manteniendo un proceso uniforme durante aproximadamente 3 horas diarias. Una vez finalizada la combustión, la ceniza fue dejada enfriar dentro del mismo horno para asegurar un enfriamiento lento y evitar choques térmicos. Finalmente, el material obtenido se almacenó en un recipiente plástico limpio y sellado, protegiéndolo de la humedad y de agentes contaminantes del ambiente.



Fig. 6- Calcinación de la planta de totora

d) Tamizado de la ceniza

Una vez que la ceniza de totora fue enfriada y correctamente almacenada, se procedió a realizar un proceso de tamizado con el fin de garantizar la igualdad en el tamaño de sus partículas. Para ello, se empleó un tamiz N.º 4 (4,75 mm**)**, conforme a los requerimientos establecidos en las normas técnicas estándar para la preparación de muestras utilizadas en el ensayo CBR (California Bearing Ratio)**.** Este procedimiento permitió obtener una ceniza con una granulometría adecuada, asegurando la homogeneidad del material y su correcta incorporación en las mezclas de suelo durante las etapas experimentales posteriores.

B. FASE II

La fase de investigación en laboratorio se llevó a cabo con el propósito de identificar las características físicas de la ceniza y analizar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de suelo en su estado natural y con porcentajes de ceniza. En cuanto a la ceniza, se realizó ensayos de gravedad específica, granulometría y límites de Atterberg. Por su parte, a las muestras de suelo se aplicó los ensayos de contenido de humedad, gravedad específica, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio).[11]

Todos los ensayos fueron ejecutados conforme a normas técnicas y documentos específicos. A continuación, se presentarán los procedimientos correspondientes a cada uno de los ensayos por realizar, así como también los métodos de clasificación, cálculos y tablas asociadas al análisis de resultados.[11]

1) Contenido de Humedad Natural

El ensayo para determinar el contenido de humedad se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D2216-19. En primer lugar, se registró el peso del recipiente vacío (m1), el cual deberá ser metálico y resistente a las temperaturas del horno. A continuación, se colocó una muestra representativa del suelo dentro del recipiente y se procederá a pesar nuevamente, registrando el peso total (m2). Luego, el recipiente con la muestra será introducido en un horno con temperatura constante durante un periodo de 24 horas. Transcurrido ese tiempo, se retirará del horno y se anotará el nuevo peso del recipiente con el suelo seco (m3). Todos los valores obtenidos serán registrados. Finalmente, se calculó el contenido de humedad utilizando la fórmula correspondiente (Ecuación 1). [11][12]

$$w = \frac{m2-m3}{m3-m1} * 100 \quad (1)$$

Donde,

W contenido de agua en %.

m1 masa del recipiente en gr.

m2 masa del recipiente más suelo húmedo en gr.

m3 masa del recipiente más suelo seco en gr.

2) Gravedad Específica

El ensayo para determinar la gravedad específica de los sólidos del suelo se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM D854. Primero, se registró el peso del picnómetro limpio y seco. Luego, se añadió una cantidad representativa de la muestra previamente seca en horno y se tomó nuevamente el peso del picnómetro con el suelo. A continuación, se agregó agua destilada hasta cubrir totalmente el material, se eliminó el aire atrapado mediante agitación y se completó el llenado del picnómetro para obtener un nuevo registro de peso. De manera complementaria, se determinó el peso del picnómetro lleno únicamente con agua destilada. Con todos estos valores se procedió al cálculo de la gravedad específica aplicando la fórmula indicada. (Ecuación 2). [11], [13]

$$GS = \frac{Ms}{Mpwt-(Mpwt-Ms)} \tag{2}$$

Donde,

Gs Gravedad Específica

Ms Masa de los sólidos

$Mpwt$ Masa total del picnómetro con el agua

3) Análisis Granulométrico

La granulometría del suelo fue analizada como una propiedad fundamental, ya que influye directamente en su resistencia mecánica y en su comportamiento frente al flujo de agua. Este análisis hace referencia a la distribución de las partículas del suelo en distintos rangos de tamaño, los cuales serán determinados mediante el uso de tamices con aberturas cuadradas. La separación de las partículas se logró a través de un proceso de vibración, y los resultados serán expresados en porcentajes, tomando como base el peso retenido en cada tamiz respecto al peso total de la muestra. Entre los parámetros granulométricos que se evaluarán se encuentran el coeficiente de uniformidad (Cu), el coeficiente de curvatura (Cc) y el coeficiente de gradación, también conocido como tamaño nominal máximo (TNM). Para calcular estos parámetros será necesario aplicar fórmulas matemáticas específicas, como se detallará a continuación. [11], [14]

$$Cc = \frac{(D30)(D30)}{D60*D10} \tag{3}$$

Donde,

$\boldsymbol{Cc}$ coeficiente de curvatura.

$\boldsymbol{D10}$ diámetro que corresponde al 10 % de suelo que pasa.

$\boldsymbol{D30}$ diámetro que corresponde al 30 % de suelo que pasa.

$\boldsymbol{D60}$ diámetro que corresponde al 60 % de suelo que pasa.

$$\boldsymbol{Cu} = \frac{\boldsymbol{D60}}{\boldsymbol{D10}} \quad (4)$$

Donde,

$\boldsymbol{Cu}$ coeficiente de uniformidad.

$\boldsymbol{D10}$ diámetro que corresponde al 10 % de suelo que pasa.

$\boldsymbol{D60}$ diámetro que corresponde al 60 % de suelo que pasa.

El ensayo de análisis granulométrico será realizado conforme a los lineamientos establecidos en la norma ASTM C136. Para ello, se comenzará con el pesaje de una muestra representativa de suelo, con un peso comprendido entre 500 y 1000 gramos. Esta muestra será secada en un horno a temperatura constante durante un periodo de 24 horas. Una vez completado el secado, el suelo será sometido a un proceso de tamizado utilizando un conjunto de tamices previamente seleccionados y ordenados según el tamaño de sus aberturas, abarcando desde el tamiz #4 (4,76 mm) hasta el tamiz #200 (0,075 mm). Este conjunto será colocado en una tamizadora, donde permanecerá en agitación durante un tiempo aproximado de 10 minutos. Concluido el proceso de tamizado, se procederá a pesar la cantidad de suelo retenido en cada tamiz, con el objetivo de calcular el porcentaje que pasa a través de cada uno de ellos, en función del peso total de la muestra.[11],[14]

4) Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, también conocidos como límites de consistencia, son utilizados para caracterizar el comportamiento de las partículas finas del suelo. Este concepto se basa en que un suelo de tipo fino podrá presentar hasta cuatro estados de consistencia distintos, los cuales dependerán directamente de su contenido de humedad. [11]

Así, el suelo estará en estado sólido cuando se encuentre completamente seco, y al incrementarse progresivamente el contenido de agua, su consistencia cambiará pasando por los estados semisólido, plástico y finalmente líquido. Los valores que marcan la transición entre estos estados serán identificados como el límite de contracción, el límite plástico y el límite líquido. [11]

Límite Líquido

El límite líquido será definido como la relación entre el porcentaje de humedad presente en una muestra de suelo y su peso seco, siendo este el punto en el que el suelo transitará del estado líquido al estado plástico. [11],[15]

Este ensayo fue realizado conforme a los lineamientos establecidos en la norma AASHTO T 89 (2013). Para ello, se empleó una muestra de suelo seca que haya pasado por el tamiz #40, la cual será mezclada en un mortero de porcelana, añadiendo agua gradualmente hasta obtener una masa homogénea. Con la ayuda de una espátula, dicha mezcla será colocada en la Copa Casagrande hasta alcanzar aproximadamente el 75 % de su volumen, y luego será nivelada. [11]

Posteriormente, se trazó un surco en el centro de la muestra utilizando un ranurador, y se activará el mecanismo de la copa, contando la cantidad de golpes necesarios para que los bordes del surco se unan. El procedimiento será repetido añadiendo distintas cantidades de agua, hasta obtener al menos dos valores por debajo y dos por encima de los 25 golpes. [11]

Para determinar la humedad correspondiente al momento en que el surco se cierra, se tomarán dos pequeñas porciones de suelo justo del área donde los bordes se unieron. Estas muestras serán colocadas en recipientes, pesadas y secadas en horno, siguiendo la norma ASTM D4318, con el fin de determinar su contenido de agua. [11]

Con los datos obtenidos se elaboró una gráfica que relacione el número de golpes con el contenido de humedad en porcentaje. El Límite Líquido será identificado como el valor de humedad correspondiente a los 25 golpes sobre la muestra. [11], [15]

Límite Plástico

El límite plástico será definido como el porcentaje de contenido de humedad necesario para moldear rollos o cilindros de suelo con un diámetro de 3 mm y una longitud aproximada de 50 mm, sin que estos presenten grietas, fisuras o se desmoronen. Este valor indicará el punto en el que el suelo cambiará de un estado semisólido a un estado plástico. [11], [15]

Para la determinación del límite plástico se aplicó lo establecido en la norma ASTM D4318. Se utilizó una muestra de suelo que haya pasado por el tamiz #40, la cual será humedecida hasta alcanzar una consistencia homogénea y semisólida. A continuación, se tomó una porción de esta masa y, sobre una placa de vidrio, se procederá a formar un cilindro de 3 mm de diámetro y 50 mm de longitud. Este cilindro no deberá agrietarse ni deshacerse durante el moldeado. [11] , [15]

Una vez obtenido el cilindro, se colocó en un recipiente de masa previamente conocida para registrar su peso. Luego, el recipiente fue introducido en un horno para su secado. Transcurrido el tiempo necesario, se retiró la muestra y se determinará su contenido de humedad. Este procedimiento se repitió hasta obtener un total de cinco cilindros. [11], [15]

Finalmente, el límite plástico se calculó como el promedio de los contenidos de humedad obtenidos en las cinco muestras moldeadas.

Índice de Plasticidad

El índice plástico (IP), también denominado índice de plasticidad, fue calculado como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) de una muestra de suelo. Este valor se determinará aplicando la siguiente expresión matemática:

$$\boldsymbol{IP = LL - LP} \tag{5}$$

5) Clasificación de Suelos

Los suelos que presentan categorías similares pueden agruparse, categorizarse y subcategorizarse a partir de su respuesta mecánica y su desempeño en obras. Los sistemas de clasificación de suelos permiten emplear un lenguaje muy técnico unificado, que resume las propiedades de los suelos, evitando así descripciones extensas. En la actualidad los sistemas de clasificación más ocupados son; la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), estos sistemas consideran la granulometría y la plasticidad. [16]

a) Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación de suelos AASHTO se originó en 1929, inicialmente como un método empleado por la Administración de Carreteras. Desde entonces ha sido sometido a diversas actualizaciones, siendo la versión vigente la establecida en 1945 por la Comisión de Clasificación de Materiales para Subrasantes y Materiales Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras, y normada en ASTM D3282 (método AASHTO M145). La estructura actual del sistema AASHTO se resume en la tabla 4.1. Según este enfoque, los suelos se agrupan en siete categorías principales, identificadas como A-1 a A-7. Los grupos A-1, A-2 y A-3 corresponden a suelos de naturaleza granular, caracterizados porque un 35% o menos de su fracción pasa el tamiz # 200. Por el contrario, cuando más del 35% del material atraviesa dicho tamiz, el suelo se clasifica dentro de los grupos A-4, A-5, A-6 o A-7. [16],[17]

El sistema de clasificación se fundamenta en tres criterios principales: el tamaño de las partículas, la plasticidad y la presencia de elementos gruesos. En cuanto a la granulometría, se define como grava a la fracción que pasa por el tamiz de 75 mm y se retiene en el tamiz N.º 10, como arena al material que atraviesa el tamiz # 10 y queda retenido en el #200, y como limo o arcilla a la fracción que pasa completamente por el tamiz # 200. Respecto a la plasticidad, se considera que un suelo es limoso cuando la fracción fina presenta un índice de plasticidad igual o inferior a 10, mientras que se clasifica como arcilloso cuando dicho índice es igual o mayor que 11. Además, los cantos mayores a 75 mm no se incluyen en la muestra utilizada para la clasificación, aunque se registra su porcentaje dentro del material total. [16],[17]

TABLA VIII
CLASIFICACIÓN AASHTO PRIMER GRUPO [16]

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

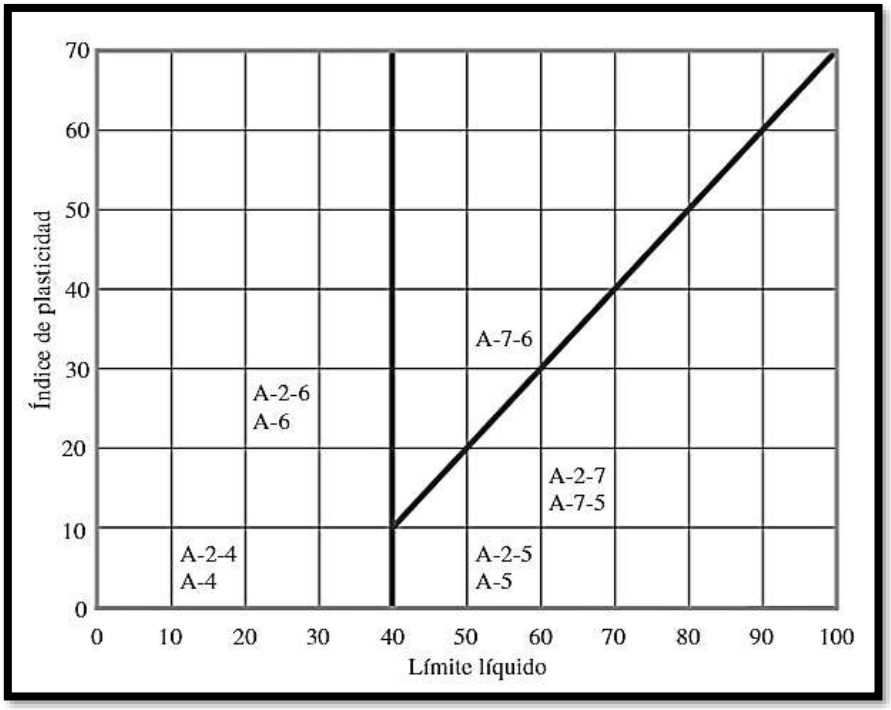
TABLA IX
CLASIFICACIÓN AASHTO SEGUNDO GRUPO [16]

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos			Suelos arcillosos
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Una alternativa empleada para la clasificación de suelos es el uso de la carta de plasticidad (gráfico 1), herramienta que permite representar de manera conjunta la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad. Esta representación gráfica facilita la identificación del tipo

de suelo y la interpretación de su comportamiento, ya que delimita zonas que reflejan distintas respuestas asociadas a las características de plasticidad del material. [16]



Gráfica 1- Carta plasticidad AASHTO [16]

b) Sistema de clasificación SUCS

El origen de este sistema se remonta a 1948, cuando Casagrande lo desarrolló para aplicarlo en los proyectos de construcción del aeródromo ejecutados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En la actualidad, su empleo está ampliamente difundido entre los profesionales de la ingeniería, y se encuentra normalizado en ASTM D2487. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, presentado en la tabla 4.2, organiza los materiales en dos categorías principales. La primera corresponde a los suelos de grano grueso, compuestos por gravas y arenas en estado natural, caracterizados por tener menos del 50% del material pasando el tamiz # 200; sus símbolos inician con las letras G para gravas y S para arenas. La segunda categoría agrupa a los suelos de grano fino, definidos por presentar el 50% o más de su fracción atravesando el tamiz # 200, y cuyos símbolos comienzan con M para limos inorgánicos, C para arcillas inorgánicas y O para limos y arcillas de origen orgánico. Adicionalmente, el símbolo Pt se emplea para identificar turbas, lodos y materiales altamente orgánicos. Para complementar la clasificación se utilizan otros modificadores: W para suelos bien gradados, P para suelos pobremente gradados, L para materiales de baja plasticidad (LL

menor a 50) y H para aquellos de alta plasticidad (LL superior a 50), detallados en las siguientes tablas. [16],[18]

TABLA X
SUCS SUELO TIPO GRAVA [16]

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla Nº 200 Cu= D6/D10 mayor que o igual que 4 Cc= (D30)^ 2/(D10x D60) entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla Nº 200 No cumple ambos criterios para GW
GM	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidas menor que 4
GC	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidas mayor que 7
GC-GM	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la gráfica 6
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GC

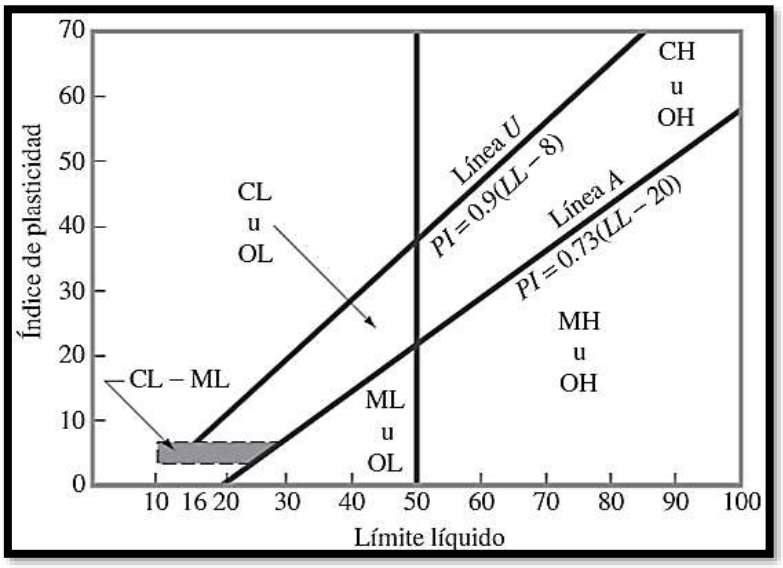
TABLA XI
SUCS SUELO TIPO ARENA [16]

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla Nº 200 Cu= D60/D10 mayor que o igual que 6 Cc= (D30)^2/(D10 x D60) entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla Nº 200 No cumle ambos riterios para SW
SM	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) o índice de platicidas menor que 4
SC	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidas mayor que 7
SC-SM	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la gráfica 6
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SP y SC
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SP y SC

TABLA XII
SUCS SUELO TIPO LIMO Y ARCILLA [16]

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico LL<50 PI>7 Se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la gráfica 6
ML	Inorgánico LL<50 PI>4 O se grafica denajo de la línea A (véase zona ML en la gráfica 6)
OL	Orgánico (LL- seco en horno) / (LL- sin secar) < 0,75 LL<50 (véase zona OL en la gráfica 6)
CH	Inorgánico LL≥50 PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona MH en la gráfica 6)
MH	Inorgánico LL≥50 PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la gráfica 6)
OH	Orgánico (LL-seco en horno) / (LL- sin secar) < 0,75 LI≥ 50 (véase zona OH en la gráfica 6)
CL - ML	Inorgánico Se grafica en la zona sombreada en la gráfica 6
Pt	Turba, lodos y otros suelos alternamente orgánicos

La carta de plasticidad propuesta por Casagrande se presenta a continuación como una herramienta destinada a la clasificación de suelos finos de naturaleza inorgánica. Esta representación gráfica resume de manera visual la información contenida en la tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), lo que permite reconocer con mayor facilidad el tipo de suelo según su comportamiento plástico. [16]



Gráfica 2- Carta plasticidad SUCS [16]

6) Proctor Modificado

La compactación del suelo estará directamente vinculada con su resistencia, capacidad de deformación y estabilidad. Este proceso consistió en aumentar la densidad del suelo mediante la aplicación de energía mecánica, ajustando previamente su contenido de humedad.[19],[20]

Para llevar a cabo esta actividad, se aplicó lo establecido en la norma AASHTO T 180-2018. Según esta normativa, se colocó una muestra de suelo con un contenido de humedad previamente seleccionado dentro de un molde de dimensiones específicas. Posteriormente, se procederá a compactar el material en cinco capas, aplicando 56 golpes por capa con un martillo de 10 libras (44,5 N), el cual se dejará caer desde una altura de 457 mm, generando así una energía de compactación aproximada de 2700 kN·m/m³. [19], [20]

Este procedimiento se repitió incrementando progresivamente el contenido de humedad, hasta obtener un número suficiente de puntos que permitan establecer una curva de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo. A partir de cada incremento de humedad, se calculará la densidad húmeda del suelo utilizando la expresión correspondiente. [19], [20]

$$\gamma m = \frac{W}{Vm} \tag{6}$$

Donde,

$\boldsymbol{\gamma m}$ densidad húmeda del suelo [gr/cm3]

$\boldsymbol{W}$ peso del suelo húmedo compactado gr.

$\boldsymbol{Vm}$ volumen del molde cm3.

A partir del promedio del contenido de humedad correspondiente a cada punto, junto con los valores de densidad húmeda obtenidos, se procedió a calcular la densidad seca del suelo mediante la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{\gamma d = \frac{\gamma m}{1+\frac{W\,\%}{100}}} \tag{7}$$

Donde,

γd densidad seca del suelo [gr/cm3].

γm densidad húmeda del suelo [gr/cm3].

W contenido de humedad [%].

Con los datos obtenidos, se elaboró una gráfica que relacione el contenido de humedad con la densidad seca (peso específico seco), a partir de la cual se generó la curva de compactación. Esta curva permitió identificar tanto la densidad seca máxima como el contenido de humedad óptimo del suelo. [19], [20]

7) California Bearing Ratio

La prueba de la relación de soporte de California es un procedimiento mediante el cual se determina la resistencia al corte del suelo a través de ensayos de laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y densidad. [19], [21]

Esta prueba se llevó a cabo siguiendo la norma AASHTO T 193 2013 y consiste en compactar tres especímenes del material a estudiar con 11, 27 y 56 golpes respectivamente, utilizando un contenido de humedad igual al óptimo previamente determinado mediante el ensayo Proctor modificado conforme a la norma AASHTO T 180 2018. [19]

Luego de la compactación, cada espécimen es sometido a un proceso de saturación durante 72 horas para evaluar el cambio volumétrico de las muestras. Posteriormente, se aplica una carga sobre las probetas compactadas utilizando una máquina Multispeed. [19]

Con los datos obtenidos de carga versus penetración se elaborará una gráfica, y se determinará el valor de CBR en función de la relación entre la carga necesaria para generar una penetración específica en una muestra estándar. [19]

$$\boldsymbol{CBR}\ (\%) = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ de\ la\ muestra\ patrón} \tag{8}$$

La expansión o esponjamiento es la relación entre la altura inicial y la altura final del espécimen como consecuencia de la saturación, expresándose en porcentaje, y se calculará utilizando la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{E} = \left(\frac{Lf - Li}{Hi}\right) * 100 \quad (9)$$

Donde,

$\boldsymbol{E}$ expansión [%].

$\boldsymbol{Lf}$ lectura final.

$\boldsymbol{Li}$ lectura inicial.

$\boldsymbol{Hi}$ Altura inicial de la muestra

A partir de los valores que se obtendrán del ensayo de CBR, se puede clasificar el suelo según la Tabla 08, elaborada por Villalaz Crespo, la cual presenta una clasificación del suelo basada en los valores de CBR. [19]

TABLA XIII
MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES[19]

CBR	Clasificación
0 - 5	Subrasante muy mala
5 - 10	Subrasante mala
10 - 20	Subrasante regular a buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 - 50	Sub - base buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

C. FASE III

La tercera fase tuvo como objetivo comparar las propiedades de cada tipo de suelo de las muestras extraídas y estabilizadas con ceniza de totora, con las propiedades de las muestras no estabilizadas. Esta fase se llevó a cabo mediante la tabulación de los datos que se obtendrán en los diferentes ensayos realizados en las fases 1 y 2 del proyecto. De este modo, a través de la elaboración de tablas y gráficos, se explicó y contrastó los resultados obtenidos, estableciéndose una comparación entre las propiedades del suelo estabilizado y el suelo no estabilizado. Esta comparación permite responder a la hipótesis sobre si la adición de ceniza de totora contribuye a mejorar la capacidad portante del suelo o no.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La investigación se enfocó en analizar cómo se comporta el suelo natural al incorporar ceniza de cáscara totora (CT) en diferentes porcentajes de adición, las cuales fueron de 5%, 8%, 10% y 12% tomando como referencia los resultados del ensayo CBR (California Bearing Ratio). Este ensayo resultó determinante para evaluar la capacidad de soporte del suelo ya sea natural, así también verificar el porcentaje óptimo de ceniza que permita mejoras las propiedades físicas y mecánicas de las muestras.

A. FASE I

En esta fase se obtuvieron las muestras de suelo de tres lugares correspondientes a la parroquia Tarqui, en el cantón Puyo, se realizó de esta manera con la finalidad de obtener especímenes con propiedades y características similares. Conjuntamente, se recolecto la planta de totora para pretratarla y después de una calcinación controlada obtener la ceniza de la misma.

Las muestras de suelo, fueron extraídas y almacenadas en lonas para su traslado con el fin de colocarlas en un lugar en condiciones para promover un secado uniforme. El secado de las muestras se las realizó en un espacio abierto y con una ventilación continua. Así mismo, la ceniza de totora fue tamizada para que todas las partículas posean tamaños similares, conjuntamente se proporcionó y almacenó en relación al suelo seco en porcentajes del 5%, 8%, 10%, 12%.

B. FASE II

Para el desarrollo del estudio, se realizaron ensayos tanto para las muestras de suelo, como para la ceniza. Los ensayos que podemos mencionar son, contenido de humedad natural, gravedad específica, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR. Los mismos ayudaron a definir el tipo de suelo y determinar el comportamiento analizando la compactación, humedad y plasticidad.

1) Propiedades mecánicas del suelo

A continuación, se describen las propiedades mecánicas de las muestras de suelo evaluadas, poniendo mayor interés en los resultados obtenidos en ensayos Proctor y CBR. Estos criterios permiten interpretar como se comporta el material bajo condiciones de compactación y capacidad de soporte, además de servir como base para entender el efecto que genera la adición de ceniza de totora en el suelo.

a) Ensayos Proctor

TABLA XIV
RESULTADOS PROCTOR MUESTRA 1

MUESTRA 1		
% Ceniza	**DSM (gr/cm3)**	**Humedad Óptima (%)**
0%	1,061	33,0
5%	1,101	32,0
8%	1,183	24,3
10%	1,142	25,0
12%	1,080	24,0

En la muestra 1 se observa que la densidad seca máxima (DSM) aumenta progresivamente conforme se incrementa la adición de ceniza de totora, pasando de 1.061 g/cm^3 en estado natural, llegando a un máximo de 1.183 g/cm^3 con el 8% de ceniza, lo que demuestra una mejora en la compactación del material con este porcentaje de ceniza. A partir de la adición del 10% y 12% de ceniza, la DSM empieza a descender nuevamente, lo que sugiere que el exceso de ceniza reduce la eficiencia en la compactación de las partículas. Por otra parte, en la humedad óptima, los valores disminuyen desde 33% (natural), hasta el 24,3% (8% de ceniza), evidenciando que la ceniza requiere menos agua para lograr la densidad máxima, este es un comportamiento coherente cuando se incluye un material más fino.

TABLA XV
RESULTADOS PROCTOR MUESTRA 2

MUESTRA 2		
% Ceniza	**DSM (gr/cm3)**	**Humedad Óptima (%)**
0%	0,940	58,9
5%	1,138	39,0
8%	1,213	36,0
10%	1,182	26,5
12%	1,161	26,2

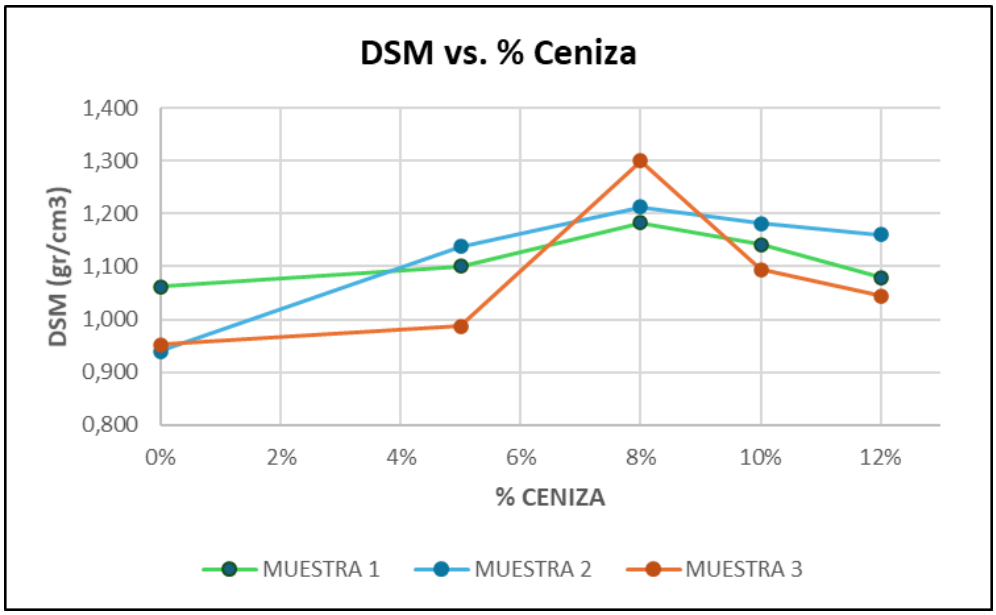
En la muestra 2, expresa datos similares, la DSM inicia en 0.940 g/cm^3 y presenta un incremento importante con la incorporación de ceniza, alcanzando su valor máximo 1.213

g/cm^3 con el 8% de ceniza de totora. Después de este punto, la densidad vuelve a bajar. Respecto a la humedad óptima, los valores de la muestra natural son altos llegando a 58.9%, reflejando un suelo de alta plasticidad. A partir de la adición de ceniza de totora, la humedad óptima desciende considerablemente hasta alcanzar un valor de 26.2% debido a la interacción entre la ceniza-suelo y el efecto absorbente y portante del material puzolánico.

TABLA XVI
RESULTADOS PROCTOR MUESTRA 3

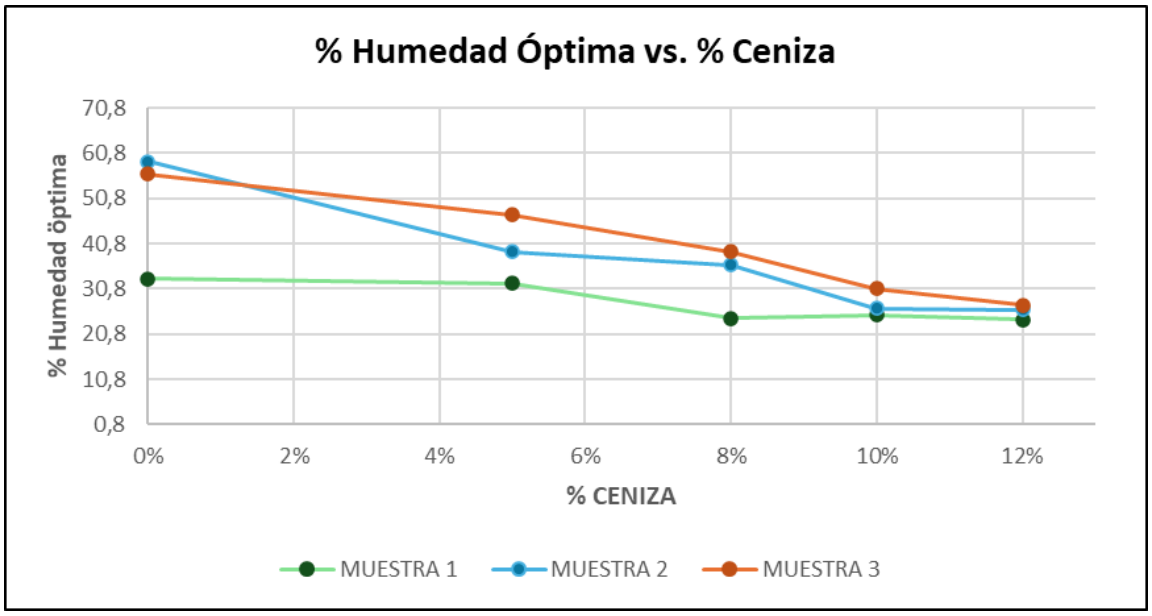
MUESTRA 3		
% Ceniza	**DSM (gr/cm3)**	**Humedad Óptima (%)**
0%	0,952	56,2
5%	0,987	47,2
8%	1,300	39,0
10%	1,094	30,9
12%	1,045	27,2

La Muestra 3 presenta un comportamiento parecido a las anteriores, comenzando con una DSM de 0.952 g/cm^3 y aumentando hasta 1.300 g/cm^3 con el 8/ de ceniza de totora, este valor representa el mejor punto de compactación para esta muestra. A partir del aumento de ceniza de totora 10% y 12%, el valor tiende a descender. La humedad óptima es de 56.2% en estado natural de la muestra, este dato es típico en suelos cohesivos y plásticos. Con la adición de ceniza de totora, la humedad óptima disminuye de forma controlada, alcanzando valores de 27.2%, esto demuestra que la ceniza mejor la compactación, pero dentro de un rango limitado, siendo el 8% el contenido de ceniza que permite un mejor desempeño.



Gráfica 3- Densidad Seca Máxima versus Porcentaje de Ceniza

A continuación, se muestra el siguiente gráfico estadístico de la variación de la densidad seca máxima en relación al porcentaje de ceniza añadida a la muestra de suelo seco, en la que se evidencia que al incorporar CT mejora paulatinamente la compactación del suelo hasta alcanzar un comportamiento óptimo alrededor del 8% de adición. En este punto las tres muestras de suelo presentan el mayor valor de DSM, sin embargo, al superar dicho porcentaje de CT, la densidad disminuye ligeramente, indicando que un exceso de ceniza incluye partículas demasiado ligeras lo cual reduce la cohesión efectiva de la muestra, influyendo de manera negativa en la compactación. Este comportamiento confirma que el 8% constituye la proporción más eficiente para mejorar esta propiedad mecánica del suelo.



Gráfica 4- Humedad Óptima versus Porcentaje de Ceniza

En la siguiente gráfica, la tendencia observada en la humedad óptima muestra una reducción continua conforme aumenta el contenido de ceniza de totora, este comportamiento se debe a que la CT posee baja densidad, además la ceniza puede presentar cierta capacidad de absorción debido a su estructura porosa, es decir su incorporación reduce la plasticidad del suelo de modo que necesita menos agua para alcanzar la compactación máxima. Este enfoque indica que el material en el cual se incorporó ceniza demanda de una menor cantidad de humedad para lograr una estabilidad, lo que favorece el proceso de compactación.

b) CBR (California Bearing Ratio)

TABLA XVII
RESULTADOS CBR MUESTRA 1

MUESTRA 1		
% Ceniza	**% CBR**	**% INCREMENTO CBR**
0%	7,8	0%
5%	11,5	48%
8%	15,0	94%
10%	12,0	55%
12%	11,1	43%

En la muestra 1 se evidencia que el valor inicial del CBR del suelo natural es de 7,8% clasificándose como una subrasante Mala y a medida que se incorpora la ceniza de totora se produce una mejora progresiva hasta alcanzar un máximo de CBR de 15,0% en la cual es clasificada como una subrasante Regular – Buena, este dato se lo obtuvo a partir de una adición del 8% de CT. Este resultado representa un incremento del 94% respecto al suelo de forma natural, constituyendo así el punto óptimo de la mezcla. Al aumentar la adición de CT a partir del 8%, los valores de CBR disminuyen ligeramente, lo que se evidencia en relación de incremento de CBR llegando así a un 43% respecto a la muestra sin estabilizar. Esto indica que la CT actúa de manera significativa hasta un cierto límite, mejorando la resistencia, pero un exceso puede generar un efecto negativo.

TABLA XVIII
RESULTADOS CBR MUESTRA 2

MUESTRA 2		
% Ceniza	**% CBR**	**% INCREMENTO CBR**
0%	10,7	0%
5%	12,4	16%
8%	17,7	65%
10%	10,3	-4%
12%	9,1	-15%

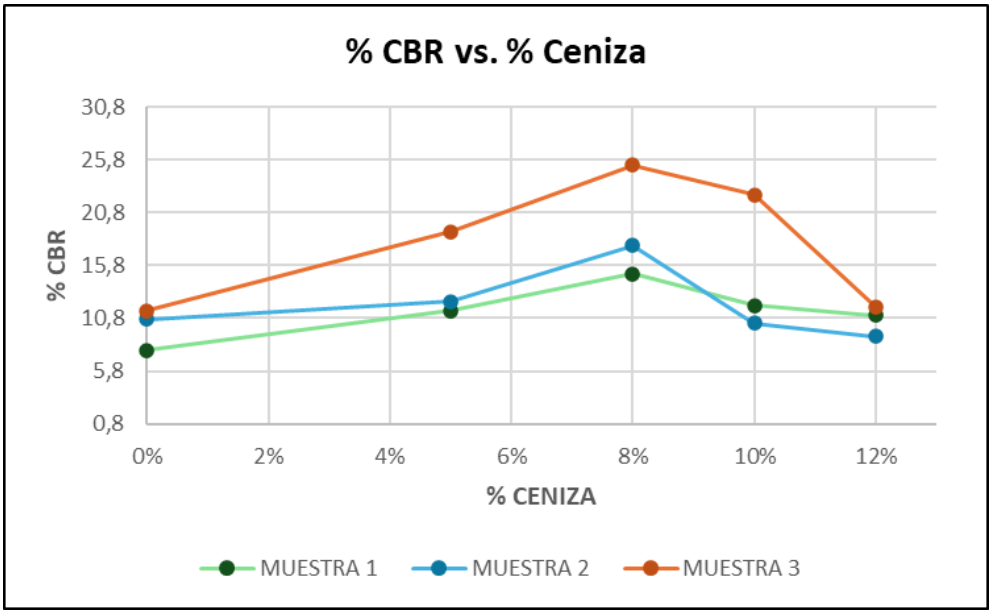
La muestra 2 el suelo sin estabilizar parte de un CBR de 10,7% clasificándose como Regular – Buena para uso de subrasante y aunque la adición del 5% de ceniza genera un aumento moderado de CBR siendo este de 16%, es con el porcentaje de 8% de CT donde se produce la más notable mejora, llegando así a alcanzar un CBR de 17.7 % clasificándose como Regular-Buena y de uso para subrasante además de demostrar un incremento de 65% en relación a la inicial. Sin embargo, al realizar adiciones de 10% y 12% de CT, la resistencia disminuye de forma notable, alcanzando valores de CBR por debajo del alcanzado por el suelo natural llegando así a clasificarse como una subrasante Mala. Esto indica que para esta muestra existe

una fuerte sensibilidad a la adición de CT y que el nivel óptimo claramente se define en 8% de ceniza.

