



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE
ESTABILIZACIÓN PARA VERIFICAR EL CAMBIO DE LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS FINOS
EN LA COMUNIDAD GUALAY, CANTÓN CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: ARIEL STEVEN AVILA TAZA

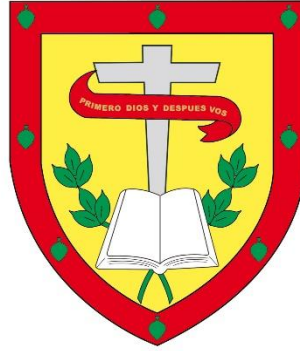
DIEGO SEBASTIAN ALVAREZ SEGARRA

DIRECTOR: ING. MARCOS DARÍO GONZÁLEZ MALDONADO. Mgs

CUENCA – ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN PARA
VERIFICAR EL CAMBIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE SUELOS FINOS EN LA COMUNIDAD GUALAY,
CANTÓN CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: ARIEL STEVEN AVILA TAZA

**DIEGO SEBASTIAN ALVAREZ SEGARRA DIRECTOR:
ING. MARCOS DARÍO GONZÁLEZ MALDONADO. Mgs**

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Ariel Steven Avila Taza y Diego Sebastián Álvarez Segarra portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N.º 0106429475 y 0105826705. Declaramos ser autore(a)s de la obra: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN PARA VERIFICAR EL CAMBIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS FINOS EN LA COMUNIDAD GUALAY, CANTÓN CUENCA", sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 1 de julio de 2025

F: 
Ariel Steven Avila Taza
0106429475

F: 
Diego Sebastián Álvarez Segarra
0105826705

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Marcos Dario Gonzales Maldonado con CI:030208046-0 en calidad de director de tesis, certifico que el trabajo que lleva por nombre "ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN PARA VERIFICAR EL CAMBIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS FINOS EN LA COMUNIDAD GUALAY, CANTÓN CUENCA", ha sido culminado con éxito por los estudiantes ARIEL STEVEN AVILA TAZA y DIEGO SEBASTIAN ALVAREZ SEGARRA bajo mi supervisión

Cuenca, 10 de junio de 2025


Ing. Marcos González Maldonado
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios, al Señor de Andacocha y a la Santísima Virgen del Cisne, por ser mi luz, mi guía y mi fortaleza en cada momento de este camino. A ellos encomiendo este logro, pues sin su bendición nada hubiera sido posible.

Dedico también este trabajo con profundo amor y gratitud a mis padres, María Magdalena Taza y Luis Mario Avila, quienes, con fe, sacrificio y apoyo incondicional, me han motivado a superarme día tras día, confiando siempre en los propósitos de Dios.

De manera muy especial, esta dedicatoria es para mi querido abuelo, Luis Taza Virgilio Cárdenas (+), quien, aunque ya no está físicamente, sigue presente en mi vida a través de sus enseñanzas, su ejemplo y sus oraciones. Sé que desde el cielo ha sido mi guía espiritual en todo momento.

Ariel Steven Avila Taza

A Dios, porque sin el nada de esto habría sido posible. Gracias por acompañarme en cada paso, por darme fuerza cuando las dudas pesaban más que la motivación, y por llenarme de esperanza en los momentos más difíciles. En silencio y sin pedir nada a cambio, siempre estuviste ahí, guiando mi camino.

A mis padres, Danilo Álvarez y Silvia Segarra, por ser mi mayor ejemplo de amor, esfuerzo y sacrificio. Gracias por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, por cada palabra de aliento, por cada abrazo a tiempo y por enseñarme que los sueños se alcanzan con trabajo y constancia. Esta meta también es suya, porque sin su apoyo nada de esto tendría sentido.

A mi tía, Tatiana Segarra, gracias por tu cariño incondicional, por estar pendiente de mí en todo momento y por darme siempre esa palabra justa que necesitaba escuchar. Tu apoyo ha sido un bálsamo en este camino.

A mis abuelitos, Rosa Yunda y Segundo Segarra, por todo el amor que me han dado, por sus oraciones, sus abrazos cálidos y por enseñarme con su ejemplo que la vida se construye con valores, humildad y mucho corazón. Me llena de orgullo poder compartir este logro con ustedes.

A todos ustedes, gracias por ser parte de mi historia, por acompañarme con amor, paciencia y fe. Esta tesis no es solo el cierre de una etapa, es también un homenaje a todo lo que hemos vivido juntos.

Diego Sebastián Álvarez Segarra

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente al Ing. Marcos González, tutor de esta tesis, por su invaluable guía, paciencia y compromiso en cada etapa de este trabajo. Su conocimiento y orientación fueron fundamentales para alcanzar este logro. Del mismo modo, extendemos nuestro reconocimiento a todos los docentes que, a lo largo de estos años de formación académica, compartieron su sabiduría y experiencia, brindando las herramientas necesarias para obtener esta formación profesional.

También queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al Ing. Juan Monje, laboratorista, por su apoyo técnico y colaboración constante durante el desarrollo de los ensayos de laboratorio, contribuyendo significativamente al avance de esta investigación.

RESUMEN

Resumen

Con el propósito de comprender las propiedades físicas y mecánicas del suelo limoso de baja plasticidad presente en la comunidad de Gualay, se llevaron a cabo diversos ensayos de laboratorio, como el análisis granulométrico, los límites de Atterberg, pruebas de compactación, capacidad de carga (CBR), corte directo y compresión simple. Los resultados evidenciaron que el suelo de la zona corresponde a un limo de baja plasticidad, cuyas características no son adecuadas para soportar cargas sin un tratamiento previo.

Se evaluaron distintas estabilizantes cal, ceniza de bagazo de caña y emulsiones asfálticas con el fin de analizar su influencia en las propiedades del suelo. Entre ellos, la cal, en una proporción del 7%, aplicada como sustitución del suelo natural, fue el aditivo que presentó los resultados más favorables. Este porcentaje permitió reducir significativamente la plasticidad, aumentar la densidad máxima, mejorar la resistencia a la compresión y optimizar la capacidad de carga del suelo. La ceniza de bagazo de caña, utilizada en porcentajes del 10%, 15% y 20%, también contribuyó a mejorar ciertas propiedades físicas y mecánicas del suelo natural, especialmente en la reducción de la plasticidad y el aumento de la firmeza, aunque en menor grado. Por su parte, el asfalto, en proporciones del 2%, 4% y 6%, mostró efectos positivos en la resistencia y cohesión del suelo, pero sin superar los beneficios obtenidos con la cal.

Finalmente, se analizó en detalle el comportamiento del suelo estabilizado con cal al 7%, en relación con la proporción sustituida del suelo natural, confirmándose su eficacia como estabilizante. Este tratamiento transformó el suelo, haciéndolo más resistente, menos susceptible a la deformación.

Palabras clave: estabilización, asfalto, ceniza, cal

ABSTRACT

Abstract

Several laboratory tests, including sieve analysis, Atterberg limits, compaction test, load-bearing capacity (CBR), and direct shear and simple compaction tests, were conducted to understand the physical and mechanical properties of low-plasticity lime soils existing in the Gualay community. The results evidenced that this soil corresponds to a low-plasticity lime, whose characteristics are inadequate to withstand loads without prior treatment.

Different lime stabilizers, bagasse ash, and asphalt emulsions were evaluated to analyze their influence on soil properties. Among them, lime at 7% proportion, applied as a substitute for natural soil, was the additive that showed the most favorable results. This percentage significantly reduced plasticity, increased maximum density, improved compressive strength, and optimized the soil's bearing capacity. Cane bagasse ash, used at 10%, 15%, and 20% proportions, also contributed to improving certain physical and mechanical properties of the natural soil, especially in reducing plasticity and increasing strength, although to a lesser extent. Asphalt, in proportions of 2%, 4% and 6%, showed positive effects on soil strength and cohesion, but without exceeding the benefits obtained with lime.

Finally, the behavior of soil stabilized with 7% lime was analyzed in detail, about the proportion substituted for the natural soil, confirming its effectiveness as a stabilizer. This treatment transformed the soil, making it more resistant and less susceptible to deformation.

Keywords: stabilization, asphalt, ash, lime

INDICE DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	14
1.1	Introducción	14
1.2	Descripción del problema.....	14
1.3	Justificación del problema.....	15
1.4	Objetivos	16
1.4.1	Objetivo General	16
1.4.2	Objetivos Específicos.....	16
2	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1	ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1.1	Uso de la cal.....	17
2.1.2	Uso de la ceniza de bagazo de caña	17
2.1.3	Uso de la emulsión asfáltica	18
2.2	Suelos	20
2.3	Tipos de suelos	21
2.3.1	Gravas	21
2.3.2	Arenas	21
2.3.3	Limos y arcillas.....	21
2.4	Clasificación de los suelos	21
2.4.1	Sistema Unificado de clasificación de Suelos (SUCS).....	22
2.4.2	Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras.	23
2.5	Propiedades de los suelos 	25
2.5.1	Propiedades físicas.....	25
2.6	Propiedades mecánicas del suelo	29
2.6.1	Métodos de estabilización.....	33
2.6.2	Cal.....	33
2.6.3	Asfalto.....	36
2.7	Ubicación de la zona	37
2.8	Materiales y Métodos	39
2.8.1	Procedimiento para la dosificación de estabilizantes.....	39
2.8.2	Exploración de campo.....	39
2.9	Ensayos de Laboratorio	39

2.9.1	Contenido de humedad	40
2.9.2	Granulometría de suelos finos	40
2.9.3	Ensayo Proctor Modificado	42
2.9.4	Ensayo CBR.....	43
2.9.5	Corte directo.....	44
2.9.6	Compresión Simple.....	45
3	CAPITULO III: Resultados y Discusiones.	46
3.1	Granulometría.....	46
3.2	Limite Liquido y Plástico	47
3.3	Clasificación del suelo	48
3.4	Suelo Estabilizados	48
3.4.1	Ensayo Limite Liquido y plástico	48
3.4.2	Ensayo Proctor	51
3.4.3	Ensayo CBR.....	53
3.4.1	Ensayo Corte directo.....	56
3.5	Ensayo de Compresión Simple	57
4	CAPITULO IV: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	61
4.1	CONCLUSIONES	61
4.2	RECOMENDACIONES	63
5	Anexos.....	67

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1.	23
Ilustración 2.	25
Ilustración 3.	30
Ilustración 4.	31
Ilustración 5.	35
Ilustración 6.	38
Ilustración 7.	41
Ilustración 8.	42
Ilustración 9.	43
Ilustración 10.	45
<i>Ilustración 11.</i>	45
Ilustración 12.	51
Ilustración 13.	53