TABLA XIX
RESULTADOS CBR MUESTRA 3

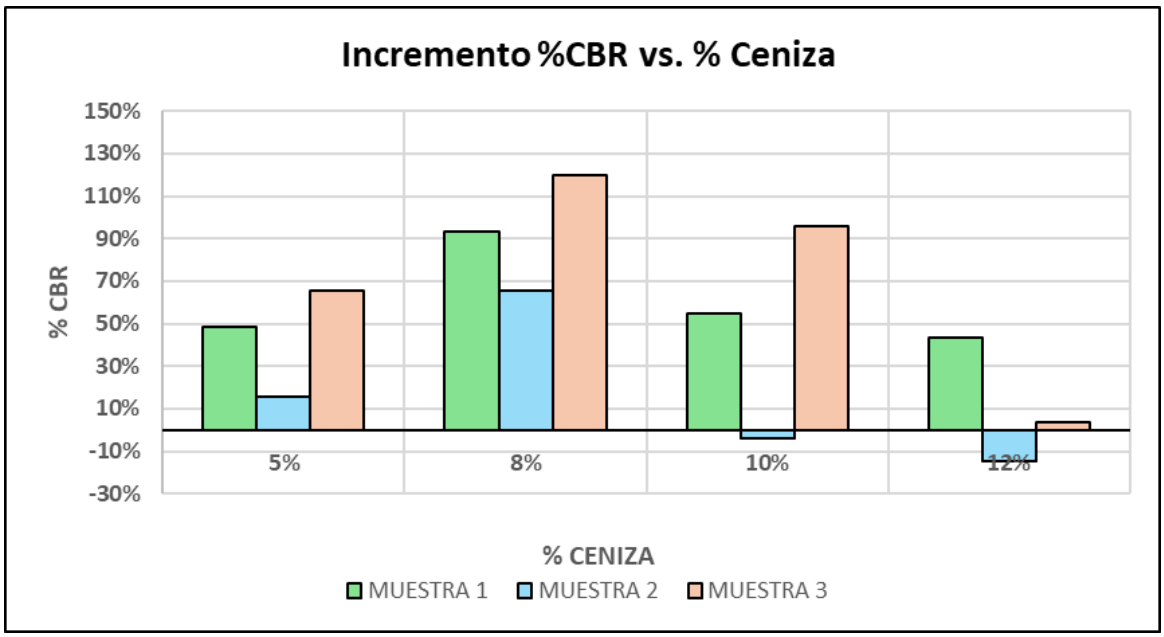
MUESTRA 3		
% Ceniza	% CBR	% INCREMENTO CBR
0%	11,5	0%
5%	19,0	65%
8%	25,3	120%
10%	22,5	96%
12%	11,9	3%

La muestra 3 inicia con un CBR natural de 11,5% clasificándose como una subrasante Regular – Buena y muestra un comportamiento similar a la muestra 2, con un incremento marcado de la resistencia conforme aumenta la CT. Al adicionar el 5% de CT produce un aumento del 65% en relación al natural, pero es imprescindible mencionar que el valor máximo se alcanza nuevamente con el 8% de CT donde el CBR llega a 25,3% catalogándola como una muestra para uso de subrasante de clasificación Excelente, además se obtiene un incremento del 120% comparándolo con el inicial. Este resultado confirma que la interacción suelo-ceniza favorece la capacidad portante del suelo. Al superar el porcentaje óptimo, los valores disminuyen gradualmente; 22,5% para el 10% CT y 11,9% para el 12% de CT. A partir de estos datos demuestran una vez más que, aunque el 8% es la proporción más eficiente, al incluir mayor cantidad de CT reducen el efecto estabilizador



Gráfica 5- % CBR versus Porcentaje de Ceniza

En la gráfica que relaciona el porcentaje de CBR con la cantidad de ceniza de totora se observa un comportamiento ascendente en las tres muestras de suelo hasta alcanzar un punto máximo ubicado en el 8% de adición. Es notable mencionar que en este porcentaje se generan los valores más altos de CBR como se presenta en todas las curvas, lo cual indica que, a ese porcentaje, la ceniza mejora la capacidad portante del suelo. El aumento se explica debido a la interacción entre las partículas minerales y la ceniza, ya que permite que estas se acomoden y generen una estructura más densa. Sin embargo, al excederse del 8% de CT los valores disminuyen en las tres muestras, lo que sugiere que al incluir mucha ceniza incorpora demasiadas partículas finas que reducen la cohesión y disminuyen la resistencia. Este criterio confirma que el 8% constituye la proporción óptima para este tipo de estabilización.



Gráfica 6- Incremento de CBR en relación al porcentaje de ceniza

La gráfica de incremento porcentual de CBR impulsa positivamente esta tendencia, mostrando que el mayor aumento ocurre cuando se incorpora el 8% de ceniza. En este punto, las tres muestras registran los incrementos de CBR más elevados, superando en algunos casos el 100% respecto al natural, lo que evidencia un efecto estabilizador muy marcado. A partir de este porcentaje el incremento de CBR se reduce e incluso en una muestra llega a ser menor que el natural. Aunque la ceniza mejora significativamente el desempeño del suelo en proporciones moderadas, cantidades mayores provocan una reducción de la compacidad y menor capacidad portante.

c) Esponjamiento

TABLA XX
ESPONJAMIENTO MUESTRA 1

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
6	11	0%	22,60	24,00	1,40
16		5%	20,60	21,00	0,40
6		8%	27,00	27,15	0,15
16		10%	28,10	28,35	0,25
6		12%	27,30	27,60	0,30
14	27	0%	25,70	26,20	0,50
22		5%	13,00	13,20	0,20
14		8%	18,10	17,94	-0,16
22		10%	19,40	19,57	0,17
14		12%	18,40	18,60	0,20
5	56	0%	17,00	17,40	0,40
14		5%	20,80	21,00	0,20
5		8%	29,40	29,20	-0,20
14		10%	29,50	29,62	0,12
5		12%	29,20	29,40	0,20

Muestra 1

11 golpes de compactación

El suelo natural presenta un esponjamiento de 1.40 mm lo que asegura que es una estructura susceptible a variaciones volumétricas cuando no se compacta de manera adecuada. Al incorporar CT, se evidencia un cambio radical en el comportamiento de la muestra; al agregar 5% de CT, el esponjamiento disminuye a 0.40mm, indicando que la presencia del material puzolánico empieza a ocupar vacíos y limita la absorción de agua. En dosificaciones superiores de CT, al 8% obtiene 0.15mm y al 10% de CT 0.25mm respectivamente, esto muestra un mejor rendimiento en la esponjosidad, lo que afianza una interacción mas eficiente entre la ceniza y la muestra de suelo, provocando probablemente que el material contribuya a una ligera estabilización química, reduciendo la capacidad de hincharse. Sin embargo, al 12% de CT se obtiene un esponjamiento de 0.30mm, produciendo nuevamente un incremento, esto puede indicar que, a partir de cierto punto la ceniza no se integra completamente con la muestra de suelo y puede actuar como un componente suelto dejando espacios que faciliten la entrada de agua promoviendo así, que la muestra tienda a hincharse.

27 golpes de compactación

Con una energía intermedia de compactación, el esponjamiento del suelo disminuye, y evidencia que la ceniza de totora mejora aún más este comportamiento. A partir del dato del

suelo natural, con 0.50mm, el 5% de CT genera una reducción a 0.20mm, algo a tomar en cuenta es que al incorporar el 8% de CT, generan valores negativos (-0.16mm), lo cual implica una ligera contracción, lo cual señala una compactación más estable y reduciendo la movilidad de agua dentro de la estructura del suelo. Esto puede ser producido ya que la CT genera un efecto de relleno, además, de un intercambio superficial que limita que este tipo de suelo se expanda. Al incorporar el 10% y 12% de CT, se obtienen valores de 0.17mm y 0.20mm respectivamente muestra un ligero aumento, esto es debido a que al excederse en cantidades superiores de CT puede afectar al suelo, como en este caso generando un hinchamiento leve.

56 golpes de compactación

En alta energía de compactación, el esponjamiento natural se reduce a 0.40mm, debido a la mayor densificación inicial del suelo. Por otra parte, frente a la adición de CT; con 5% (0.20mm) y con el 8% (-0.20mm) el esponjamiento disminuye lo cual es un resultado favorable, sin embargo, al agregar CT en porcentajes del 10% y 12% los valores del esponjamiento vuelven a aumentar, lo cual señala que al adicionar de manera excesiva con CT pueden generar un hinchamiento o impedir que el suelo este compactado de una manera eficaz.

TABLA XXI
ESPONJAMIENTO MUESTRA 2

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
16	**11**	0%	23,10	24,10	1,00
16		5%	19,00	19,80	0,80
6		8%	20,70	21,00	0,30
16		10%	21,40	22,00	0,60
6		12%	21,10	21,80	0,70
22	**27**	0%	12,00	12,64	0,64
22		5%	10,70	11,00	0,30
14		8%	16,50	16,65	0,15
22		10%	17,50	17,90	0,40
14		12%	16,80	17,30	0,50
14	**56**	0%	23,10	23,50	0,40
14		5%	21,90	22,22	0,32
5		8%	23,00	23,20	0,20
14		10%	22,80	23,30	0,50
5		12%	23,4	23,8	0,4

Muestra 2

11 golpes de compactación

El suelo natural presenta un esponjamiento de 1.00mm, mostrando un comportamiento expansivo moderado. Las adiciones del 5% de CT (0.80mm), pero la incorporación del 8% de CT es la más efectiva ya que consigue reducir significativamente el esponjamiento (0.30mm), al incluir porcentajes más altos de CT 10% 0.60mm y con CT 12% 0.70mm. El ultimo valor es casi similar al esponjamiento en un estado natural, provocando que una dosis alta de CT perjudica la compactación del suelo y promueve a su hinchamiento.

27 golpes de compactación

Al utilizar una energía de compactación media, el esponjamiento de la muestra natural es de 0.64mm, notablemente este valor es más bajo que el de 11 golpes, lo que indica que el suelo se densifica de mejor manera. Con el 5% de CT 0.30mm y con el 8% de CT mm, lo que significa que la ceniza actúa de manera de relleno. A partir de la incorporación del 10% y 12% de CT, el esponjamiento tiende a aumentar. Esto indica que, para este tipo de muestra de suelo, agregar más ceniza no garantiza una mejora, ya que promueven a dejar más espacios y partículas sueltas lo que produce mayor absorción de agua. Este resultado evidencia que la dosificación óptima debe ser cuidadosamente controlada y en cantidades elevada puede ser contraproducente.

56 golpes de compactación

Para una alta energía de compactación, el suelo natural muestra un esponjamiento relativamente bajo en comparación a 11 y 27 golpes siendo este de 0.40mm. al incorporar 5% de CT muestra una reducción en el esponjamiento con un valor de 0.32mm, así mismo con el 8% de CT llegando a ser de 0.20mm, siendo este el más efectivo. Al incluir CT al 10% y 12% los valores de esponjamiento tienden a aumentar, incluso siendo superior al obtenido por la muestra natural, lo que indica que la dosificación en este tipo de muestre debe ser controlado para evitar que perjudique en el hinchamiento de la misma.

TABLA XXII
ESPONJAMIENTO MUESTRA 3

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial	Lectura final	Esponjamiento
6	**11**	0%	20,90	21,80	0,90
16		5%	21,10	21,70	0,60
6		8%	22,40	22,64	0,24
16		10%	21,50	21,80	0,30
6		12%	22,60	23,10	0,50
14	**27**	0%	16,90	17,50	0,60
22		5%	10,20	10,50	0,30
14		8%	17,20	17,33	0,13
22		10%	12,40	12,60	0,20
14		12%	17,40	17,80	0,40
5	**56**	0%	22,00	22,50	0,50
14		5%	21,60	22,00	0,40
5		8%	22,40	22,35	-0,05
14		10%	22,00	22,34	0,34
5		12%	22,5	22,9	0,40

Muestra 3

11 golpes de compactación

El suelo sin aditivo presenta un esponjamiento de 0.90mm, evidenciando una respuesta expansiva. Al incorporar 5% de CT, el valor disminuye a 0.60mm, mostrando una mejora moderada en la densificación. La reducción más marcada se observa con el 8%, donde el esponjamiento cae hasta 0.24mm, indicando un comportamiento más controlado respecto al natural. Sin embargo, al incrementar la dosificación al 10% 0.30mm y 12% 0.50mm, se percibe una tendencia al alza que sugiere que, aunque siendo menores a la inicial, estas adiciones no optimizan el desempeño como el 8% de CT. Esto indica que existe un punto óptimo de adición.

27 golpes de compactación

En la condición sin adicionar CT, el suelo presenta un esponjamiento de 0.60mm, reflejando una respuesta expansiva moderada. La adición de 5% de CT reduce este valor a 0.30mm, mostrando un primer efecto estabilizador. El comportamiento mas eficiente es con la dosificación de 8% de CT, donde el esponjamiento desciende hasta 0.13mm, el valor más bajo registrado para este nivel de energía de compactación. Esto sugiere que la CT en esta proporción, mejora la estructura del suelo y controla mejor la expansión. Para proporciones mayores, 10% 0.20mm y 12% 0.40mm, si bien siguen siendo menores respecto al suelo natural, ya no superan el desempeño obtenido al 8%.

56 golpes de compactación

Bajo una energía de compactación alta, el suelo natural presenta un esponjamiento de 0.50mm, valor que se reduce ligeramente a 0.40mm con el 5% de CT. La mejora más significativa aparece con el 8% donde el esponjamiento obtiene valores negativos -0.05mm indicando una pequeña contracción y evidenciando una estructura mas densa y estable gracias a la interacción entre la ceniza y el suelo. Sin embargo, al incrementar la dosificación al 10% 0.34mm y 12% 0.40mm, el suelo vuelve a comportarse de manera expansiva, aunque menor que la condición natural. En conjunto, el 8% de ceniza se identifica como la proporción óptima bajo esta energía de compactación.

A partir de los resultados del ensayo Proctor, los valores de CBR y la evaluación del esponjamiento, se determinó que la dosificación del 8% de ceniza de totora constituye el porcentaje con mejor desempeño dentro de las condiciones evaluadas. Este porcentaje mostró un equilibrio adecuado entre densificación, control de expansión y mejora de la capacidad portante del suelo. Con este criterio definido, las propiedades índices del material se analizarán comparando el suelo en estado natural frente al suelo con adición del 8% de CT, con el fin de evidenciar de manera clara el efecto real del mejoramiento de suelo y su aporte al comportamiento físico- mecánico del suelo.

d) *Propiedades Físicas*

TABLA XXIII
PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Muestra	Lugar	ID Muestra	Color	Contenido de Humedad W (%)
Primera	Tarqui	M1	Marrón	215,38%
Segunda	Tarqui	M2	Marrón Amarillento	196,08%
Tercera	Tarqui	M3	Anaranjado Rojizo	265,03%
Ceniza	-	CCC	Negro	-

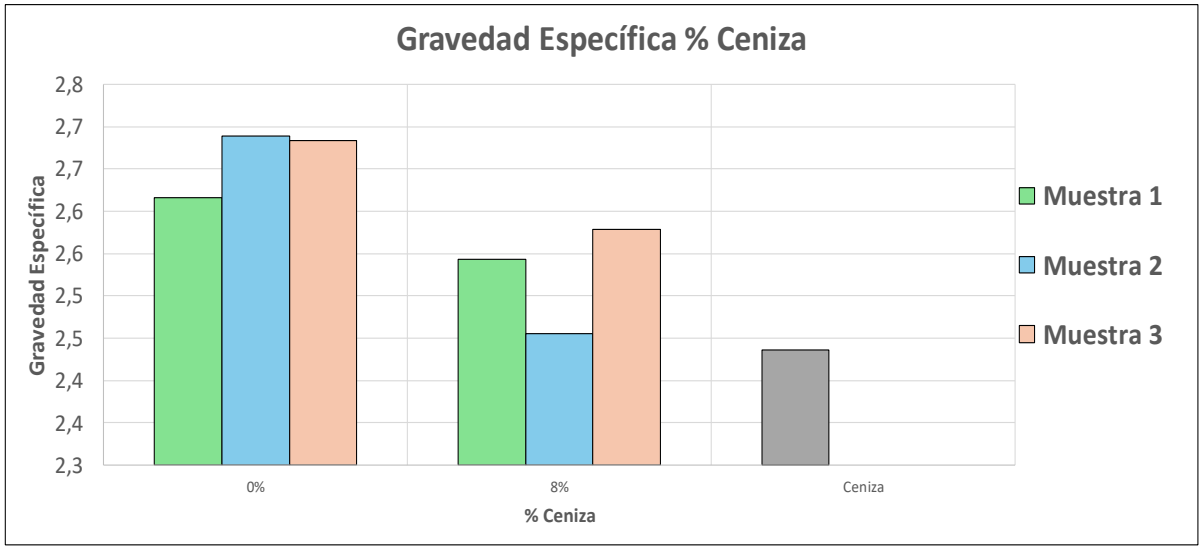
En la Tabla VIII se expone las propiedades básicas de las muestras de suelo que fueron recolectadas en la parroquia Tarqui, en las cuál se las catalogó como M1, M2 y M3. En cuanto al color, las muestras presentaron variaciones que van desde tonalidades marrones hasta tonos rojizos, lo que indica posibles variaciones en los minerales que componen las muestras de suelo. Enfocándonos en el contenido de humedad natural, presentan valores elevados, característicos de suelos arcillosos que poseen una alta capacidad de absorción de agua, los registros presentan valores en porcentaje que se encuentran en un rango de 196,08% y 263,03%. Estos datos

manifiestan que son suelos altamente plásticos y saturados, relacionados con las condiciones presentes en la zona de estudio. Por su parte, la ceniza de totora utilizada como aditivo, se presenta con un color negro, es importante destacar que no se tiene contenido de humedad de la misma debido a que fue previamente calcinada.

e) Gravedad Específica

TABLA XXIV
GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO NATURAL Y PORCENTAJE ÓPTIMO DE CT

GRAVEDAD ESPECÍFICA			
% Ceniza	**M1**	**M2**	**M3**
0%	2,62	2,69	2,68
8%	2,54	2,46	2,58
Ceniza	2,44		



Gráfica 7- Comportamiento de la Gravedad Específica en estado natural y óptimo

La Tabla IX y el gráfico se muestras los valores de gravedad específica obtenidos para las muestras de Suelo M1, M2 y M3, en dos condiciones, en su estado natural y también en su estado con adición de ceniza de 8%. Además, se determinó el valor que corresponde a la ceniza de totora. En estado natural las muestras exhiben datos entre 2,62 y 2,69, los cuales son rangos típicos de suelos arcillosos, lo que confirma la naturaleza fina de las partículas del material proveniente de la parroquia Tarqui en el cantón Puyo. Mientras tanto al adicionar el 8% de ceniza los valores presentan una disminución y se sitúan en el rango de 2.46 y 2.58, lo que demuestra la sustitución de partículas minerales más densas por unas de material más fino y poroso. Este comportamiento resulta coherente ya que la ceniza presenta una gravedad específica menor que la de la muestra en estado natural, con un valor de 2,44. Por lo tanto es importante mencionar que este comportamiento está controlado por la incorporación de ceniza

ya que, al incluir mayor cantidad de la misma, modifica progresivamente la composición del suelo.

f) Granulometría

TABLA XXV
GRANULOMETRÍA MUESTRA 1

MUESTRA 1	*% QUE PASA*				*Límites de Atterberg*		*Clasificación*	
	#4	*#10*	*#40*	*#200*	*LL %*	*IP %*	*AASHTO*	*SUCS*
Suelo Natural	100,00	100,00	73,31	24,86	71,23	16,12	A-2-7	SM
Suelo 8% CT (Óptimo)	100,00	100,00	73,43	9,43	44,81	10,67	A-2-5	SM-SP

La Tabla presentada, en la muestra 1, el análisis granulométrico revela que el 0% del material es retenido por el tamiz #10, lo que indica que el suelo no contiene partículas gruesas ni fracción de gravas; además presenta un 24,86% de partículas finas que pasan el tamiz #200, lo cual evidencia una fracción limosa significativa suficiente para influir en el comportamiento y plasticidad del material. La fracción arenosa representada en gran cantidad correspondiendo al material que pasa el tamiz #10 pero que queda retenido en el #200, lo que muestra una predominancia de arenas finas y medias dentro de la estructura del suelo. Con base a los porcentajes, el suelo se comporta como un material predominantemente arenoso con una fracción significativa de limos o arcillas, lo cual se puede catalogar según la AASHTO como un suelo A-2-7, propio de materiales granulares con finos plásticos que pueden presentar un rendimiento variable como subrasantes. Y en la SUCS como arena limosa con de alta plasticidad SM.

La incorporación del 8% de ceniza de totora provoca una disminución notable del material fino, reduciendo el porcentaje que pasa el tamiz No.200 a 9,43%, lo que transforma al suelo en un material predominantemente granular. Asimismo, los límites de Atterberg descienden (LL = 44,81% y PI = 10,67%), mostrando una disminución de la plasticidad y una menor sensibilidad a la variación de humedad. Bajo AASHTO, el suelo se reubica en el subgrupo A-2-5, caracterizado por finos menos plásticos y comportamiento más estable. En USCS, la mezcla se clasifica como SM-SP, lo que indica una transición hacia una arena mal graduada con presencia moderada de finos no plásticos.

TABLA XXVI

GRANULOMETRÍA MUESTRA 2

MUESTRA 2	% QUE PASA				Límites de Atterberg		Clasificación	
	#4	#10	#40	#200	LL %	IP %	AASHTO	SUCS
Suelo Natural	100,00	100,00	70,70	20,18	53,78	8,07	A-2-5	SM
Suelo 8% CT (Óptimo)	100,00	99,62	81,84	9,67	25,30	7,96	A-2-4	SP-SM

El suelo natural de la Muestra 2 contiene un 20,18% de finos, sugiriendo una textura arenosa con influencia limosa. Sus límites de Atterberg muestran una plasticidad baja a moderada (LL = 53,78% y PI = 8,07%), lo cual indica un suelo con finos predominantemente no plásticos o de baja cohesividad. Según el sistema AASHTO, se clasifica como A-2-5, típico de suelos granulares con finos de plasticidad reducida. Desde la perspectiva SUCS, el material corresponde a un SM, es decir, una arena limosa de alta plasticidad que mantiene comportamiento granular, pero con cierta influencia de partículas finas en su respuesta ante deformaciones y humedad.

Al incorporar 8% de ceniza de totora, el porcentaje de finos disminuye hasta 9,67%, evidenciando una reducción considerable en la fracción que controla la plasticidad del suelo. Los límites de Atterberg disminuyen drásticamente (LL = 25,30% y PI = 7,96%), reflejando una mezcla de menor plasticidad y mayor estabilidad volumétrica. Bajo AASHTO, el suelo pasa a clasificarse como A-2-4, un grupo asociado con materiales más competentes para subrasantes debido a su menor sensibilidad a la humedad. Bajo el sistema SUCS, la mezcla se identifica como SP-SM, indicando un comportamiento dominado por arena mal graduada con presencia mínima de finos de baja plasticidad.

TABLA XXVII

GRANULOMETRÍA MUESTRA 3

MUESTRA 3	% QUE PASA				Límites de Atterberg		Clasificación	
	#4	#10	#40	#200	LL %	IP %	AASHTO	SUCS
Suelo Natural	100,00	100,00	76,34	20,02	94,40	18,13	A-2-7	SM
Suelo 8% CT (Óptimo)	100,00	100,00	85,48	9,62	39,26	11,10	A-2-6	SP-SM

El suelo natural correspondiente a la Muestra 3 exhibe un 20,02% de material fino, acompañado de límites de Atterberg elevados (LL = 94,40% y PI = 18,13%), lo cual es característico de suelos con una marcada susceptibilidad a retener agua y presentar cambios volumétricos significativos. En el sistema AASHTO, el material se ubica en el grupo A-2-7, evidenciando la presencia de finos plásticos que pueden afectar negativamente su

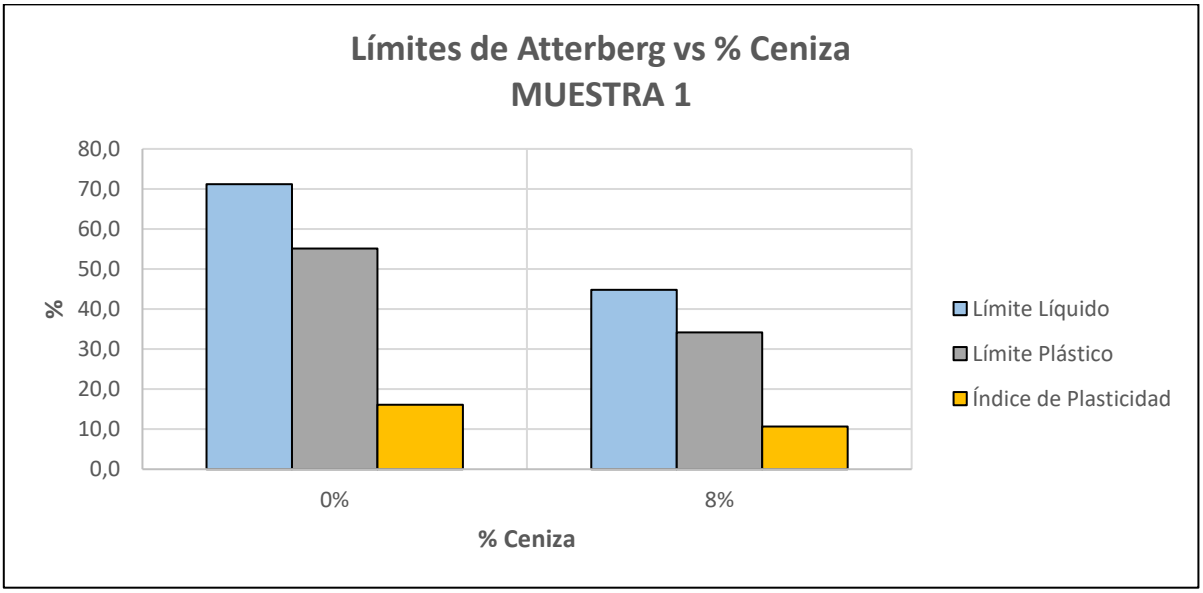
comportamiento como subrasante. Según SUCS, se clasifica como SM, mostrando que, aunque la matriz principal es arenosa y bien graduada, la fracción limosa domina el comportamiento altamente plástico del suelo.

La adición del 8% de ceniza de totora genera una reducción importante en la fracción fina (9,62% pasa No.200) y una disminución significativa de los límites de Atterberg (LL = 39,26% y PI = 11,10%). Estos cambios indican una evidente mejora en términos de plasticidad y estabilidad frente a la humedad. Conforme la clasificación AASHTO, el suelo con ceniza se reubica en el subgrupo A-2-6, que describe materiales granulares con finos de plasticidad moderada. Desde la perspectiva SUCS, la mezcla corresponde a un SP-SM, revelando un comportamiento que combina arena mal graduada con una proporción menor de limos no plásticos.

g) Límites de Atterberg

TABLA XXVIII
LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 1

MUESTRA 1			
% Ceniza	**Límite Líquido %**	**Límite Plástico %**	**Índice de Plasticidad %**
0%	71,23	55,11	16,12
8%	44,81	34,14	10,67



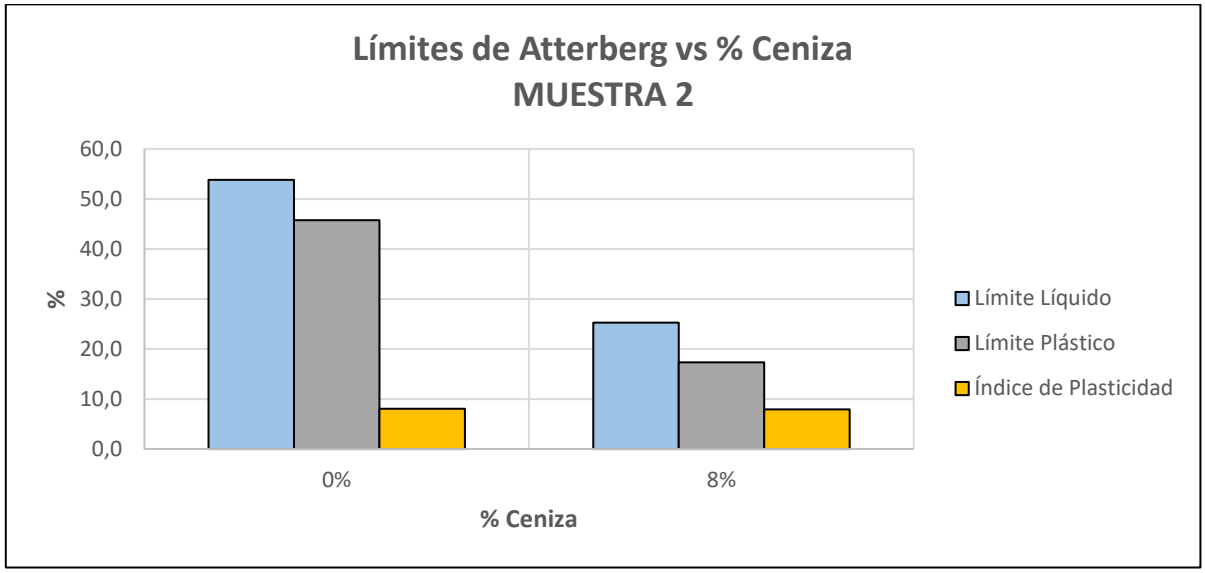
Gráfica 8- Comportamiento de los Límites de Atterberg de la muestra 1

En la Muestra 1, el suelo natural presenta un Límite Líquido (LL) de 71,23%, un Límite Plástico (LP) de 55,11% y un Índice de Plasticidad (IP) de 16,12%, valores que indican un material altamente plástico, con un comportamiento típico de suelos finos ricos en arcillas. Con

base en el diagrama de plasticidad de Casagrande, un IP > 15% y LL > 50% sitúan al material dentro de la clasificación CH (arcilla de alta plasticidad) según el SUCS, mientras que en el sistema AASHTO corresponde al grupo A-7, característico de suelos con plasticidad elevada y desempeño negativo en subrasantes. Al incorporar 8% de ceniza de totora, los límites se reducen notablemente: el LL desciende a 44,81%, el LP a 34,14% y el IP se reduce a 10,67%. Esta disminución refleja un efecto estabilizador claro, asociado a la interacción puzolánica entre la ceniza y las arcillas, que reduce la capacidad del suelo para retener agua y disminuye la superficie activa de las partículas. Con estos valores, el material tratado pasa a clasificarse como una CL (arcilla de baja plasticidad) y en AASHTO se aproxima al grupo A-6, significativamente más favorable para aplicaciones geotécnicas. En términos prácticos, el suelo tratado muestra una reducción sustancial en potencial de deformación y susceptibilidad a cambios volumétricos.

TABLA XXIX
LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 2

MUESTRA 2			
% Ceniza	**Límite Líquido %**	**Límite Plástico %**	**Índice de Plasticidad %**
0%	53,78	45,72	8,07
8%	25,30	17,34	7,96



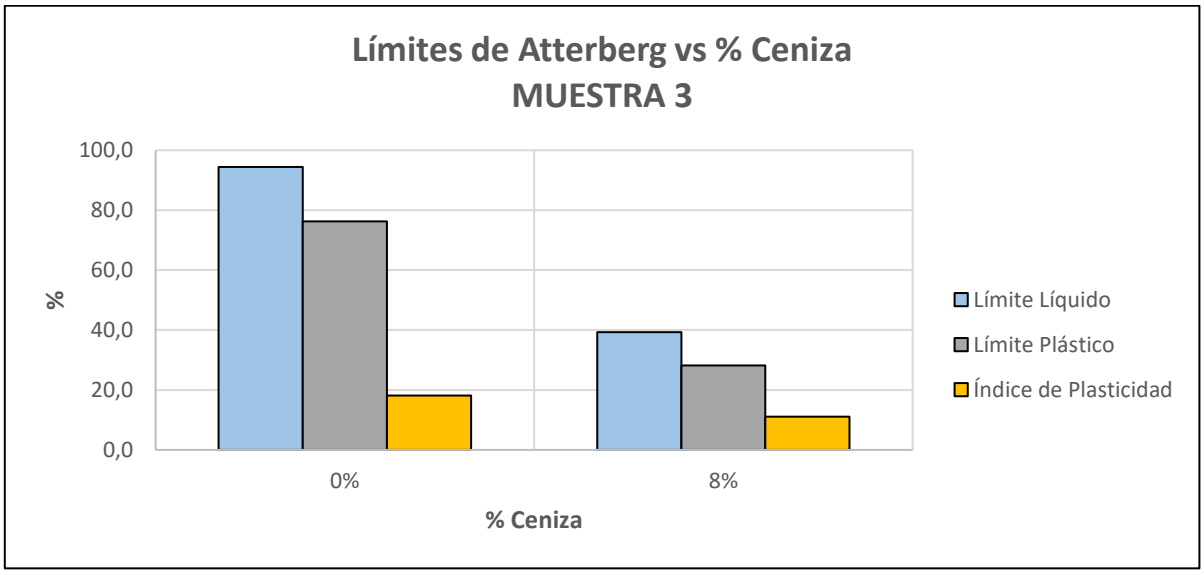
Gráfica 9- Comportamiento de los Límites de Atterberg de la muestra 2

En estado natural, la Muestra 2 registra un LL de 53,78%, un LP de 45,72% y un IP de 8,07%, lo que evidencia un suelo con baja plasticidad, aunque con un límite líquido relativamente alto para un material con porcentajes moderados de finos. El IP inferior al 10% sugiere que los finos presentes son mayoritariamente limos con ligera actividad arcillosa. Según

SUCS, estos valores se alinean con una clasificación MH (limo inorgánico de alta plasticidad), mientras que en AASHTO corresponde a un A-2-5, característico de materiales más estables y con mejor comportamiento como subrasante que las arcillas plásticas. Después del tratamiento con 8% de ceniza de totora, se observa una reducción del LL a 25,30% y del LP a 17,34%, manteniéndose el IP en 7,96%, lo cual confirma que la ceniza disminuye fuertemente la capacidad del suelo para absorber agua sin aumentar su plasticidad. Los valores obtenidos encuadran al material dentro de la clasificación ML (limo de baja plasticidad), pero sí con una mejora en su comportamiento al reducir su susceptibilidad a deformaciones y su demanda de humedad. En AASHTO permanece dentro del grupo A-, pero con una respuesta mecánica mejorada.

TABLA XXX
LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 3

MUESTRA 3			
% Ceniza	**Límite Líquido %**	**Límite Plástico %**	**Índice de Plasticidad %**
0%	94,40	76,27	18,1
8%	39,26	28,15	11,1



Gráfica 10- Comportamiento de los Límites de Atterberg de la muestra 3

La Muestra 3 muestra en su estado natural los valores más altos entre todas las muestras: LL de 94,40%, LP de 76,27% y un IP de 18,10%, indicadores de un suelo con fuerte presencia de arcillas altamente activas. Un LL superior a 70% y un IP mayor a 17% sitúan al material dentro de la categoría CH (arcilla de alta plasticidad) en el sistema SUCS y como A-7-6 en AASHTO, lo cual describe un suelo con comportamiento crítico, alta expansión y poca capacidad de soporte. Con el tratamiento de 8% de CT, los límites disminuyen a LL = 39,26%, LP = 28,15% y IP = 11,1%. Esta reducción indica un cambio importante en la estructura del

suelo, donde el material pierde parte de su actividad arcillosa y pasa a un comportamiento más controlado y estable. Con estos valores, el suelo se reclasifica como una CL (arcilla de baja plasticidad) según SUCS, mientras que en AASHTO se acerca al grupo A-6, lo cual representa una mejora significativa respecto al estado natural. La reducción del IP demuestra que el tratamiento con ceniza disminuye la reactividad del suelo, reduciendo el riesgo de expansión y aumentando su compatibilidad para obras de pavimentación.

C. FASE III

El análisis de los resultados experimentales permitió determinar que la adición del 8% de ceniza de totora generó el desempeño más favorable en las propiedades del suelo empleado como subrasante. Para llegar a este resultado se comparó el comportamiento físico-mecánico de las distintas dosificaciones, evaluando cambios en la compactación, la resistencia y la plasticidad. Este proceso evidenció que, aunque otras proporciones también influyeron en la respuesta del material, fue el 8% el que mostró una mejora más consistente en la estabilidad y la capacidad portante del suelo. En consecuencia, se definió esta dosificación como la proporción óptima para contribuir de manera efectiva al diseño y desempeño estructural de pavimentos.

II. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Este estudio se centró en evaluar cómo la incorporación de ceniza de totora influye en las propiedades físico-mecánicas de los suelos arcillosos de la subrasante en la parroquia Tarqui, cantón Puyo en la provincia de Pastaza, considerando que su adición puede aumentar la resistencia al corte y disminuir la plasticidad y la retención de humedad del material.

A. HIPÓTESIS

Hipótesis planteada (H1) La adición de ceniza de totora mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas de los suelos arcillosos de la subrasante de la Parroquia Tarqui, incrementando su resistencia al corte y reduciendo su plasticidad y capacidad de retención de agua

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H0) La incorporación de ceniza de totora no mejora las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos de la subrasante en la parroquia Tarqui, cantón Puyo en la provincia de Pastaza.

Contrastación de (H0) Los resultados obtenidos mostraron que, al adicionar ceniza de totora, los valores de resistencia, particularmente en el ensayo CBR, la mayoría de muestras aumentaron de forma consistente en todas las dosificaciones evaluadas. Esta tendencia indicó una mejora progresiva en el comportamiento mecánico del suelo, reflejada en una mayor capacidad portante y en una disminución de la plasticidad y de la retención de humedad. Además, algunos suelos mejoraron su desempeño hasta acercarse a rangos propios de materiales aptos para capas superiores dentro de la estructura del pavimento. Estos cambios positivos contradicen directamente la afirmación de que la ceniza no tendría efectos beneficiosos. Sin embargo, se puede apreciar que en algunos porcentajes de CT (10% y 12%) existe una disminución de la capacidad portante, como se muestra en las tablas de incremento de %CBR, dando como resultado en la muestra 2 datos menores que el suelo sin alterar.

Evidencia de (H1) La comprobación de la hipótesis se realizó mediante la comparación entre los valores obtenidos en estado natural y aquellos alcanzados tras la estabilización del suelo con distintos porcentajes de ceniza de totora. Para ello, se evaluaron parámetros clave como la densidad seca máxima, la humedad óptima y el CBR. Los resultados evidenciaron que las adiciones al 5%, 8% y 10% modificaron de manera notable la capacidad portante del suelo, lo cual permitió confirmar que la ceniza de totora genera mejoras significativas en el comportamiento físico-mecánico del tipo de suelos estudiados.

Muestra 1
CBR 7,8% a 15,0%

Muestra 2
CBR 10,7% a 17,7%

Muestra 3
CBR 11,5% a 25,3%

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- El estudio del estado natural de los suelos recolectados en la parroquia Tarqui en el cantón Puyo, evidencia que las tres muestras presentan contenidos de humedad muy altos. Los valores obtenidos para M1 (215,38 %), M2 (196,08 %) y M3 (265,03 %) evidencian que se trata de materiales con una notable capacidad para retener agua, característica común en suelos finos con alta plasticidad.

- Estos altos niveles de humedad en las muestras de suelo en su condición original, influyen directamente en su comportamiento mecánico, especialmente en su tendencia a deformarse, su baja resistencia y su limitada estabilidad cuando se los utiliza como material de subrasante.

- El análisis de la gravedad específica determinó que los suelos evaluados en estado natural presentan valores de M1 (2,62)**,** M2 (2,69) **y** M3 (2.68)**,** ubicándose dentro del rango típico de materiales finos (arcillas y limos) que se encuentra entre 2.6 y 2.9. Sin embargo, al incorporar el 8 % de ceniza de totora, la gravedad específica disminuye a M1 **(**2,54), M2 **(**2,46) y M3 **(**2,58)**,** lo que refleja la influencia directa de la CT (cuyo valor propio es 2,44), en la disminución de la densidad de estos suelos.

- Esta reducción confirma que la ceniza, al ser un material más ligero y de menor densidad que las muestras de suelo, modifica la composición de la mezcla, reduciendo ligeramente la densidad de los sólidos. Este comportamiento es consistente con materiales puzolánicos y de origen vegetal, y sugiere que el agregado de ceniza no solo altera la densidad relativa, sino que también influye en la compactación, la permeabilidad y el desempeño mecánico del suelo mejorado.

- Los suelos analizados en estado natural presentan una proporción importante de material fino, dado que los porcentajes que pasan por el tamiz #200 alcanzan 24,86 % en M1, 20,18 % en M2 y 20,02 % en M3. Esta cantidad de fracciones limo–arcilla se refleja en sus clasificaciones iniciales: M1 corresponde a A-2-7 en AASHTO y SM en SUCS, lo que indica un suelo de tipo arena limosa; M2 se clasifica como A-2-5 y SM, también representativo de arenas con contenido apreciable de limo; mientras que M3 se ubica en A-2-7 y SM, confirmando la misma tendencia granulométrica.

- Al incorporar el 8 % de ceniza de totora, la distribución de tamaños se modifica de manera notable, y el material que atraviesa el tamiz #200 se reduce a 9,43 % en M1, 9,67 % en M2 y 9,62 % en M3. Esta variación se refleja en sus nuevas clasificaciones: M1 pasa a A-2-5 y SM–SP, es decir, una mezcla de arena limosa con presencia de arena mal gradada; M2 asciende a A-2-4 y SP–SM, correspondiente a una arena limosa mal gradada; y M3 se clasifica como A-2-6 y SP–SM, manteniendo la misma tipología de arena mal gradada con finos limosos. Estos cambios muestran que la adición de ceniza reduce la proporción de finos y favorece un comportamiento más arenoso, lo que contribuye a disminuir la plasticidad y mejorar la estabilidad del suelo en aplicaciones de subrasante.

- Se concluyó que la adición del 8 % de ceniza de totora genera una disminución marcada en los límites de Atterberg de las tres muestras evaluadas, lo que evidencia una reducción en la plasticidad y una mejora en la estabilidad del suelo frente a cambios de humedad.

- En condición natural, los valores de límite líquido alcanzan magnitudes elevadas (M1: 71,23 %, M2: 53,78 %, M3: 94,40 %), propios de suelos que presentan una notable capacidad para incorporar y retener agua. Tras la incorporación del aditivo, estos valores se reducen significativamente a 44,81 %**,** 25,30 % **y** 39,26 %**,** respectivamente.

- El límite plástico sigue la misma tendencia descendente, pasando de 55,11 % a 34,14 % en M1, de 45,72 % a 17,34 **%** en M2 y de 76,27 % a 28,15 % en M3. En consecuencia, el índice de plasticidad disminuye en todas las muestras (M1: 16,12 % a 10,67 %; M2: 8,07 % a 7,96 %; M3: 18,10 % a 11,10 %), reflejando una menor predisposición del suelo a deformaciones volumétricas. Este comportamiento confirma que la ceniza de totora actúa como un agente estabilizante, modificando la estructura del material fino y favoreciendo un desempeño geotécnico más adecuado para su uso en subrasantes.

- Se determinó que la adición de ceniza de totora genera mejoras notables en la compactación de las tres muestras, evidenciándose un incremento uniforme de la densidad seca máxima hasta el 8 % de ceniza. En esta condición, la Muestra 1 pasa de 1.061 a 1.183 g/cm³, la Muestra 2 de 0.940 a 1.213 g/cm³ y la Muestra 3 de 0.952 a 1.300 g/cm³, demostrando que la ceniza favorece una estructura interna más densa antes de que un exceso reduzca su efectividad.

- Se observó que existe una reducción de la humedad óptima conforme aumentó la cantidad de ceniza. Los valores elevados en estado natural 33 %, 58.9 % y 56.2 % para M1, M2 y M3, se reducen significativamente con el 8 % de adición de CT, alcanzando 24.3 %, 26.2 % y 27.2 %. Esta tendencia se explica debido a que la ceniza, por su textura fina y baja densidad, reduce la plasticidad del suelo y limita la necesidad de retención de humedad durante la compactación.

- La incorporación de ceniza de totora genera un incremento significativo en la capacidad de soporte de los suelos, alcanzando su mayor eficiencia con la dosificación del 8 %. En la Muestra 1, el CBR aumenta de 7,8 % en estado natural a 15,0 % con 8 % de ceniza, lo que representa un crecimiento del 94 %. De forma similar, la Muestra 2 muestra un incremento, pasando de 10,7 % a 17,7% (65 % de aumento), mientras que la Muestra 3 eleva su resistencia de 11,5 % a 25,3 %, equivalente a un incremento del 120 %. Estos resultados indican que, en los tres casos, la ceniza actúa como un estabilizante eficaz al mejorar la estructura interna del suelo y reducir su deformabilidad.

- En síntesis, los resultados obtenidos evidencian que la incorporación del 8 % de ceniza de totora constituye la proporción más efectiva para mejorar el comportamiento de los suelos evaluados, especialmente en lo referente a su resistencia y estabilidad volumétrica. Este porcentaje optimiza parámetros clave como la densidad seca máxima, la humedad óptima y el valor CBR, generando un material más conveniente para funcionar como subrasante en proyectos viales.

- La aplicación de CT resulta particularmente favorable en zonas donde predominan suelos arcillosos de baja capacidad portante, ya que el 8 % de ceniza produce una mezcla más estable frente a cargas repetitivas y deformaciones. Con ello, se posiciona como una alternativa técnica viable, de bajo costo y ambientalmente sostenible, apropiada para fortalecer la estructura de subrasantes en obras civiles.

- Se identificó que los porcentajes superiores al 8 % no continúan mejorando el desempeño, ya que el exceso de ceniza incorpora partículas de baja densidad que reducen la cohesión interna y disminuyen la resistencia, evidenciándose caídas en los valores de CBR. Esto demuestra que el 8 % representa el punto óptimo antes de que el material comience a perder eficiencia mecánica.

II. RECOMENDACIONES

- Para la recolección de muestras de suelo, se sugiere seleccionar áreas de muestreo libres de impurezas. En caso contrario, se debe limpiar la superficie hasta exponer una capa representativa del suelo a analizarse, libre de residuos y contenido orgánico.

- Se recomienda identificar cada muestra de suelo mediante un sistema de rotulado legible y organizado, con el propósito de evitar confusiones en el traslado, almacenamiento y posterior análisis en laboratorio.

- Se sugiere asegurar que la planta de totora en el proceso de obtención de CT, sea secada completamente antes de la quema, debido a que si posee humedad residual podría alterar la eficiencia en la combustión y calidad de la ceniza.

- Es recomendable calcinar completamente la planta de totora mediante un proceso de fuego controlado, garantizando una temperatura constante, lo cual permite obtener una ceniza homogénea y sin residuos.

- En la obtención de la ceniza de totora (o ceniza vegetal), se aconseja realizar la combustión en recipientes amplios y resistentes al calor. Una vez concluida la quema, la ceniza debe colocarse en bandejas hasta que alcance una temperatura segura para su manipulación.

- Es aconsejable revisar previamente las normas técnicas correspondientes a cada ensayo, de manera que el investigador conozca con claridad los equipos requeridos y la secuencia correcta del procedimiento, evitando contratiempos durante la ejecución.

- Se recomienda, que, al realizar el análisis granulométrico de la CT, es fundamental limpiar completamente los tamices utilizados para evitar que el material quede retenido en los mismos, con el fin de evitar acumulaciones que alteren la proporción real de partículas finas, y su composición granulométrica.

- Antes de la ejecución de los ensayos Proctor Modificado y CBR, se aconseja revisar y calibrar todos los componentes de los equipos para asegurar su buen funcionamiento y la obtención de datos de laboratorio confiables.

- Durante la inmersión de los moldes de CBR, se recomienda mantener constante el nivel de agua en los moldes para garantizar condiciones de saturación uniforme, y así determinar los valores de hinchamiento sin alteraciones de volumen de las muestras.

- Se sugiere, respetar el periodo de cuatro días de saturación de las muestras de CBR, como se aplicó en el presente estudio con el fin de asegurar que el suelo alcance el grado de saturación requerido según la normativa para este tipo de suelos.

- Se aconseja realizar los ensayos proctor y CBR en ambientes con temperatura controlada, evitando variaciones en las condiciones altas de temperatura, que puedan influir en una evaporación acelerada del suelo y alterar la humedad de las mismas.

- Durante el proceso de secado se evidenció la presencia de fibras en la totora, por lo que se sugiere desarrollar futuras investigaciones adicionales que analicen su capacidad como refuerzo en el hormigón simple o en estabilización de suelos mediante fibras naturales.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, “Libro a norma para estudios y diseños viales,” Ecuador.

[2] J. L. Piedra Tineo, J. J. Vásquez Acosta, and G. G. Arriola Carrasco, “Evaluación de la estabilización de un suelo expansivo utilizando ceniza de cáscara de arroz, distrito de Jaén, Cajamarca, Perú.,” *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 8, no. 2, pp. 125–134, Oct. 2021, doi: 10.26495/ICTI.V8I2.1914.

[3] M. J. Macía and H. Balslev, “Use and management of totora (Schoenoplectus californicus, Cyperaceae) in Ecuador,” *Econ Bot*, vol. 54, no. 1, pp. 82–89, 2000, doi: 10.1007/BF02866602.

[4] F. Fernandez, “Análisis de propiedades físicas y mecánicas en suelos limo-arcillosos adicionando porcentajes de cenizas de Schoenoplectus californicus,” Chiclayo, 2024.

[5] K. Aquino and E. Lagos, “Influencia de las cenizas de totora reciclada y cal en las propiedades físicas y mecánicas del concreto en zonas andinas,” Huancayo, 2024.

[6] “Mejoramiento de Suelos: Métodos, Beneficios y Aplicaciones en la Construcción.” Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://www.megaproyectos.mx/mejoramiento-suelos?utm_source=chatgpt.com

[7] “Características del suelo arcilloso | Grupo SACSA.” Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/?utm_source=chatgpt.com

[8] G. Jácome and O. Eduardo, “Estabilización de un suelo de subrasante de carretera con el sistema Consolid.,” *Ingeniar*, vol. 5, Aug. 2022, Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/88/121?utm_source=chatgpt.com

[9] W. Machaca, “Influencia de cenizas del sistema radicular de la totora en la estabilización de la subrasante en la carretera Orurillo-Nuñoa,” Universidad Cesar Vallejo, Ate Vitarte, 2022.

[10] R. Chayña Pineda, “Análisis del uso de ceniza de totora en la estabilización de la subrasante en la trocha carrozable Ccota-Quipata, Puno, 2022,” Lima , 2022.

[11] W. Botía, “Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo.,” Bogotá, May 2015.

[12] “ASTM D 2216-19 Contenido de Humedad.” [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/521086245/ASTM-D-2216-19-Contenido-de-Humedad

[13] “Astm D-854 Gravedad Específica Suelos.” Accessed: Dec. 01, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/458646020/Astm-D-854-Gravedad-Especifica-Suelos

[14] “Astm C 136-01.” [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/328614344/ASTM-C-136-01-doc

[15] “[TRADUCCIÓN DE ASTM D4318]”, [Online]. Available: www.civilgeeks.com

[16] “(72) Fundamentos de Ingenieria Geotecnica Braja M Das.” Accessed: nov. 22, 2025. [Online]. Available: https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das

[17] “Clasificacion AASHTO M 145.” Accessed: Dec. 01, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/477223946/Clasificacion-AASHTO-M-145

[18] C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, 5ta ed. Monterrey, 2004.

[19] “AASHTO T180 Proctor Modificado.” [Online]. Available: https://es.scribd.com/doc/61445252/AASHTO-T180-Proctor-Modificado

[20] “AASHTO T-193.” [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/559566710/AASHTO-T-193-espanol

[21] E. Caporal, “American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), ‘Guide for design of pavement structures,’ Washington DC, USA, 1993.” [Online]. Available: https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_

ANEXOS

ENSAYOS DE LABORATORIO

MUESTRA DE SUELO 1

Anexo 1: Contenido de humedad Muestra 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**			
PROYECTO:	"ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA"		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena		
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg		
NORMA:	NTE INEN 690 y ASTM D 2216		
UBICACIÓN:	Pastaza- Puyo	**# MUESTRA:**	1
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL			
N° Calicata	**1**		
Número de recipiente	T1	T2	
Peso del recipiente (Wr) (gr)	23,10	26,10	
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	74,20	73,40	
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	39,30	41,10	
Peso del agua (Ww) (gr)	34,90	32,30	
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	16,20	15,00	
Contenido de humedad (W%)	215,43	215,33	
Promedio (W%)	**215,38%**		

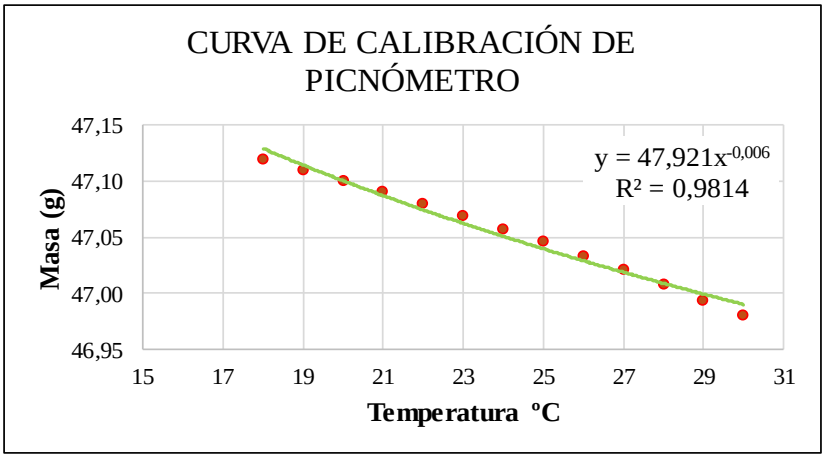
Anexo 2: Gravedad Específica Muestra Natural

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA			
Cantón:	Puyo		**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50	gr	**Tipo muestra:**	Natural M1

Identificacion del recipiente	1	
Temperatura	21,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	303,20	g
Peso del recipiente	256,10	g
Peso del suelo seco (Ws)	47,10	g
Ws+ Wbw	719,60	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	701,60	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	18,00	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0,99979	
Gravedad específica (Gs)	**2,616**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	47,12
19	47,11
20	47,10
21	47,09
22	47,08
23	47,07
24	47,06
25	47,05
26	47,03
27	47,02
28	47,01
29	46,99
30	46,98



Anexo 3: Granulometría Muestra 1 Natural

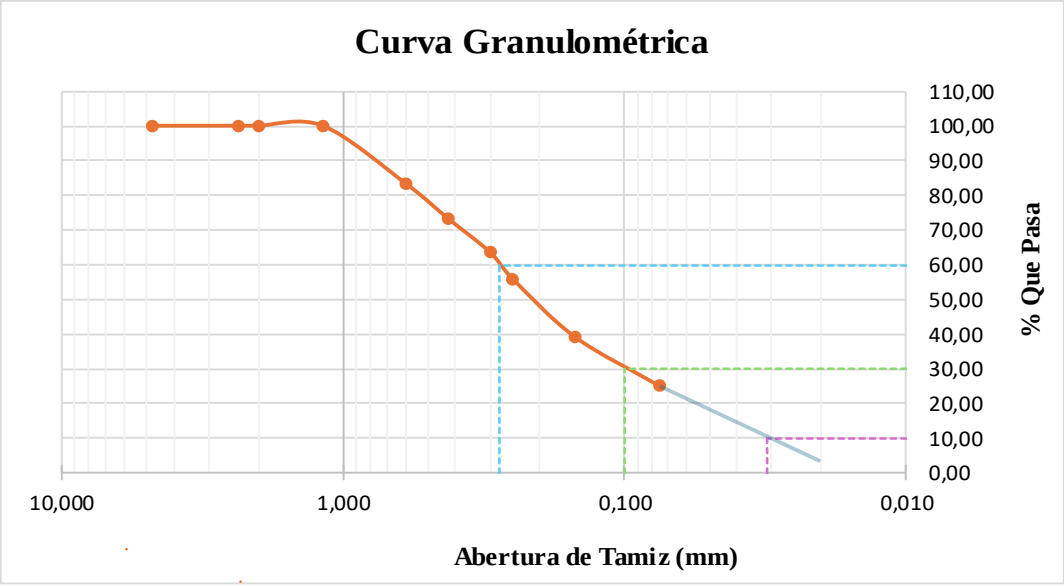
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO :	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO :	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	9831479.00,833697.00
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
30	0,6	82,80	82,80	16,63	83,37
40	0,425	50,10	132,90	26,69	73,31
50	0,3	49,20	182,10	36,56	63,44
60	0,25	37,80	219,90	44,15	55,85
100	0,15	83,70	303,60	60,96	39,04
200	0,075	70,62	374,22	75,14	24,86
BANDEJA		123,80	498,02	100,00	0,00

RESULTADOS



D10	0,031	D30	0,100	D60	0,278

Cu	8,910	Cc	1,153	TNM	1,180

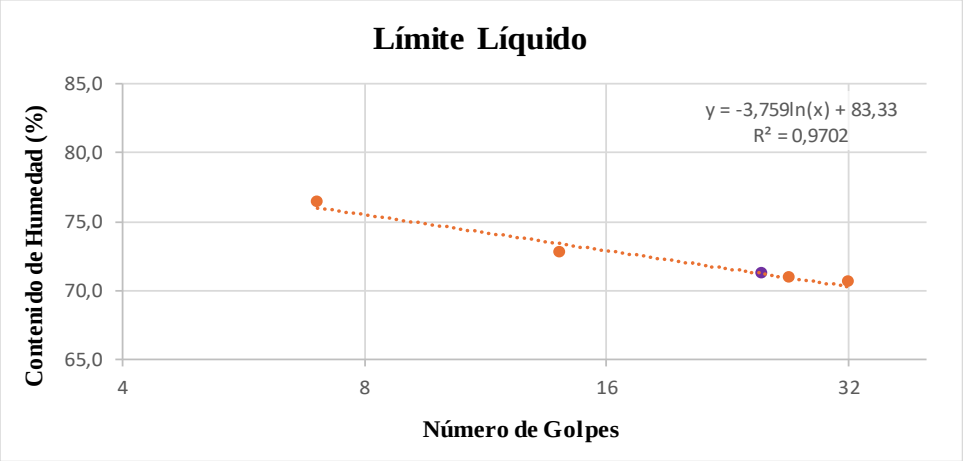
Anexo 4: Límites de Atterberg Muestra 1 Natural

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**# MUESTRA**	1

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**7**		**14**		**27**		**32**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	11,40	11,10	11,10	11,20	11,30	11,40	11,10	11,20
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	19,60	19,30	18,60	18,90	20,90	18,90	16,00	17,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	16,00	15,80	15,40	15,70	16,90	15,80	14,00	14,80
Peso del agua (Ww) (gr)	3,60	3,50	3,20	3,20	4,00	3,10	2,00	2,60
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	4,60	4,70	4,30	4,50	5,60	4,40	2,90	3,60
Contenido de humedad (W%)	78,26	74,47	74,42	71,11	71,43	70,45	68,97	72,22
Promedio (W%)	76,37		72,77		70,94		70,60	
Límite Líquido (LL%)	**71,23**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	1	6	14	27	47
Peso del recipiente (Wr) (gr)	6,00	6,10	10,70	6,00	6,20
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	6,80	7,50	11,60	6,80	7,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	6,50	7,00	11,30	6,50	7,00
Peso del agua (Ww) (gr)	0,30	0,50	0,30	0,30	0,40
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,50	0,90	0,60	0,50	0,80
Contenido de humedad (W%)	60,00	55,56	50,00	60,00	50,00
Promedio (W%)	55,11				

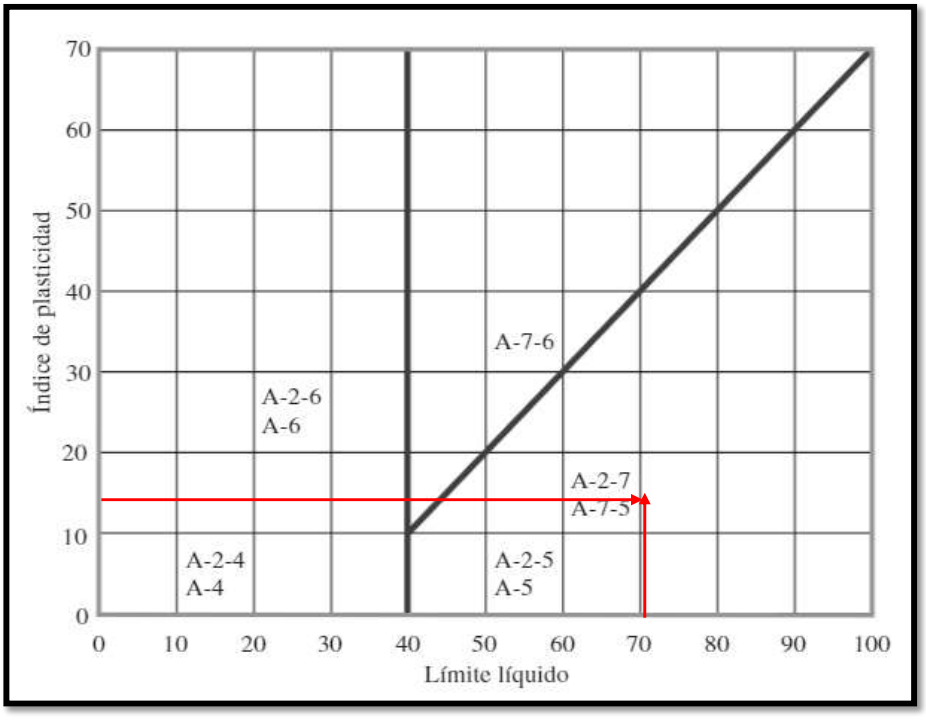
RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
71,23	55,11	16,12

Anexo 5: Clasificación M1 Natural AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						



Anexo 6: Clasificación M1 Natural SUCS

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[c,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[f]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[f]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

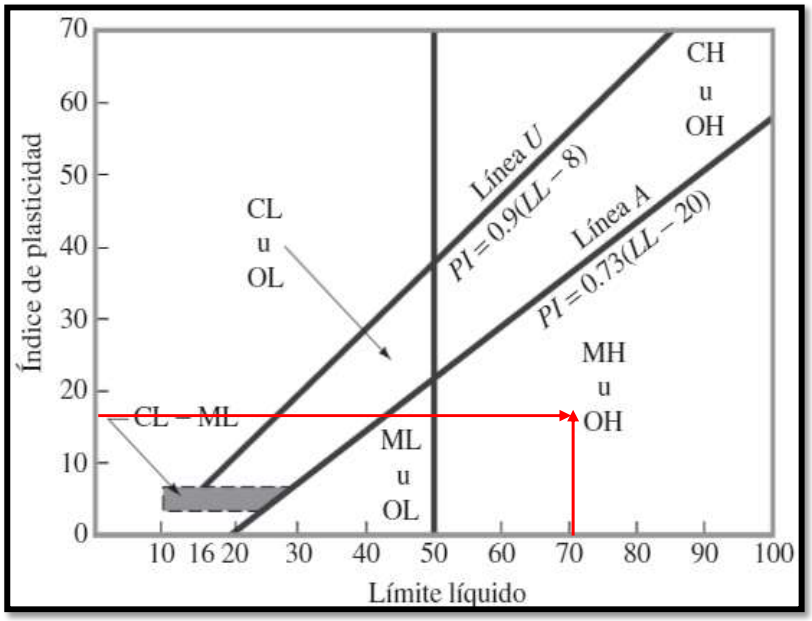
[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.



4.3 Sistema unificado de clasific

Anexo 7: Proctor Modificado M1Natural

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	1

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	15016,5	14402,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2208,93	2297,29
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000	

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	12	18	24	30
Humedad añadida (ml)	600	900	1200	1500
Suelo húmedo + molde (gr)	17347,5	18101	17702,5	18568
Peso suelo húmedo (gr)	2946	3085	3301	3555
Peso unitario húm. (gr)	1,282	1,396	1,437	1,547

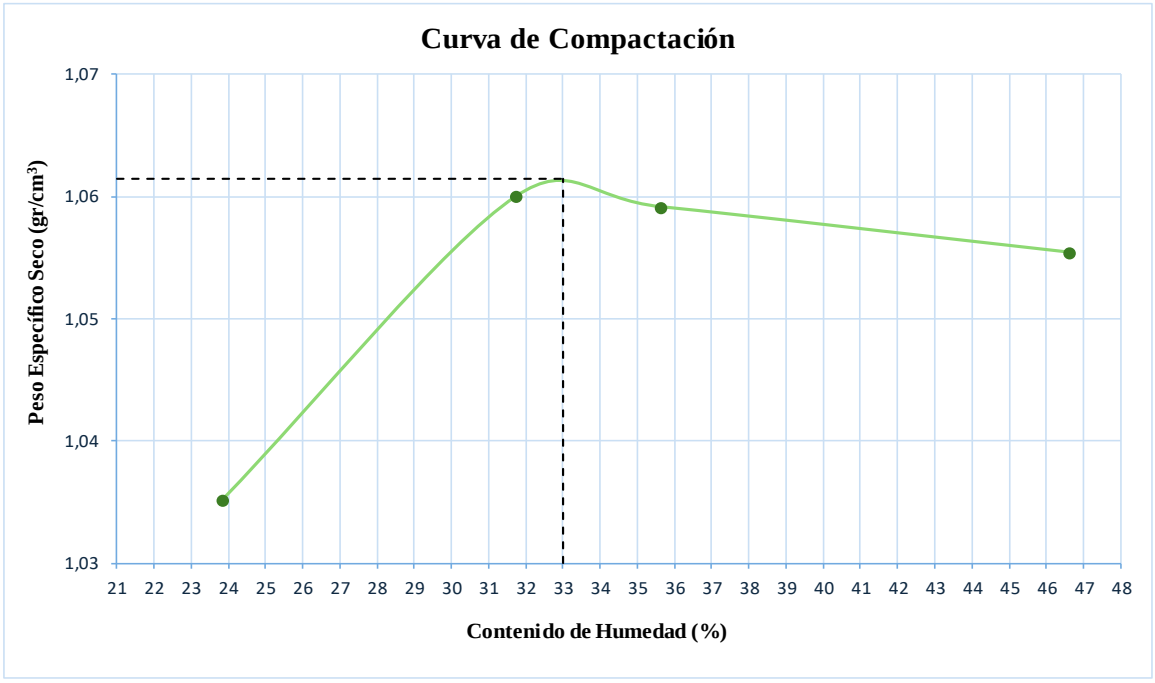
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	20,50	24,50	31,00	26,00	24,00	24,50	32,50	31,00
Peso suelo húm. + recip (gr)	98,40	100,80	144,00	92,00	96,50	98,50	138,50	150,00
Peso suelo seco + recip (gr)	83,50	86,00	116,10	76,50	77,40	79,10	105,30	111,60
Peso del agua (gr)	14,90	14,80	27,90	15,50	19,10	19,40	33,20	38,40
Peso suelo seco (gr)	63,00	61,50	85,10	50,50	53,40	54,60	72,80	80,60
Contenido de agua (%)	23,65	24,07	32,78	30,69	35,77	35,53	45,60	47,64
W (%) Promedio	23,86		31,74		35,65		46,62	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,035		1,0600		1,0591		1,0554	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,061
Humedad Óptima:	33,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 8: CBR Muestra 1 Natural

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

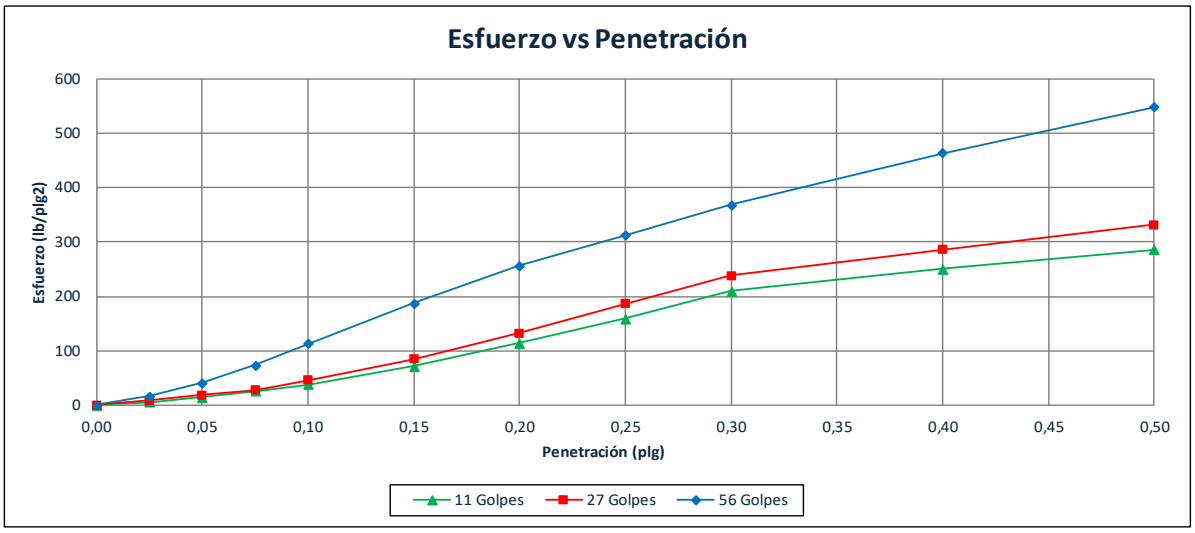
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	1

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9758,5		11435		11860	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3022,5		3119		3214,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,345		1,395		1,430	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	89,40	84,10	92,50	95,00	94,10	100,70
Masa suelo seco + recip. (gr)	74,60	70,50	76,90	78,50	77,60	82,70
Masa recipiente (gr)	30,50	30,90	30,90	31,10	29,50	29,30
Masa del agua (gr)	14,80	13,60	15,60	16,50	16,50	18,00
Masa suelo seco (gr)	44,10	39,60	46,00	47,40	48,10	53,40
Contenido de humedad (w%)	33,56	34,34	33,91	34,81	34,30	33,71
W % promedio	33,95		34,36		34,01	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,004		1,038		1,067	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	10282,5		11743		11995,5	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3546,5		3427		3350	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,578		1,533		1,491	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Masa suelo húmedo + recip (gr)	70,00	68,00	72,00	70,00	74,00	72,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	56,00	54,60	57,40	55,60	58,50	57,60
Masa recipiente (gr)	31,20	30,50	31,00	29,50	30,50	31,20
Masa del agua (gr)	14,00	13,40	14,60	14,40	15,50	14,40
Masa suelo seco (gr)	24,80	24,10	26,40	26,10	28,00	26,40
Contenido de humedad (w%)	56,45	55,60	55,30	55,17	55,36	54,55
W % promedio	56,03		55,24		54,95	

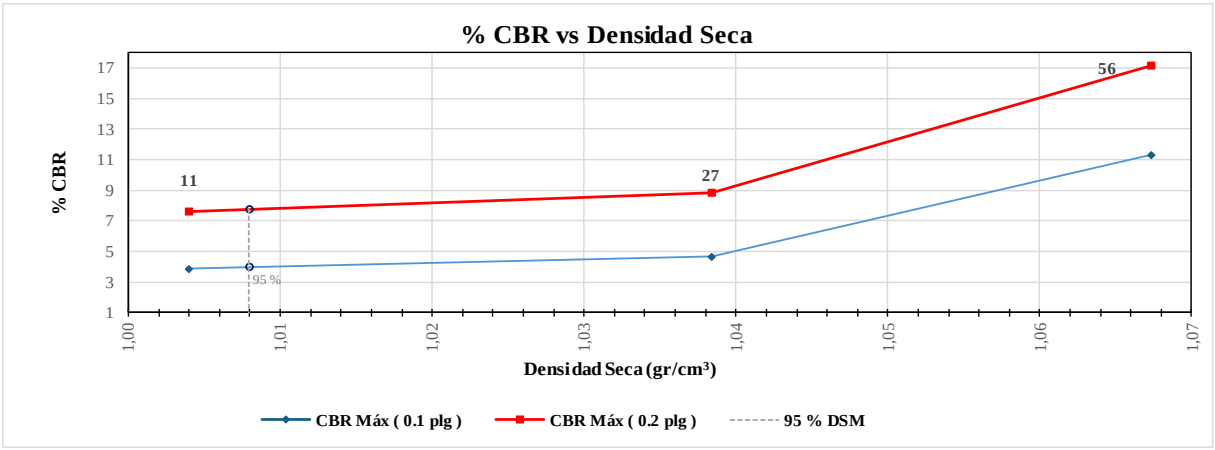
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	17,80	5,93	25,60	8,53	49,60	16,53
0,050	43,60	14,53	56,60	18,87	123,30	41,10
0,075	76,80	25,60	84,40	28,13	220,80	73,60
0,10	115,40	38,47	139,80	46,60	338,90	112,97
0,15	215,90	71,97	253,60	84,53	563,30	187,77
0,20	343,50	114,50	398,50	132,83	770,30	256,77
0,25	475,70	158,57	558,90	186,30	938,00	312,67
0,30	629,50	209,83	713,90	237,97	1106,10	368,70
0,40	750,20	250,07	857,30	285,77	1389,80	463,27
0,50	857,30	285,77	996,80	332,27	1643,70	547,90

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	112,97	11,30	1,067	256,77	17,12	1,067
2	46,60	4,66	1,038	132,83	8,86	1,038
3	38,47	3,85	1,004	114,50	7,63	1,004

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,061	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,008	**3,95**	**7,75**	Subrasante	Mala

Anexo 9: Proctor Modificado M1, 5% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	1

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14638,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2238,48

Peso incial deseado (gr):	5000	5000	5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	15	25	32	39
Humedad añadida (ml)	750	1250	1600	1950
Suelo húmedo + molde (gr)	17719,0	17932	18238,5	18119
Peso suelo húmedo (gr)	3081	3294	3601	3481
Peso unitario húm. (gr)	1,376	1,472	1,608	1,555

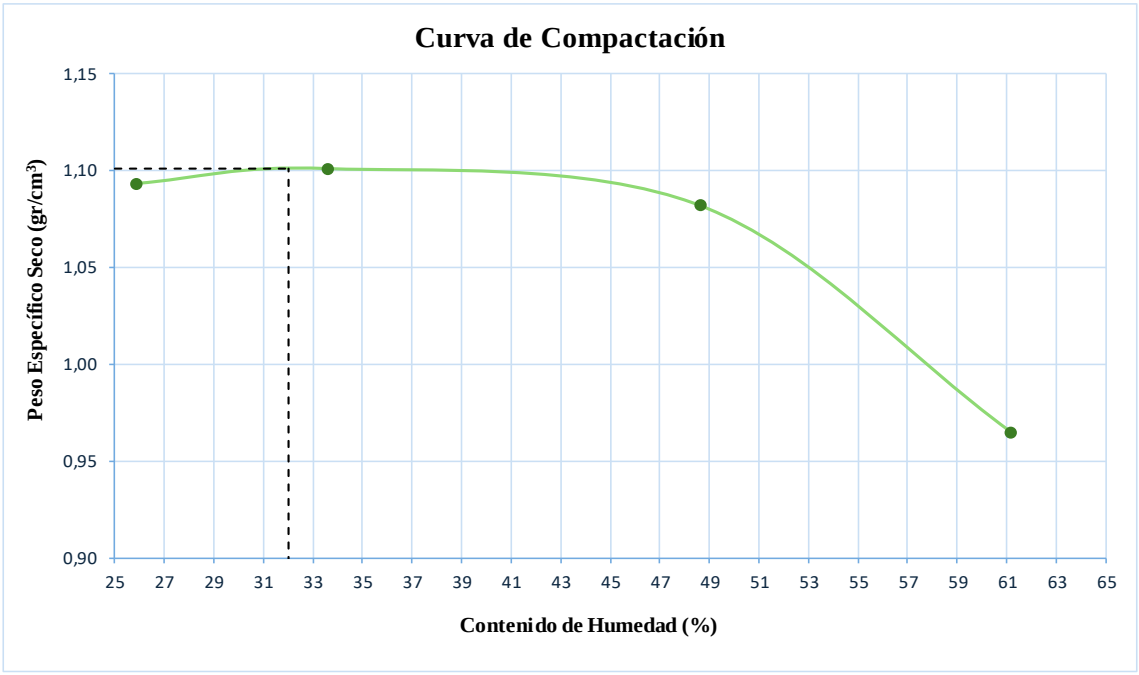
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10	30,70	31,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	86,40	91,00	79,40	75,90	96,80	74,00	88,90	91,30
Peso suelo seco + recip (gr)	74,00	79,10	67,40	64,30	75,80	59,60	66,90	68,40
Peso del agua (gr)	12,40	11,90	12,00	11,60	21,00	14,40	22,00	22,90
Peso suelo seco (gr)	44,70	49,60	36,90	33,40	44,90	28,50	36,20	37,20
Contenido de agua (%)	27,74	23,99	32,52	34,73	46,77	50,53	60,77	61,56
W (%) Promedio	25,87		33,63		48,65		61,17	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,094		1,1012		1,0821		0,9649	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,101
Humedad Óptima:	32,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



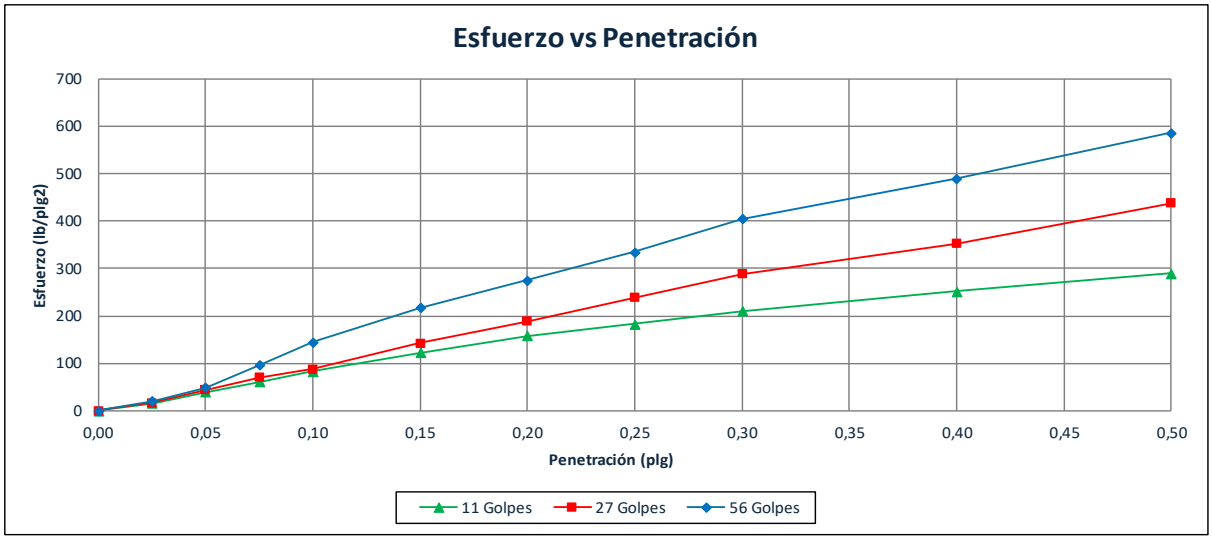
Anexo 10: CBR Muestra 1, 5% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA					
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena		**UBICACIÓN:**		Puyo	
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún		**COORDENADAS**		9831479.00 , 833697.00	
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**#MUESTRA:**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10796		12820		11717	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3037,5		3231		3372,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,352		1,438		1,501	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	74,50	80,00	79,00	82,50	60,50	79,80
Masa suelo seco + recip. (gr)	63,60	67,80	67,30	69,80	53,10	67,80
Masa recipiente (gr)	31,20	30,90	31,10	30,90	31,20	31,10
Masa del agua (gr)	10,90	12,20	11,70	12,70	7,40	12,00
Masa suelo seco (gr)	32,40	36,90	36,20	38,90	21,90	36,70
Contenido de humedad (w%)	33,64	33,06	32,32	32,65	33,79	32,70
W % promedio	33,35		32,48		33,24	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,014		1,085		1,126	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	11261,5		13085		11808,5	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3503		3496		3464	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,559		1,556		1,541	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	65,00	66,00	63,30	75,00	81,60	78,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	52,90	53,40	52,20	59,60	64,60	62,20
Masa recipiente (gr)	30,60	30,50	31,00	30,10	31,10	30,80
Masa del agua (gr)	12,10	12,60	11,10	15,40	17,00	15,80
Masa suelo seco (gr)	22,30	22,90	21,20	29,50	33,50	31,40
Contenido de humedad (w%)	54,26	55,02	52,36	52,20	50,75	50,32
W % promedio	54,64		52,28		50,53	

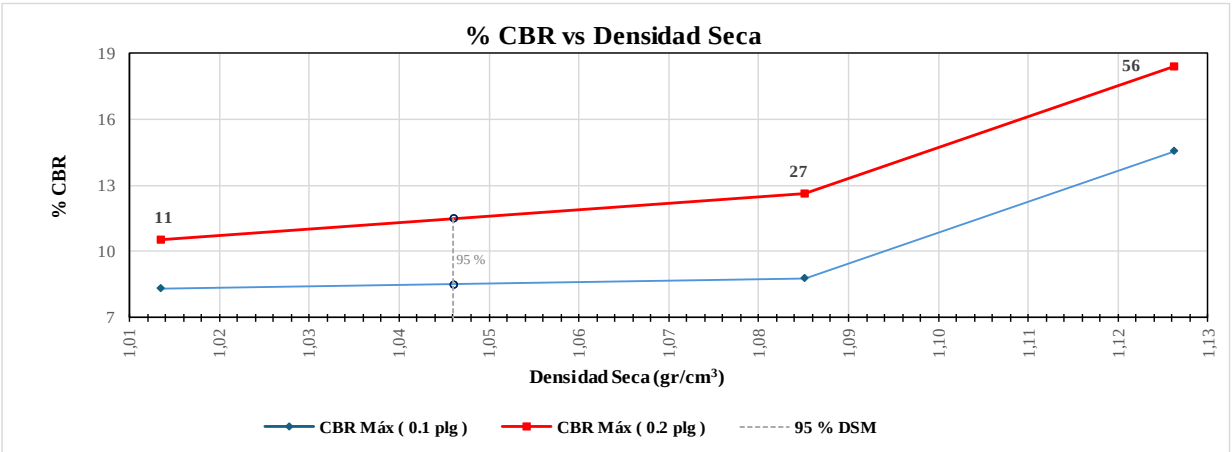
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	49,10	16,37	51,60	17,20	61,20	20,40
0,050	119,60	39,87	133,50	44,50	145,50	48,50
0,075	183,40	61,13	212,80	70,93	289,70	96,57
0,10	249,80	83,27	263,80	87,93	436,80	145,60
0,15	366,70	122,23	426,90	142,30	654,10	218,03
0,20	473,90	157,97	567,80	189,27	826,90	275,63
0,25	549,20	183,07	715,50	238,50	1005,60	335,20
0,30	632,10	210,70	867,50	289,17	1214,90	404,97
0,40	755,60	251,87	1058,80	352,93	1468,70	489,57
0,50	868,60	289,53	1315,80	438,60	1759,00	586,33