Ilustración 14.....	55
Ilustración 15.....	55
Ilustración 16.....	59
Ilustración 17.....	59
Ilustración 18.....	60
Ilustración 19.....	60
Ilustración 20.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	26
Tabla 2.....	46
Tabla 3.....	47
Tabla 4.....	47
Tabla 5.....	48
Tabla 6.....	50
Tabla 7.....	52
Tabla 8.....	54
Tabla 9.....	56

INDICE DE APENDICE

Apéndice 1:Extracción de muestras para zona de estudio.....	67
Apéndice 2:Limites líquidos y plásticos	67
Apéndice 3:Ensayo de Proctor Modificado	67
Apéndice 4:Ensayo CBR	68
Apéndice 5:Corte directo	69
Apéndice 6:Compresión Simple.....	70
Apéndice 7: GRANULOMETRIA DE SUELOS, LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL.....	71
Apéndice 8: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 3	72
Apéndice 9: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 5	73
Apéndice 10: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 7	74
Apéndice 11: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 15	75
Apéndice 12: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 20	76
Apéndice 13: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL.....	77
Apéndice 14: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 3	78

Apéndice 1:Extracción de muestras para zona de estudio.....	67
Apéndice 2:Limites líquidos y plásticos	67
Apéndice 3:Ensayo de Proctor Modificado	67
Apéndice 4:Ensayo CBR	68
Apéndice 5:Corte directo	69
Apéndice 6:Compresión Simple.....	70
Apéndice 7: GRANULOMETRIA DE SUELOS, LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL.....	71
Apéndice 8: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 3	72
Apéndice 9: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 5	73
Apéndice 10: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 7	74
Apéndice 11: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 15	75
Apéndice 12: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 20	76
Apéndice 13: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL.....	77
Apéndice 14: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 3	78
Apéndice 15: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 5	79
Apéndice 16: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 7	80
Apéndice 17: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CENIZA BAGAZO DE CAÑA 15	81
Apéndice 18: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON BAGAZO 20.....	82
Apéndice 19: CBR SUELO NATURAL CON CAL 3	83
Apéndice 20: CBR SUELO NATURAL CON CAL 5	84
Apéndice 21: CBR SUELO NATURAL CON CAL 7	85
Apéndice 22: CBR SUELO NATURAL CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AL 10	86
Apéndice 23: CBR SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AL 15	87
Apéndice 24: CBR SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AL 20	88
Apéndice 25: CBR SUELO NATURAL	89
Apéndice 26: CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 2.....	90
Apéndice 27: CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 4.....	91
Apéndice 28: CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 6.....	92
Apéndice 29: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL	93
Apéndice 30: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 7.....	94
Apéndice 31: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 5.....	95
Apéndice 32: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 3.....	96
Apéndice 33: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 10	97
Apéndice 34: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 15	98
Apéndice 35: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 20.....	99

Apéndice 36: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 2.....	100
Apéndice 37:CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 4.....	101
Apéndice 38: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 6.....	102
Apéndice 39: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 3.....	103
Apéndice 40: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 5.....	104
Apéndice 41: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 7.....	105
Apéndice 42: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 10.....	106
Apéndice 43: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 15.....	107
Apéndice 44: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 20.....	108
Apéndice 45: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 2.	109
Apéndice 46: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 4.	110
Apéndice 47: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 6.	111

1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Según Das (2014), el suelo puede definirse como un agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquidos y gases que ocupan los espacios entre las partículas sólidas. Su relevancia radica en su función como base de soporte para diversas obras civiles y estructurales, siendo sus propiedades físicas y mecánicas clave para garantizar la estabilidad y seguridad de las construcciones. No obstante, ciertos tipos de suelos, como los de grano fino (arcillas y limos), presentan características desfavorables, como alta plasticidad, baja capacidad portante y susceptibilidad a cambios volumétricos. Estas propiedades son indispensables de controlar para evitar problemas en las infraestructuras.

La calidad del suelo es un factor determinante en la estabilidad y durabilidad de las estructuras de ingeniería civil, lo que resalta su importancia en cualquier proyecto de construcción. Como menciona Montejo Alfonso et al. (2018) en su libro *Estabilización de Suelos*, los suelos de buena calidad son preferidos porque garantizan un desempeño óptimo en las obras. Sin embargo, en muchas ocasiones, las condiciones del entorno dificultan el uso de materiales ideales. Por ello, se recurre con frecuencia a materiales de menor calidad, los cuales, mediante tratamientos específicos, pueden adaptarse para cumplir con los requisitos del proyecto. De esta manera, se logra un equilibrio entre funcionalidad y adecuación en distintos tipos de obras de ingeniería.

Para afrontar estos desafíos, la estabilización de suelos se ha consolidado como una técnica fundamental para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Este proceso consiste en combinar el suelo cohesivo con aditivos y compuestos químicos que provocan reacciones capaces de reforzar su estructura, incrementando significativamente su resistencia y durabilidad. Además, permite reducir su plasticidad, aumentar su densidad y disminuir su permeabilidad, logrando así un comportamiento más adecuado para soportar cargas y esfuerzos en obras de infraestructura.

1.2 Descripción del problema

En la parroquia Gualay, ubicada en el cantón Cuenca, provincia de Azuay, predominan suelos arcillosos y limosos, caracterizados por su alta plasticidad y baja capacidad de soporte. Estas propiedades dificultan su utilización en proyectos de infraestructura, ya que la plasticidad excesiva, evaluada mediante parámetros como el índice plástico y el límite

líquido, junto con otros parámetros físicos y mecánicos, indica una resistencia limitada ante cargas y cambios ambientales. Esto afecta la estabilidad y durabilidad de las estructuras construidas sobre estos suelos, generando riesgos técnicos y económicos en su desarrollo.

Según la GAD Parroquial de Victoria del Portete (2019), actualmente, Solo hay estudios del suelo a nivel parroquial (Victoria del Portete en general), no específicamente de Gualay. La falta de datos técnicos precisos limita las opciones de intervención, incrementando los riesgos en la ejecución de obras y elevando los costos de mantenimiento y reparaciones futuras.

1.3 Justificación del problema

En la zona de Gualay no existen antecedentes documentados de intervenciones de estabilización de suelos, lo que limita la durabilidad y estabilidad de las obras de infraestructura existentes. La alta plasticidad y baja resistencia mecánica de estos suelos generan riesgos en la ejecución de proyectos de ingeniería, así como mayores costos asociados a reparaciones y mantenimientos futuros.

Por ello, es fundamental realizar un estudio que permita determinar los estabilizantes más adecuados para lograr un mejoramiento óptimo del suelo. Esto contribuirá a garantizar la estabilidad estructural, reducir costos y promover soluciones sostenibles y adaptadas a las condiciones locales.

La selección de los estabilizantes cal, emulsiones asfálticas y ceniza de bagazo de caña, se basa en estudios previos que demuestran su potencial para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de suelos con características similares (Gavilanes Pozo, 2022; Muñoz Perez et al., 2022; Noriega Armas et al., 2022). Esta investigación busca identificar cuál de estos materiales genera el mejor desempeño, con el objetivo de proponer soluciones técnicas que mejoren la infraestructura local y puedan replicarse en regiones con condiciones geotécnicas comparables.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos finos de Gualay, en la provincia del Azuay, mediante la aplicación de distintos estabilizantes y evaluar su efectividad.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de Gualay mediante ensayos de laboratorio como análisis granulométrico, límites de Atterberg, pruebas de compactación, CBR y corte directo.
- Seleccionar y aplicar distintos tipos de estabilizantes (cal, emulsiones asfálticas y ceniza de bagazo de caña) para evaluar su influencia en las propiedades del suelo, comparando muestras tratadas y sin tratar.
- Analizar el desempeño del mejor estabilizante en base a los resultados obtenidos y emitir recomendaciones para su uso en la estabilización de suelos en la región.

2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 ESTADO DEL ARTE.

La estabilización de suelos finos, como arcillas y limos, es una técnica esencial en la ingeniería civil para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, permitiendo su empleo en diferentes tipos de proyectos de infraestructura. La correcta selección y aplicación de estabilizantes contribuyen a mitigar problemas asociados a su comportamiento, como alta plasticidad, expansión, hundimientos y deformaciones excesivas.

Según González Maldonado (2022), diversos estudios han demostrado que estabilizantes tradicionales, como la cal, son altamente efectivos para reducir la plasticidad y fortalecer la resistencia mecánica de suelos finos. En base a los resultados obtenidos, el autor ha analizado propuestas en este material, destacando su eficacia como estabilizante. Sin embargo, en búsqueda de opciones que puedan ofrecer un mejoramiento más efectivo, se han evaluado materiales como la ceniza de bagazo de caña y las emulsiones asfálticas. A continuación, se revisan los principales estudios que abordan la estabilización de suelos con estos materiales, resaltando sus resultados y contribuciones.

2.1.1 Uso de la cal

González Maldonado (2022), demostró que la adición de un 3% de cal en suelos expansivos en el sector de la Autopista Azogues, en el Azuay, fue capaz de reducir completamente la expansibilidad del suelo, logrando una mejora del 100% en su estabilidad. Sus resultados evidencian que la cal no solo reduce la plasticidad, sino que también incrementa la resistencia mecánica del suelo, ya que la resistencia a la compresión simple alcanzó 2.02 kg/cm² y la resistencia al corte directo fue de 0.6 kg/cm². Además, la disminución del índice de plasticidad en un 11% y el aumento del límite de contracción en un 3% reflejan una notable mejora en las propiedades físicas del suelo, permitiendo su uso en obras de infraestructura con menor riesgo de deformaciones excesivas.

Por otro lado, Sánchez Albán (2014), evaluó la efectividad de la cal viva en suelos de alta plasticidad, clasificados como CH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), en el sector Calcical del cantón Tosagua, en Manabí. Su estudio evidenció que la adición de cal viva reduce significativamente el hinchamiento del suelo, logrando una disminución del 20% con un 3% de cal, del 40% con un 5%, y del 57% con un 7%. Estos porcentajes muestran que, a mayor porcentaje de cal, mayor es la reducción en la expansividad, lo cual es fundamental en suelos altamente plásticos y expansivos. Aunque Sánchez no reporta en detalle las resistencias mecánicas, su estudio confirma que la cal viva es efectiva para mejorar la estabilidad y reducir la plasticidad de suelos problemáticos.