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	145,60	14,56	1,126	275,63	18,38	1,126
2	87,93	8,79	1,085	189,27	12,62	1,085
3	83,27	8,33	1,014	157,97	10,53	1,014

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,101	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,046	**8,47**	**11,50**	Subrasante	Regular - Buena

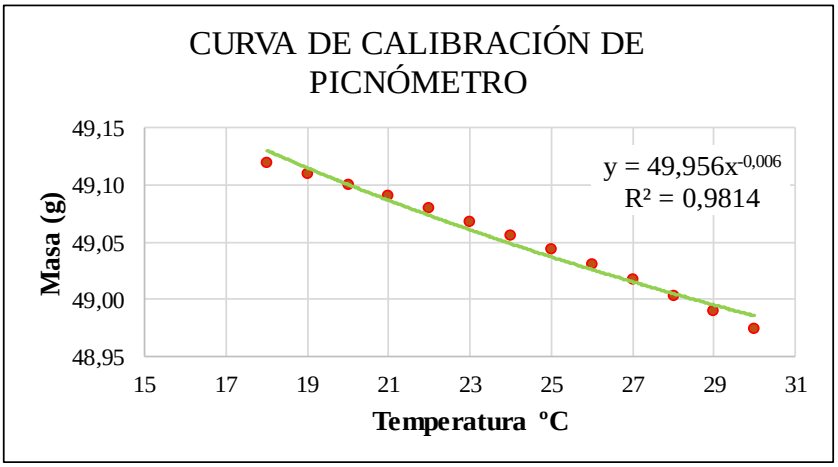
Anexo 11: Gravedad Específica Muestra 1, 8% de CT

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
Cantón:	Puyo	**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo muestra:**	M1 8% Ceniza

Identificacion del recipiente	1	
Temperatura	21,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	305,20	g
Peso del recipiente	256,10	g
Peso del suelo seco (Ws)	49,10	g
Ws+ Wbw	721,60	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	702,30	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	19,30	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0,99979	
Gravedad específica (Gs)	**2,544**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	49,12
19	49,11
20	49,10
21	49,09
22	49,08
23	49,07
24	49,06
25	49,04
26	49,03
27	49,02
28	49,00
29	48,99
30	48,97



Anexo 12: Granulometría Muestra 1, 8% de CT

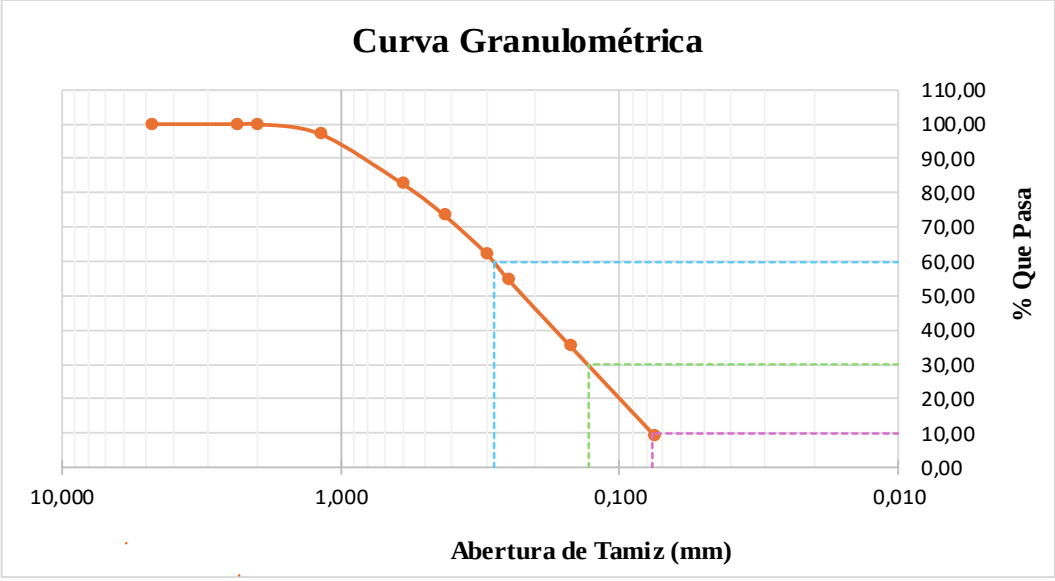
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	9831479.00,833697.00
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,18	14,64	14,64	2,94	97,06
30	0,6	71,90	86,54	17,40	82,60
40	0,425	45,60	132,14	26,57	73,43
50	0,3	55,50	187,64	37,74	62,26
60	0,25	37,90	225,54	45,36	54,64
100	0,15	95,90	321,44	64,64	35,36
200	0,075	128,90	450,34	90,57	9,43
BANDEJA		46,90	497,24	100,00	0,00

RESULTADOS



D10	0,076	D30	0,129	D60	0,281

Cu	3,697	Cc	0,779	TNM	2,000

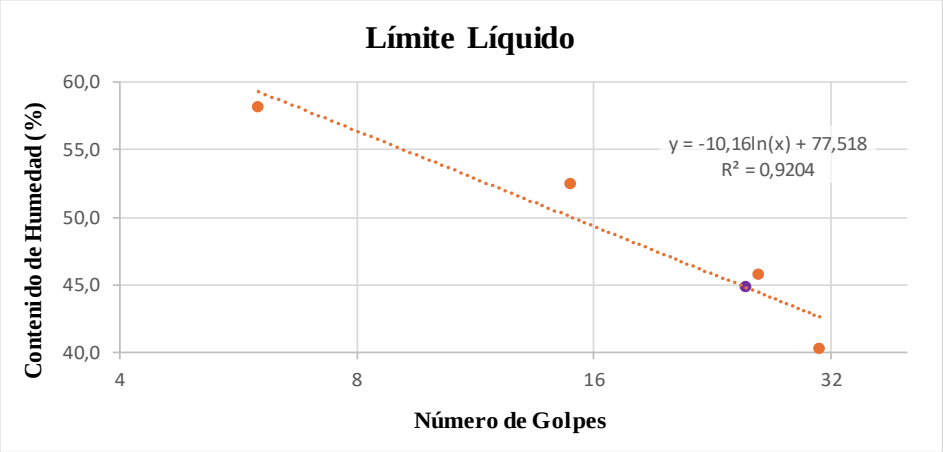
Anexo 13: Límites de Atterberg Muestra 1, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**# MUESTRA**	1

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**6**		**15**		**26**		**31**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	11,10	11,20	11,30	11,10	11,10	11,30	11,40	11,30
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	18,60	18,40	19,10	19,30	21,10	21,40	18,40	18,60
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	15,90	15,70	16,40	16,50	18,00	18,20	16,40	16,50
Peso del agua (Ww) (gr)	2,70	2,70	2,70	2,80	3,10	3,20	2,00	2,10
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	4,80	4,50	5,10	5,40	6,90	6,90	5,00	5,20
Contenido de humedad (W%)	56,25	60,00	52,94	51,85	44,93	46,38	40,00	40,38
Promedio (W%)	58,13		52,40		45,66		40,19	
Límite Líquido (LL%)	**44,81**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	1	6	14	27	47
Peso del recipiente (Wr) (gr)	6,15	6,00	11,00	6,10	6,50
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	6,90	6,80	11,70	7,00	7,20
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	6,70	6,60	11,53	6,77	7,02
Peso del agua (Ww) (gr)	0,20	0,20	0,17	0,23	0,18
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,55	0,60	0,53	0,67	0,52
Contenido de humedad (W%)	36,36	33,33	32,08	34,33	34,62
Promedio (W%)	34,14				

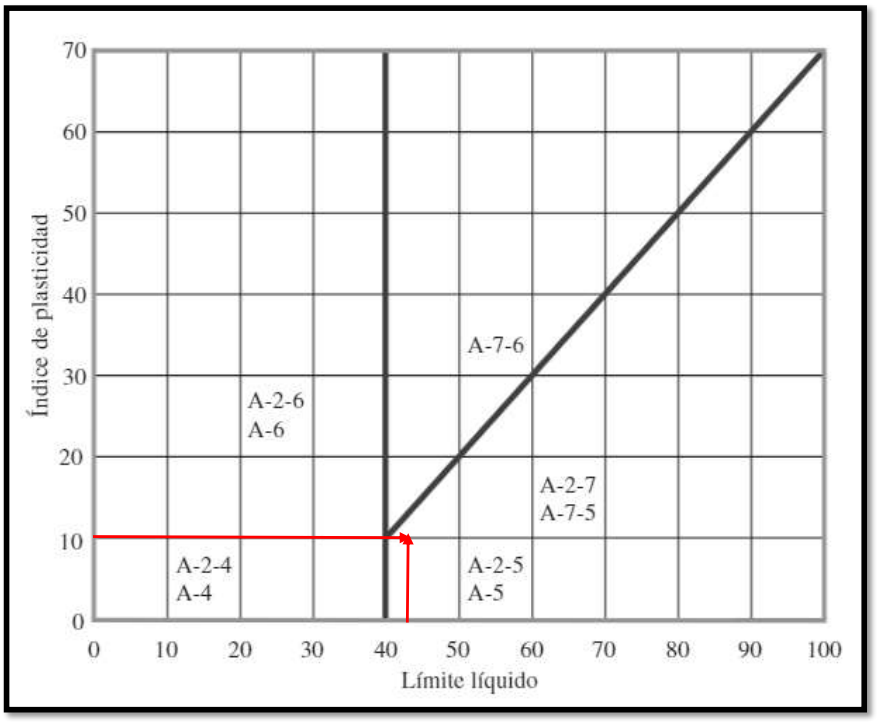
RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
44,81	34,14	10,67

Anexo 14: Clasificación M1, 8% de CT AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				

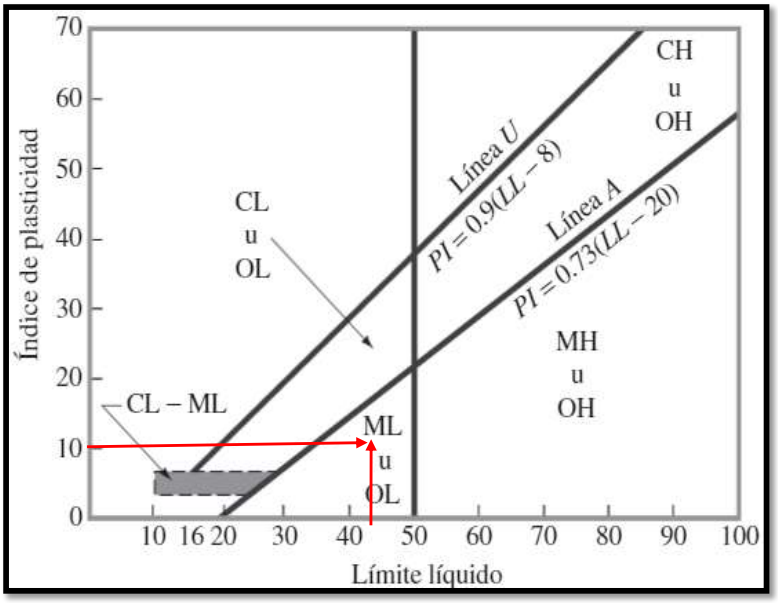


Anexo 15: Clasificación M1, 8% de CT SUCS

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[f]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[f]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.



Anexo 16: Proctor Modificado M1, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	1

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13953,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2208,93
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	25	32	39	48
Humedad añadida (ml)	1250	1250	1600	1950
Suelo húmedo + molde (gr)	16982,0	17202	17446,5	17564,5
Peso suelo húmedo (gr)	3029	3249	3494	3612
Peso unitario húm. (gr)	1,371	1,471	1,582	1,635

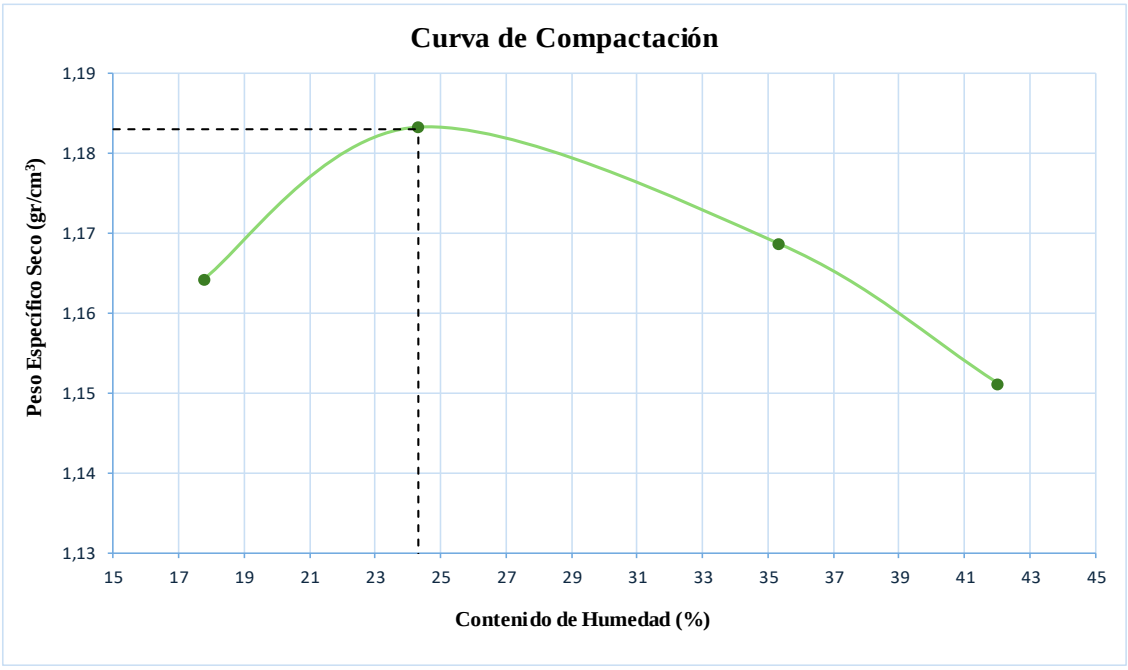
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	31,00	31,00	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10
Peso suelo húm. + recip (gr)	85,60	89,50	77,50	78,00	68,50	79,10	70,20	79,30
Peso suelo seco + recip (gr)	78,00	80,00	67,80	68,80	59,00	66,00	58,60	65,00
Peso del agua (gr)	7,60	9,50	9,70	9,20	9,50	13,10	11,60	14,30
Peso suelo seco (gr)	47,00	49,00	38,50	39,30	28,50	35,10	27,70	33,90
Contenido de agua (%)	16,17	19,39	25,19	23,41	33,33	37,32	41,88	42,18
W (%) Promedio	17,78		24,30		35,33		42,03	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,164		1,1833		1,1687		1,1511	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,183
Humedad Óptima:	24,30

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



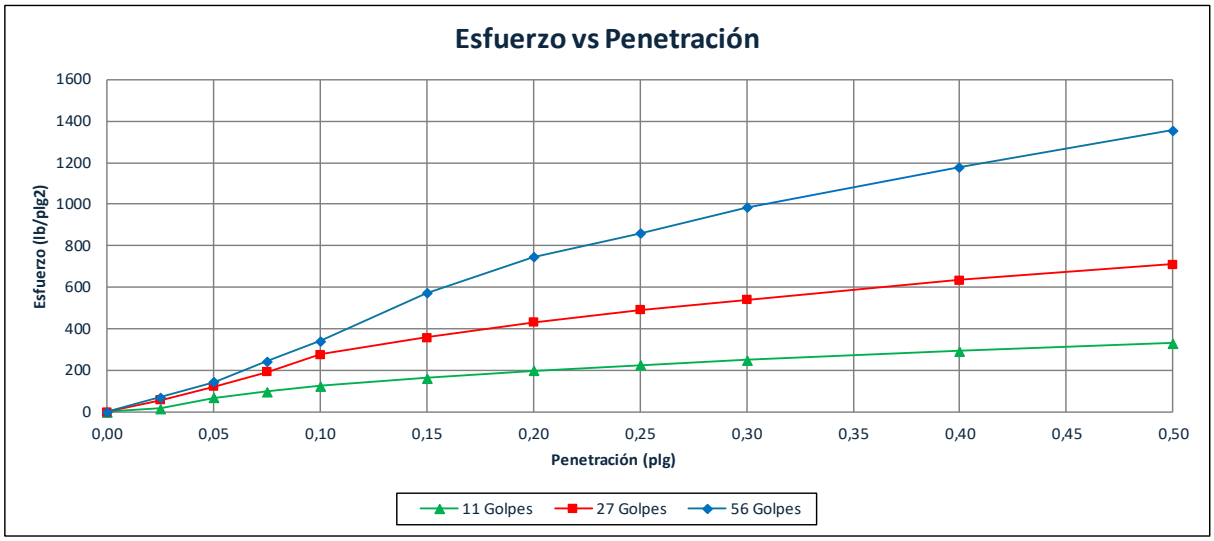
Anexo 17: CBR Muestra 1, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA					
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena		**UBICACIÓN:**		Puyo	
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún		**COORDENADAS**		9831479.00 , 833697.00	
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**#MUESTRA:**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9879		11648		12167	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3143		3332		3521,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,398		1,491		1,567	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	79,50	81,50	69,00	84,00	82,00	92,60
Masa suelo seco + recip. (gr)	69,40	71,30	61,30	73,20	71,60	80,30
Masa recipiente (gr)	29,30	30,90	31,10	31,00	31,20	31,10
Masa del agua (gr)	10,10	10,20	7,70	10,80	10,40	12,30
Masa suelo seco (gr)	40,10	40,40	30,20	42,20	40,40	49,20
Contenido de humedad (w%)	25,19	25,25	25,50	25,59	25,74	25,00
W % promedio	25,22		25,54		25,37	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,117		1,187		1,250	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	10390		11948		12285	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3654		3632		3639,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,626		1,625		1,619	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
Masa suelo húmedo + recip (gr)	68,30	69,00	80,40	75,50	72,20	82,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	53,20	53,70	61,90	58,70	58,20	65,50
Masa recipiente (gr)	30,80	31,10	31,10	30,90	30,00	31,10
Masa del agua (gr)	15,10	15,30	18,50	16,80	14,00	16,90
Masa suelo seco (gr)	22,40	22,60	30,80	27,80	28,20	34,40
Contenido de humedad (w%)	67,41	67,70	60,06	60,43	49,65	49,13
W % promedio	67,55		60,25		49,39	

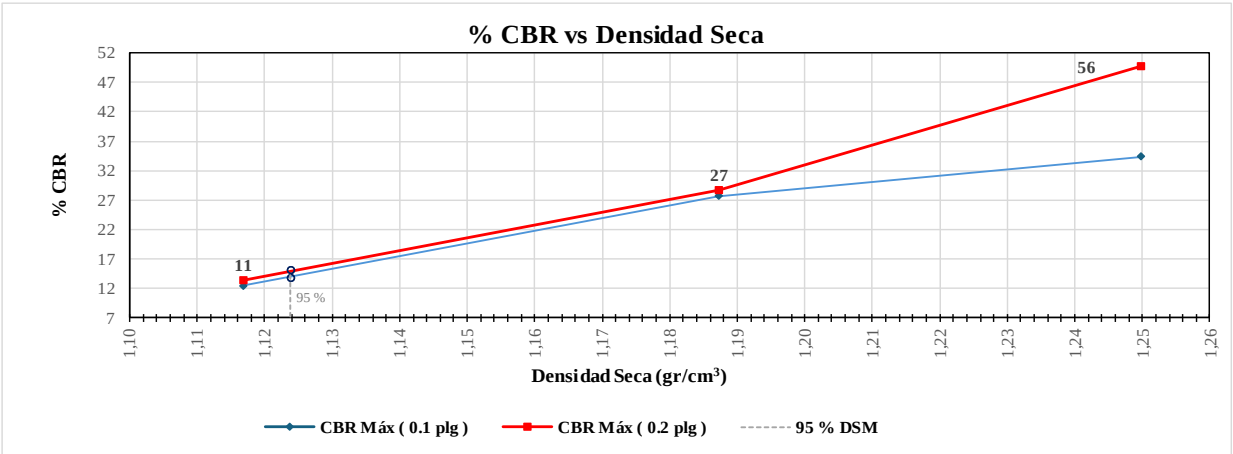
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	53,70	17,90	177,50	59,17	213,20	71,07
0,050	203,50	67,83	373,00	124,33	436,00	145,33
0,075	293,60	97,87	578,20	192,73	733,60	244,53
0,10	373,30	124,43	830,30	276,77	1030,80	343,60
0,15	493,00	164,33	1080,50	360,17	1720,50	573,50
0,20	598,30	199,43	1293,30	431,10	2238,20	746,07
0,25	676,20	225,40	1478,60	492,87	2583,10	861,03
0,30	749,30	249,77	1620,60	540,20	2958,40	986,13
0,40	877,30	292,43	1903,00	634,33	3533,80	1177,93
0,50	998,60	332,87	2130,50	710,17	4065,30	1355,10

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	343,60	34,36	1,250	746,07	49,74	1,250
2	276,77	27,68	1,187	431,10	28,74	1,187
3	124,43	12,44	1,117	199,43	13,30	1,117

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,183	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,124	**13,80**	**15,00**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 18: Proctor Modificado M1, 10% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	1

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14638,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2328,02
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	30	35	40	50
Humedad añadida (ml)	1500	1250	1600	1950
Suelo húmedo + molde (gr)	17623,0	17818,5	18012	17772,5
Peso suelo húmedo (gr)	2985	3181	3374	3135
Peso unitario húm. (gr)	1,282	1,366	1,449	1,346

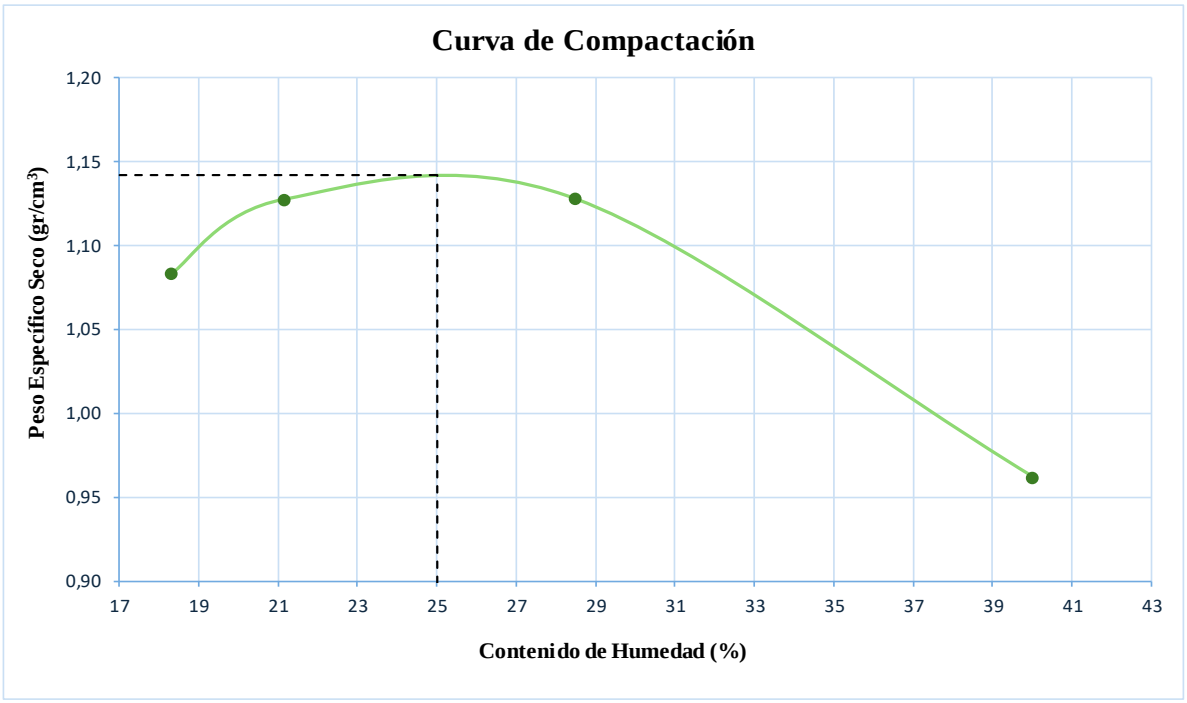
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	31,10	30,60	30,90	31,10	31,00	31,20	31,00	30,50
Peso suelo húm. + recip (gr)	78,80	82,40	76,80	78,00	65,50	83,20	82,60	80,40
Peso suelo seco + recip (gr)	71,30	74,50	68,80	69,80	57,90	71,60	68,00	66,00
Peso del agua (gr)	7,50	7,90	8,00	8,20	7,60	11,60	14,60	14,40
Peso suelo seco (gr)	40,20	43,90	37,90	38,70	26,90	40,40	37,00	35,50
Contenido de agua (%)	18,66	18,00	21,11	21,19	28,25	28,71	39,46	40,56
W (%) Promedio	18,33		21,15		28,48		40,01	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,084		1,1277		1,1280		0,9617	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,142
Humedad Óptima:	25,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 19: CBR Muestra 1, 10% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	1

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55

Proceso de Compactación

Nro. De golpes por capa	11	27	56
Muestra húmeda + molde (gr)	10826	12884	11974
Masa del molde (gr)	7758,5	9589	8344,5
Masa muestra húmeda (gr)	3067,5	3295	3629,5
Volumen muestra (cm3)	2247,44	2247,44	2247,44
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,365	1,466	1,615

Contenido de Humedad

	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	76,50	82,50	78,80	76,40	72,50	74,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	67,00	71,60	68,90	66,80	63,80	64,90
Masa recipiente (gr)	31,00	31,10	30,90	30,60	31,00	31,00
Masa del agua (gr)	9,50	10,90	9,90	9,60	8,70	9,10
Masa suelo seco (gr)	36,00	40,50	38,00	36,20	32,80	33,90
Contenido de humedad (w%)	26,39	26,91	26,05	26,52	26,52	26,84
W % promedio	26,65		26,29		26,68	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,078		1,161		1,275	

Después de la Saturación

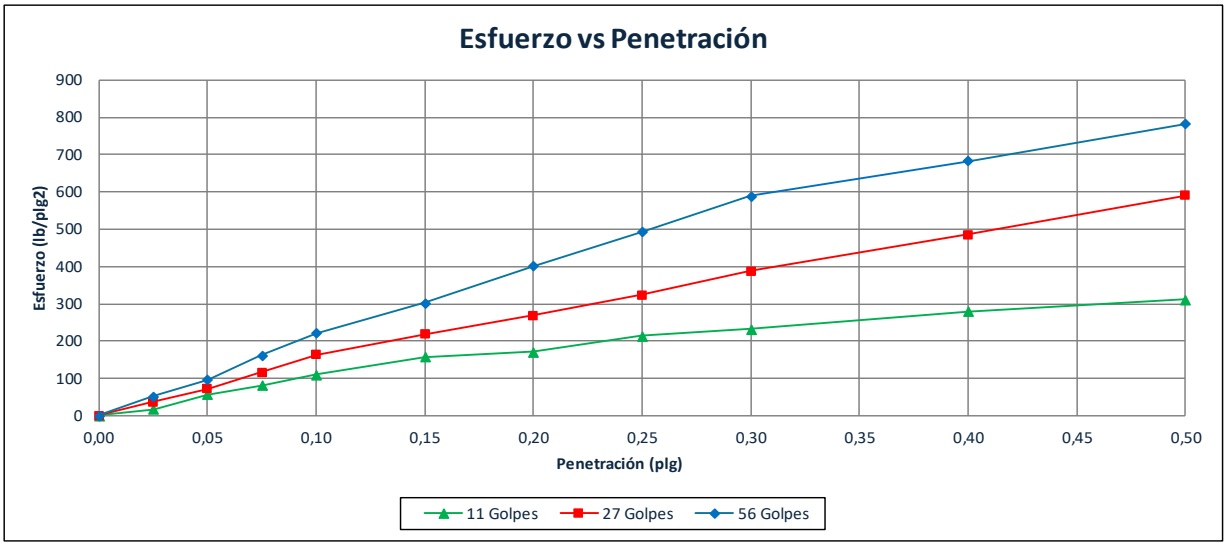
Muestra húmeda + molde (gr)	11168	12947	11993
Masa del molde (gr)	7758,5	9589	8344,5
Masa muestra húmeda (gr)	3409,5	3358	3648,5
Volumen muestra (cm3)	2247,44	2247,44	2247,44
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,517	1,494	1,623

Contenido de Humedad

	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
Masa suelo húmedo + recip (gr)	82,00	85,50	76,50	72,00	84,40	86,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	64,70	67,00	62,20	59,10	69,10	70,00
Masa recipiente (gr)	31,10	30,90	30,60	31,00	31,00	30,90
Masa del agua (gr)	17,30	18,50	14,30	12,90	15,30	16,00
Masa suelo seco (gr)	33,60	36,10	31,60	28,10	38,10	39,10
Contenido de humedad (w%)	51,49	51,25	45,25	45,91	40,16	40,92
W % promedio	51,37		45,58		40,54	

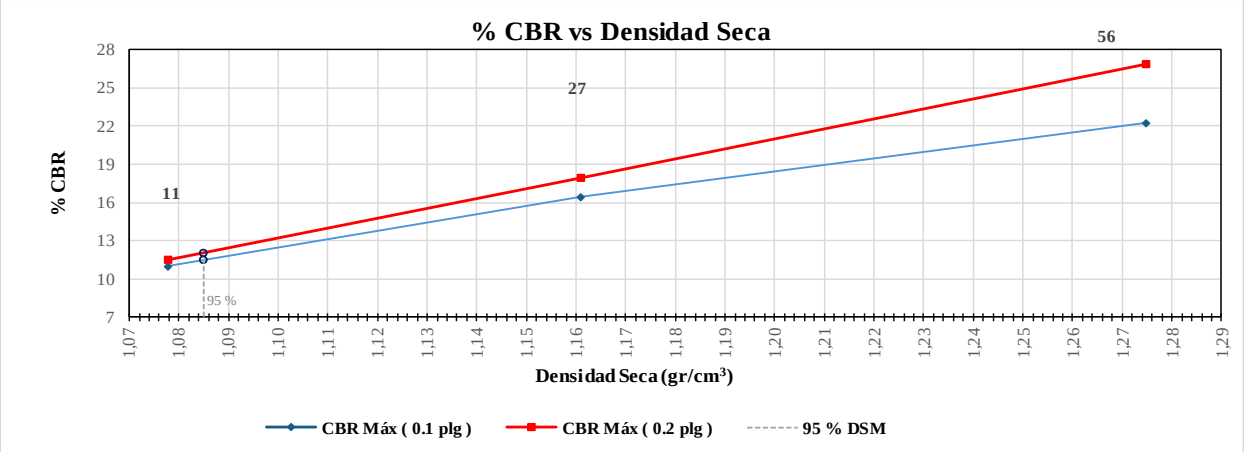
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	50,16	16,72	112,40	37,47	158,90	52,97
0,050	172,40	57,47	216,50	72,17	289,70	96,57
0,075	245,60	81,87	348,60	116,20	486,90	162,30
0,10	329,40	109,80	492,50	164,17	667,20	222,40
0,15	472,10	157,37	654,80	218,27	907,80	302,60
0,20	515,60	171,87	806,40	268,80	1206,40	402,13
0,25	643,80	214,60	973,10	324,37	1478,00	492,67
0,30	694,80	231,60	1163,40	387,80	1768,90	589,63
0,40	838,60	279,53	1457,90	485,97	2045,30	681,77
0,50	934,80	311,60	1769,80	589,93	2349,50	783,17

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	222,40	22,24	1,275	402,13	26,81	1,275
2	164,17	16,42	1,161	268,80	17,92	1,161
3	109,80	10,98	1,078	171,87	11,46	1,078

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,142	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,085	**11,50**	**12,00**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 20: Proctor Modificado M1, 12% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9831479.00 , 833697.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	1

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13953,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2208,93
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	35	35	40	50
Humedad añadida (ml)	1750	1250	1600	1950
Suelo húmedo + molde (gr)	16626,5	16784	16989,5	17084,5
Peso suelo húmedo (gr)	2674	2831	3037	3132
Peso unitario húm. (gr)	1,210	1,282	1,375	1,418

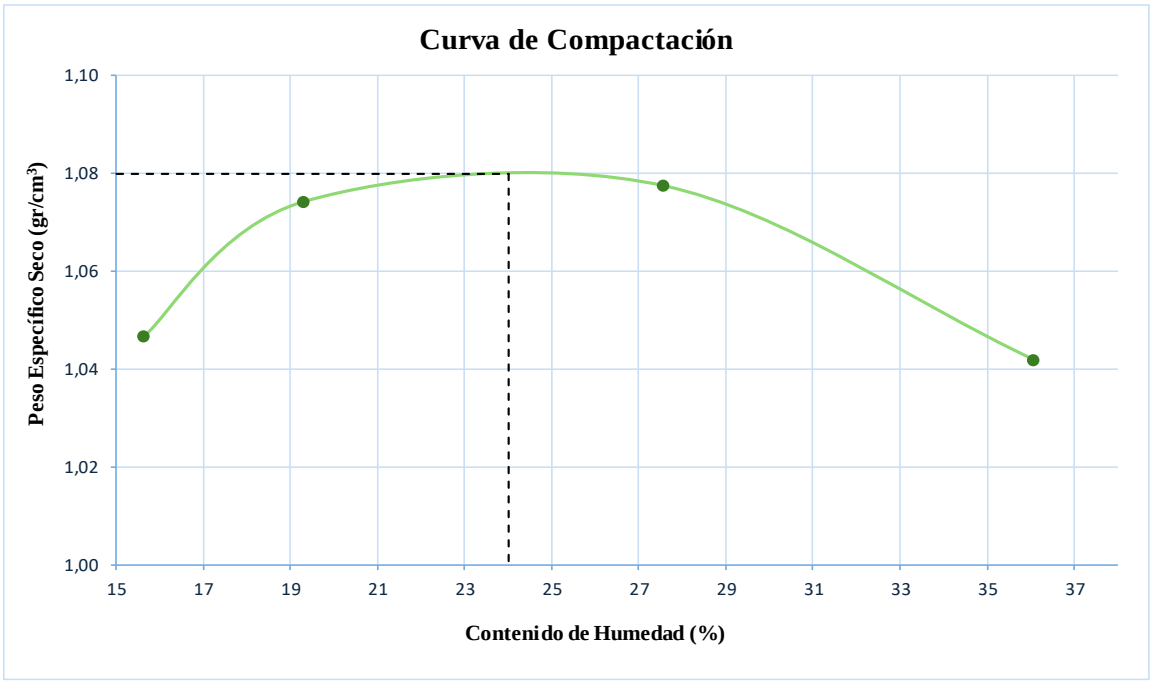
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10	30,70	31,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	75,50	78,00	82,40	84,70	66,50	78,50	73,20	75,10
Peso suelo seco + recip (gr)	69,20	71,50	74,00	76,00	59,00	68,00	62,00	63,40
Peso del agua (gr)	6,30	6,50	8,40	8,70	7,50	10,50	11,20	11,70
Peso suelo seco (gr)	39,90	42,00	43,50	45,10	28,10	36,90	31,30	32,20
Contenido de agua (%)	15,79	15,48	19,31	19,29	26,69	28,46	35,78	36,34
W (%) Promedio	15,63		19,30		27,57		36,06	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,047		1,0743		1,0775		1,0419	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,080
Humedad Óptima:	24,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



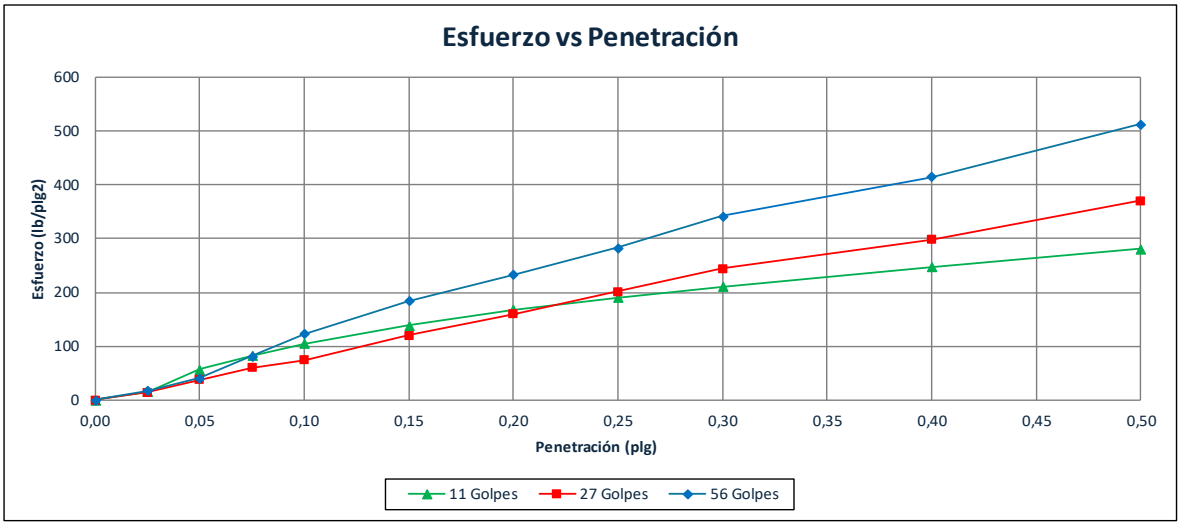
Anexo 21: CBR Muestra 1, 12% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA					
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena		**UBICACIÓN:**		Puyo	
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún		**COORDENADAS**		9831479.00 , 833697.00	
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**#MUESTRA:**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9546		11349		12004,8	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	2810		3033		3359,3	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,250		1,357		1,495	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	82,40	81,10	72,60	77,50	90,40	96,60
Masa suelo seco + recip. (gr)	72,20	71,10	64,50	68,20	78,80	83,60
Masa recipiente (gr)	30,90	31,10	31,00	30,60	30,70	30,90
Masa del agua (gr)	10,20	10,00	8,10	9,30	11,60	13,00
Masa suelo seco (gr)	41,30	40,00	33,50	37,60	48,10	52,70
Contenido de humedad (w%)	24,70	25,00	24,18	24,73	24,12	24,67
W % promedio	24,85		24,46		24,39	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,001		1,090		1,202	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	9873		11577		12101,4	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3137		3261		3455,9	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,396		1,459		1,538	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
Masa suelo húmedo + recip (gr)	70,30	75,00	81,50	84,00	83,30	86,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	57,20	60,20	66,00	67,60	68,40	70,50
Masa recipiente (gr)	31,10	31,20	31,10	31,00	30,80	31,10
Masa del agua (gr)	13,10	14,80	15,50	16,40	14,90	15,50
Masa suelo seco (gr)	26,10	29,00	34,90	36,60	37,60	39,40
Contenido de humedad (w%)	50,19	51,03	44,41	44,81	39,63	39,34
W % promedio	50,61		44,61		39,48	

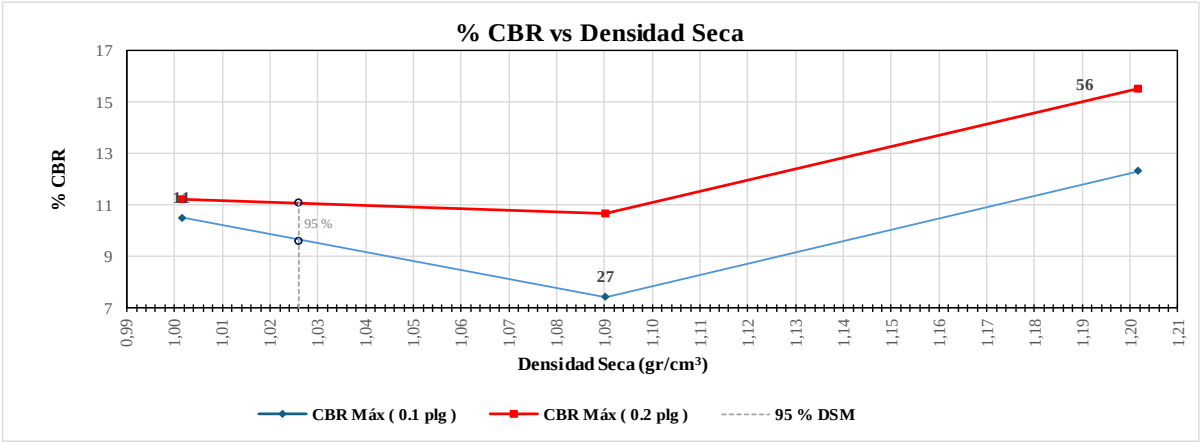
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	45,40	15,13	43,62	14,54	51,73	17,24
0,050	172,01	57,34	112,84	37,61	122,99	41,00
0,075	248,17	82,72	179,87	59,96	244,87	81,62
0,10	315,54	105,18	222,98	74,33	369,21	123,07
0,15	416,72	138,91	360,84	120,28	552,89	184,30
0,20	505,72	168,57	479,94	159,98	698,95	232,98
0,25	571,57	190,52	604,79	201,60	850,00	283,33
0,30	633,36	211,12	733,27	244,42	1026,91	342,30
0,40	741,55	247,18	894,97	298,32	1241,44	413,81
0,50	844,08	281,36	1112,20	370,73	1539,59	513,20

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	123,07	12,31	1,202	232,98	15,53	1,202
2	74,33	7,43	1,090	159,98	10,67	1,090
3	105,18	10,52	1,001	168,57	11,24	1,001

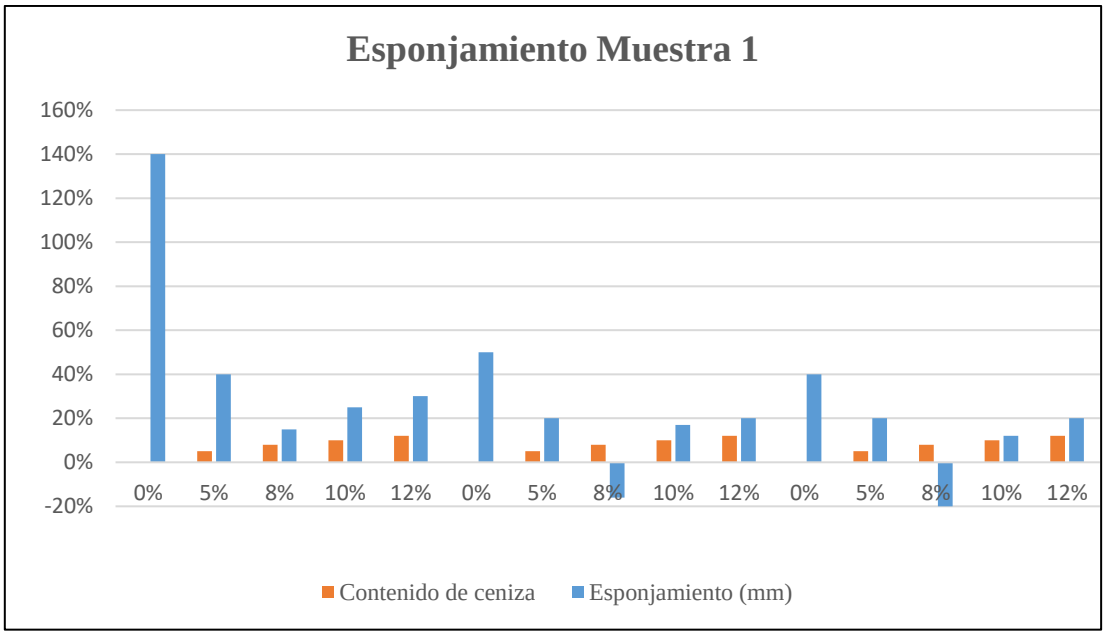
Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,080	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,026	**9,60**	**11,10**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 22: Esponjamiento Muestra 1

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
6	11	0%	22,60	24,00	1,40
16		5%	20,60	21,00	0,40
6		8%	27,00	27,15	0,15
16		10%	28,10	28,35	0,25
6		12%	27,30	27,60	0,30
14	27	0%	25,70	26,20	0,50
22		5%	13,00	13,20	0,20
14		8%	18,10	17,94	-0,16
22		10%	19,40	19,57	0,17
14		12%	18,40	18,60	0,20
5	56	0%	17,00	17,40	0,40
14		5%	20,80	21,00	0,20
5		8%	29,40	29,20	-0,20
14		10%	29,50	29,62	0,12
5		12%	29,20	29,40	0,20



MUESTRA DE SUELO 2

Anexo 23: Contenido de humedad Muestra 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**			
PROYECTO:	"ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA"		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena		
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg		
NORMA:	NTE INEN 690 y ASTM D 2216		
UBICACIÓN:	Pastaza- Puyo	**# MUESTRA:**	2
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL			
N° Calicata	**2**		
Número de recipiente	T1	T2	
Peso del recipiente (Wr) (gr)	26,60	24,20	
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	83,40	72,50	
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	45,80	40,50	
Peso del agua (Ww) (gr)	37,60	32,00	
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	19,20	16,30	
Contenido de humedad (W%)	195,83	196,32	
Promedio (W%)	**196,08%**		

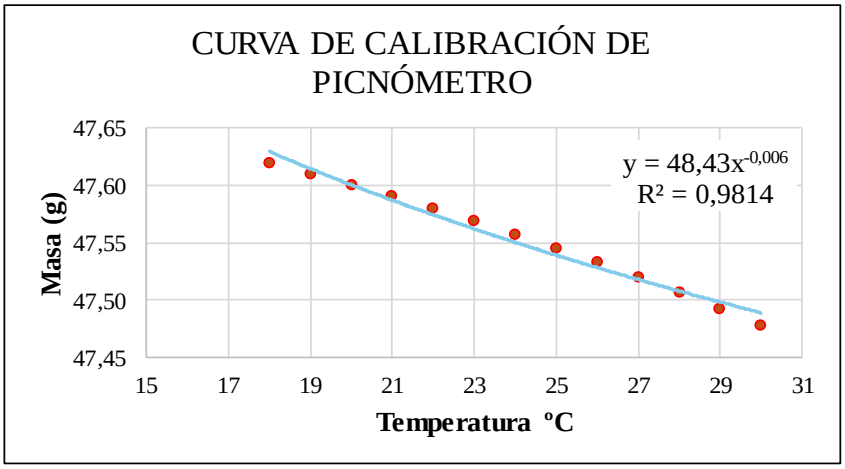
Anexo 24: Gravedad Específica Muestra Natural

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
Cantón:	Puyo	**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo muestra:**	Natural M2

Identificacion del recipiente	2	
Temperatura	20,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	127,50	g
Peso del recipiente	79,90	g
Peso del suelo seco (Ws)	47,60	g
Ws+ Wbw	720,10	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	702,40	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	17,70	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	1,00000	
Gravedad específica (Gs)	**2,689**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	47,62
19	47,61
20	47,60
21	47,59
22	47,58
23	47,57
24	47,56
25	47,54
26	47,53
27	47,52
28	47,51
29	47,49
30	47,48



Anexo 25: Granulometría Muestra 2 Natural

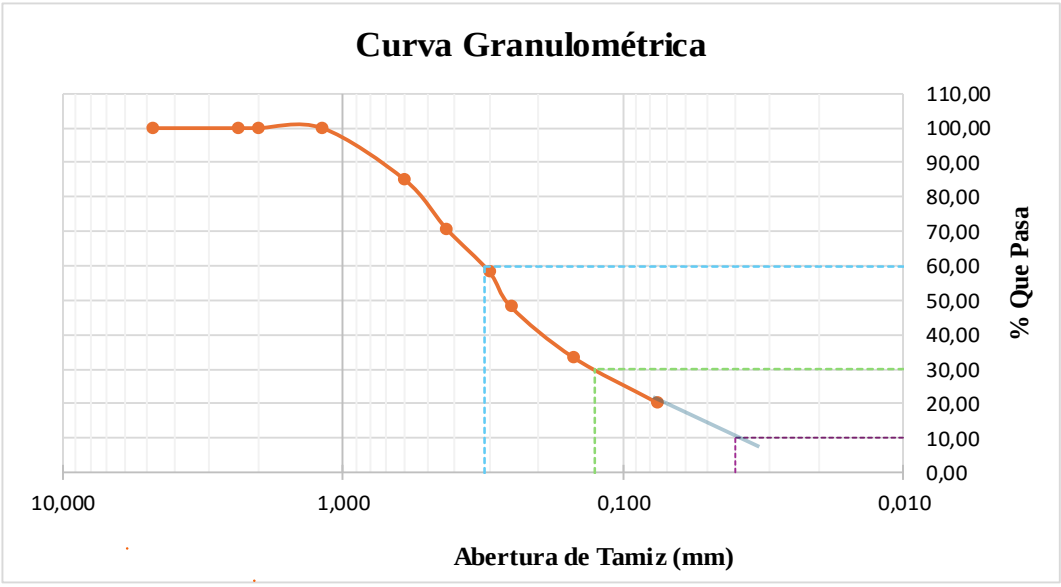
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	9829144.00,831812.00
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
30	0,6	74,60	74,60	14,98	85,02
40	0,425	71,30	145,90	29,30	70,70
50	0,3	61,50	207,40	41,65	58,35
60	0,25	51,40	258,80	51,98	48,02
100	0,15	72,80	331,60	66,60	33,40
200	0,075	65,80	397,40	79,82	20,18
BANDEJA		100,50	497,90	100,00	0,00

RESULTADOS



D10	0,040	D30	0,126	D60	0,313

Cu	7,825	Cc	1,268	TNM	1,180

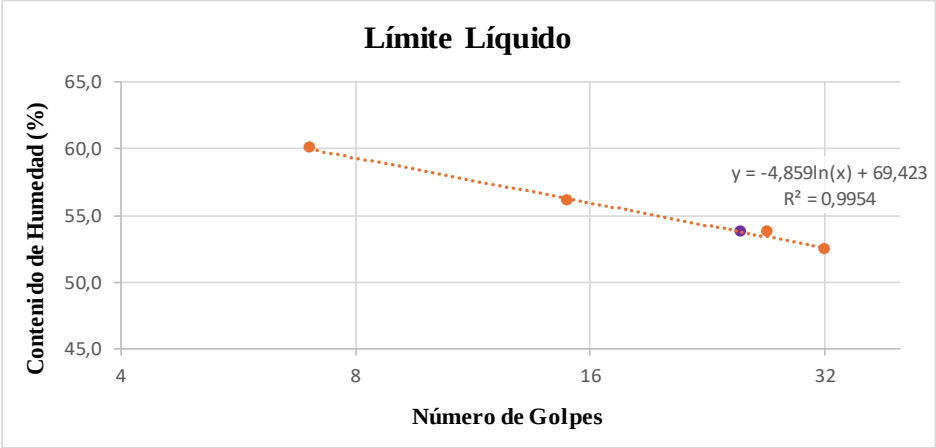
Anexo 26: Límites de Atterberg Muestra 2 Natural

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	9829144.00,831812.00
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**# MUESTRA**	2

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**7**		**15**		**27**		**32**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	11,30	7,50	11,50	11,30	11,50	11,30	10,90	11,30
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	17,20	12,80	16,50	16,60	16,50	16,60	15,50	16,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	15,00	10,80	14,70	14,70	14,80	14,70	13,90	14,60
Peso del agua (Ww) (gr)	2,20	2,00	1,80	1,90	1,70	1,90	1,60	1,70
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	3,70	3,30	3,20	3,40	3,30	3,40	3,00	3,30
Contenido de humedad (W%)	59,46	60,61	56,25	55,88	51,52	55,88	53,33	51,52
Promedio (W%)	60,04		56,07		53,70		52,43	
Límite Líquido (LL%)	**53,78**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	11	13	18	19	24
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,70	6,20	5,90	5,90	6,10
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	11,70	7,20	7,10	7,10	7,10
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	11,40	6,90	6,70	6,70	6,80
Peso del agua (Ww) (gr)	0,30	0,30	0,40	0,40	0,30
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,70	0,70	0,80	0,80	0,70
Contenido de humedad (W%)	42,86	42,86	50,00	50,00	42,86
Promedio (W%)	45,72				

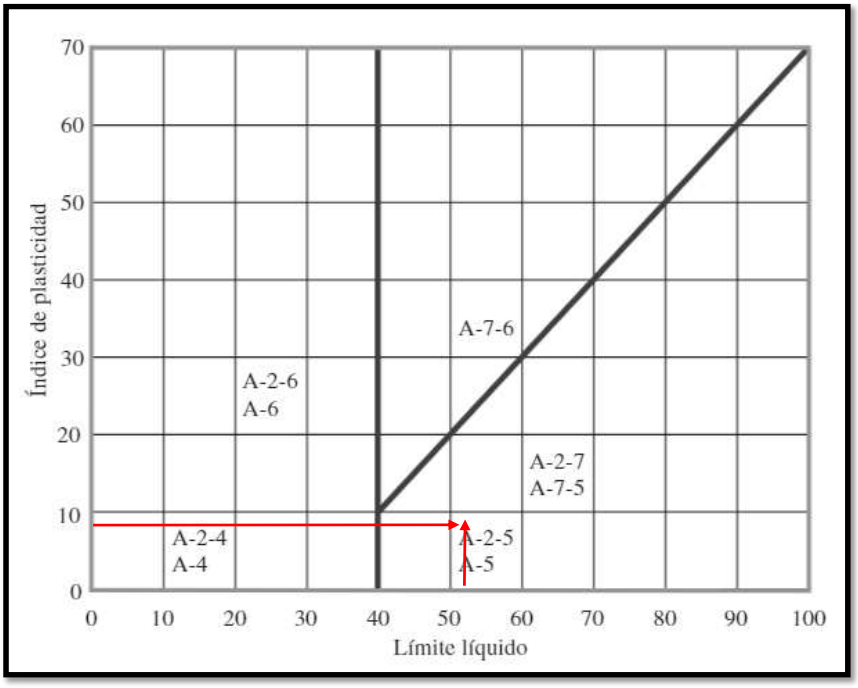
RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
53,78	45,72	8,07

Anexo 27: Clasificación M2 Natural AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				

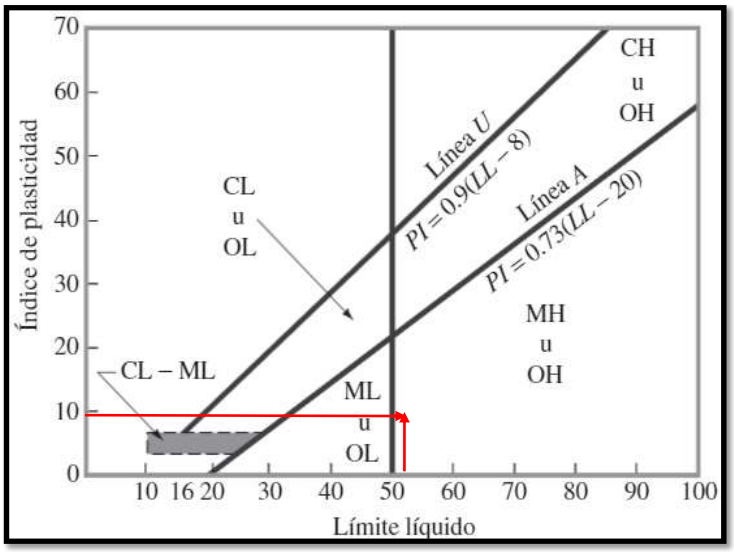


Anexo 28: Clasificación M2 Natural SUCS

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[f]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[f]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.



Anexo 29: Proctor Modificado M2 Natural

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	2

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	15151,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2328,02
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	15	20	25	31
Humedad añadida (ml)	750	1000	1250	1550
Suelo húmedo + molde (gr)	18565,5	18634,5	18624,5	18618,5
Peso suelo húmedo (gr)	3415	3484	3474	3606
Peso unitario húm. (gr)	1,467	1,496	1,492	1,569

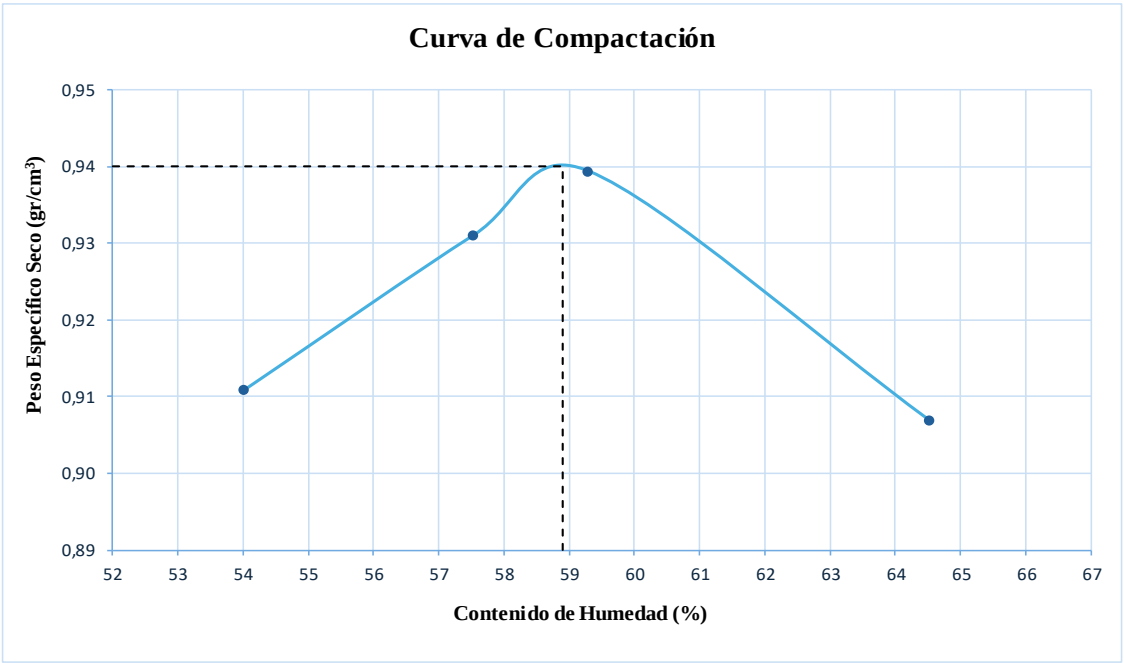
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	33,20	25,90	32,60	23,10	30,20	24,10	24,20	30,80
Peso suelo húm. + recip (gr)	125,00	89,00	134,50	102,50	106,00	99,50	109,00	164,00
Peso suelo seco + recip (gr)	92,00	65,60	96,00	73,40	76,10	70,10	73,10	106,60
Peso del agua (gr)	33,00	23,4	38,5	29,1	29,9	29,4	35,9	57,4
Peso suelo seco (gr)	58,8	39,7	63,4	50,3	45,9	46	48,9	75,8
Contenido de agua (%)	56,12	58,94	60,73	57,85	65,14	63,91	73,42	75,73
W (%) Promedio	57,53		59,29		64,53		74,57	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	0,931		0,9394		0,9069		0,8990	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	0,940
Humedad Óptima:	58,90

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 30: CBR Muestra 2 Natural

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

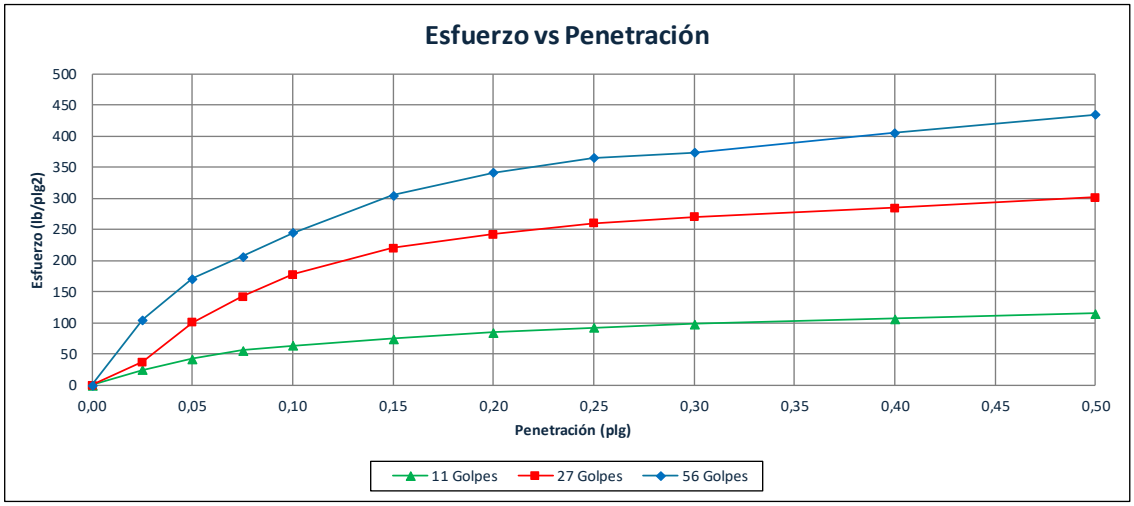
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	2

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10921,5		12839		11731,5	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3163		3250		3387	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,407		1,446		1,507	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	104,00	108,10	95,50	107,00	98,50	87,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	76,80	79,60	71,30	78,80	73,50	66,70
Masa recipiente (gr)	31,30	31,20	30,60	30,70	31,10	31,20
Masa del agua (gr)	27,20	28,50	24,20	28,20	25,00	20,80
Masa suelo seco (gr)	45,50	48,40	40,70	48,10	42,40	35,50
Contenido de humedad (w%)	59,78	58,88	59,46	58,63	58,96	58,59
W % promedio	59,33		59,04		58,78	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0,883		0,909		0,949	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	11384		13176,5		11909,5	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3625,5		3587,5		3565	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,613		1,596		1,586	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
Masa suelo húmedo + recip (gr)	92,50	98,00	72,00	76,00	74,50	73,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	68,30	71,40	55,80	58,20	57,50	56,70
Masa recipiente (gr)	31,30	30,60	30,70	30,90	31,20	31,10
Masa del agua (gr)	24,20	26,60	16,20	17,80	17,00	16,30
Masa suelo seco (gr)	37,00	40,80	25,10	27,30	26,30	25,60
Contenido de humedad (w%)	65,41	65,20	64,54	65,20	64,64	63,67
W % promedio	65,30		64,87		64,16	

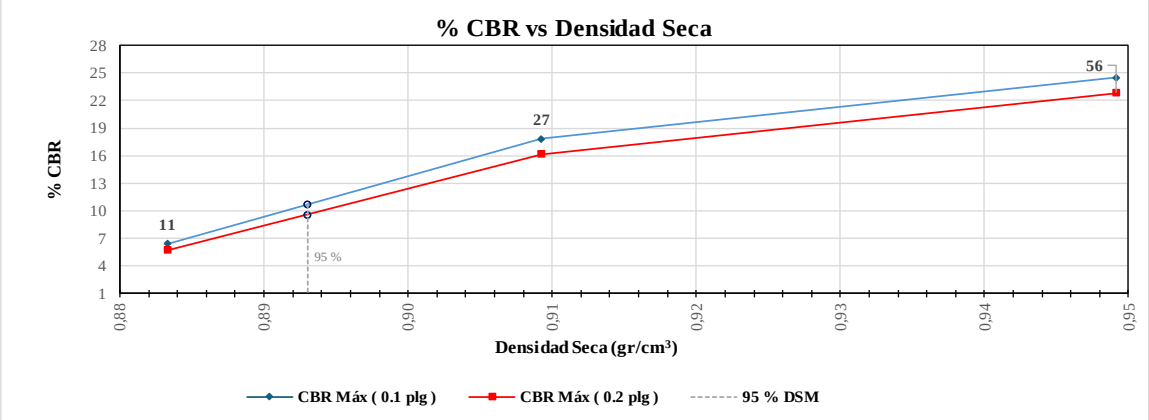
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	73,80	24,60	112,80	37,60	316,80	105,60
0,050	127,70	42,57	303,80	101,27	515,40	171,80
0,075	169,20	56,40	427,90	142,63	621,30	207,10
0,10	192,40	64,13	535,50	178,50	735,10	245,03
0,15	225,60	75,20	660,70	220,23	916,20	305,40
0,20	255,80	85,27	727,80	242,60	1025,80	341,93
0,25	278,30	92,77	781,10	260,37	1096,60	365,53
0,30	294,60	98,20	812,30	270,77	1122,50	374,17
0,40	321,20	107,07	854,80	284,93	1215,80	405,27
0,50	347,60	115,87	905,80	301,93	1305,40	435,13

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	245,03	24,50	0,949	341,93	22,80	0,949
2	178,50	17,85	0,909	242,60	16,17	0,909
3	64,13	6,41	0,883	85,27	5,68	0,883

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			0,940	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
0,893	**10,70**	**9,50**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 31: Proctor Modificado M2, 5% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	2

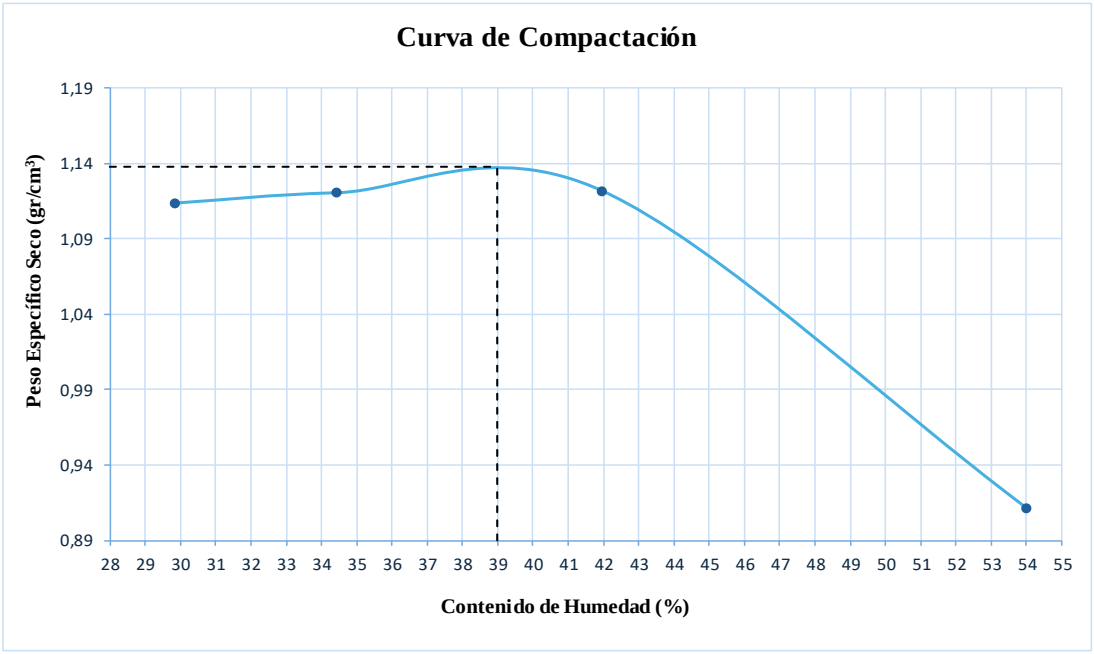
PROCTOR MODIFICADO "B"						
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14638,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2328,02
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación				
Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	20	25	30	40
Humedad añadida (ml)	1000	1250	1500	2000
Suelo húmedo + molde (gr)	18005,0	18145,0	18345,0	18212,5
Peso suelo húmedo (gr)	3367	3507	3707	3200
Peso unitario húm. (gr)	1,446	1,506	1,592	1,393

Determinacion del Contenido de Humedad								
Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10	30,70	31,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	98,00	92,00	101,00	97,00	88,00	79,80	110,00	105,00
Peso suelo seco + recip (gr)	82,00	77,80	83,00	80,00	71,00	65,50	83,40	79,50
Peso del agua (gr)	16,00	14,2	18	17	17	14,3	26,6	25,5
Peso suelo seco (gr)	52,7	48,3	52,5	49,1	40,1	34,4	52,7	48,3
Contenido de agua (%)	30,36	29,40	34,29	34,62	42,39	41,57	50,47	52,80
W (%) Promedio	29,88		34,45		41,98		51,63	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,114		1,1204		1,1215		0,9185	

RESULTADOS	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,138
Humedad Óptima:	39,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 32: CBR Muestra 2, 5% de CT

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

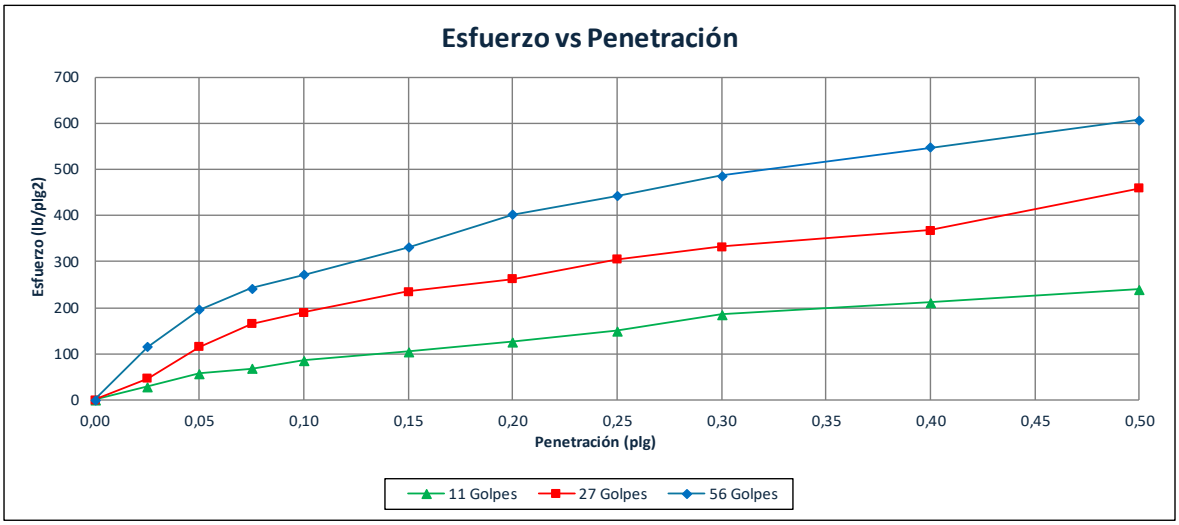
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	2

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10956		13284		12042	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3197,5		3695		3697,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,423		1,644		1,645	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	71,00	84,50	65,00	94,00	66,50	82,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	59,70	69,50	55,40	76,30	56,40	68,00
Masa recipiente (gr)	31,10	31,20	31,20	30,90	30,50	31,10
Masa del agua (gr)	11,30	15,00	9,60	17,70	10,10	14,40
Masa suelo seco (gr)	28,60	38,30	24,20	45,40	25,90	36,90
Contenido de humedad (w%)	39,51	39,16	39,67	38,99	39,00	39,02
W % promedio	39,34		39,33		39,01	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,021		1,180		1,184	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	11587		13339		12089	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3828,5		3750		3744,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,703		1,669		1,666	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1
Masa suelo húmedo + recip (gr)	73,50	75,00	71,90	80,00	62,20	65,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	57,50	58,40	58,00	63,40	52,40	55,00
Masa recipiente (gr)	30,90	31,00	31,10	31,00	30,60	31,10
Masa del agua (gr)	16,00	16,60	13,90	16,60	9,80	10,50
Masa suelo seco (gr)	26,60	27,40	26,90	32,40	21,80	23,90
Contenido de humedad (w%)	60,15	60,58	51,67	51,23	44,95	43,93
W % promedio	60,37		51,45		44,44	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	86,90	28,97	138,90	46,30	346,50	115,50
0,050	173,80	57,93	347,60	115,87	588,70	196,23
0,075	202,70	67,57	496,20	165,40	725,40	241,80
0,10	256,70	85,57	570,60	190,20	816,80	272,27
0,15	315,70	105,23	705,90	235,30	994,60	331,53
0,20	376,80	125,60	786,40	262,13	1207,70	402,57
0,25	448,20	149,40	914,80	304,93	1329,70	443,23
0,30	556,60	185,53	997,80	332,60	1459,30	486,43
0,40	634,80	211,60	1105,40	368,47	1643,20	547,73
0,50	718,90	239,63	1379,80	459,93	1823,60	607,87

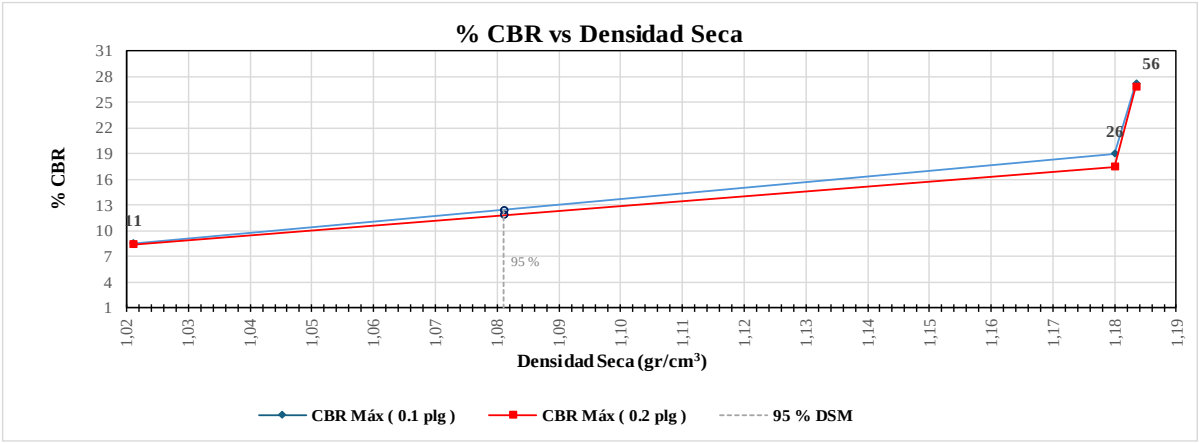
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	272,27	27,23	1,184	402,57	26,84	1,184
2	190,20	19,02	1,180	262,13	17,48	1,180
3	85,57	8,56	1,021	125,60	8,37	1,021

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,138	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,081	**12,40**	**11,90**	Subrasante	Regular - Buena

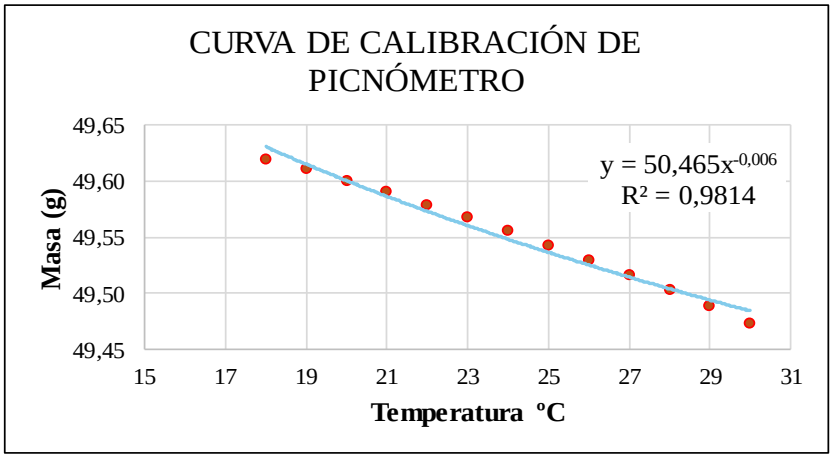
Anexo 33: Gravedad Específica Muestra 2, 8% de CT

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA			
Cantón:	Puyo		**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50	gr	**Tipo muestra:**	M2 8% Ceniza

Identificacion del recipiente	2	
Temperatura	20,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	129,50	g
Peso del recipiente	79,90	g
Peso del suelo seco (Ws)	49,60	g
Ws+ Wbw	722,10	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	701,90	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	20,20	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	1,00000	
Gravedad específica (Gs)	**2,455**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	49,62
19	49,61
20	49,60
21	49,59
22	49,58
23	49,57
24	49,55
25	49,54
26	49,53
27	49,52
28	49,50
29	49,49
30	49,47



Anexo 34: Granulometría Muestra 2, 8% de CT

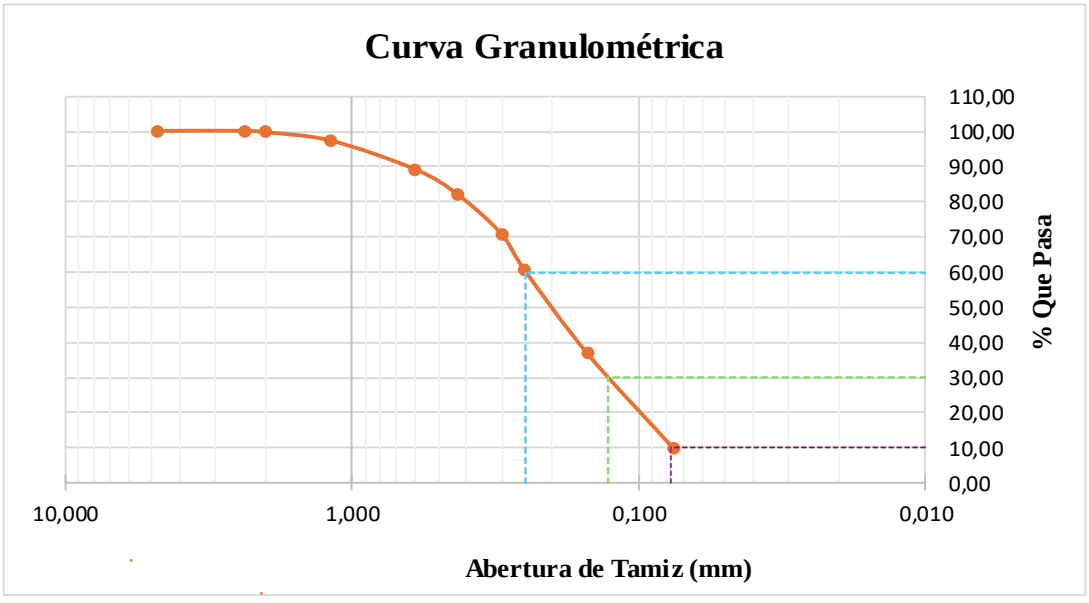
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	9829144.00,831812.00
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	1,90	1,90	0,38	99,62
16	1,18	11,90	13,80	2,78	97,22
30	0,6	40,40	54,20	10,94	89,06
40	0,425	35,80	90,00	18,16	81,84
50	0,3	55,20	145,20	29,30	70,70
60	0,25	49,90	195,10	39,37	60,63
100	0,15	118,90	314,00	63,36	36,64
200	0,075	133,70	447,70	90,33	9,67
BANDEJA		47,90	495,60	100,00	0,00

RESULTADOS



D10	0,077	D30	0,128	D60	0,249
Cu	3,234	Cc	0,855	TNM	2,360

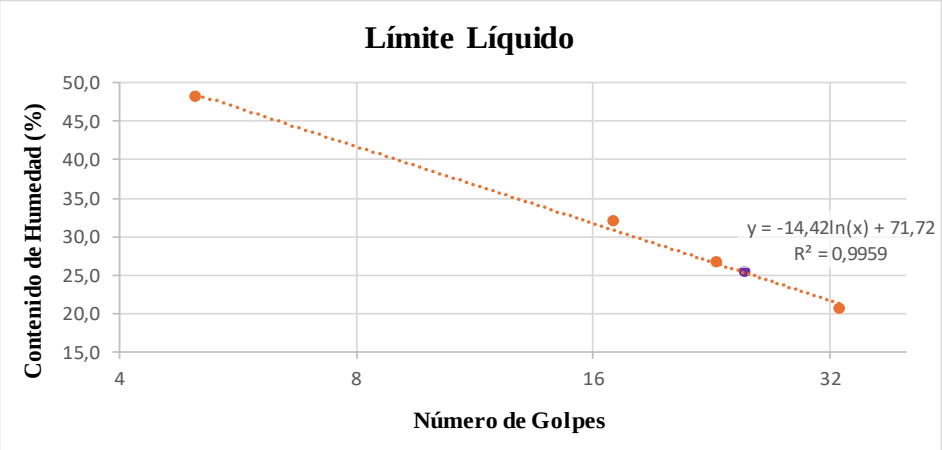
Anexo 35: Límites de Atterberg Muestra 2, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	9829144.00,831812.00
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**# MUESTRA**	2

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**5**		**17**		**23**		**33**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	7,40	7,30	4,10	7,30	7,30	7,40	7,50	4,40
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	13,50	13,20	17,40	17,60	18,00	18,10	15,80	16,00
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	11,50	11,30	14,20	15,10	15,80	15,80	14,40	14,00
Peso del agua (Ww) (gr)	2,00	1,90	3,20	2,50	2,20	2,30	1,40	2,00
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	4,10	4,00	10,10	7,80	8,50	8,40	6,90	9,60
Contenido de humedad (W%)	48,78	47,50	31,68	32,05	25,88	27,38	20,29	20,83
Promedio (W%)	48,14		31,87		26,63		20,56	
Límite Líquido (LL%)	**25,30**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	11	13	18	19	24
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,60	10,30	6,10	6,00	6,20
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	11,20	10,90	6,80	6,90	7,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	11,12	10,81	6,70	6,75	7,14
Peso del agua (Ww) (gr)	0,08	0,09	0,10	0,15	0,16
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,52	0,51	0,60	0,75	0,94
Contenido de humedad (W%)	15,38	17,65	16,67	20,00	17,02
Promedio (W%)	17,34				

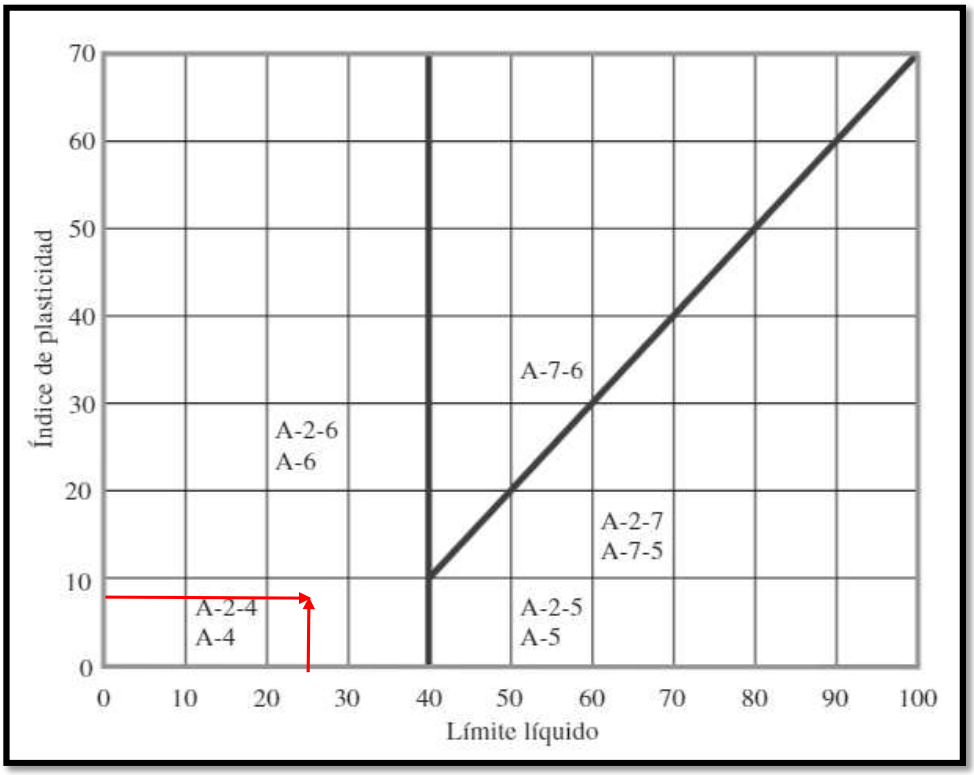
RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
25,30	17,34	7,96

Anexo 36: Clasificación M2, 8% de CT AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				



Anexo 37: Clasificación M2, 8% de CT SUCS

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[f]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[f]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos *PI* en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos *PI* por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

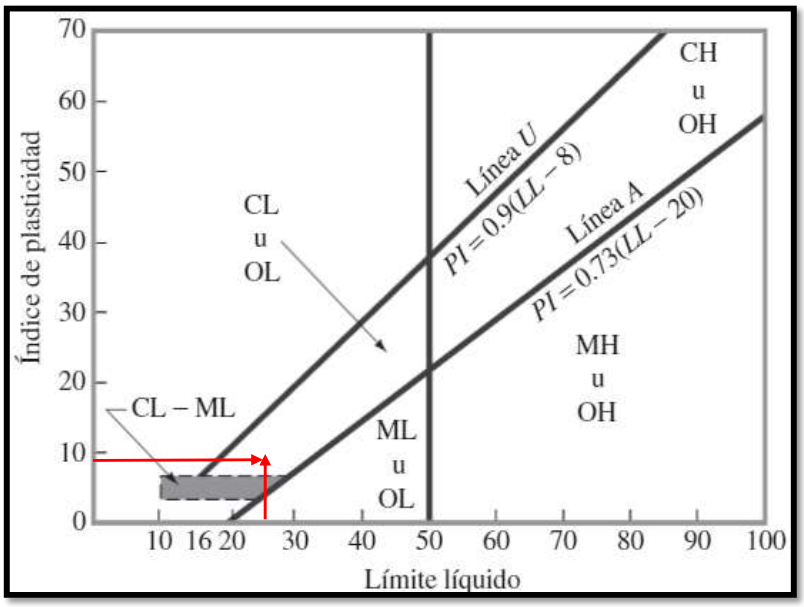
[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.