2.1.2 Uso de la ceniza de bagazo de caña

Según Goutham & Krishnaiah (2023) el uso de Ceniza de bagazo de caña (CBCA) en la estabilización de suelos finos y reportó que, al incorporar un 10% de CBCA en el suelo, se logró una reducción del 15% en el índice de plasticidad, presentando una eficacia moderada en la disminución de la plasticidad. Además, Goutham observó un aumento del 10% en la resistencia a la compresión, así como una moderada mejora en la permeabilidad, lo que contribuye a la durabilidad del suelo estabilizado.

Por su parte, Muñoz Perez et al. (2022) también evaluó la CBCA en suelos similares y encontró que, con una proporción similar, la reducción del índice de plasticidad alcanzó un 20%, además de obtener un incremento en la resistencia mecánica del 12%. Muñoz Pérez destacó que la CBCA es una alternativa económica, ecológica y de fácil manejo, con resultados positivos en la mejora de las propiedades mecánicas y en la reducción de la plasticidad, aunque señaló que su eficacia en la eliminación completa de la plasticidad es limitada en comparación con estabilizantes químicos como la cal.

2.1.3 Uso de la emulsión asfáltica

Según Andrea & Calderón (2012) el asfalto es una sustancia viscosa y pegajosa que se obtiene principalmente del petróleo. En las emulsiones asfálticas, el asfalto se combina con agua y un agente emulsificante para formar una mezcla estable, donde las partículas de asfalto se reducen a gotas muy pequeñas rodeadas por el emulsificante. Este proceso permite que el asfalto sea más fácil de aplicar y manipular en la construcción de pavimentos, además de ser más amigable con el medio ambiente. La estabilización con asfalto mediante emulsiones es crucial porque mejora la eficiencia y sostenibilidad de las obras viales. Las emulsiones permiten una mejor distribución del asfalto, reducen costos y emisiones, y facilitan su uso en diferentes condiciones climáticas y de tránsito. La correcta estabilización asegura que el asfalto se mantenga en estado adecuado durante su almacenamiento y aplicación, garantizando la durabilidad y resistencia de los pavimentos.

Usca Sarmiento (2024) en su tesis de “Estabilización de suelos finos tropicales con emulsiones asfálticas CSS-1h en pavimentos básicos con base en la Metodología de clasificación de suelos tropicales para la carretera Nanay- Mazan Iquitos”. Señala que la emulsión catiónica de rompimiento lento es utilizada con frecuencia en procesos de estabilización de suelos, riegos de adherencia y mezclas en frío además utilizando el método, los resultados obtenidos en el estudio muestran que la aplicación de emulsiones asfálticas en porcentajes cercanos al 3% en suelos finos tropicales mejora significativamente sus

propiedades mecánicas en comparación con el suelo natural. En las pruebas de CBR, el valor del suelo tratado con emulsión aumentó aproximadamente un 45% respecto al suelo sin tratar, evidenciando una notable mejora en su capacidad de soporte y resistencia. Asimismo, la prueba de Proctor indicó que el contenido óptimo de humedad para alcanzar la máxima densidad en la mezcla con emulsión fue menor, logrando reducir la humedad natural del suelo en un 20%. Esto favorece la estabilidad y disminuye la susceptibilidad a deformaciones plásticas. La resistencia mecánica, evaluada mediante ensayos de resistencia a la compresión y estabilidad Marshall, también mostró incrementos del 30% en comparación con el suelo en estado natural, confirmando que la incorporación de emulsiones asfálticas mejora la cohesión interna y la durabilidad de la subrasante. Estos resultados validan que el uso controlado de emulsiones asfálticas, específicamente en porcentajes cercanos al 3%, es eficaz para estabilizar suelos finos tropicales, logrando un suelo más resistente, menos susceptible a la humedad y con mayor capacidad de carga.

Por otro lado, Gavilanes Pozo (2022) en su tesis de “Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico – mecánicas del suelo, para el diseño de pavimentos flexibles” describe que su estudio empleó una metodología experimental consistente en la preparación de muestras de suelos granulados estabilizados mediante la adición de emulsión asfáltica. Para ello, se seleccionaron muestras de suelo, las cuales fueron secadas y homogenizadas. La cantidad de emulsión asfáltica utilizada en cada muestra fue determinada en función de porcentajes previamente establecidos (2%, 4% y 6% en peso del suelo seco). La preparación incluyó cálculos precisos, mezclas controladas y compactación en moldes específicos, simulando condiciones de campo. Luego, se realizaron ensayos de resistencia como compresión simple y CBR, para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras estabilizadas. Los resultados permitieron analizar cómo las diferentes dosis

de emulsión afectan la resistencia del suelo, estableciendo una relación directa entre la cantidad de emulsión y la mejora en las propiedades mecánicas del material estabilizado.

2.2 Suelos

Según Clancy (2022) ,el término "suelo" tiene diversas interpretaciones. En un sentido amplio, se refiere al ambiente natural donde crecen las plantas terrestres, con o sin capas claramente diferenciadas. Este concepto es el más utilizado y representa su función principal. El suelo es fundamental porque sustenta la vegetación que nos proporciona alimentos, materiales, medicinas y otros recursos esenciales. Además, actúa como un filtro natural para el agua y ayuda a reciclar residuos. Cubre casi toda la superficie terrestre, exceptuando regiones con rocas expuestas, áreas de congelamiento permanente, aguas profundas o glaciares.

Entre otros de los conceptos del suelo Akhtar (2012) define que, el suelo es un material natural notablemente complejo y distinto de otros materiales de construcción utilizados por el ser humano. Presenta una amplia diversidad de características que van desde la turba hasta la grava. Incluso en un mismo sitio y dentro de un mismo estrato, las muestras de suelo tomadas de puntos cercanos pueden mostrar propiedades significativamente diferentes. Además Baque (2017) menciona que el ingeniero debe escoger el tipo de suelo más adecuado para la intervención, así como determinar la técnica de aplicación más conveniente. Además, es fundamental supervisar y controlar cuidadosamente el proceso de colocación durante la ejecución en obra, ya que el suelo, como material estructural, debe cumplir con las especificaciones técnicas establecidas para garantizar su desempeño y estabilidad.

2.3 Tipos de suelos

2.3.1 Gravas

Las gravas están constituidas por partículas de tamaño grueso, generalmente superiores a los 2 milímetros, y se caracterizan por su alta resistencia y bajo contenido de humedad (Ortiz, 2024).

2.3.2 Arenas

Los suelos con características arenosas están compuestos principalmente por partículas de sílice de tamaño moderadamente grueso, que oscilan entre 0,02 y 2 milímetros (Ortiz, 2024).

2.3.3 Limos y arcillas

Según (Cepedes & Reyes, 2020), el limo y las arcillas son clases de suelos compuestos por partículas extremadamente finas, usualmente menores a 0,002 milímetros de tamaño. El limo se caracteriza por tener partículas aún más diminutas que las de las arcillas, lo que le confiere una notable capacidad para retener agua, afectando en gran medida su estabilidad y comportamiento mecánico. Por su parte, las arcillas contienen partículas finas que poseen una alta plasticidad y cohesión, permitiendo que puedan compactarse formando masas adherentes y resistentes

2.4 Clasificación de los suelos

En la ingeniería geotécnica, para entender y clasificar los suelos de manera efectiva, se utilizan diferentes métodos que permiten evaluar sus propiedades y comportamientos. Dos de los sistemas más reconocidos y empleados a nivel internacional son el sistema SUCS (Sistema Uniforme de Clasificación de Suelos) y el sistema AASHTO (Asociación Americana de Carreteras y Transporte). Ambos ofrecen criterios específicos, basados en aspectos como la granulometría y la plasticidad, que ayudan a determinar qué tipo de suelo se tiene y cómo reaccionará ante diferentes cargas y condiciones. La utilización de estos sistemas facilita la selección de las técnicas más adecuadas para la estabilización y el diseño de obras civiles.

2.4.1 Sistema Unificado de clasificación de Suelos (SUCS)

Braja (2015) menciona que, el sistema de clasificación de suelos conocido como SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) tiene sus raíces en una propuesta inicial realizada por Casagrande en 1948, diseñada para aplicarse en un proyecto de construcción de un aeródromo durante la Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, en colaboración con el Buró de Reclamaciones de Estados Unidos, fue revisado en 1952. Actualmente, este método es ampliamente aceptado y utilizado por los ingenieros en todo el mundo, siendo la referencia en normativas como la ASTM D-2487. La clasificación se divide en dos grandes grupos: los suelos de grano grueso, que comprenden grava y arena, y los suelos de grano fino, que incluyen limo y arcilla. Los suelos de grano grueso contienen menos del 50% de su masa que pasa a través del tamiz número 200, y sus símbolos de clasificación comienzan con la letra G para grava y S para arena. Por otro lado, los suelos de grano fino contienen 50% o más de su masa que pasa por el tamiz, y sus símbolos comienzan con la letra M para limo, C para arcilla, y O para limos y arcillas orgánicos. Además, se utilizan otros símbolos para caracterizar el comportamiento del suelo, como L para suelos de baja plasticidad, H para alta plasticidad, y Pt para suelos altamente orgánicos como turba y lodo.

Ilustración 1.

Sistema Unificado de clasificación de suelo

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	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM	
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ 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	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	
Arenas con finos		$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM		
Más de 12% finos ^{b,d}		$PI > 7$ 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 $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL ML	
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OL Límite líquido: no secado	OL	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	CH MH	
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OH Límite líquido: no secado	OH	
	Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

Nota. Fuente: Obtenido de Braja (2015)

2.4.2 Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras.

Braja (2015) menciona que , El sistema de clasificación de suelos conocido como método AASHTO fue creado en 1929 bajo el nombre de Sistema de Clasificación de la Administración de Carreteras. Desde entonces, ha sido sometido a varias actualizaciones, siendo la versión más reciente la propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares, en 1945, bajo la norma ASTM D-3282, método AASHTO M145.

Actualmente, el sistema de clasificación AASHTO se presenta en la ilustración 2. Según este sistema, los suelos se dividen en siete categorías principales, que van desde A-1 hasta A-7. Los suelos que pertenecen a los grupos A-1, A-2 y A-3 están conformados principalmente por materiales granulares, en los cuales un máximo del 35% de sus partículas puede pasar por el tamiz número 200. Por otra parte, los suelos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 contienen más del 35% de partículas que atraviesan el tamiz número 200 y generalmente

corresponden a limos y materiales arcillosos. La clasificación se fundamenta en los siguientes aspectos:

Tamaño de partícula:

Grava: fracción que pasa a través de un tamiz de 75 mm y se retiene en el tamiz de 2 mm (núm. 10).

Arena: fracción que pasa por el tamiz de 2 mm y se queda en el tamiz de 0.075 mm (núm. 200).

Limo y arcilla: partículas que atraviesan el tamiz de 0.075 mm (núm. 200).

Plasticidad:

Se denomina suelo limoso cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 10 o menos.

Se clasifica como arcilloso cuando el índice de plasticidad es igual o mayor a 11.

Ilustración 2.

Sistema de Clasificación de Suelos 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						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo de clasificación				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, $PI > LL - 30$

Nota. Fuente: Obtenido de Braja (2015)

2.5 Propiedades de los suelos

2.5.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos son aquellas características que describen la composición, estructura y apariencia del material sin tener en cuenta su comportamiento bajo cargas o esfuerzos. Entre estas propiedades se encuentran la distribución de tamaños de las partículas (granulometría), la densidad, la porosidad, el color y los límites de plasticidad. Conocer y evaluar estas propiedades es fundamental para clasificar los suelos y comprender cómo se comportarán en diferentes condiciones, además de facilitar su uso en diferentes proyectos de ingeniería y construcción.

a) Contenido de Humedad

El contenido de humedad es una medida que refleja la proporción de agua contenida en una muestra de suelo en relación con su peso seco. Se determina en laboratorio mediante

procedimientos específicos que permiten calcular el porcentaje de agua presente en la muestra. Este parámetro es fundamental para comprender cómo el suelo se comporta en diferentes condiciones, ya que influye en su densidad, cohesión y capacidad de compactación.

b) Granulometría

Según Akhtar (2012), el suelo puede clasificarse en tres tipos básicos: suelos de grano grueso, de grano fino y orgánicos. Los suelos de grano grueso son de naturaleza granular y carecen de cohesión, como la grava y las arenas. Por otro lado, los suelos de grano fino, compuestos principalmente por partículas imperceptibles a simple vista, incluyen los limos y las arcillas.

Tabla 1

Clasificación de los Suelos.

<i>Arcillas</i>	<i>Limos</i>	<i>Arenas</i>	<i>Gravas</i>
<i><</i>	<i>Fino:</i>	<i>Fina:</i>	<i>4.75</i>
<i>0.002 mm</i>	<i>0.002 mm</i>	<i>0.075 mm</i>	<i>mm - 75 mm</i>
	<i>Medio:</i>	<i>Media:</i>	
	<i>0.006 mm</i>	<i>0.2 mm</i>	
	<i>Grueso:</i>	<i>Gruesa:</i>	
	<i>0.02 mm</i>	<i>0.6 mm</i>	

Nota. Obtenido de Akhtar (2012)

De acuerdo con la tabla 1, los suelos se clasifican según el tamaño de las partículas que los componen. Braja (2015) Luego encontramos los limos, que se dividen en tres categorías: limos finos (0.002 mm), limos medios (0.006 mm) y limos gruesos (0.02 mm). Por su parte, las arenas abarcan partículas de mayor tamaño, clasificándose en arenas finas (entre 0.075 mm y 0.2 mm), arenas medias (de 0.2 mm a 0.6 mm) y arenas gruesas (de 0.6 mm a 4.75 mm). Finalmente, las gravas corresponden a las partículas más grandes, con

tamaños que oscilan entre 4.75 mm y 75 mm. Esta clasificación detalla cómo varía el suelo en función de sus proporciones de partículas, lo que influye directamente en sus propiedades físicas y mecánicas.

Según menciona Badillo (2005), en su libro de “Mecánica de Suelos”, la curva granulométrica se representa en un gráfico donde los porcentajes de partículas se colocan en el eje vertical (ordenadas), mientras que los tamaños de las partículas aparecen en el eje horizontal (abscisas). Este último generalmente se presenta en una escala logarítmica porque facilita la visualización de una mayor variedad de tamaños, desde partículas muy finas hasta las más gruesas. En cambio, una escala natural puede comprimir demasiado los datos, haciendo difícil interpretarlos adecuadamente. La forma de la curva granulométrica proporciona una idea clara de la distribución de tamaños en el suelo. Si un suelo estuviera compuesto únicamente por partículas de un solo tamaño, la curva sería una línea vertical (lo que indicaría que el 100% de las partículas tienen el mismo tamaño). Sin embargo, en suelos reales, una curva más tendida y con menor pendiente sugiere una amplia variedad de tamaños (un suelo bien graduado), mientras que una curva más vertical y abrupta indica un suelo con una distribución más uniforme o mal graduada.

c) Límites de Plasticidad

Según el libro de mecánica de suelos de Braja (2015), los suelos contienen minerales de arcilla en cantidades importantes. La cohesión de estos materiales se debe a la humedad presente en las partículas, lo que les confiere cierta estabilidad. La presencia de agua adsorbida en las partículas de arcilla forma una capa que ayuda a mantener unido el suelo, aportándole resistencia.

A partir de estos comportamientos, y de manera convencional, se puede clasificar el estado del suelo en cuatro categorías principales según su contenido de agua: estado sólido, semisólido, plástico y líquido.

Por su parte, Badillo (2005) señala que algunos suelos, al ser manipulados o al variar su contenido de agua, adquieren una propiedad llamada plasticidad. Esta característica, que históricamente se asoció con las arcillas y su uso en cerámica, se ha convertido en un concepto fundamental en la mecánica de suelos. La plasticidad no solo es una cualidad descriptiva, sino que también tiene importantes implicaciones en el comportamiento mecánico del suelo.

Diversas investigaciones han demostrado que esta propiedad surge de la presencia de partículas muy finas con estructura laminar, lo cual afecta tanto la compresibilidad del material como su permeabilidad. La plasticidad, por tanto, está estrechamente vinculada con otras propiedades físicas esenciales de los suelos.

Según Garcia (2024), en su estudio de titulación, en 1911, el científico sueco Albert Mauritz Atterberg llevó a cabo investigaciones en química y agricultura en las que definió los límites de la consistencia de los suelos finos, permitiendo su clasificación. Sus estudios demostraron que la capacidad de deformación plástica es una característica exclusiva de los suelos cohesivos. Además, propuso que los suelos con partículas menores a 2 micrómetros (0.002 mm) deben considerarse como arcillas.

Asimismo, en el estudio de Puy Santín (2005) se explica que el concepto de límite líquido fue tratado inicialmente por Atterberg y ha sido objeto de diversos métodos de medición y debate a lo largo del tiempo. En 1927, Terzaghi sugirió a Casagrande que diseñara un dispositivo mecánico para determinar el límite líquido de manera más precisa.

El índice plástico (IP) depende en gran medida de la cantidad de partículas de arcilla presentes en el suelo. Cuando no se puede determinar un límite plástico, el suelo se clasifica como no plástico (NP), y su índice plástico se considera cero. Según Atterberg, los suelos pueden clasificarse según su IP: aquellos con un índice menor a 7 tienen baja plasticidad,

entre 7 y 17 muestran plasticidad media, y los que superan ese valor son considerados altamente plásticos.

2.6 Propiedades mecánicas del suelo

d) Compactación

Al compactar un suelo, se incrementa su densidad, lo que trae varias ventajas clave.

En primer lugar, aumenta su resistencia a las fuerzas cortantes, ya que se mejora la cohesión entre las partículas, haciendo que el material sea más estable. Además, la compactación reduce la permeabilidad del suelo, ayudando a prevenir problemas como la erosión o deformaciones derivadas de variaciones en su volumen, especialmente en climas fríos.

También se disminuye su capacidad de compresión, lo cual previene la formación de espacios donde podría acumularse agua.

e) Proctor Estándar

Según Sanz Llano (1975), el ensayo Proctor estándar utiliza un molde cilíndrico con un diámetro de 4 pulgadas (101.6 mm) y una altura de 4.6 pulgadas (116.8 mm). La compactación del suelo se realiza en tres capas, cada una con un espesor aproximado de 4 cm. Para compactar el suelo, se emplea un pisón manual que pesa 5.5 libras (2.49 kg) y se deja caer desde una altura de 12 pulgadas (30.48 cm). Cada capa recibe 25 golpes uniformemente distribuidos. Cabe destacar que, para este ensayo, únicamente se utilizan muestras de suelo con partículas menores a 5 mm, eliminando cualquier material de mayor tamaño. Este método de compactación está regulado por la normativa ASTM D698, que establece los procedimientos para determinar la relación entre la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de un suelo bajo condiciones de energía de compactación estándar. Existen métodos para determinar el método de compactación como se muestra en la ilustración 3.

Ilustración 3.

Especificaciones de la prueba proctor estandar.

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del martillo	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de la caída del martillo	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación	591.3 kN-m/m ³	591.3 kN-m/m ³	591.3 kN-m/m ³
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm

Nota. Fuente: Obtenido de Braja (2015)

f) Proctor Modificado

Según señala Braja (2015), con el avance en el uso de rodillos pesados en trabajos de compactación en campo, la prueba de Proctor estándar fue adaptada para reflejar mejor las condiciones reales de trabajo. Este ajuste también es conocido como la prueba de Proctor modificada, conforme a las normas ASTM D-1557 y AASHTO T La prueba Proctor modificada sigue un procedimiento similar al de la prueba estándar, pero presenta variaciones tanto en el volumen del molde como en la energía de compactación aplicada. En este ensayo se utiliza un molde cilíndrico con una capacidad de 2.320 cm³ y una maza de 4,535 kg, la cual se deja caer desde una altura de 457 mm.

A diferencia del método estándar, el material se compacta en 5 capas, aplicando 25 golpes por capa. Del mismo modo, se realizan mediciones de humedad y densidad en el interior del molde con distintos contenidos de humedad. Estos datos permiten trazar la curva Proctor, lo que marca la finalización del ensayo, como se muestra en la ilustración 4

Ilustración 4.

Especificaciones de la prueba proctor modificada.

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm.	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm.

Nota. Fuente: Obtenido de Braja (2015)

g) Relación de Soporte de California

Según la ASTM D1883 (2021), El método de prueba CBR (Relación de Soporte de California) es utilizado principalmente para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y capa base en pavimentos, incluidos materiales reciclados, en el diseño de carreteras y aeródromos. Este ensayo se realiza en muestras compactadas en laboratorio con partículas menores a 19 mm y, en algunos casos, se permite modificar la gradación para evaluar materiales con partículas mayores, aunque esto puede alterar sus propiedades de resistencia. El procedimiento generalmente incluye la determinación del CBR bajo contenido de agua óptimo o un rango específico de humedad, según las especificaciones del cliente o el diseño.