Anexo 38: Proctor Modificado M2, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	2

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13909,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2297,29
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	20	25	30	38
Humedad añadida (ml)	1000	1250	1500	1900
Suelo húmedo + molde (gr)	17105,5	17350,0	17680,0	17568,8
Peso suelo húmedo (gr)	3197	3441	3771	2556
Peso unitario húm. (gr)	1,391	1,498	1,641	1,113

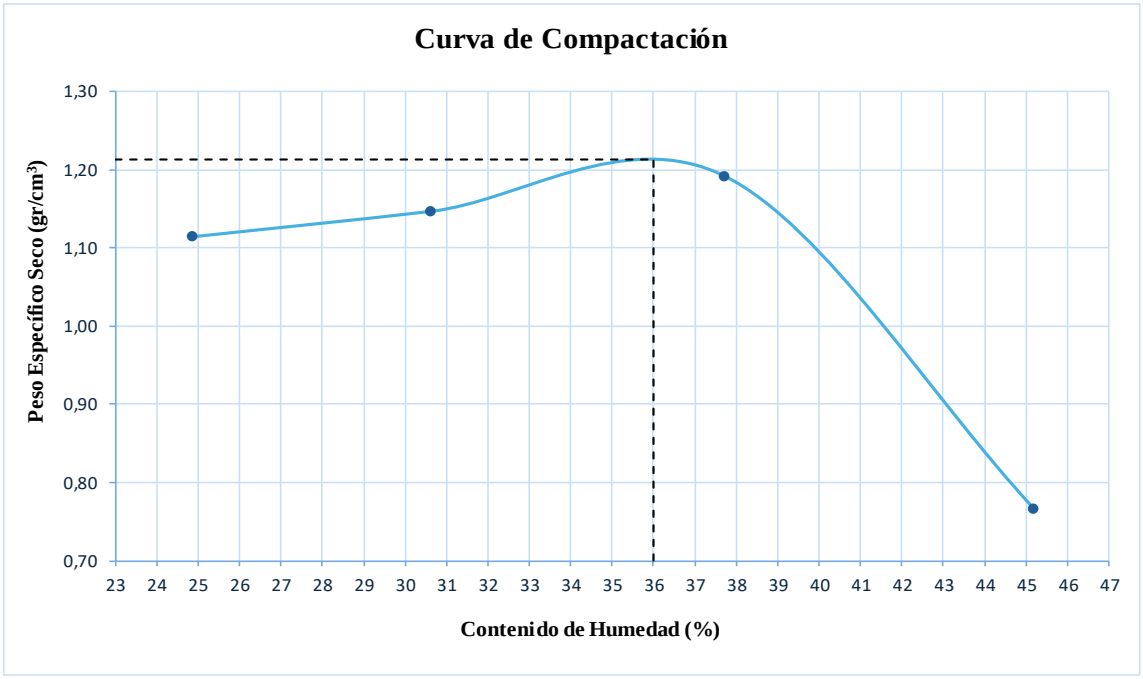
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10	30,70	31,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	80,00	88,00	72,00	76,00	98,00	102,00	95,00	98,90
Peso suelo seco + recip (gr)	70,20	76,00	62,20	65,50	79,70	82,50	75,20	77,60
Peso del agua (gr)	9,80	12	9,8	10,5	18,3	19,5	19,8	21,3
Peso suelo seco (gr)	40,9	46,5	31,7	34,6	48,8	51,4	44,5	46,4
Contenido de agua (%)	23,96	25,81	30,91	30,35	37,50	37,94	44,49	45,91
W (%) Promedio	24,88		30,63		37,72		45,20	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,114		1,1466		1,1919		0,7662	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,213
Humedad Óptima:	36,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 39: CBR Muestra 2, 8% de CT

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

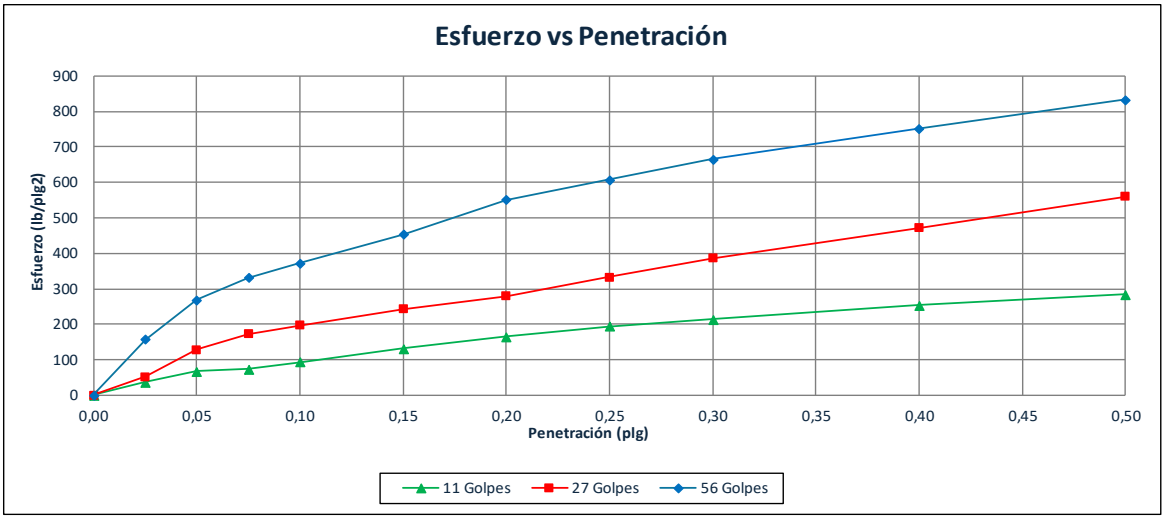
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	2

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10125		11864		12246	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3389		3548		3600,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,508		1,587		1,602	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	62,00	68,00	75,50	81,50	86,00	80,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	53,70	58,10	63,60	68,10	71,40	67,20
Masa recipiente (gr)	30,90	31,10	31,00	31,20	31,10	30,60
Masa del agua (gr)	8,30	9,90	11,90	13,40	14,60	13,30
Masa suelo seco (gr)	22,80	27,00	32,60	36,90	40,30	36,60
Contenido de humedad (w%)	36,40	36,67	36,50	36,31	36,23	36,34
W % promedio	36,54		36,41		36,28	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,104		1,164		1,176	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	10394		11926		12272	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3658		3610		3626,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,628		1,615		1,614	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7
Masa suelo húmedo + recip (gr)	70,20	61,30	76,70	74,70	66,50	65,90
Masa suelo seco + recip. (gr)	55,80	50,00	62,40	61,30	56,40	56,00
Masa recipiente (gr)	31,10	30,90	30,60	31,10	31,20	31,00
Masa del agua (gr)	14,40	11,30	14,30	13,40	10,10	9,90
Masa suelo seco (gr)	24,70	19,10	31,80	30,20	25,20	25,00
Contenido de humedad (w%)	58,30	59,16	44,97	44,37	40,08	39,60
W % promedio	58,73		44,67		39,84	

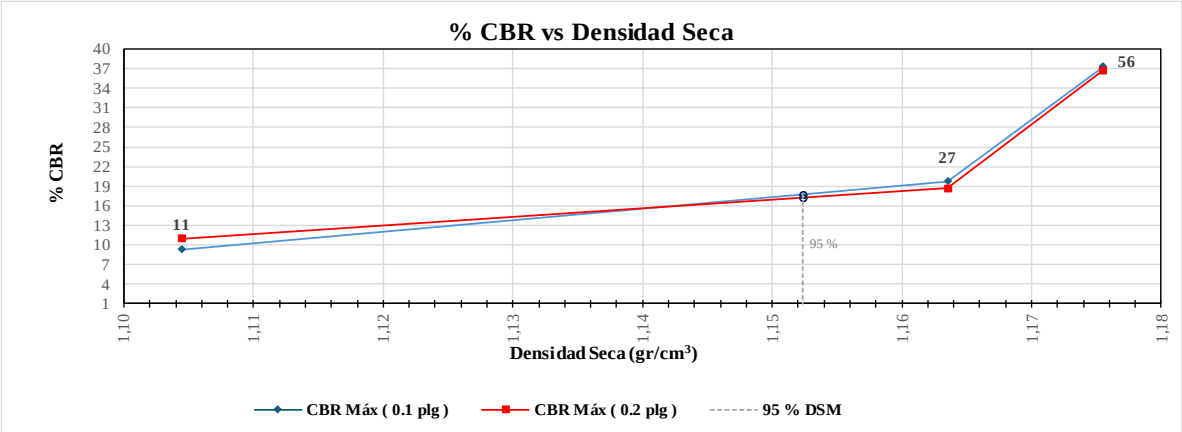
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	113,70	37,90	156,50	52,17	474,50	158,17
0,050	202,40	67,47	387,90	129,30	806,20	268,73
0,075	222,40	74,13	517,90	172,63	993,40	331,13
0,10	279,40	93,13	593,50	197,83	1118,50	372,83
0,15	393,80	131,27	729,80	243,27	1362,00	454,00
0,20	493,60	164,53	839,30	279,77	1653,80	551,27
0,25	583,00	194,33	998,60	332,87	1820,90	606,97
0,30	643,90	214,63	1158,10	386,03	1998,30	666,10
0,40	759,60	253,20	1413,70	471,23	2250,20	750,07
0,50	853,30	284,43	1679,20	559,73	2497,20	832,40

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	372,83	37,28	1,176	551,27	36,75	1,176
2	197,83	19,78	1,164	279,77	18,65	1,164
3	93,13	9,31	1,104	164,53	10,97	1,104

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,213	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,152	**17,70**	**17,10**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 40: Proctor Modificado M2, 10% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	2

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13909,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2297,29
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	25	30	35	45
Humedad añadida (ml)	1250	1500	1750	2250
Suelo húmedo + molde (gr)	16813,0	17206,0	17322,0	17554
Peso suelo húmedo (gr)	2904	3297	3413	2541
Peso unitario húm. (gr)	1,264	1,435	1,486	1,106

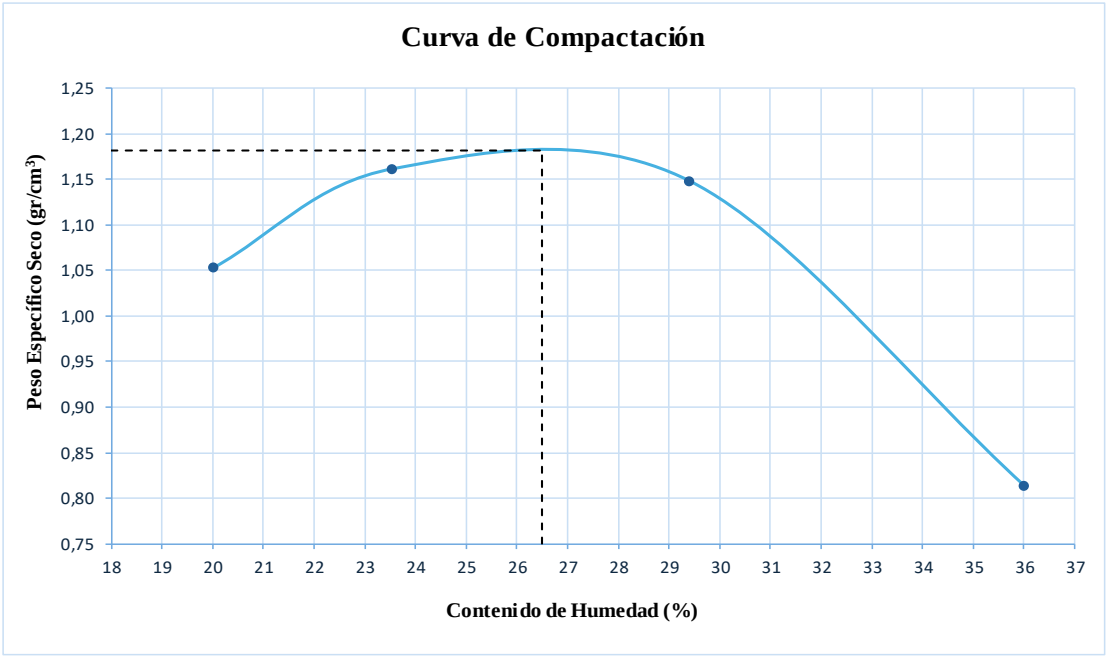
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	31,00	31,10	30,90	31,00	31,10	30,50	31,20	31,00
Peso suelo húm. + recip (gr)	85,00	88,00	75,50	74,00	92,00	93,30	80,00	78,50
Peso suelo seco + recip (gr)	76,00	78,50	67,00	65,80	78,00	79,20	67,00	66,00
Peso del agua (gr)	9,00	9,5	8,5	8,2	14	14,1	13	12,5
Peso suelo seco (gr)	45	47,4	36,1	34,8	46,9	48,7	35,8	35
Contenido de agua (%)	20,00	20,04	23,55	23,56	29,85	28,95	36,31	35,71
W (%) Promedio	20,02		23,55		29,40		36,01	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,053		1,1616		1,1481		0,8132	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,182
Humedad Óptima:	26,50

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 41: CBR Muestra 2, 10% de CT

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

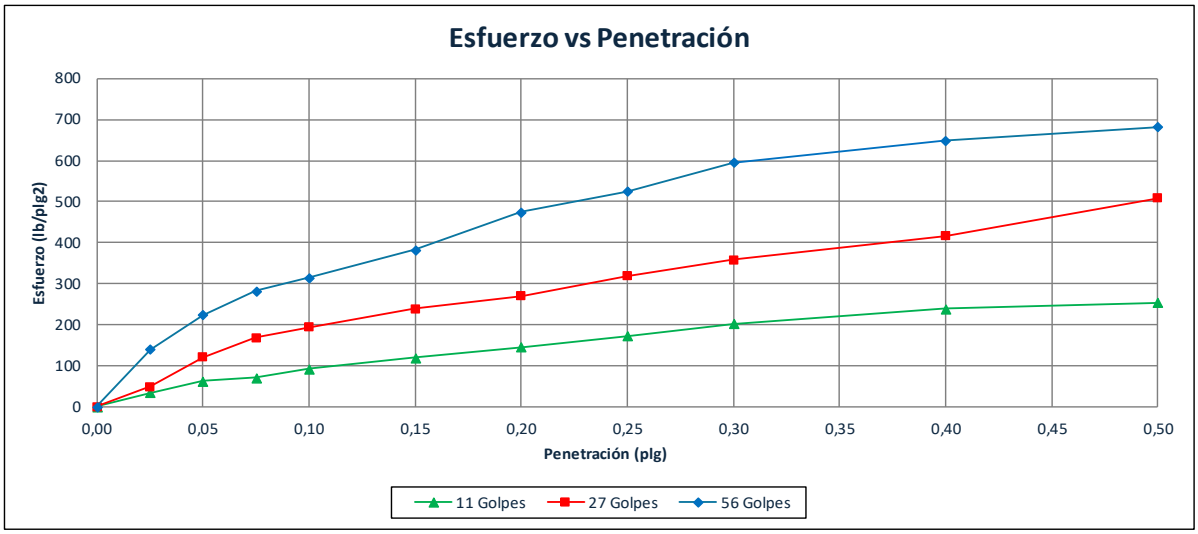
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	2

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10953		13043		11876,5	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3194,5		3454		3532	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,421		1,537		1,572	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	82,00	79,50	72,50	73,30	78,40	80,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	71,10	69,20	63,50	64,20	68,10	69,70
Masa recipiente (gr)	31,00	31,10	30,60	31,00	31,10	30,60
Masa del agua (gr)	10,90	10,30	9,00	9,10	10,30	10,70
Masa suelo seco (gr)	40,10	38,10	32,90	33,20	37,00	39,10
Contenido de humedad (w%)	27,18	27,03	27,36	27,41	27,84	27,37
W % promedio	27,11		27,38		27,60	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,118		1,206		1,232	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	11376		13182		11934	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3617,5		3593		3589,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,610		1,599		1,597	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3
Masa suelo húmedo + recip (gr)	82,00	80,40	76,00	73,40	67,90	68,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	68,00	67,00	65,00	62,80	59,50	59,80
Masa recipiente (gr)	31,10	30,90	31,00	30,60	30,90	31,00
Masa del agua (gr)	14,00	13,40	11,00	10,60	8,40	8,70
Masa suelo seco (gr)	36,90	36,10	34,00	32,20	28,60	28,80
Contenido de humedad (w%)	37,94	37,12	32,35	32,92	29,37	30,21
W % promedio	37,53		32,64		29,79	

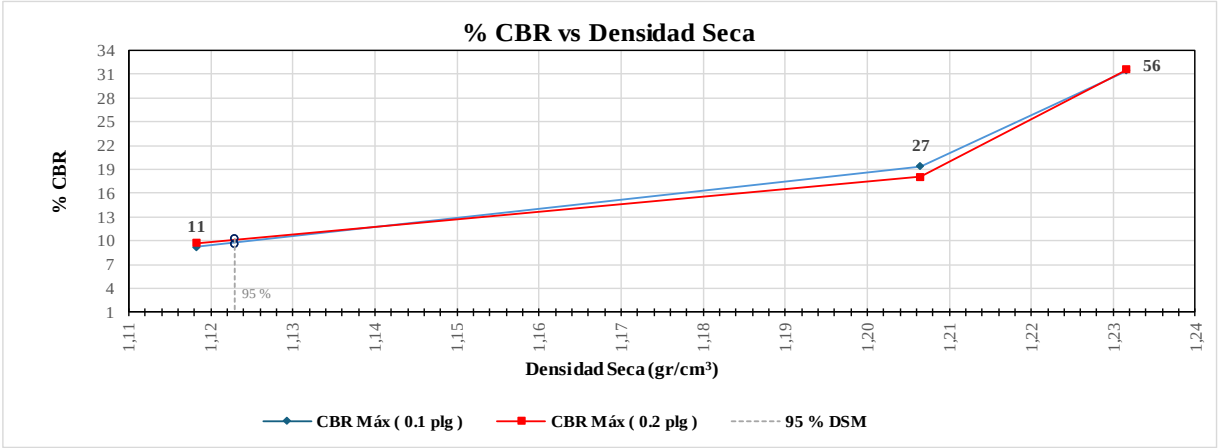
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	104,80	34,93	149,50	49,83	418,70	139,57
0,050	187,90	62,63	362,10	120,70	673,50	224,50
0,075	212,40	70,80	507,30	169,10	846,20	282,07
0,10	276,40	92,13	582,60	194,20	943,80	314,60
0,15	357,90	119,30	718,80	239,60	1149,50	383,17
0,20	437,80	145,93	812,40	270,80	1422,70	474,23
0,25	517,30	172,43	956,30	318,77	1573,40	524,47
0,30	607,80	202,60	1073,80	357,93	1785,90	595,30
0,40	715,40	238,47	1247,90	415,97	1943,50	647,83
0,50	761,80	253,93	1524,60	508,20	2047,60	682,53

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	314,60	31,46	1,232	474,23	31,62	1,232
2	194,20	19,42	1,206	270,80	18,05	1,206
3	92,13	9,21	1,118	145,93	9,73	1,118

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,182	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,123	**9,60**	**10,30**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 42: Proctor Modificado M2, 12% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	2

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14638,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2328,02
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	30	35	40	50
Humedad añadida (ml)	1500	1750	2000	2500
Suelo húmedo + molde (gr)	17756,5	17908,0	18087,5	18234
Peso suelo húmedo (gr)	3119	3270	3450	3221
Peso unitario húm. (gr)	1,340	1,405	1,482	1,402

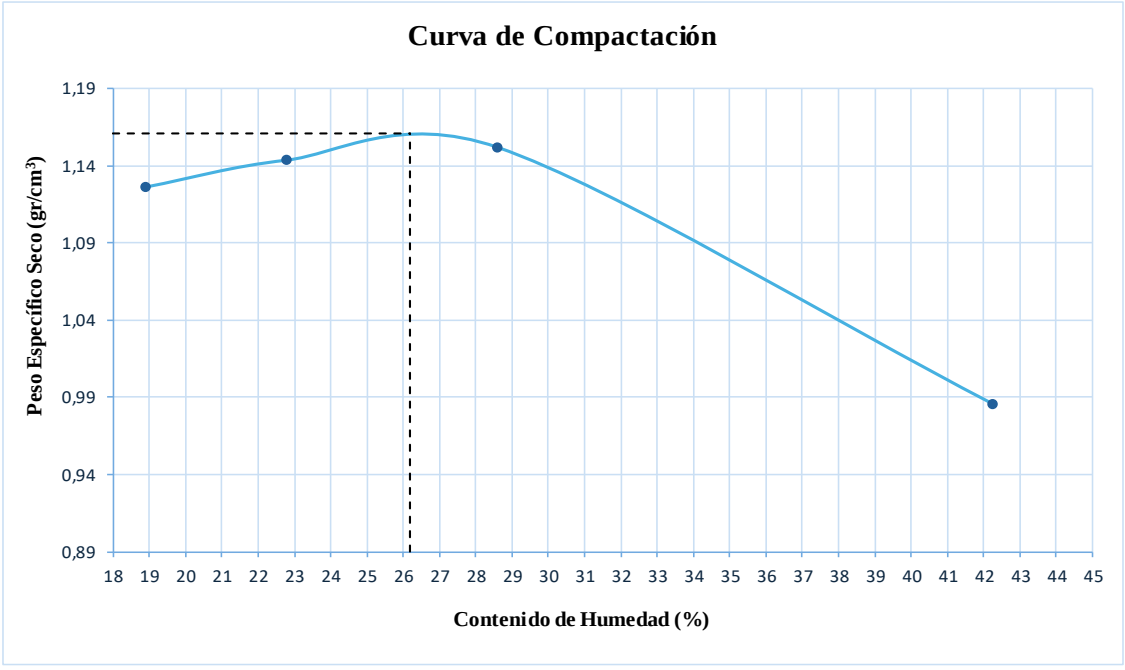
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	30,90	31,10	30,70	31,20	29,30	29,50	30,50	30,90
Peso suelo húm. + recip (gr)	88,50	92,30	84,70	80,10	94,50	97,80	105,50	101,30
Peso suelo seco + recip (gr)	79,40	82,50	74,70	71,00	80,00	82,60	83,40	80,20
Peso del agua (gr)	9,10	9,8	10	9,1	14,5	15,2	22,1	21,1
Peso suelo seco (gr)	48,5	51,4	44	39,8	50,7	53,1	52,9	49,3
Contenido de agua (%)	18,76	19,07	22,73	22,86	28,60	28,63	41,78	42,80
W (%) Promedio	18,91		22,80		28,61		42,29	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,126		1,1439		1,1521		0,9854	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,161
Humedad Óptima:	26,20

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 43: CBR Muestra 2, 12% de CT

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

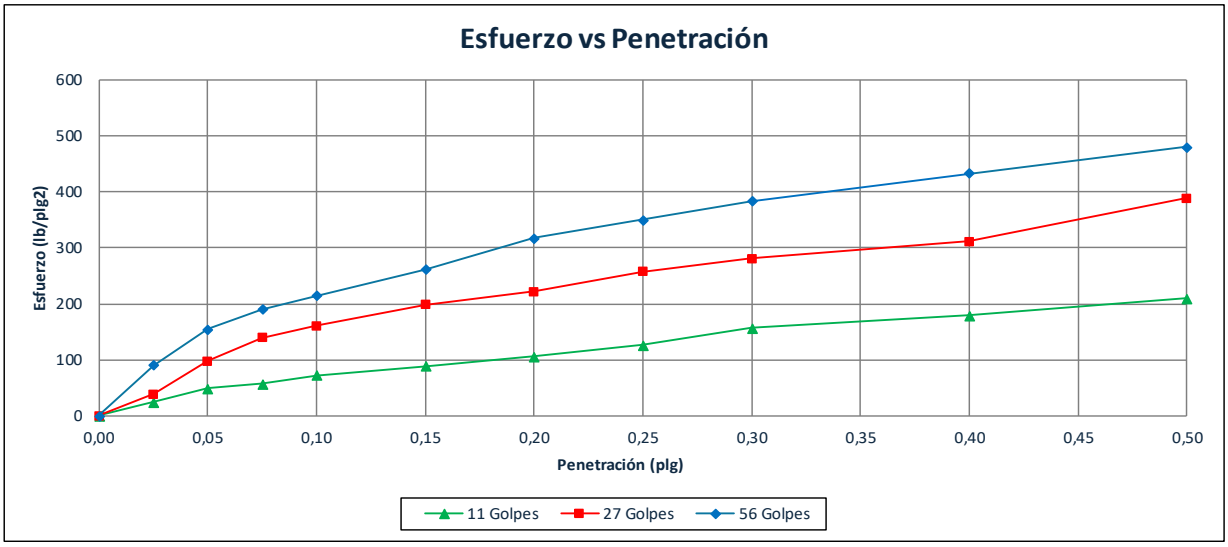
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829144.00 , 831812.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	2

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9822		11667		12127	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3086		3351		3481,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,373		1,499		1,549	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	72,00	76,60	82,00	85,50	80,00	78,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	63,30	67,00	70,90	73,80	69,70	68,40
Masa recipiente (gr)	30,80	31,10	30,90	31,00	31,00	30,80
Masa del agua (gr)	8,70	9,60	11,10	11,70	10,30	10,00
Masa suelo seco (gr)	32,50	35,90	40,00	42,80	38,70	37,60
Contenido de humedad (w%)	26,77	26,74	27,75	27,34	26,61	26,60
W % promedio	26,76		27,54		26,61	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,083		1,175		1,224	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	10176,5		11843		12178	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3440,5		3527		3532,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,531		1,578		1,572	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9
Masa suelo húmedo + recip (gr)	75,60	74,00	82,40	86,60	74,90	82,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	63,80	63,00	70,00	73,40	65,00	71,00
Masa recipiente (gr)	31,00	30,80	31,10	31,00	30,80	30,90
Masa del agua (gr)	11,80	11,00	12,40	13,20	9,90	11,40
Masa suelo seco (gr)	32,80	32,20	38,90	42,40	34,20	40,10
Contenido de humedad (w%)	35,98	34,16	31,88	31,13	28,95	28,43
W % promedio	35,07		31,50		28,69	

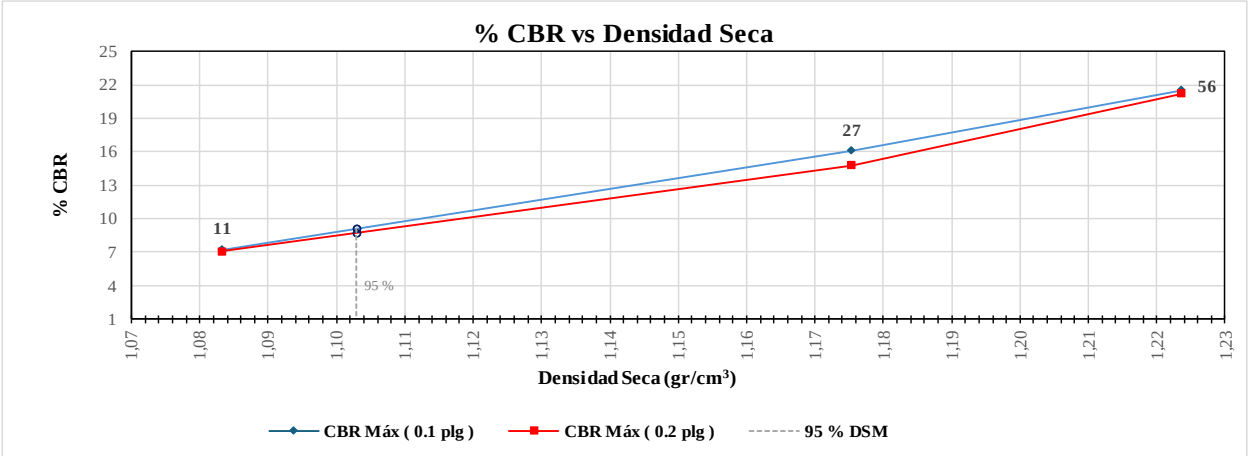
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	73,50	24,50	117,60	39,20	273,60	91,20
0,050	147,00	49,00	294,10	98,03	464,90	154,97
0,075	171,40	57,13	419,80	139,93	572,80	190,93
0,10	217,00	72,33	482,80	160,93	645,00	215,00
0,15	266,90	88,97	597,20	199,07	785,40	261,80
0,20	318,50	106,17	665,30	221,77	953,60	317,87
0,25	378,90	126,30	773,90	257,97	1050,00	350,00
0,30	470,50	156,83	844,20	281,40	1152,30	384,10
0,40	536,60	178,87	935,20	311,73	1297,50	432,50
0,50	629,30	209,77	1167,30	389,10	1440,00	480,00

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	215,00	21,50	1,224	317,87	21,19	1,224
2	160,93	16,09	1,175	221,77	14,78	1,175
3	72,33	7,23	1,083	106,17	7,08	1,083

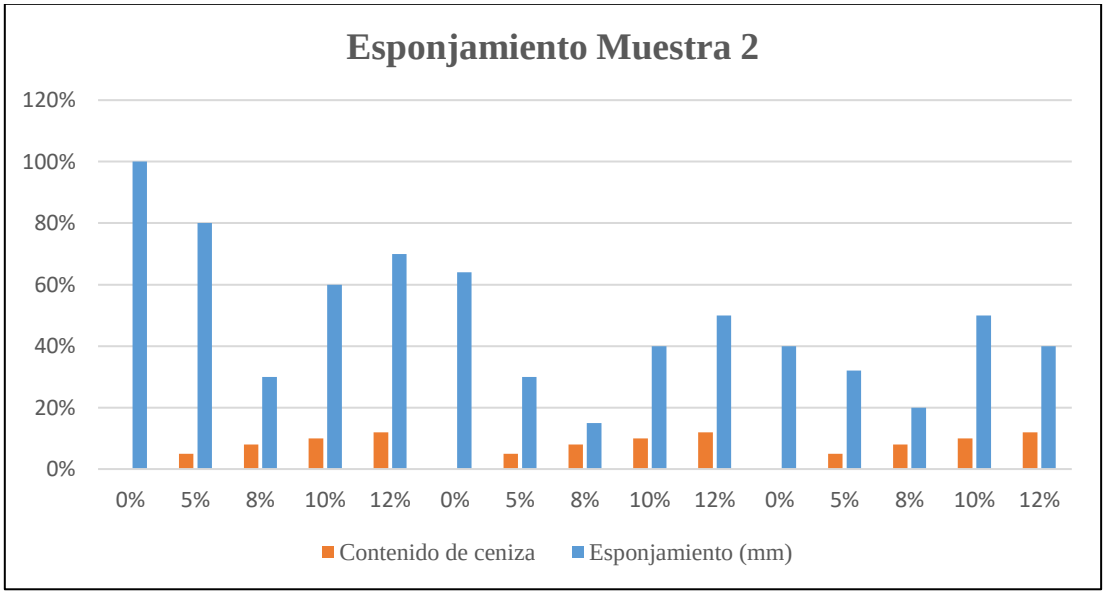
Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,161	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,103	**9,10**	**8,70**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 44: Esponjamiento Muestra 2

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
16	11	0%	23,10	24,10	1,00
16		5%	19,00	19,80	0,80
6		8%	20,70	21,00	0,30
16		10%	21,40	22,00	0,60
6		12%	21,10	21,80	0,70
22	27	0%	12,00	12,64	0,64
22		5%	10,70	11,00	0,30
14		8%	16,50	16,65	0,15
22		10%	17,50	17,90	0,40
14		12%	16,80	17,30	0,50
14	56	0%	23,10	23,50	0,40
14		5%	21,90	22,22	0,32
5		8%	23,00	23,20	0,20
14		10%	22,80	23,30	0,50
5		12%	23,4	23,8	0,4



MUESTRA DE SUELO 3

Anexo 45: Contenido de humedad Muestra 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**			
PROYECTO:	"ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA"		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena		
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg		
NORMA:	NTE INEN 690 y ASTM D 2216		
UBICACIÓN:	Pastaza- Puyo	**# MUESTRA:**	3
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL			
N° Calicata	**3**		
Número de recipiente	T1	T2	
Peso del recipiente (Wr) (gr)	24,70	22,80	
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	71,60	70,80	
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	37,50	36,00	
Peso del agua (Ww) (gr)	34,10	34,80	
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	12,80	13,20	
Contenido de humedad (W%)	266,41	263,64	
Promedio (W%)	**265,03%**		

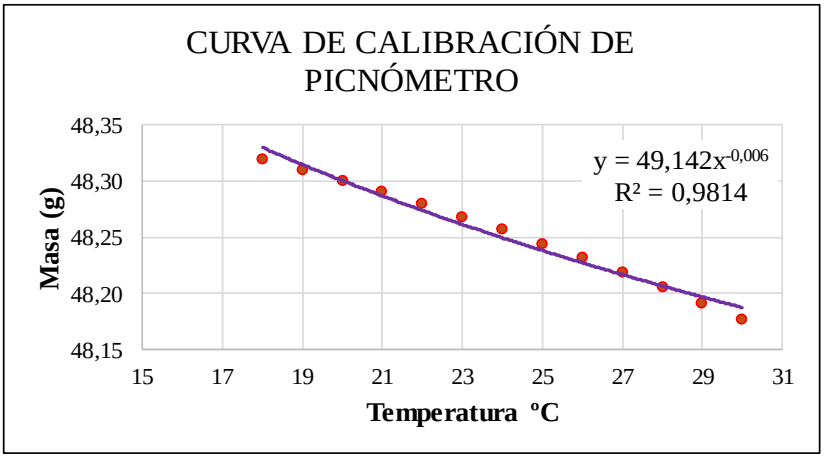
Anexo 46: Gravedad Específica Muestra Natural

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
Cantón:	Puyo	**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo muestra:**	Natural M3

Identificacion del recipiente	3	
Temperatura	20,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	158,90	g
Peso del recipiente	110,60	g
Peso del suelo seco (Ws)	48,30	g
Ws+ Wbw	720,80	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	702,80	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	18,00	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	1,00000	
Gravedad específica (Gs)	**2,683**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	48,32
19	48,31
20	48,30
21	48,29
22	48,28
23	48,27
24	48,26
25	48,24
26	48,23
27	48,22
28	48,20
29	48,19
30	48,18



Anexo 47: Granulometría Muestra 3 Natural

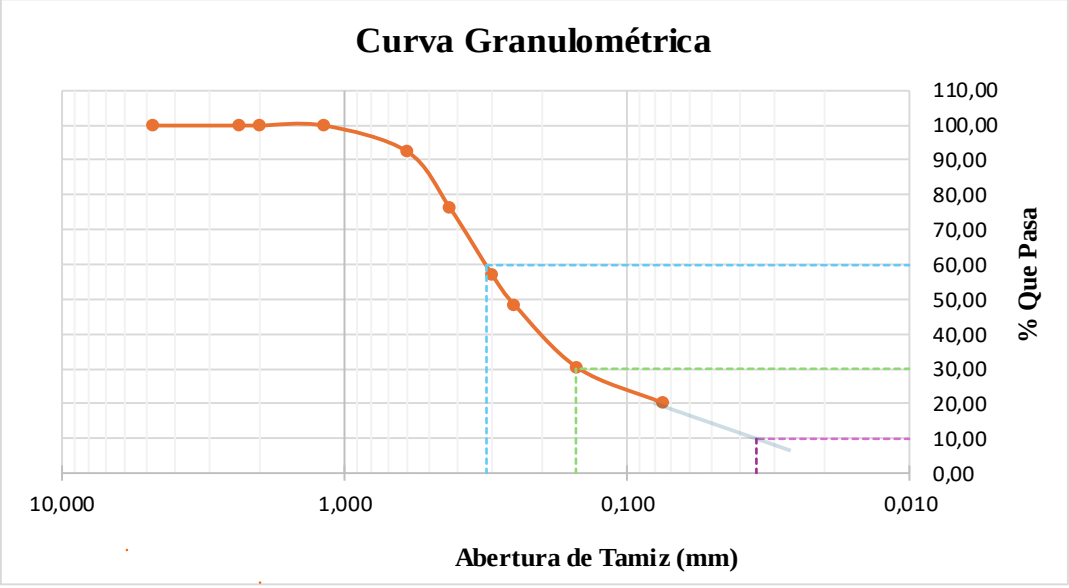
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
30	0,6	37,40	37,40	7,52	92,48
40	0,425	80,20	117,60	23,66	76,34
50	0,3	97,20	214,80	43,21	56,79
60	0,25	43,00	257,80	51,86	48,14
100	0,15	89,50	347,30	69,87	30,13
200	0,075	50,30	397,60	79,98	20,02
BANDEJA		99,50	497,10	100,00	0,00

RESULTADOS



D10	0,035	D30	0,151	D60	0,316

Cu	9,080	Cc	2,073	TNM	1,180

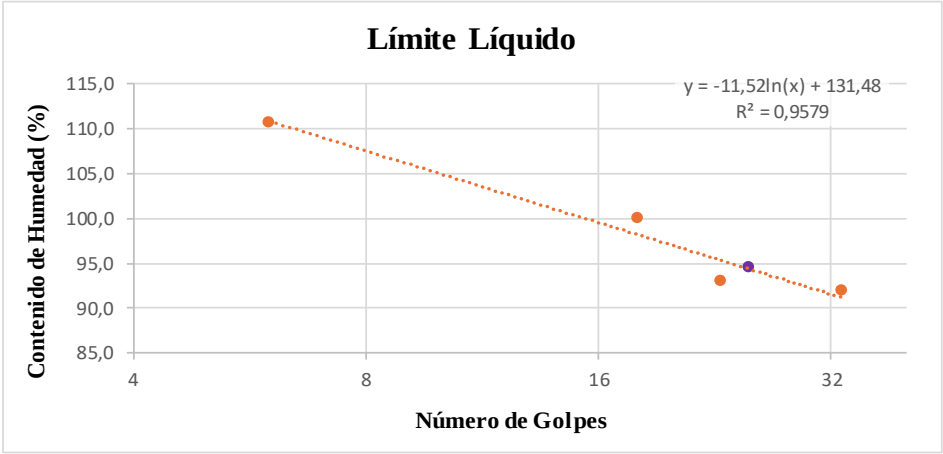
Anexo 48: Límites de Atterberg Muestra 3 Natural

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**# MUESTRA**	2

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**6**		**18**		**23**		**33**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	7,40	7,30	4,10	7,30	7,30	7,40	7,50	4,40
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	12,40	12,20	11,50	14,10	12,90	12,80	16,80	12,00
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	9,80	9,60	7,80	10,70	10,20	10,20	12,30	8,40
Peso del agua (Ww) (gr)	2,60	2,60	3,70	3,40	2,70	2,60	4,50	3,60
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	2,40	2,30	3,70	3,40	2,90	2,80	4,80	4,00
Contenido de humedad (W%)	108,33	113,04	100,00	100,00	93,10	92,86	93,75	90,00
Promedio (W%)	110,69		100,00		92,98		91,88	
Límite Líquido (LL%)	**94,40**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	3	8	24	34	43
Peso del recipiente (Wr) (gr)	6,00	6,00	10,60	10,30	6,10
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	7,60	7,20	11,90	11,70	7,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	6,90	6,70	11,30	11,10	6,80
Peso del agua (Ww) (gr)	0,70	0,50	0,60	0,60	0,50
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,90	0,70	0,70	0,80	0,70
Contenido de humedad (W%)	77,78	71,43	85,71	75,00	71,43
Promedio (W%)	76,27				

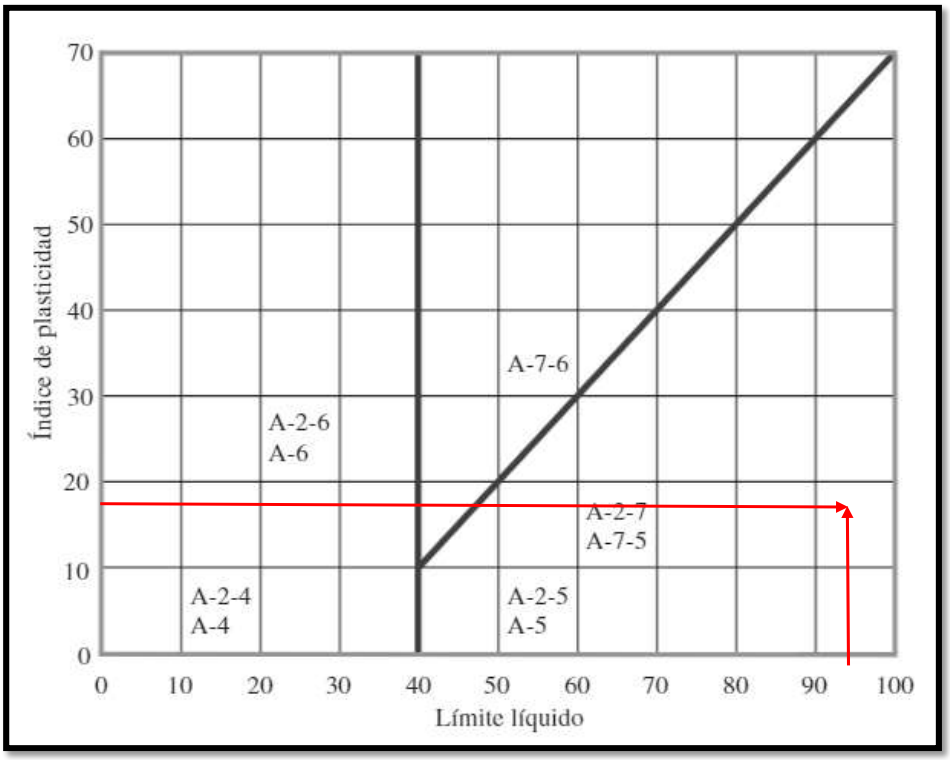
RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
94,40	76,27	18,13

Anexo 49: Clasificación M3 Natural AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				

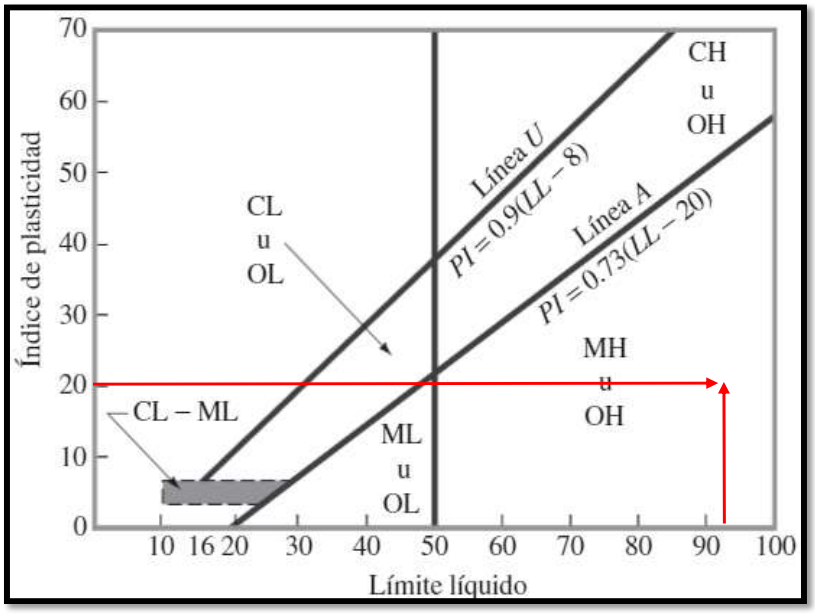


Anexo 50: Clasificación M3 Natural SUCS

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[d,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,e]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[e]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[e]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.



Anexo 51: Proctor Modificado M3 Natural

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	3

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13909,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2297,29
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	15	20	25	34
Humedad añadida (ml)	750	1000	1250	1700
Suelo húmedo + molde (gr)	16820,0	17150	17286	17299
Peso suelo húmedo (gr)	2911	3241	3377	2286
Peso unitario húm. (gr)	1,267	1,411	1,470	0,995

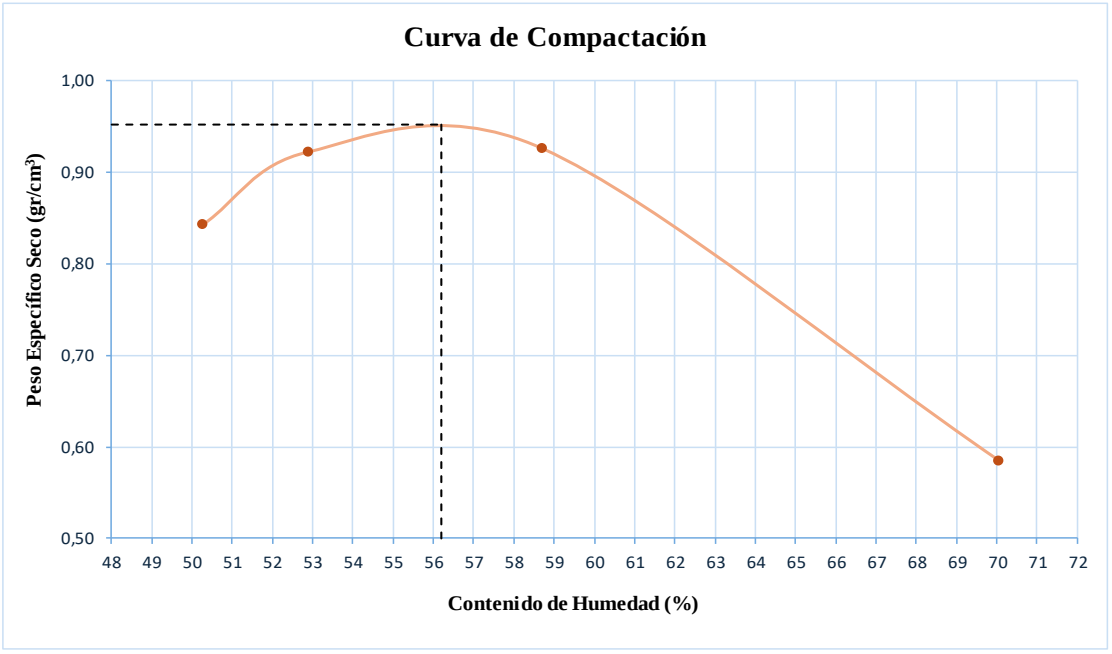
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	30,80	30,80	31,00	30,80	30,80	24,70	31,30	20,50
Peso suelo húm. + recip (gr)	90,50	98,00	84,00	96,00	75,00	81,00	98,00	93,00
Peso suelo seco + recip (gr)	71,00	75,00	66,20	72,80	58,40	60,50	70,10	63,60
Peso del agua (gr)	19,50	23	17,8	23,2	16,6	20,5	27,9	29,4
Peso suelo seco (gr)	40,2	44,2	35,2	42	27,6	35,8	38,8	43,1
Contenido de agua (%)	48,51	52,04	50,57	55,24	60,14	57,26	71,91	68,21
W (%) Promedio	50,27		52,90		58,70		70,06	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	0,843		0,9227		0,9262		0,5851	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	0,952
Humedad Óptima:	56,20

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 52: CBR Muestra 3 Natural

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

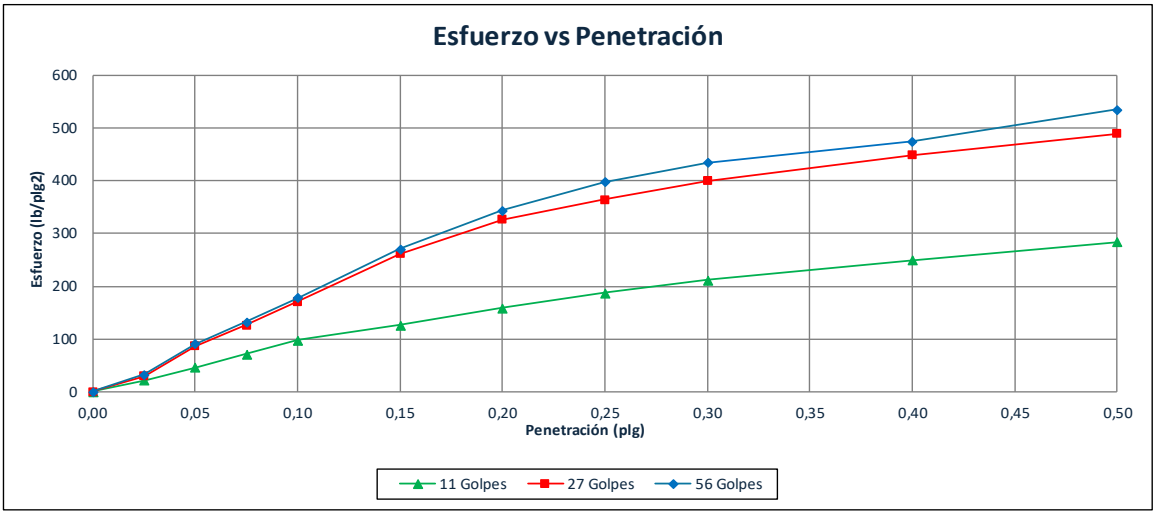
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829662.00 , 832370.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9892		11670,5		12085,5	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3156		3354,5		3440	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,404		1,501		1,531	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	81,50	83,00	78,00	74,40	83,50	79,30
Masa suelo seco + recip. (gr)	63,20	64,40	61,00	58,70	63,90	61,90
Masa recipiente (gr)	30,70	31,20	30,90	30,70	29,30	31,20
Masa del agua (gr)	18,30	18,60	17,00	15,70	19,60	17,40
Masa suelo seco (gr)	32,50	33,20	30,10	28,00	34,60	30,70
Contenido de humedad (w%)	56,31	56,02	56,48	56,07	56,65	56,68
W % promedio	56,17		56,27		56,66	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0,899		0,960		0,977	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	10373		11901,5		12229,5	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3637		3585,5		3584	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,618		1,604		1,595	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5
Masa suelo húmedo + recip (gr)	75,40	77,00	78,30	76,00	74,30	72,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	57,70	58,90	59,60	58,70	58,40	57,10
Masa recipiente (gr)	30,50	31,10	29,50	30,90	31,20	30,90
Masa del agua (gr)	17,70	18,10	18,70	17,30	15,90	15,40
Masa suelo seco (gr)	27,20	27,80	30,10	27,80	27,20	26,20
Contenido de humedad (w%)	65,07	65,11	62,13	62,23	58,46	58,78
W % promedio	65,09		62,18		58,62	

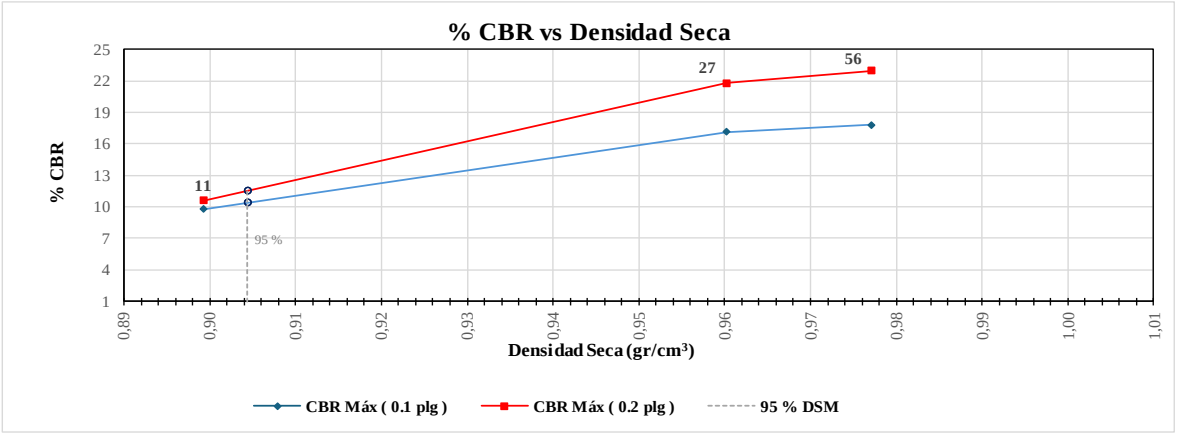
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	63,80	21,27	90,20	30,07	99,00	33,00
0,050	138,60	46,20	259,60	86,53	273,60	91,20
0,075	213,90	71,30	380,00	126,67	398,20	132,73
0,10	293,00	97,67	513,40	171,13	533,60	177,87
0,15	378,40	126,13	785,20	261,73	812,20	270,73
0,20	476,60	158,87	978,80	326,27	1033,30	344,43
0,25	563,60	187,87	1093,10	364,37	1193,10	397,70
0,30	636,20	212,07	1198,80	399,60	1303,50	434,50
0,40	747,70	249,23	1346,20	448,73	1421,80	473,93
0,50	852,30	284,10	1469,30	489,77	1603,90	534,63

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	177,87	17,79	0,977	344,43	22,96	0,977
2	171,13	17,11	0,960	326,27	21,75	0,960
3	97,67	9,77	0,899	158,87	10,59	0,899

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			0,952	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
0,904	**10,40**	**11,50**	Subrasante	Regular - Buena

Anexo 53: Proctor Modificado M3, 5% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	3

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14638,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2328,02
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	20	25	30	38
Humedad añadida (ml)	1250	1600	1950	2500
Suelo húmedo + molde (gr)	17596,0	17966	18048	17976,5
Peso suelo húmedo (gr)	2958	3328	3410	3339
Peso unitario húm. (gr)	1,271	1,430	1,465	1,434

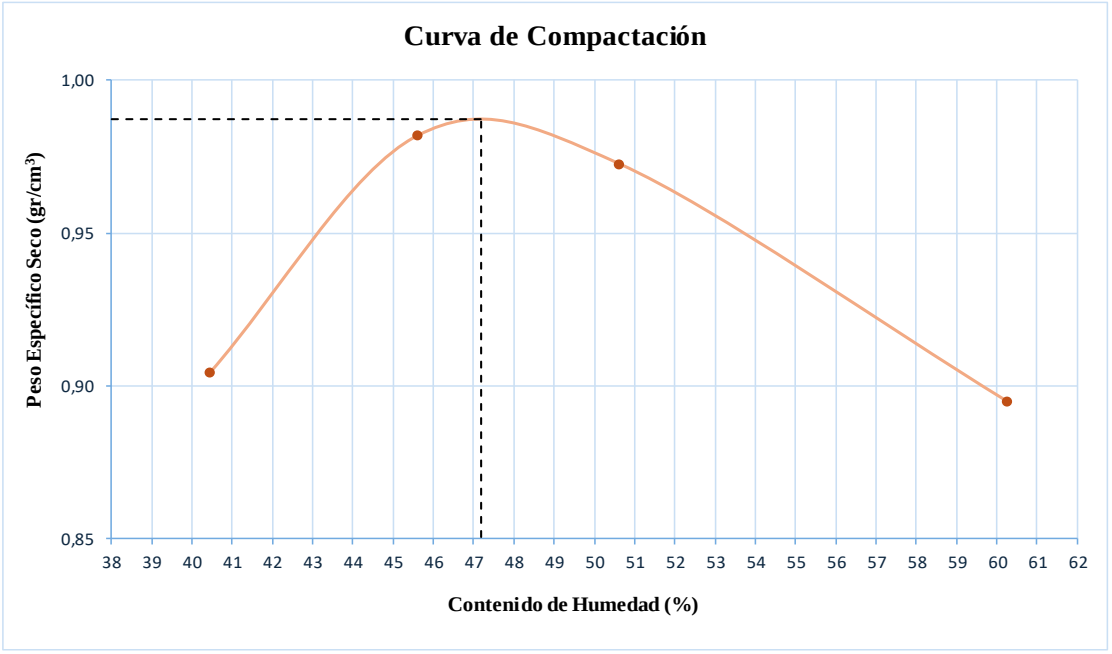
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10	30,70	31,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	88,60	93,10	77,80	81,60	88,40	76,80	93,50	90,20
Peso suelo seco + recip (gr)	71,40	74,90	63,00	65,70	69,00	61,50	69,90	68,00
Peso del agua (gr)	17,20	18,2	14,8	15,9	19,4	15,3	23,6	22,2
Peso suelo seco (gr)	42,1	45,4	32,5	34,8	38,1	30,4	39,2	36,8
Contenido de agua (%)	40,86	40,09	45,54	45,69	50,92	50,33	60,20	60,33
W (%) Promedio	40,47		45,61		50,62		60,27	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	0,905		0,9817		0,9725		0,8948	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	0,987
Humedad Óptima:	47,20

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 54: CBR Muestra 3, 5% de CT

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

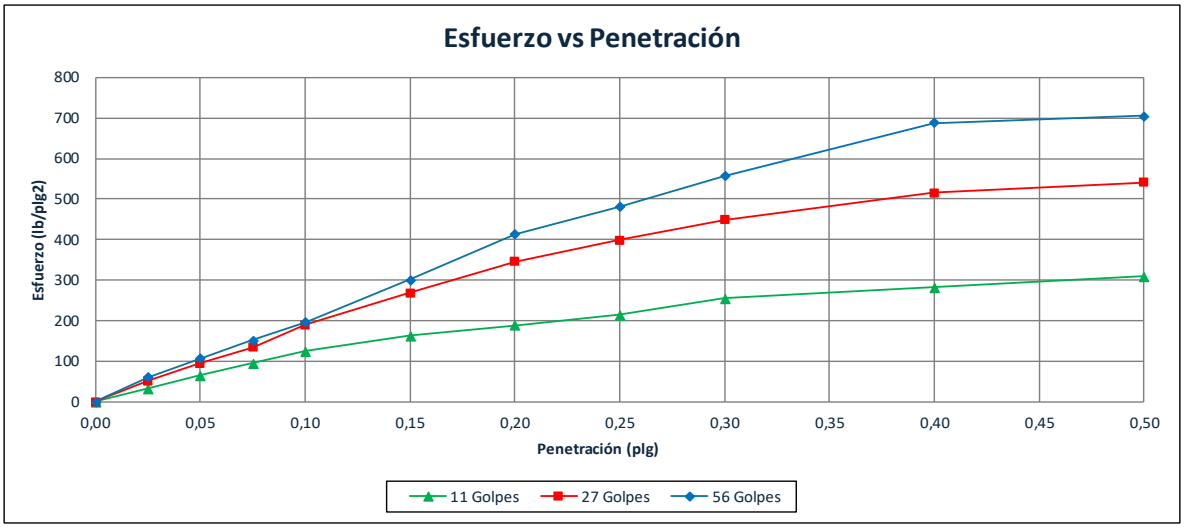
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829662.00 , 832370.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10772		12756		11774	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3013,5		3167		3429,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,341		1,409		1,526	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	64,00	72,00	59,00	64,40	68,00	72,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	53,40	58,80	50,00	53,50	56,10	59,30
Masa recipiente (gr)	30,90	31,00	31,10	30,60	31,10	31,00
Masa del agua (gr)	10,60	13,20	9,00	10,90	11,90	13,20
Masa suelo seco (gr)	22,50	27,80	18,90	22,90	25,00	28,30
Contenido de humedad (w%)	47,11	47,48	47,62	47,60	47,60	46,64
W % promedio	47,30		47,61		47,12	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0,910		0,955		1,037	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	11086		12897		11629,5	
Masa del molde (gr)	7758,5		9589		8344,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3327,5		3308		3285	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2247,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,481		1,472		1,462	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	8,6	8,7	8,8	8,9	9,0	9,1
Masa suelo húmedo + recip (gr)	81,30	72,80	83,30	82,50	70,70	79,80
Masa suelo seco + recip. (gr)	63,50	57,90	65,40	64,50	57,60	63,70
Masa recipiente (gr)	30,90	31,00	31,10	30,60	31,10	31,00
Masa del agua (gr)	17,80	14,90	17,90	18,00	13,10	16,10
Masa suelo seco (gr)	32,60	26,90	34,30	33,90	26,50	32,70
Contenido de humedad (w%)	54,60	55,39	52,19	53,10	49,43	49,24
W % promedio	55,00		52,64		49,33	

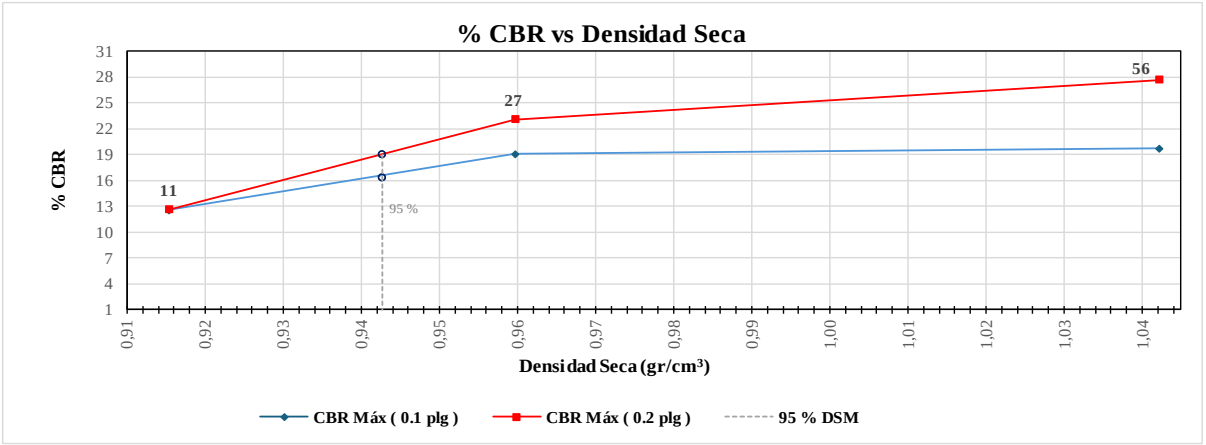
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	97,40	32,47	157,90	52,63	186,40	62,13
0,050	198,60	66,20	284,60	94,87	324,70	108,23
0,075	287,50	95,83	405,40	135,13	456,30	152,10
0,10	376,20	125,40	572,10	190,70	591,70	197,23
0,15	488,10	162,70	805,70	268,57	904,80	301,60
0,20	567,80	189,27	1038,40	346,13	1243,70	414,57
0,25	645,80	215,27	1195,80	398,60	1443,80	481,27
0,30	766,80	255,60	1348,70	449,57	1673,50	557,83
0,40	845,60	281,87	1546,80	515,60	2063,40	687,80
0,50	927,80	309,27	1624,30	541,43	2116,40	705,47

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	197,23	19,72	1,037	414,57	27,64	1,037
2	190,70	19,07	0,955	346,13	23,08	0,955
3	125,40	12,54	0,910	189,27	12,62	0,910

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			0,987	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
0,938	**16,30**	**19,00**	Subrasante	Regular - Buena

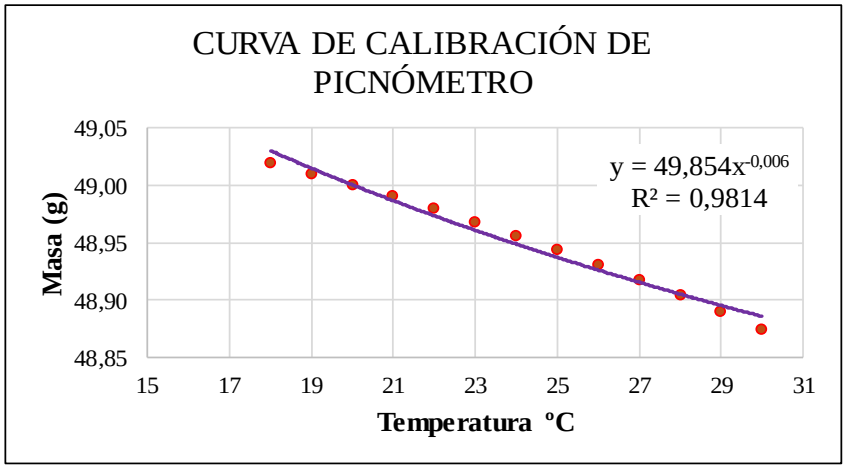
Anexo 55: Gravedad Específica Muestra 3, 8% de CT

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
Cantón:	Puyo	**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo muestra:**	M3 8% Ceniza

Identificacion del recipiente	3	
Temperatura	20,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	128,90	g
Peso del recipiente	79,90	g
Peso del suelo seco (Ws)	49,00	g
Ws+ Wbw	721,50	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	702,50	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	19,00	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	1,00000	
Gravedad específica (Gs)	**2,579**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	49,02
19	49,01
20	49,00
21	48,99
22	48,98
23	48,97
24	48,96
25	48,94
26	48,93
27	48,92
28	48,90
29	48,89
30	48,87



Anexo 56: Granulometría Muestra 3, 8% de CT

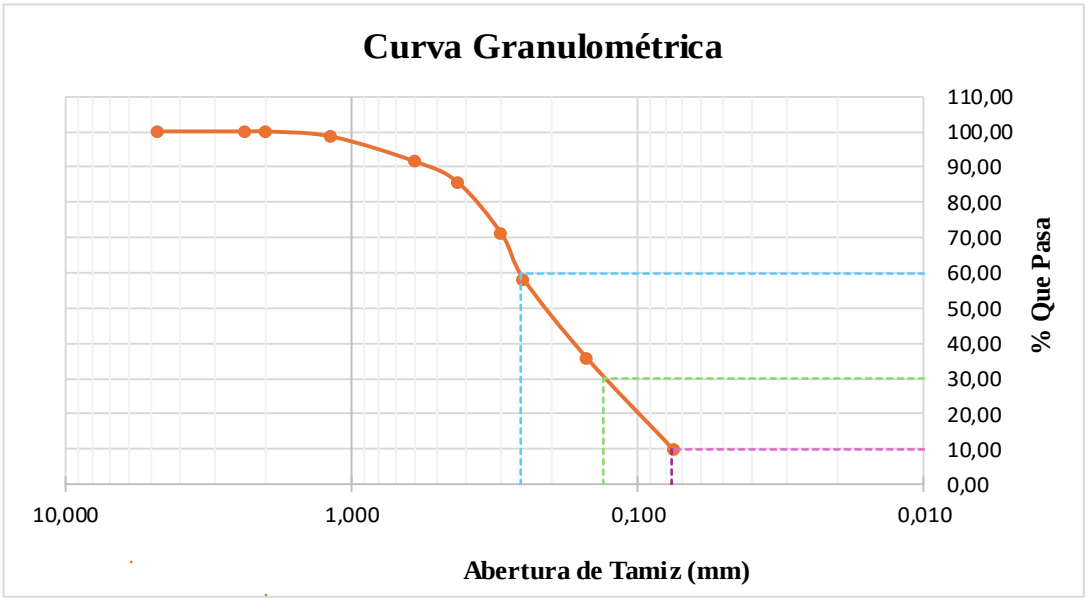
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,18	7,20	7,20	1,45	98,55
30	0,6	35,24	42,44	8,54	91,46
40	0,425	29,70	72,14	14,52	85,48
50	0,3	72,10	144,24	29,03	70,97
60	0,25	64,80	209,04	42,07	57,93
100	0,15	111,60	320,64	64,54	35,46
200	0,075	128,40	449,04	90,38	9,62
BANDEJA		47,80	496,84	100,00	0,00

RESULTADOS



D10	0,076	D30	0,131	D60	0,257

Cu	3,382	Cc	0,879	TNM	2,000

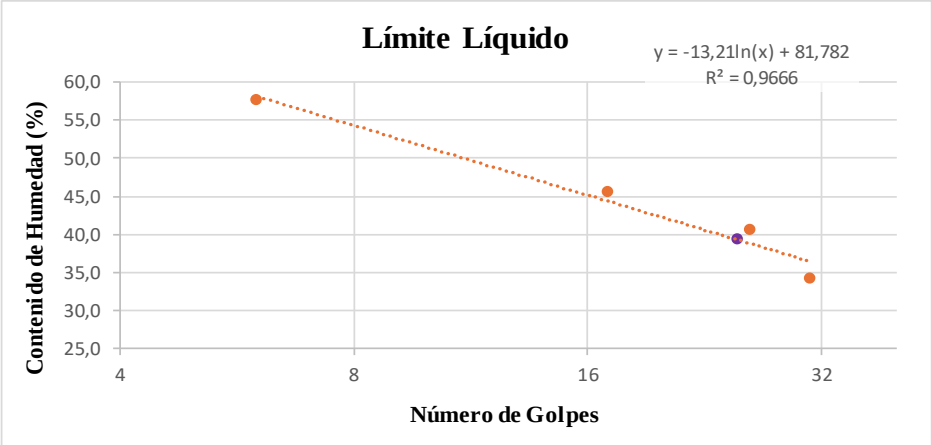
Anexo 57: Límites de Atterberg Muestra 3, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**# MUESTRA**	2

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**6**		**17**		**26**		**31**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	11,30	7,50	11,50	11,30	11,10	11,20	11,30	11,40
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	15,50	15,80	14,40	14,80	15,00	15,10	16,70	17,00
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	13,95	12,80	13,50	13,70	13,85	14,00	15,30	15,60
Peso del agua (Ww) (gr)	1,55	3,00	0,90	1,10	1,15	1,10	1,40	1,40
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	2,65	5,30	2,00	2,40	2,75	2,80	4,00	4,20
Contenido de humedad (W%)	58,49	56,60	45,00	45,83	41,82	39,29	35,00	33,33
Promedio (W%)	57,55		45,42		40,56		34,17	
Límite Líquido (LL%)	**39,26**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	3	8	24	34	43
Peso del recipiente (Wr) (gr)	6,00	6,10	6,50	6,00	6,40
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	7,20	7,40	7,20	6,90	7,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	6,95	7,10	7,05	6,70	7,10
Peso del agua (Ww) (gr)	0,25	0,30	0,15	0,20	0,20
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,95	1,00	0,55	0,70	0,70
Contenido de humedad (W%)	26,32	30,00	27,27	28,57	28,57
Promedio (W%)	28,15				

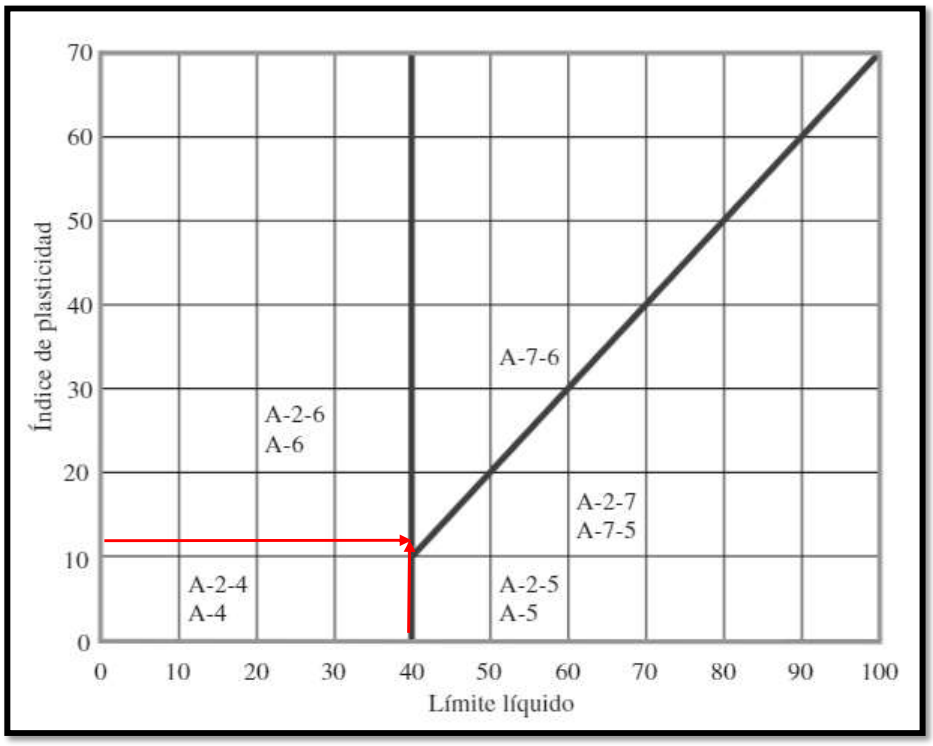
RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
39,26	28,15	11,11

Anexo 58: Clasificación M3, 8% de CT AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				



Anexo 59: Clasificación M3, 8% de CT SUCS

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[e]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[e]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

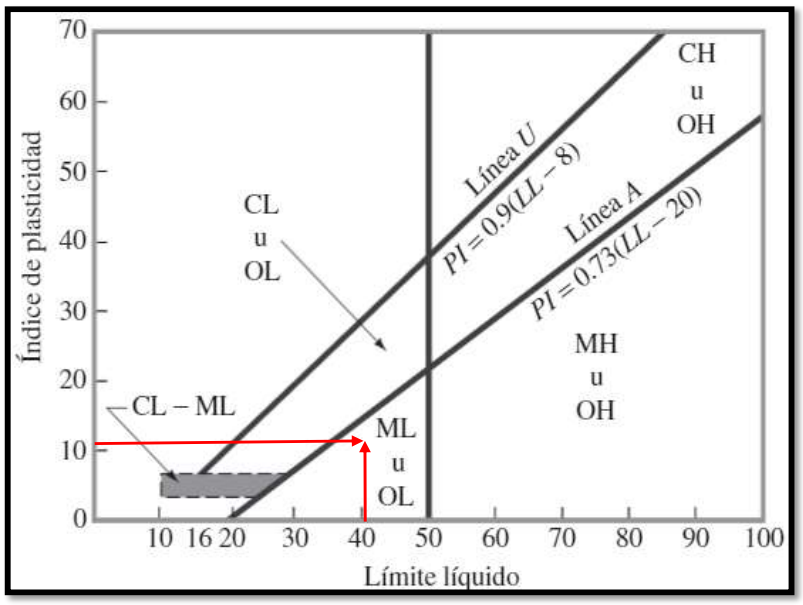
[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.