Es importante tener en cuenta factores como las condiciones ambientales, el drenaje y los efectos estacionales que puedan influir en el comportamiento del suelo. Además, los

resultados del ensayo dependen de la competencia del personal, el equipo utilizado y las condiciones de ensayo. Este método está alineado con estándares internacionales y utiliza principalmente unidades gravitacionales en pulgadas-libra o SI, dependiendo de la región y los requisitos del cliente.

h) Corte directo

Según la ASTM D1883 (2021), el método del corte directo determina la resistencia al corte consolidada y drenada de un suelo en corte directo. La prueba se realiza deformando una muestra a una velocidad controlada en un plano de corte definido por el equipo.

Generalmente, se prueban tres o más muestras bajo diferentes cargas normales para observar los efectos en la resistencia al corte, desplazamiento y propiedades como la envolvente de resistencia de Mohr. Los esfuerzos de corte y desplazamientos no son uniformes dentro de la muestra, por lo que no se pueden calcular relaciones de tensión-deformación ni módulos a partir de esta prueba. La interpretación de los resultados queda a cargo del ingeniero que solicita la prueba. Además, la presencia de partículas de suelo o roca puede influir en los resultados.

Ensayo de compresión simple

En la tesis de Cepedes & Reyes (2020) , el ensayo de compresión simple se refiere a una prueba de laboratorio utilizada para determinar la resistencia y comportamiento del suelo ante cargas de compresión aplicadas de manera controlada. En este ensayo, una muestra de suelo es sometida a una carga axial progresiva, permitiendo observar la deformación que experimenta bajo esa carga. La finalidad principal de este método es evaluar la capacidad del suelo para soportar esfuerzos de compresión, así como comprender su deformabilidad y resistencia ante diferentes condiciones.

Como menciona Afrin (2017) , en su artículo de” Stabilization of Clayey Soils Using Chloride Components”, destaca que la estabilización del suelo implica el uso de técnicas o materiales que transforman las propiedades naturales del suelo para hacerlo más adecuado desde una perspectiva de ingeniería, mejorando su resistencia, durabilidad o capacidad de carga. Esto se logra mediante la adición de compuestos específicos o químicos que modifican su estructura y comportamiento.

2.6.1 Métodos de estabilización

Según Montejo Alfonso et al. (2018a) y Das (2014), La mejora de los suelos puede lograrse mediante diversos métodos, como los mecánicos, químicos, eléctricos y térmicos, cuya efectividad varía según las propiedades del suelo y el procedimiento aplicado. Dentro de estos enfoques, la estabilización mecánica se enfoca en optimizar las características físicas del suelo sin modificar su composición química, empleando técnicas como la compactación.

2.6.2 Cal

La cal es un material ampliamente utilizado en la estabilización de suelos debido a su capacidad para generar reacciones puzolánicas, lo que mejora sus propiedades mecánicas y estabilidad. Su efectividad en estos procesos está determinada por su composición química y el método de producción.

El componente principal de la cal viva es el óxido de calcio (CaO), obtenido mediante la calcinación de carbonatos de calcio o dolomita a temperaturas superiores a $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este proceso descompone los minerales, liberando dióxido de carbono (CO_2) y dejando como residuo óxidos de calcio y, en el caso de la dolomita, óxido de magnesio (MgO). La cal viva es altamente reactiva y, en presencia de agua, se transforma en hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), un compuesto con importantes propiedades estabilizantes. Su pureza depende de la presencia de impurezas minerales, como sílice, aluminio o hierro, presentes en la roca de origen (Bauzá Castelló, 2015) .

Cuando la cal entra en contacto con suelos arcillosos, ocurren transformaciones tanto químicas como físicas. La Highway Research Board Bulletin (1959) define la actividad puzolánica como la capacidad de la cal para reaccionar, a temperatura ambiente, con materiales que contienen compuestos silíceos, formando compuestos estables e insolubles en presencia de agua. Esta reacción mejora la cohesión y resistencia del suelo, favoreciendo su uso en procesos de estabilización.

Por otro lado, la cal hidratada se obtiene al mezclar cal viva con agua en un proceso denominado hidratación o apagado, durante el cual se forma hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y se libera calor. Si la cal proviene de dolomitas, también se genera hidróxido de magnesio (Mg(OH)_2). Aunque la cal hidratada es menos reactiva que la cal viva, sus características la hacen adecuada para la estabilización de suelos, ya que interactúa con los minerales arcillosos y mejora su resistencia y cohesión (Bauzá Castelló, 2015).

i) Método para Determinar la Cantidad Óptima de Cal en la Estabilización de Suelos

Según Montejo Alfonso et al. (2018a) para determinar la cantidad óptima de cal se puede utilizar el ábaco de McDowell, como se muestra en la ilustración 5. Este método gráfico presenta curvas que indican diferentes porcentajes de cal en el suelo seco. El proceso comienza ubicando el índice de plasticidad del suelo en el eje horizontal superior del ábaco. Desde este punto, se traza una línea paralela a la curva correspondiente al menor porcentaje de cal y se baja hasta encontrar la intersección con una línea horizontal que representa el porcentaje de “pasa tamiz 40” del suelo. Finalmente, en el punto de intersección, se levanta una línea vertical para obtener el porcentaje de cal necesario para la estabilización.

k) Ceniza de Bagazo de caña

Según, Muñoz Perez et al. (2022) la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) se obtiene al quemar el bagazo, un residuo de la producción de azúcar, en calderas industriales para la generación de energía. Este proceso produce una ceniza rica en sílice amorfa y otros óxidos minerales, cuyas propiedades dependen de factores como la temperatura de combustión y las características del bagazo original. La CBCA ha demostrado potencial como material puzolánico en aplicaciones de construcción

l) Estabilización de Suelos con ceniza de bagazo

En el estudio de Gutiérrez Montoya & Romero Costilla (2022) , se le determina un porcentaje para suelos limosos Este estudio evaluó la adición de CBCA en porcentajes del 10%, 15% y 20% en suelos limosos (ML) y arenas mal graduadas (SP). Los resultados mostraron que la adición del 15% y 20% de CBCA mejoró la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad, incrementando el CBR de diseño hasta un 12.57% en comparación con el suelo

2.6.3 Asfalto

Según (Rodríguez et al., 2001), el asfalto conocido también como bitumen, es un material empleado desde tiempos antiguos, con registros que datan del año 2500 a.C. en Egipto, donde se utilizaba principalmente en impermeabilización y como adhesivo en obras arquitectónicas y decorativas, gracias a su adhesividad y resistencia al agua. Con el tiempo, su uso se expandió y adquirió mayor relevancia en la construcción moderna, especialmente en la creación de pavimentos y carreteras, donde sus propiedades de bajo costo, durabilidad e impermeabilidad lo posicionaron como el material preferido. Este auge fue impulsado por su capacidad para resistir condiciones climáticas adversas y garantizar una vida útil prolongada en comparación con otros materiales. Su adopción masiva fue posible gracias a los avances en la refinación del petróleo, ya que el asfalto se obtiene como un residuo de este proceso, lo que aseguró un suministro constante y económico. Actualmente, el asfalto no solo es esencial

para la fabricación de carpetas asfálticas en carreteras, sino también para aplicaciones como impermeabilización, adhesivos y sellantes, consolidándose como un pilar en la construcción moderna, reflejando su evolución desde sus usos iniciales hasta su papel protagónico en la infraestructura contemporánea.

Emulsiones asfálticas

Según estudios realizados por Sarmiento Otálora (2012), las emulsiones asfálticas surgieron a principios del siglo XX en diferentes regiones del mundo, con distintos propósitos en la construcción de caminos. La primera utilización conocida de una emulsión aniónica fue en Nueva York en 1905, cuando se aplicó como una medida preventiva para reducir el polvo en las vías. Posteriormente, en 1914, el estado de Indiana inició trabajos de reparación de caminos utilizando emulsiones.

En Europa, estas emulsiones comenzaron a emplearse alrededor de 1925, aprovechando los ácidos nafténicos presentes en el asfalto, que funcionan como emulsionantes. La técnica involucraba agregar agua y sosa cáustica a la mezcla de asfalto, y someterla a una agitación intensa para formar la emulsión. Sin embargo, uno de los principales problemas de esta tecnología era el largo tiempo que tardaba en romperse, lo cual generaba retrasos en los proyectos de construcción, especialmente en temporadas lluviosas. Como resultado, durante varias décadas, los asfaltos líquidos, conocidos como cutbacks, fueron preferidos por los constructores, a pesar de los problemas ambientales que estos productos también ocasionaban.

2.7 Ubicación de la zona

La comunidad de Gualay está ubicada en el sector de Victoria del Portete, en la ciudad de Cuenca, provincia de Azuay, Ecuador. Se encuentra a aproximadamente 25 kilómetros del centro urbano de Cuenca, en una zona que presenta características rurales y agrícolas. La

región está conformada por formaciones geológicas que han dado lugar a suelos de grano fino, principalmente arcillas y limos; estos suelos limitan su uso en la construcción debido a su baja capacidad de soporte y su alta susceptibilidad a cambios volumétricos

Según la PDOT Victoria del Portete (2019) la vegetación predominante en la zona corresponde a bosques secos y áreas de cultivo, con la cobertura vegetal que varía según la altitud y las condiciones del terreno. La presencia de estos suelos finos y su comportamiento geotécnico requieren consideraciones especiales para cualquier proyecto que involucre movimiento de tierra o construcción.

El acceso a la comunidad presenta dificultades, ya que las vías de comunicación no están en buenas condiciones. La zona carece de carreteras pavimentadas o en buen estado, lo que complica el ingreso durante temporadas lluviosas y representa un reto para el transporte de materiales y personal. Esta situación limita las actividades de campo y requiere una planificación cuidadosa para futuras intervenciones en la zona.

Ilustración 6.

Ubicación de la zona de Estudio



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

2.8 Materiales y Métodos

2.8.1 Procedimiento para la dosificación de estabilizantes

Para determinar el porcentaje de estabilizante (cal, ceniza de bagazo de caña y asfalto) en relación al peso seco del suelo, se emplea el método de sustitución, siguiendo procedimientos establecidos en normas internacionales como la ASTM D4318, que regula los límites de plasticidad y liquidez de los suelos (ASTM, 2018). Este método consiste en calcular la cantidad de estabilizante a partir del peso seco de la muestra de suelo, obtenido mediante la determinación del contenido de humedad y el peso total de la muestra húmeda. Al conocer el peso seco, se multiplica por el porcentaje deseado de estabilización para determinar la cantidad de estabilizante a añadir.

2.8.2 Exploración de campo.

Se realizó la determinación de la zona de estudio en Gualay, donde se llevó a cabo una inspección visual del área. Durante la exploración, se observó que el color del suelo indicaba que se trataba de suelos finos, principalmente de tonalidades, lo que sugiere una composición predominantemente arcillosa o limosa. Con base en estas observaciones, se asumió que el suelo en la zona presenta propiedades típicas de suelos finos, justificando su selección para el estudio de estabilización.