Anexo 60: Proctor Modificado M3, 8% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	3

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13953,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2208,93
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	25	30	35	48
Humedad añadida (ml)	1250	1600	1950	2500
Suelo húmedo + molde (gr)	17284,0	17748	17976	17889
Peso suelo húmedo (gr)	3331	3795	4023	3936
Peso unitario húm. (gr)	1,508	1,718	1,821	1,782

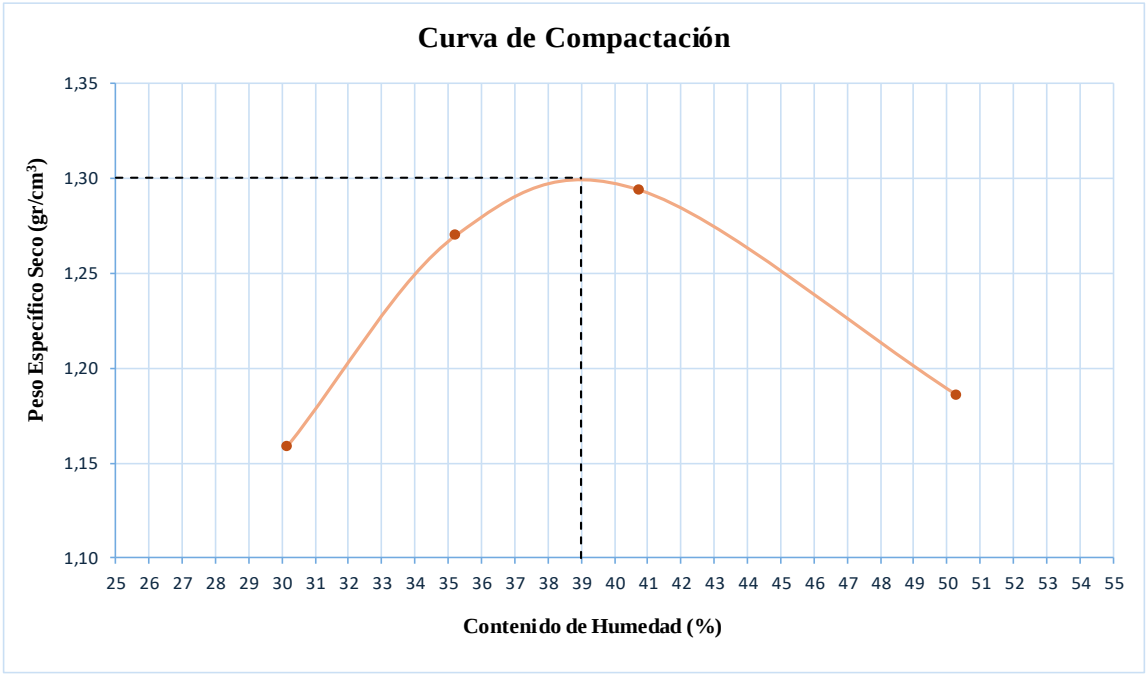
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	29,30	29,50	30,50	30,90	30,90	31,10	30,70	31,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	92,00	95,00	81,50	75,50	82,00	90,50	78,90	84,60
Peso suelo seco + recip (gr)	77,50	79,80	68,30	63,80	67,30	73,20	62,80	66,70
Peso del agua (gr)	14,50	15,2	13,2	11,7	14,7	17,3	16,1	17,9
Peso suelo seco (gr)	48,2	50,3	37,8	32,9	36,4	42,1	32,1	35,5
Contenido de agua (%)	30,08	30,22	34,92	35,56	40,38	41,09	50,16	50,42
W (%) Promedio	30,15		35,24		40,74		50,29	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,159		1,2703		1,2941		1,1856	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,300
Humedad Óptima:	39,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 61: CBR Muestra 3, 8% de CT

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

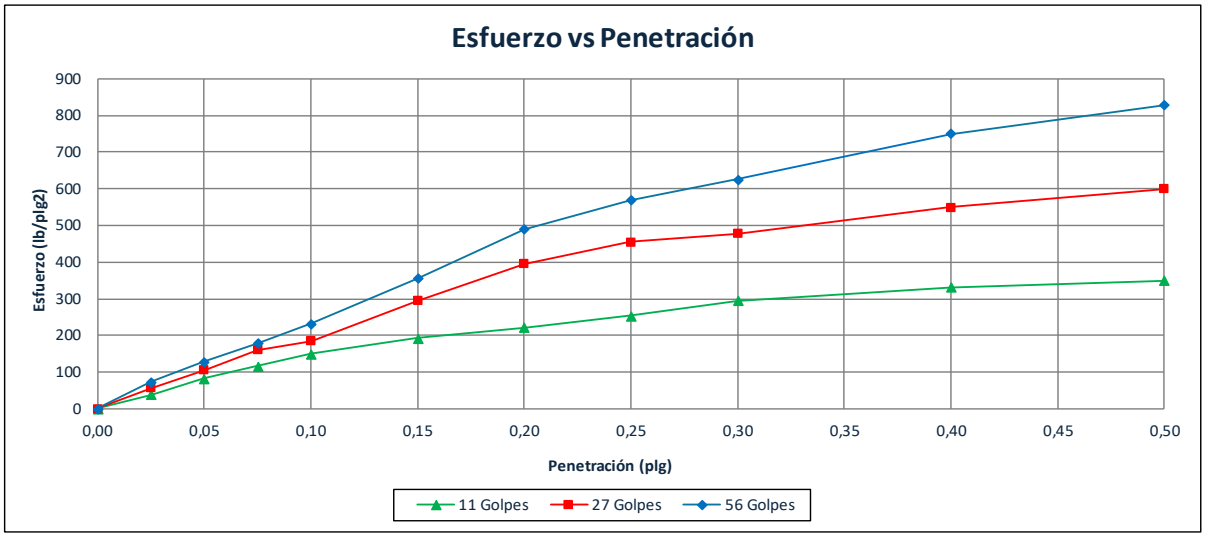
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829662.00 , 832370.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10448		12176		12595	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3712		3860		3949,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,652		1,727		1,757	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	78,00	66,80	74,60	84,60	85,50	87,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	64,70	56,60	62,30	69,50	69,90	71,20
Masa recipiente (gr)	31,10	30,90	31,10	31,00	30,60	31,00
Masa del agua (gr)	13,30	10,20	12,30	15,10	15,60	15,80
Masa suelo seco (gr)	33,60	25,70	31,20	38,50	39,30	40,20
Contenido de humedad (w%)	39,58	39,69	39,42	39,22	39,69	39,30
W % promedio	39,64		39,32		39,50	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,183		1,239		1,260	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	10778		12276,4		12617,8	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4042		3960,4		3972,3	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,798		1,772		1,767	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7
Masa suelo húmedo + recip (gr)	77,80	81,50	80,00	78,00	76,80	82,60
Masa suelo seco + recip. (gr)	63,40	66,00	65,40	64,00	63,50	67,70
Masa recipiente (gr)	30,90	31,00	31,10	31,00	30,60	30,50
Masa del agua (gr)	14,40	15,50	14,60	14,00	13,30	14,90
Masa suelo seco (gr)	32,50	35,00	34,30	33,00	32,90	37,20
Contenido de humedad (w%)	44,31	44,29	42,57	42,42	40,43	40,05
W % promedio	44,30		42,49		40,24	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	117,80	39,27	172,40	57,47	220,27	73,42
0,050	246,80	82,27	315,90	105,30	383,69	127,90
0,075	348,90	116,30	479,80	159,93	539,20	179,73
0,10	449,60	149,87	553,84	184,61	699,20	233,07
0,15	579,80	193,27	884,50	294,83	1069,19	356,40
0,20	667,20	222,40	1185,53	395,18	1469,66	489,89
0,25	759,80	253,27	1365,23	455,08	1706,12	568,71
0,30	885,70	295,23	1434,70	478,23	1876,50	625,50
0,40	995,40	331,80	1648,50	549,50	2248,10	749,37
0,50	1047,80	349,27	1798,70	599,57	2486,70	828,90

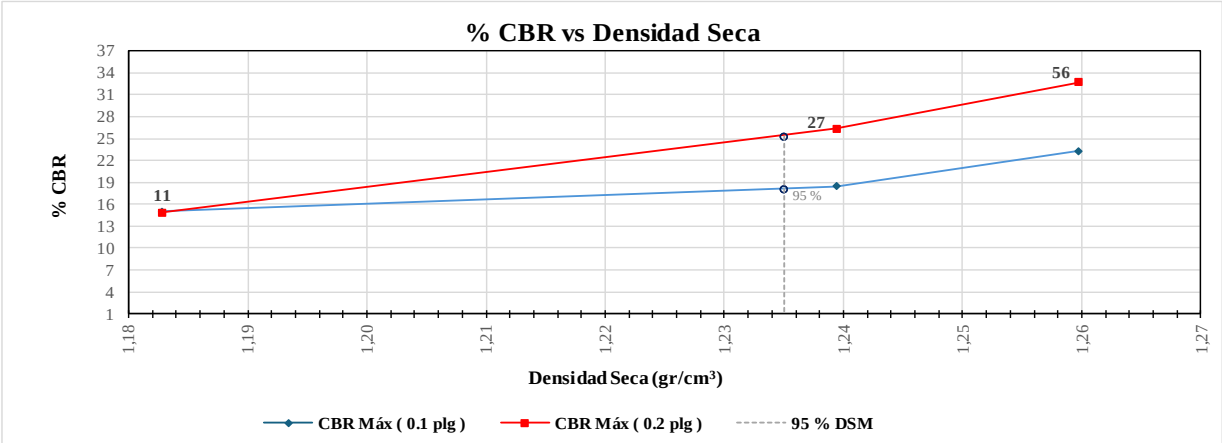
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	233,07	23,31	1,260	489,89	32,66	1,260
2	184,61	18,46	1,239	395,18	26,35	1,239
3	149,87	14,99	1,183	222,40	14,83	1,183

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,300	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,235	**18,10**	**25,30**	Subrasante	Excelente

Anexo 62: Proctor Modificado M3, 10% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	3

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14638,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2328,02

Peso incial deseado (gr):	5000	5000	5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	30	35	40	50
Humedad añadida (ml)	1250	1600	1950	2500
Suelo húmedo + molde (gr)	17284,0	17748	17976	17889
Peso suelo húmedo (gr)	2646	3110	3338	3251
Peso unitario húm. (gr)	1,137	1,336	1,434	1,396

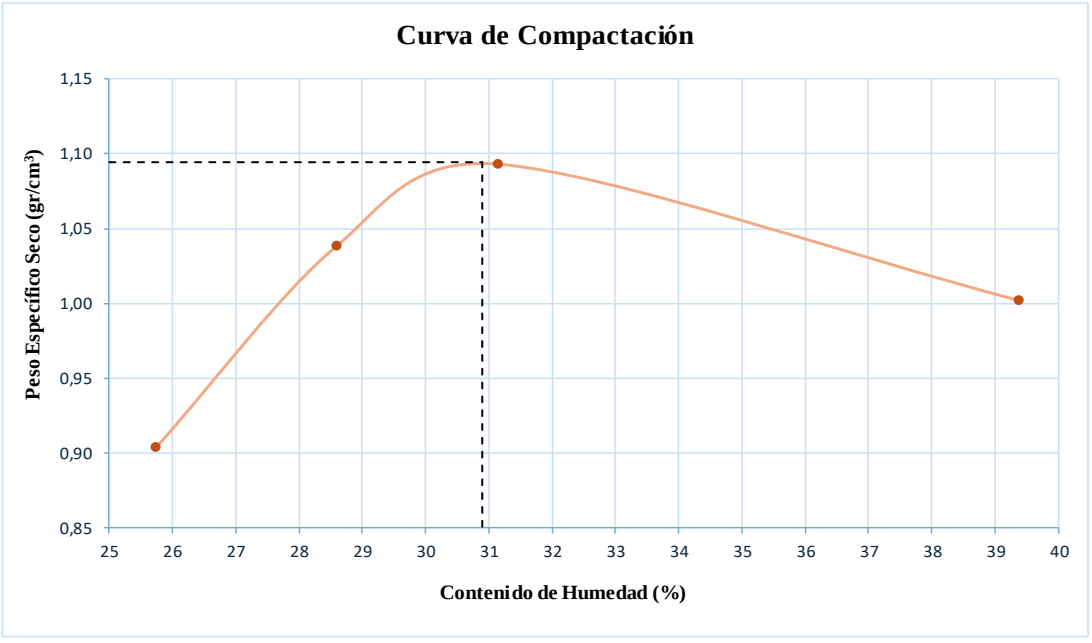
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	31,00	31,50	30,00	30,90	30,60	31,10	31,00	31,00
Peso suelo húm. + recip (gr)	85,00	82,50	83,00	84,00	72,00	76,00	73,30	80,40
Peso suelo seco + recip (gr)	74,00	72,00	71,30	72,10	62,20	65,30	61,30	66,50
Peso del agua (gr)	11,00	10,5	11,7	11,9	9,8	10,7	12	13,9
Peso suelo seco (gr)	43	40,5	41,3	41,2	31,6	34,2	30,3	35,5
Contenido de agua (%)	25,58	25,93	28,33	28,88	31,01	31,29	39,60	39,15
W (%) Promedio	25,75		28,61		31,15		39,38	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	0,904		1,0387		1,0933		1,0019	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,094
Humedad Óptima:	30,90

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 63: CBR Muestra 3, 10% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829662.00 , 832370.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**16**		**22**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,55	Altura:	12,55

Proceso de Compactación

Nro. De golpes por capa	11	27	56
Muestra húmeda + molde (gr)	10676	12648,5	11644,8
Masa del molde (gr)	7758,5	9589	8344,5
Masa muestra húmeda (gr)	2917,5	3059,5	3300,3
Volumen muestra (cm3)	2247,44	2247,44	2247,44
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,298	1,361	1,468

Contenido de Humedad

	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	72,00	75,50	81,50	80,00	79,80	86,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	62,20	65,00	69,50	68,20	68,00	73,20
Masa recipiente (gr)	31,00	31,10	30,90	30,60	31,00	31,10
Masa del agua (gr)	9,80	10,50	12,00	11,80	11,80	13,20
Masa suelo seco (gr)	31,20	33,90	38,60	37,60	37,00	42,10
Contenido de humedad (w%)	31,41	30,97	31,09	31,38	31,89	31,35
W % promedio	31,19		31,24		31,62	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0,990		1,037		1,116	

Después de la Saturación

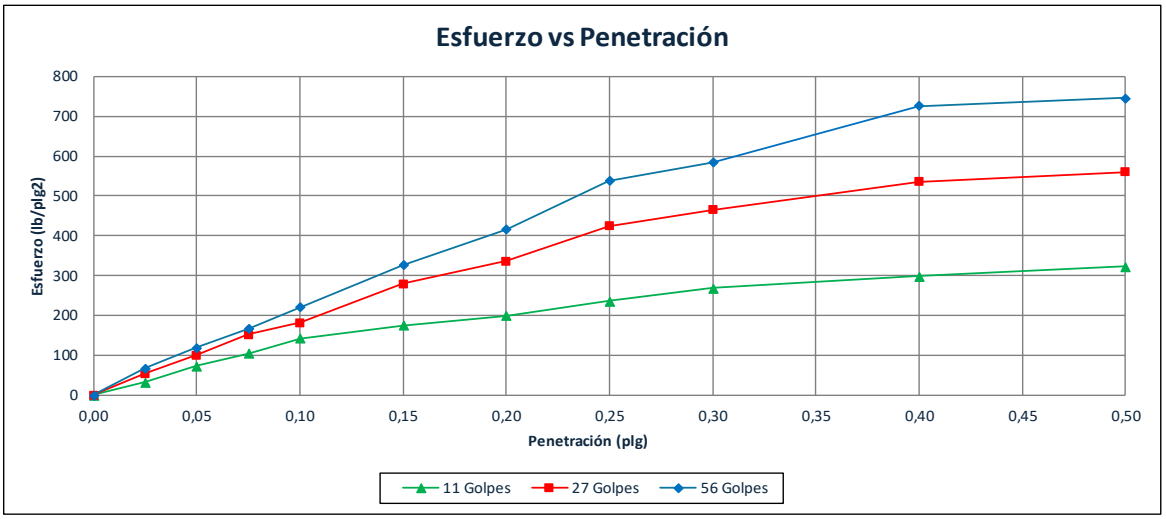
Muestra húmeda + molde (gr)	11042,5	12854	11683,5
Masa del molde (gr)	7758,5	9589	8344,5
Masa muestra húmeda (gr)	3284	3265	3339
Volumen muestra (cm3)	2247,44	2247,44	2247,44
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,461	1,453	1,486

Contenido de Humedad

	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	9,8	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3
Masa suelo húmedo + recip (gr)	84,50	86,40	84,70	80,50	75,50	73,30
Masa suelo seco + recip. (gr)	67,50	68,90	70,20	67,20	64,50	62,90
Masa recipiente (gr)	31,00	31,10	30,60	30,80	30,50	31,10
Masa del agua (gr)	17,00	17,50	14,50	13,30	11,00	10,40
Masa suelo seco (gr)	36,50	37,80	39,60	36,40	34,00	31,80
Contenido de humedad (w%)	46,58	46,30	36,62	36,54	32,35	32,70
W % promedio	46,44		36,58		32,53	

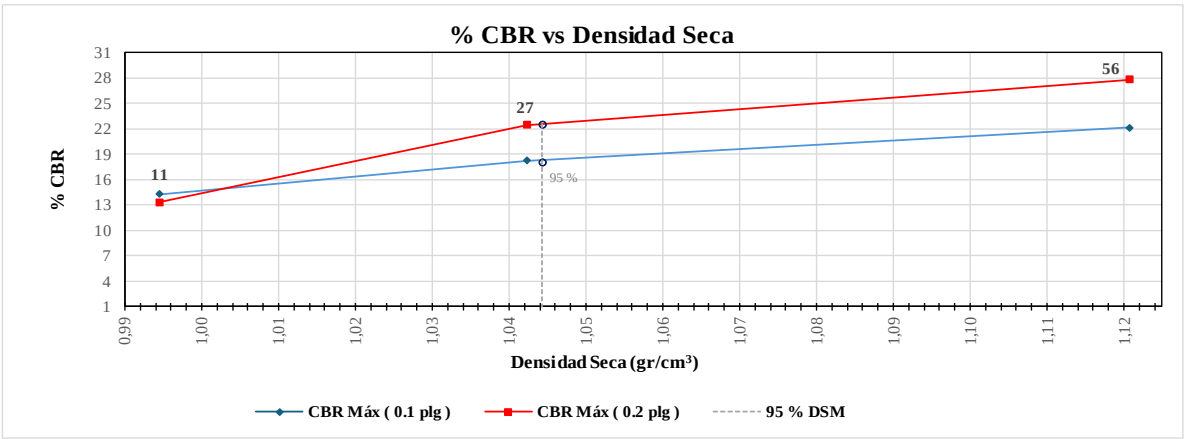
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**16**		**22**		**14**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	100,70	33,57	164,80	54,93	204,40	68,13
0,050	219,50	73,17	303,70	101,23	357,80	119,27
0,075	315,20	105,07	455,90	151,97	501,50	167,17
0,10	427,90	142,63	547,20	182,40	663,70	221,23
0,15	527,30	175,77	837,60	279,20	981,40	327,13
0,20	600,40	200,13	1009,80	336,60	1249,50	416,50
0,25	708,30	236,10	1273,40	424,47	1617,40	539,13
0,30	804,70	268,23	1397,30	465,77	1754,20	584,73
0,40	897,10	299,03	1607,80	535,93	2175,90	725,30
0,50	967,60	322,53	1682,70	560,90	2237,10	745,70

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	221,23	22,12	1,116	416,50	27,77	1,116
2	182,40	18,24	1,037	336,60	22,44	1,037
3	142,63	14,26	0,990	200,13	13,34	0,990

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,094	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
1,039	**18,00**	**22,50**	Subrasante	Excelente

Anexo 64: Proctor Modificado M3, 12% de CT

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

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**COORDENADAS**	9829662.00,832370.00
NORMAS:	AASHTO T180	**#MUESTRA:**	3

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	13909,0
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2297,29
Peso incial deseado (gr):		5000	5000		5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	35	40	45	52
Humedad añadida (ml)	1750	2000	2250	2600
Suelo húmedo + molde (gr)	16648,0	16782	16973	16884
Peso suelo húmedo (gr)	2739	2873	3064	2975
Peso unitario húm. (gr)	1,192	1,251	1,334	1,295

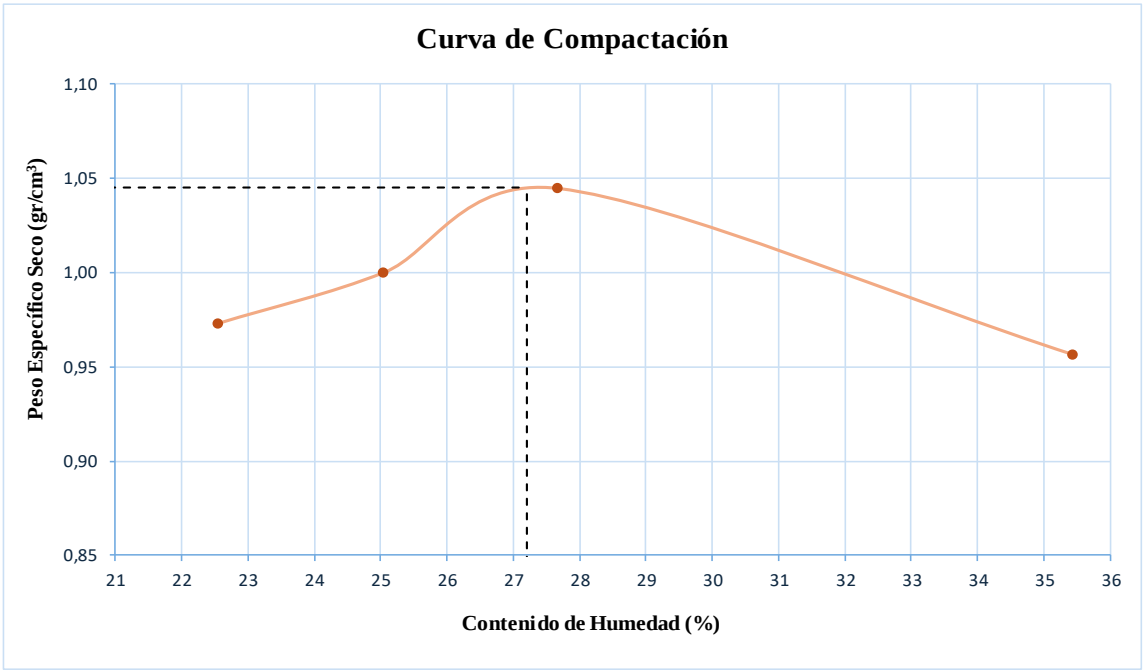
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	A	B	A	B	A	B	A	B
Peso del recipiente (gr)	30,50	30,90	30,90	30,90	31,10	30,70	31,10	30,80
Peso suelo húm. + recip (gr)	82,50	87,60	92,50	90,10	103,40	97,80	88,00	82,40
Peso suelo seco + recip (gr)	72,90	77,20	80,20	78,20	88,00	83,00	73,00	69,00
Peso del agua (gr)	9,60	10,4	12,3	11,9	15,4	14,8	15	13,4
Peso suelo seco (gr)	42,4	46,3	49,3	47,3	56,9	52,3	41,9	38,2
Contenido de agua (%)	22,64	22,46	24,95	25,16	27,07	28,30	35,80	35,08
W (%) Promedio	22,55		25,05		27,68		35,44	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	0,973		1,0001		1,0446		0,9562	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,045
Humedad Óptima:	27,20

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



Anexo 65: CBR Muestra 3, 12% de CT

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

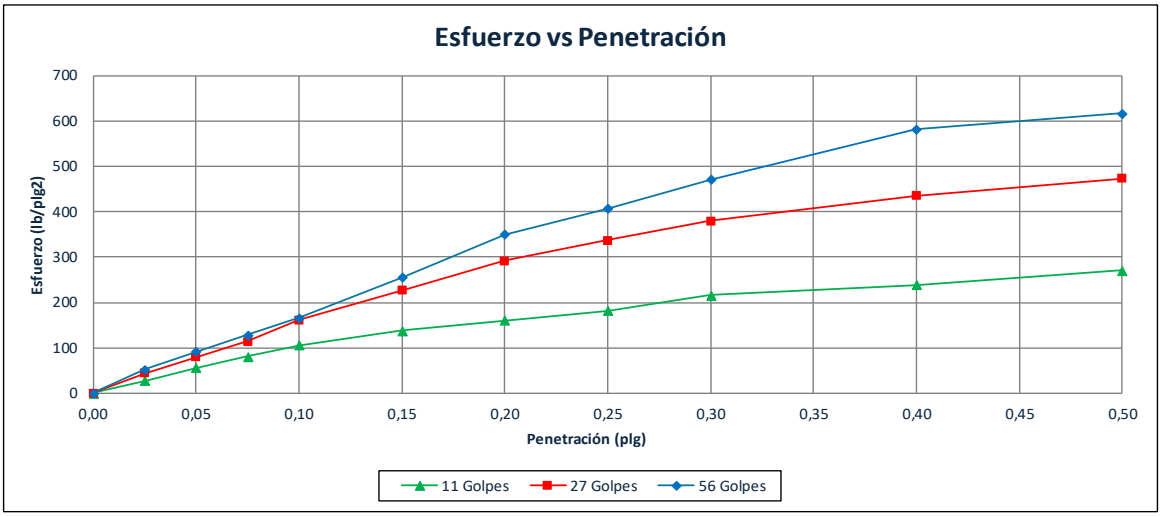
PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	Puyo
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún	**COORDENADAS**	9829662.00 , 832370.00
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**#MUESTRA:**	3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**6**		**14**		**5**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,1	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,55	Altura:	12,65	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	9543		11482		11948	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	2807		3166		3302,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,249		1,416		1,469	
Contenido de Humedad						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Número de recipiente	1	2	1	2	1	2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	84,60	88,00	81,40	79,40	87,50	92,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	73,00	75,60	70,30	68,50	75,00	78,60
Masa recipiente (gr)	30,90	31,10	31,00	30,60	30,80	30,90
Masa del agua (gr)	11,60	12,40	11,10	10,90	12,50	13,40
Masa suelo seco (gr)	42,10	44,50	39,30	37,90	44,20	47,70
Contenido de humedad (w%)	27,55	27,87	28,24	28,76	28,28	28,09
W % promedio	27,71		28,50		28,19	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0,978		1,102		1,146	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	9862		11518		12042	
Masa del molde (gr)	6736		8316		8645,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3126		3202		3396,5	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2235,44		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,391		1,432		1,511	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9
Masa suelo húmedo + recip (gr)	82,40	83,70	92,00	94,50	88,10	86,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	67,50	68,80	76,00	78,20	75,30	74,10
Masa recipiente (gr)	31,10	30,80	30,60	31,10	30,50	30,80
Masa del agua (gr)	14,90	14,90	16,00	16,30	12,80	12,30
Masa suelo seco (gr)	36,40	38,00	45,40	47,10	44,80	43,30
Contenido de humedad (w%)	40,93	39,21	35,24	34,61	28,57	28,41
W % promedio	40,07		34,92		28,49	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**6**		**14**		**5**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga (lb)**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	82,40	27,47	133,50	44,50	157,60	52,53
0,050	167,90	55,97	240,60	80,20	274,50	91,50
0,075	243,10	81,03	342,70	114,23	385,70	128,57
0,10	318,00	106,00	483,60	161,20	500,20	166,73
0,15	412,60	137,53	681,10	227,03	764,80	254,93
0,20	480,00	160,00	877,80	292,60	1051,30	350,43
0,25	545,90	181,97	1010,80	336,93	1220,40	406,80
0,30	648,20	216,07	1140,10	380,03	1414,60	471,53
0,40	714,80	238,27	1307,50	435,83	1744,20	581,40
0,50	812,10	270,70	1421,70	473,90	1852,50	617,50

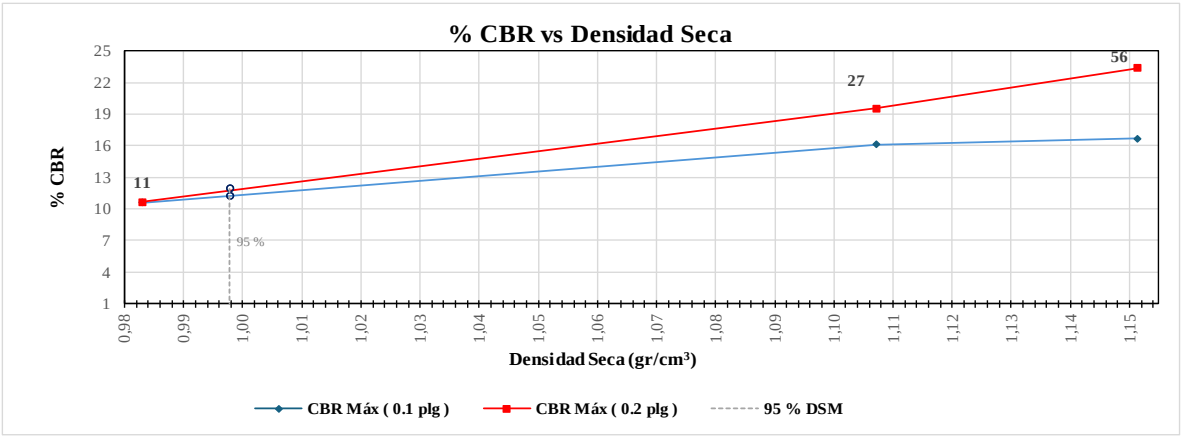
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	166,73	16,67	1,146	350,43	23,36	1,146
2	161,20	16,12	1,102	292,60	19,51	1,102
3	106,00	10,60	0,978	160,00	10,67	0,978

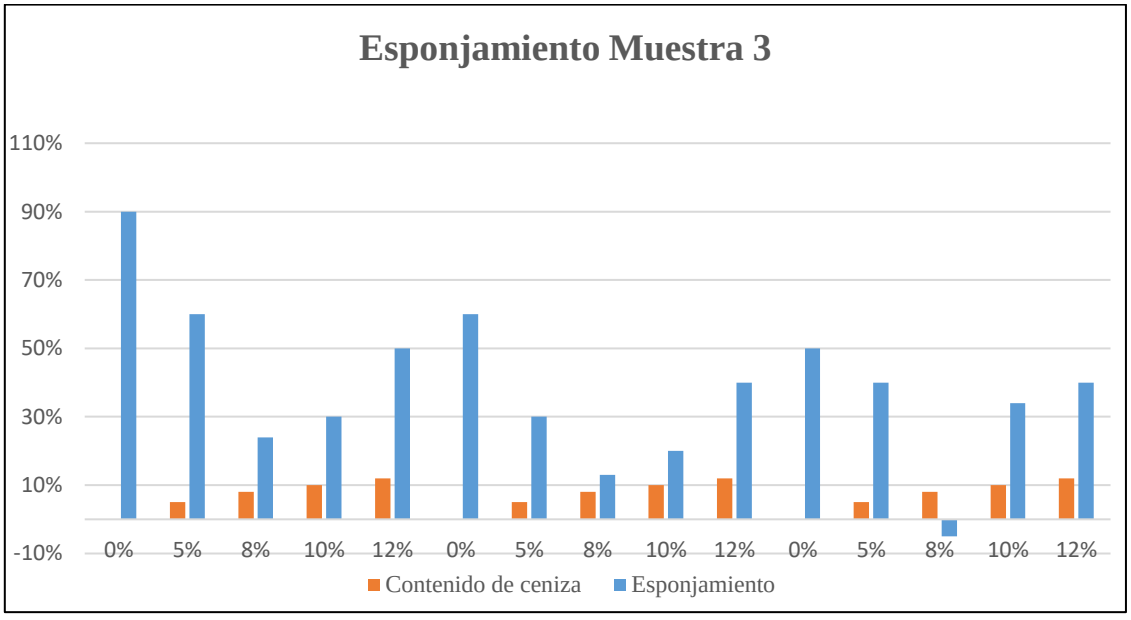
Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,045	
DSM 95 %	**CBR% 0,1 plg**	**CBR% 0,2 plg**	**Usos**	**Clasificación**
0,993	**11,20**	**11,90**	Subrasante	Regular-Buena

Anexo 66: Esponjamiento Muestra 3

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial	Lectura final	Esponjamiento
6		0%	20,90	21,80	0,90
16		5%	21,10	21,70	0,60
6	**11**	8%	22,40	22,64	0,24
16		10%	21,50	21,80	0,30
6		12%	22,60	23,10	0,50
14		0%	16,90	17,50	0,60
22		5%	10,20	10,50	0,30
14	**27**	8%	17,20	17,33	0,13
22		10%	12,40	12,60	0,20
14		12%	17,40	17,80	0,40
5		0%	22,00	22,50	0,50
14		5%	21,60	22,00	0,40
5	**56**	8%	22,40	22,35	-0,05
14		10%	22,00	22,34	0,34
5		12%	22,5	22,9	0,40



CENIZA DE TOTORA

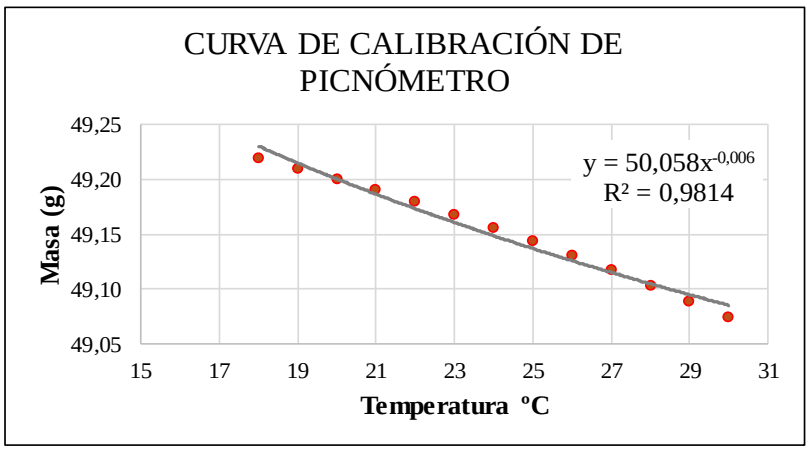
Anexo 67: Gravedad Especifica de CT

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
Canton:	Puyo	**Parroquia:**	Tarqui
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo muestra:**	Ceniza

Identificacion del recipiente	3	
Temperatura	20,00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	672,50	g
Peso del suelo + recipiente	159,80	g
Peso del recipiente	110,60	g
Peso del suelo seco (Ws)	49,20	g
Ws+ Wbw	721,70	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	701,50	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	20,20	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	1,00000	
Gravedad específica (Gs)	**2,436**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	49,22
19	49,21
20	49,20
21	49,19
22	49,18
23	49,17
24	49,16
25	49,14
26	49,13
27	49,12
28	49,10
29	49,09
30	49,07



Anexo 68: Granulometría de CT

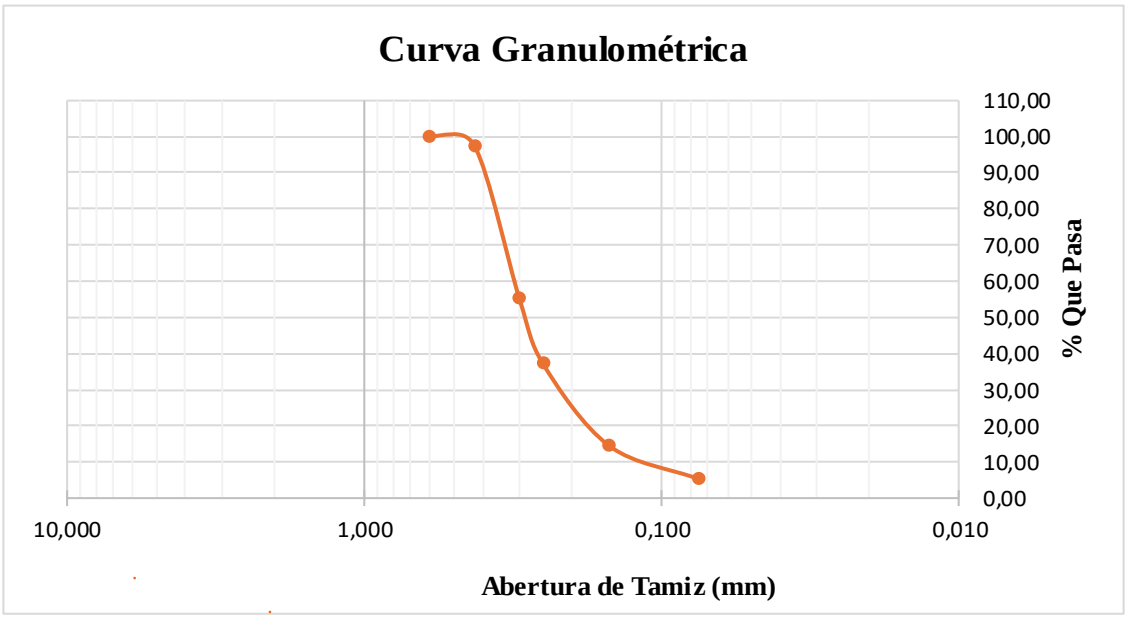
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ANÁLISIS DEL EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE DE LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	N/A
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg	**COORDENADAS**	N/A
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**#MUESTRA:**	Global

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
30	0,6	0,00	0,00	0,00	100,00
40	0,425	8,00	8,00	2,68	97,32
50	0,3	126,20	134,20	44,98	55,02
60	0,25	53,55	187,75	62,93	37,07
100	0,15	67,50	255,25	85,55	14,45
200	0,075	27,40	282,65	94,74	5,26
BANDEJA		15,70	298,35	100,00	0,00

RESULTADOS



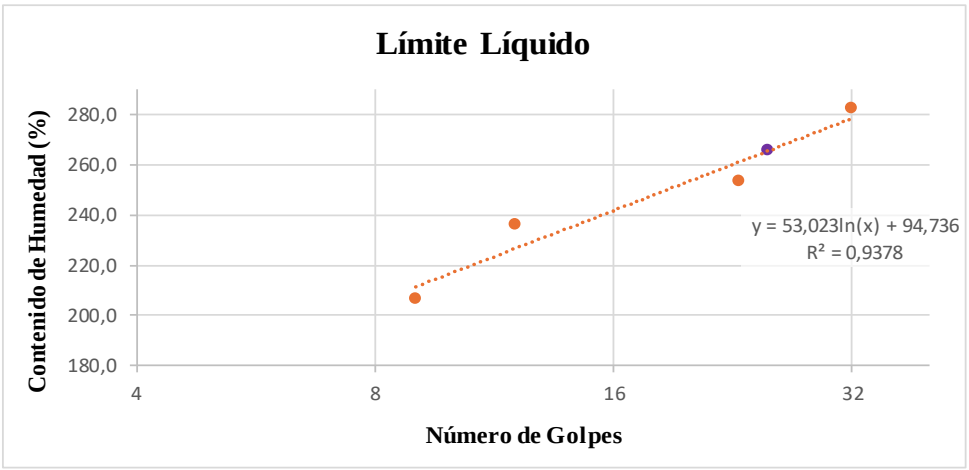
Anexo 69: Límites de Atterberg de CT

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

PROYECTO:	"EFECTO DE ADICIÓN DE CENIZA DE TOTORA EN SUELOS ARCILLOSOS DE TARQUI, PUYO, PASTAZA"		
ELABORADO POR:	Edwin Andres Viteri Llerena	**UBICACIÓN:**	N/A
REVISADO POR:	Ing. Favio Paul Portilla Yandún, Mg.	**ABSCISA:**	0
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**NO CALICATA:**	N/A

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	***0 -10***		***10 -20***		***20 -30***		***30 -40***	
Número de Golpes	**9**		**12**		**23**		**32**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	11,20	7,40	10,70	10,80	11,30	11,20	10,70	11,10
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	16,40	12,30	15,90	16,00	17,00	18,20	14,80	15,80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	12,90	9,00	12,30	12,30	12,90	13,20	11,80	12,30
Peso del agua (Ww) (gr)	3,50	3,30	3,60	3,70	4,10	5,00	3,00	3,50
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	1,70	1,60	1,60	1,50	1,60	2,00	1,10	1,20
Contenido de humedad (W%)	205,88	206,25	225,00	246,67	256,25	250,00	272,73	291,67
Promedio (W%)	206,07		235,84		253,13		282,20	
Límite Líquido (LL%)	**265,41**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5
Número de recipiente	11	13	18	19	24
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,30	10,60	6,00	5,90	6,10
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	11,40	11,40	6,60	6,70	6,90
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	10,80	10,80	6,20	6,10	6,30
Peso del agua (Ww) (gr)	0,60	0,60	0,40	0,60	0,60
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20
Contenido de humedad (W%)	120,00	300,00	200,00	300,00	14,50
Promedio (W%)	186,90				

RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
265,41	186,90	78,51

Anexo 70: Anexos Fotográficos

Excavación de las Calicatas	**Extracción de Muestras contenido de Humedad**
	
Secado de las muestras de suelo	**Ensayo de granulometría**
	

Recolección de la planta de totora	Secado de la planta de totora
	
Pretratamiento de la totora antes de la calcinación	**Calcinación controlada de la planta de totora**
	

Granulometría de la Ceniza de Totora	Límites de Atterberg de la Ceniza de Totora
	
Límites de Atterberg de las muestras	**Ensayo Proctor modificado**
	

Realización de muestras CBR	Adición de Ceniza y Suelo
	
Saturación de muestras CBR	**Ensayo Esfuerzo - Penetración**
	