Para garantizar la representatividad de los resultados, se tomaron muestras de suelo representativas del área inspeccionada. Estas muestras serán sometidas a análisis en laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, permitiendo así un estudio técnico preciso y fundamentado para la evaluación de los estabilizantes.

2.9 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante pruebas como:

- 1) Contenido de Humedad (ASTM D2216).
- 2) Análisis Granulométrico (ASTM D422).
- 3) Límites de Atterberg (ASTM D4318).

- 4) Proctor Estandar (ASTM D698)
- 5) CBR (ASTM D 1883-07)
- 6) Compresión Simple (ASTM D2166)
- 7) Corte Directo (ASTM D-3080)

2.9.1 Contenido de humedad

Se pesó una cantidad representativa de la muestra húmeda utilizando una balanza de precisión, después la muestra fue colocada en una estufa a una temperatura constante de 105°C durante 24 horas para eliminar toda el agua contenida en ella.

Luego del secado, la muestra fue retirada del horno y dejada enfriar en un desecador para evitar la absorción de humedad del ambiente. Posteriormente, se pesó nuevamente, con los pesos tenidos se procede a usar la siguiente formula

$$h\% = \frac{P_H - P_d}{P_d} * 100$$

donde:

Ph=Peso de la muestra húmeda

Pd= Peso de la muestra seca

2.9.2 Granulometría de suelos finos

Dado que en las muestras analizadas no se encontró presencia significativa de grava, se procedió a realizar la granulometría de la fracción de finos del suelo natural únicamente, se considera que la distribución de partículas finas del suelo no variará sustancialmente tras la estabilización, permitiendo que los resultados obtenidos en el suelo natural sean representativos para el análisis de las propiedades granulométricas del material en estudio.

El proceso inició con el lavado de la muestra para eliminar partículas adheridas y restos de materia orgánica, utilizando agua corriente y, en caso necesario, un detergente suave para facilitar la limpieza. Después del lavado, la muestra fue secada en estufa a 105°C durante 24 horas para garantizar la eliminación completa de humedad residual. Una vez seca, se dejó enfriar en un desecador y se homogeneizó, asegurando una distribución uniforme de

las partículas. La muestra fue luego pesada, aproximadamente 200 gramos, y colocada en un tamiz de malla certificada, seleccionada para clasificar partículas menores a 0.075 mm, correspondiente a la fracción de arena fina y arcilla. La muestra fue sometida a tamizado mecánico durante 10 minutos, garantizando un movimiento uniforme que permitiera separar las partículas según su tamaño, así como se muestra en la ilustración 8 los tamices de acuerdo a su número de separación. Tras el tamizado, se pesaron las fracciones retenidas en cada tamiz y la fracción que pasó por el tamiz más fino, registrando cuidadosamente estos valores. Con estos datos, se calcularon los porcentajes de cada fracción en relación con el peso total de la muestra, mediante la fórmula que relaciona el peso de cada fracción con el peso total, multiplicado por 100. Finalmente, estos porcentajes permitieron elaborar la curva de granulometría.

Ilustración 7.

Tamices para proceso granulométrico.



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

2.9.3 Ensayo Proctor Modificado

Se utilizó el método B del Proctor Modificado para determinar la humedad óptima y la densidad máxima del suelo, conforme a lo establecido en la norma ASTM D1557. Este método emplea un martillo de 4.54 kg (10 lb) que se deja caer desde una altura de 457 mm (18 pulgadas), utilizando un molde de menor volumen, como se muestra en la Ilustración 8. La compactación se realizó en tres capas de igual espesor, aplicando 25 golpes por capa, con distintas cantidades de agua según lo recomendado en la norma, con el fin de trazar la curva de compactación.

Para la obtención de las muestras, se prepararon cuatro cilindros por cada condición, lo que permitió establecer distintos puntos en la curva de compactación. Se realizaron 4 cilindros para el suelo natural y 12 cilindros para cada uno de los estabilizantes cal y ceniza de bagazo, utilizando 3 porcentajes de sustitución por cada estabilizante (con 4 cilindros por porcentaje). En total, se elaboraron 28 cilindros para el ensayo Proctor modificado, lo que permitió comparar el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de estabilización.

Ilustración 8.

Cilindro del ensayo Proctor Modificado



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

2.9.4 Ensayo CBR

El ensayo CBR se realizó siguiendo la metodología del Proctor modificado. Para ello, se prepararon muestras de suelo natural, suelo estabilizado con cal, suelo estabilizado con ceniza de bagazo y suelo estabilizado con emulsión asfáltica.

En el caso del suelo natural y los suelos estabilizados con cal y ceniza de bagazo, las muestras se humedecieron hasta alcanzar la humedad óptima previamente determinada en los ensayos de compactación. Posteriormente, fueron compactadas en cinco capas iguales, utilizando un martillo de mayor tamaño. De acuerdo con la normativa correspondiente, se aplicaron 12 golpes en el primer cilindro, 25 en el segundo y 56 en el tercero.

Para la muestra estabilizada con emulsión asfáltica, se calentó el asfalto hasta su temperatura de trabajo y se mezcló con el suelo en una cocina de mezclas, garantizando una distribución homogénea del material. Luego, se procedió a compactar las muestras bajo las mismas condiciones que los otros suelos, utilizando la humedad óptima determinada para el suelo natural como referencia.

En total, se analizaron 3 cilindros para el suelo natural, y 9 cilindros para cada tipo de suelo estabilizado: con cal, con ceniza de bagazo y con emulsión asfáltica, utilizando 3 cilindros por cada porcentaje de sustitución. En conjunto, se trabajó con 30 cilindros en el ensayo CBR

Ilustración 9.

Cilindro del ensayo CBR



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

2.9.5 Corte directo

Con el método Proctor Modificado, se determinó la humedad óptima para la muestra de suelo estabilizado, realizando las correspondientes pruebas de compactación. Para preparar las muestras, primero se extrajo la muestra del cilindro en el caso del suelo natural. Luego, para las muestras estabilizadas con cal y ceniza de bagazo, se remoldeó un cilindro en la máquina de Proctor. Las cantidades de cal, ceniza de bagazo y asfalto se determinaron mediante el método de sustitución, en el cual se calculó la cantidad necesaria multiplicando el peso seco del suelo por el porcentaje de estabilizante deseado. Para el proceso del asfalto se calentó hasta alcanzar su temperatura de trabajo y, en una cocina de mezclas, se mezcló con el suelo estabilizado para obtener una distribución homogénea antes de remoldar. En todas las muestras, la compactación se llevó a cabo en varias capas para garantizar condiciones uniformes. Posteriormente, en las máquinas de corte directo, como se muestran en las ilustraciones 10 y 11, la muestra se sometió a una carga axial progresiva para evaluar su resistencia al corte. La prueba permitió medir la resistencia del suelo en diferentes niveles de deformación, proporcionando datos esenciales para determinar la cohesión y el ángulo de fricción del material, aspectos fundamentales en el análisis de su comportamiento mecánico bajo carga.

Para la elaboración de las muestras, se prepararon un total de 10 cilindros: uno de suelo natural, tres con diferentes porcentajes de cal, tres con diferentes porcentajes de ceniza de bagazo y tres con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica.

Ilustración 10.

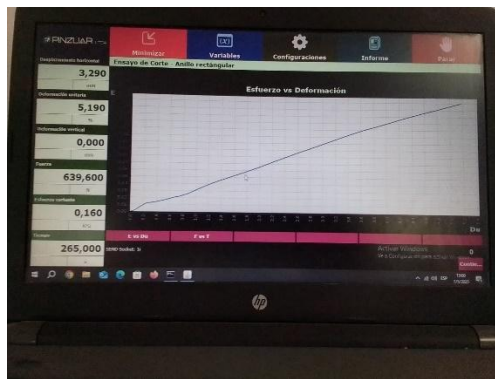
Obtención de muestras en los anillos para el ensayo Corte directo



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 11.

Equipo y software para el ensayo corte directo



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

2.9.6 Compresión Simple

Para evaluar la resistencia mecánica de las muestras de suelo natural, estabilizado con cal y ceniza de bagazo, y con asfalto, se utilizó el método de compresión simple. En este procedimiento, cada muestra, preparada en cilindros mediante el método de sustitución y compactada en condiciones controladas, se colocó en la máquina de compresión. La muestra se sometió a una carga axial progresiva a una velocidad constante hasta alcanzar la falla, registrando la carga máxima soportada por el material.

Para la elaboración de las muestras, se prepararon un total de 10 cilindros: uno de suelo natural, tres con diferentes porcentajes de cal, tres con diferentes porcentajes de ceniza de bagazo y tres con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica.

3 CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Tabla 2.

Humedad de los suelos.

Muestra	Ubicación	Humedad
		Natural
1	Gualay-Cuenca-Azuay	23.5

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

La tabla 2 representa la muestra de suelo en Gualay-Cuenca-Azuay presenta una humedad natural de 23.5%, valor que indica la cantidad de agua contenida en el suelo en su estado original sin modificaciones.

3.1 Granulometría

La tabla 3 representa el proceso de análisis granulométrico mediante tamizado, un método empleado para evaluar la distribución de tamaños de partículas en una muestra de suelo. Según los resultados obtenidos, el suelo se clasifica como de grano fino, dado que más del 50% de sus partículas poseen un diámetro menor a la abertura del tamiz #200 (0.075 mm).

Tabla 3.*Granulometría del Suelo Natural. Elaborado por autor*

FINOS					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Pes. Ret. Acum. (gr)	% Retenido	% Pasa
10	2	3.300	3.300	0.6%	99.4%
40	0.425	45.5	48.800	9.2%	90.8%
200	0.075	34.1	82.900	15.6%	84.4%
FONDO		0.6			
Total	-	83.500			

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

3.2 Limite Liquido y Plástico

Según la tabla 4, nos presenta los límites de consistencia del suelo, El límite líquido del suelo es 47, mientras que el límite plástico es 39%. El índice de plasticidad (Ip) calculado a partir de estos valores es 8%.

Tabla 4.*Límites de Atterberg del suelo natural*

Limite Liquido%	Limite plástico%	IP%
47	39	8

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

3.3 Clasificación del suelo

Tabla 5

Clasificación del suelo natural

Ubicacion	Tipo de Suelo según SUCS	Tipo de Suelo según AASHTO
Gualay- Cuenca-Ecuador	ML	A-5- 10 (limos de baja plasticidad)

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Debido a que más del 50% del material pasa en el tamiz 200, el suelo es principalmente un material fino, compuesto mayoritariamente por limos y arcillas. Esta alta proporción de partículas finas indica que el suelo tiene una granulometría predominantemente limo-arcillosa. En función de los límites de plasticidad, (LL=47 y IP=8), se confirma que es un limo de baja plasticidad.

Como se observa en la tabla 5, en la clasificación SUCS, este suelo corresponde a un ML (Limo de baja plasticidad), y en la clasificación AASHTO, sería un A-5-10, indicando un limo de baja plasticidad.

3.4 Suelo Estabilizados

3.4.1 Ensayo Limite Liquido y plástico

Según la tabla 6 y la ilustración 13, el suelo natural analizado tiene valores de límite líquido (LL) de 47, límite plástico (LP) de 39 y un índice de plasticidad (IP) de 8. Estos resultados indican que se trata de un material con baja capacidad de soporte y alta deformabilidad, características típicas de suelos con alta finura y poca resistencia. Sin

embargo, al agregar cal al 3%, se observa que los límites de Atterberg aumentan ligeramente , alcanzando 53.14 en LL y 41.24 en LP. Este incremento se debe principalmente a las propiedades higroscópicas de la cal, que requiere mayor cantidad de agua para reaccionar y estabilizar el suelo. La cal, al atraer y retener humedad, aumenta la capacidad del suelo para absorber agua, lo que eleva sus límites de deformabilidad y plasticidad.

Cuando se aumenta el contenido de cal al 5%, los límites presentan valores de 52.96 en LL y 39.74 en LP. Aunque levemente menores que en el 3%, mantienen una tendencia de aumento, ya que la cal continúa requiriendo más agua para reaccionar y estabilizar el suelo.

Al seguir incrementando el contenido de cal al 7%, los límites de LL y LP permanecen en valores de (52.40 y 39.18), confirmando que la adición de cal mantiene estos límites altos.

Por otro lado, la incorporación de ceniza al 10% produce una caída significativa en los límites de LL y LP, con valores de 26.47 y 20.53, respectivamente. La ceniza, al ser un material que no requiere tanta agua para reaccionar, no incrementa estos límites de manera tan marcada. Esto resulta en un suelo más estable, con menor susceptibilidad a cambios en la humedad ambiental y menor deformabilidad. La reducción en los límites indica una mejora en la estabilidad y una menor dependencia del contenido de agua para su comportamiento mecánico.

Al aumentar la ceniza al 15%, los límites de LL y LP se mantienen en niveles similares (27.08 y 22.53), con una ligera tendencia a estabilizarse. La menor necesidad de agua en la reacción de la ceniza permite que el suelo tenga menores límites de plasticidad, favoreciendo un comportamiento mecánico más estable. La resistencia continúa mejorando, y el suelo se vuelve menos deformable y más resistente.

Finalmente, con ceniza al 20%, los límites son 29.52 en LL y 25.53 en LP, con un IP muy bajo de 3.996. Esto demuestra que el suelo tratado con ceniza en esta proporción tiene

muy poca capacidad de deformación y una alta estabilidad mecánica. La menor dependencia de agua en la reacción de la ceniza contribuye a mantener estos límites controlados, haciendo que el suelo sea muy apto para soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas.

Tabla 6.

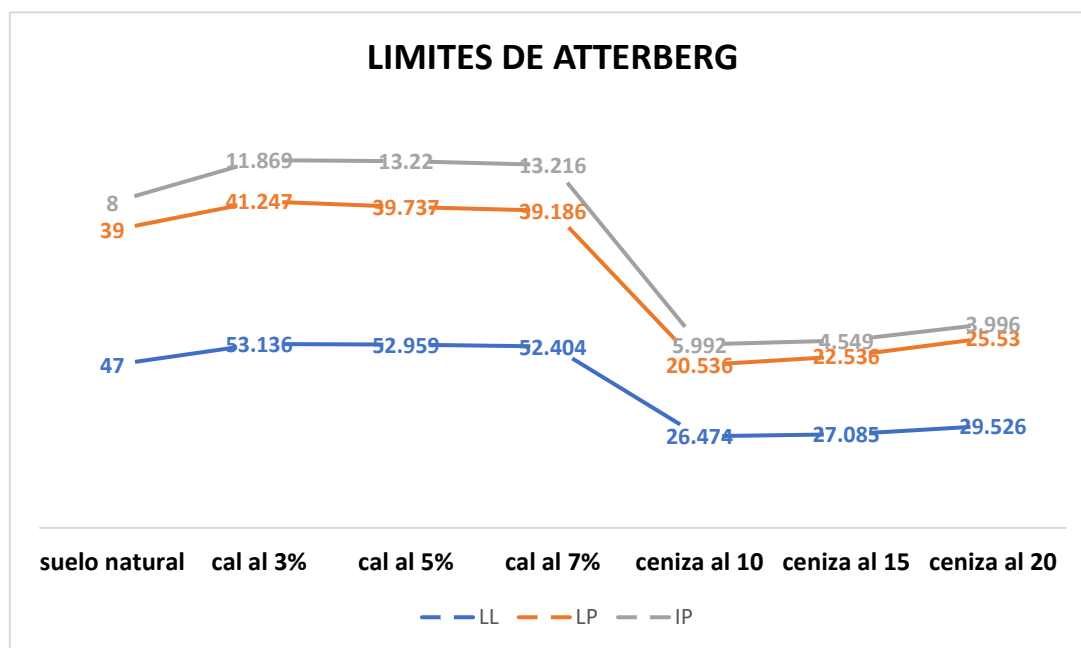
Cuadro de resumen del ensayo para los Límites de Atterberg.

Muestra	Límite líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad
Suelo natural	47	39	8
Cal al 3%	53.14	41.25	11.87
Cal al 5%	52.96	39.74	13.22
Cal al 7%	52.4	39.19	13.21
CBCA 10%	26.47	20.54	5.99
CBCA 15%	27.08	22.54	4.54
CBCA 20%	29.53	25.53	3.99

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 12

Propiedades de consistencia del suelo.



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

3.4.2 Ensayo Proctor

Como se observa en tabla 7 e ilustración 15 se presentan los datos del ensayo de compactación del suelo en diferentes mezclas con cal y ceniza de bagazo, comparándolos con el suelo natural. Se observa que el suelo natural tiene una humedad óptima de aproximadamente 24.87% y una densidad de 1547 kg/m³. Cuando se añade cal en porcentajes del 3%, 5% y 7%, la humedad óptima aumenta en cada caso, llegando hasta casi un 33.15% con el 7% de cal. Esto indica que la cal requiere que el suelo tenga más agua para alcanzar la mejor compactación, probablemente debido a que modifica las propiedades del suelo, haciéndolo más poroso y permitiendo mayor capacidad de deformación.

Por otro lado, la densidad en estas mezclas con cal disminuye ligeramente, bajando hasta valores cercanos a 1356 kg/m³ con el 7% de cal. Esto significa que, aunque se necesita más agua para compactar, el suelo en estas condiciones se vuelve un poco menos denso, posiblemente por la presencia de la cal que genera una estructura más abierta y porosa.

En contraste, las mezclas con ceniza de bagazo en porcentajes del 10%, 15% y 20% muestran que la humedad óptima también aumenta respecto al suelo natural, pero en menor proporción, llegando hasta alrededor del 27%. La densidad en estas mezclas se mantiene en valores cercanos a 1146-1156 kg/m³, bastante similares y ligeramente menores que el suelo natural. El descenso en densidad se debe a que, al usar porcentajes altos de ceniza, esta sustituye parcialmente al suelo y cambia la estructura del material natural, ya que las partículas de la ceniza son muy finas o menores que los tamaños del grano del suelo.

Tabla 7

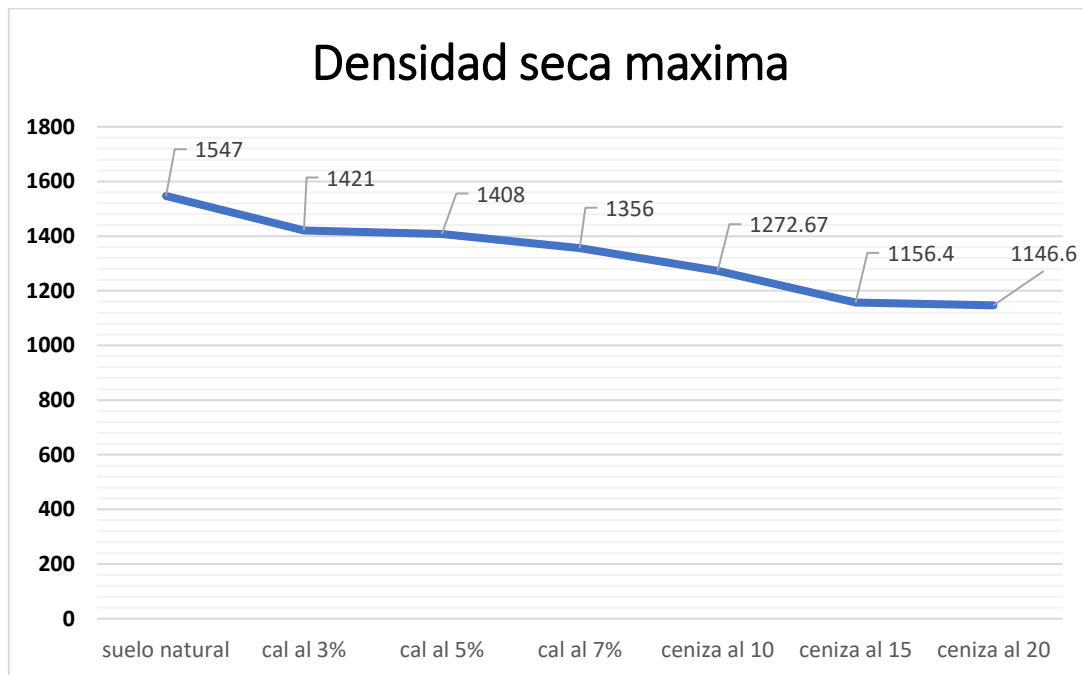
Cuadro de resumen del ensayo Proctor

Proctor	Humedad Óptima (%)	Densidad (kg/m³)
Suelo natural	24.87	1547.38
Cal al 3%	27.79	1421
Cal al 5%	28.09	1408
Cal al 7%	33.15	1356
CBCA al 10%	13.71	1272.67
CBCA al 15%	15.22	1156.4
CBCA al 20%	16.16	1146.6

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 13.

Densidades máximas obtenidas en el ensayo Proctor.



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

3.4.3 Ensayo CBR

Como se observa en la tabla 10 y en las ilustraciones 15 y 16. Los resultados muestran que el suelo natural tiene una capacidad de soporte muy limitada, con un CBR de solo 2.59 al 100% y de 1.57 al 95%. Esto significa que, sin tratamiento, el suelo no es adecuado para soportar cargas pesadas. Cuando se añade cal en un 3%, la resistencia mejora muchísimo, alcanzando un CBR de 24.72 al 100% y de 8.95 al 95%. Esto demuestra que la cal es muy efectiva para fortalecer el suelo, haciendo que sea mucho más resistente y apto para soportar cargas. Si se aumenta la cal al 5%, los valores suben aún más, llegando a 62.87 y 39.28, respectivamente, lo que indica que esta proporción es aún mejor para estabilizar el suelo y hacerlo más confiable para aplicaciones estructurales. La adición del 7% de cal lleva la resistencia a niveles aún más altos, con valores de 77.9 al 100% y 55.01 al 95%, mostrando que, en este rango, el suelo se vuelve mucho más fuerte y capaz de soportar cargas elevadas sin problemas.

En cambio, los tratamientos con ceniza no muestran mejoras significativas. Los valores de CBR en estos casos permanecen bajos, entre 2.51 y 3.6 al 100%, y entre 1.58 y 1.94 al 95%. Esto indica que, en las proporciones utilizadas, la ceniza no ayuda mucho a fortalecer el suelo, y en algunos casos, no aporta ninguna ventaja sobre el suelo sin tratar.

Por último, los asfaltos en las mismas condiciones tampoco mejoran mucho la resistencia del suelo. Los valores en CBR se mantienen bajos, entre 2.23 y 2.48 al 100%, y entre 1.2 y 1.77 al 95%. Esto sugiere que, en las cantidades usadas, el asfalto no fue muy efectivo para incrementar la capacidad de carga del suelo.

Tabla 8.

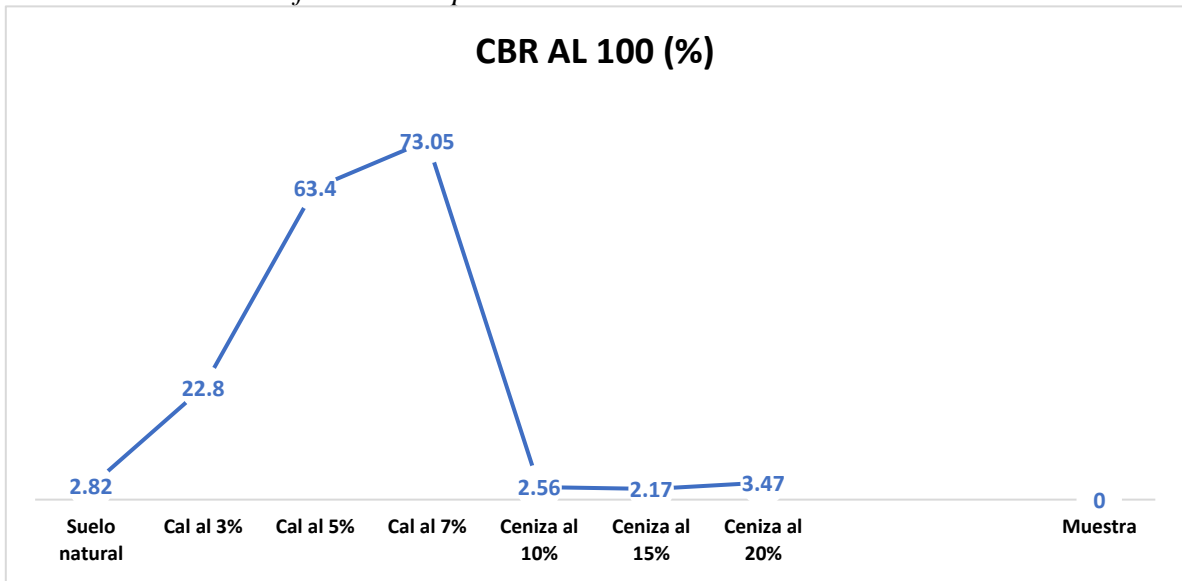
Cuadro de resumen del ensayo CBR

CBR	100%	95%
suelo natural	2.59	1.57
cal al 3%	24.72	8.95
cal al 5%	62.87	39.28
cal al 7%	77.9	55.01
ceniza al 10	2.51	1.94
ceniza al 15	3.03	1.74
ceniza al 20	3.6	1.58
asfalto 2	2.29	1.15
asfalto 4	2.48	1.77
asfalto 6	2.23	1.2

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 14.

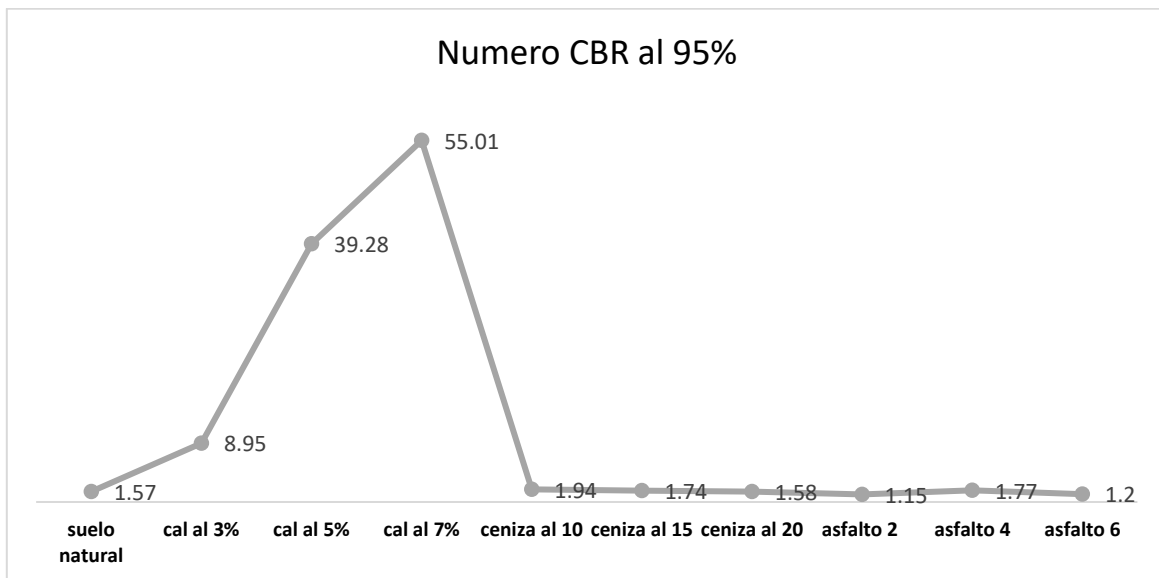
Grafica del comportamiento del número CBR al 100%



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 15.

Grafica del comportamiento del número CBR al 95%



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

3.4.1 Ensayo Corte directo

Tabla 9.

Cuadro de resumen del Ensayo Corte directo

MUESTRAS	Cohesión c' (kg/cm ²)	Ángulo de fricción ϕ (°)
suelo natural	0.65	11
cal al 3%	0.68	15
cal al 5%	0.75	16
cal al 7%	0.91	15
ceniza al 10	0.66	12
ceniza al 15	0.56	18
ceniza al 20	0.82	14
asfalto 2	1.08	13
asfalto 4	0.56	19
asfalto 6	1.35	12

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

En la tabla 11 se muestra que el suelo natural presenta una cohesión C' de 0.65 kgf/cm² y un ángulo de fricción ϕ de 11°. La cal en 3% incrementa la cohesión a 0.68 kgf/cm² y el ángulo de fricción a 15°, destacando por un aumento en ambas propiedades respecto al suelo natural. Con cal en 5%, la cohesión aumenta a 0.75 kgf/cm² y el ángulo en 16°, mostrando una mejora en cohesión con un aumento ligero de el ángulo de fricción. A 7%, la cohesión alcanza 0.91 kgf/cm², con un ángulo de fricción de 15°.

La ceniza (CBCA) en 10% tiene una cohesión de 0.66 kgf/cm², ligeramente superior a la del suelo natural, y un ángulo de fricción de 12°, también mayor. En 15%, la cohesión disminuye a 0.56 kgf/cm², mientras que el ángulo de fricción aumenta a 18°, destacándose por su mayor ángulo de fricción en comparación con el suelo natural. En 20%, la cohesión

sube a 0.82 kgf/cm^2 y el ángulo de fricción a 14° , siendo estos los valores más altos en cohesión y fricción en las dosis de ceniza.

El asfalto en 2% presenta una cohesión de 1.08 kgf/cm^2 y un ángulo de fricción de 13° , destacándose en cohesión respecto al suelo natural. En 4%, la cohesión disminuye a 0.56 kgf/cm^2 y el ángulo de fricción aumenta a 19° , mientras que en 6%, la cohesión es la más alta en 1.35 kgf/cm^2 y el ángulo de fricción de 12° , ambos valores destacables en sus respectivas propiedades.

3.5 Ensayo de Compresión Simple

Según la tabla 12 y las ilustraciones 18,19, 20 y 21. Los resultados de las pruebas de compresión simple muestran cómo diferentes tratamientos afectan la cohesión del suelo tras un proceso de curado de 7 días en un horno a 60 grados, en el caso de cal y ceniza. El suelo natural tiene una cohesión muy baja, con un valor de 0.65 kg/cm^2 , lo que indica que es un material débil y que se puede deformar fácilmente con poca fuerza. Cuando se añade cal en un 3%, la cohesión aumenta a 1.35 , más del doble, demostrando que la cal ayuda a fortalecer la estructura del suelo. A mayores porcentajes de cal, 5% y 7%, la cohesión sube aún más, llegando a 2.06 kg/cm^2 y 3.29 kg/cm^2 , respectivamente, gracias a las reacciones químicas que ocurren durante el curado en horno, formando enlaces que hacen que el suelo sea mucho más resistente y estable, observación que se le hizo en muestras pequeñas en el laboratorio con el objetivo de ver como varían las propiedades físicas y mecánicas con este proceso, mas no aplicarlo en el sitio.

Las muestras con ceniza en 10% tienen una cohesión muy similar a la del suelo natural, apenas 0.24 kg/cm^2 , lo que indica que en ese porcentaje la ceniza no aporta mucha mejora. Sin embargo, al aumentar la ceniza al 15% y 20%, la cohesión sube a 1.19 kg/cm^2 y 2.65 kg/cm^2 , lo que muestra que en mayores cantidades la ceniza empieza a fortalecer el suelo, aunque todavía no alcanza los niveles que logra la cal en las mismas condiciones.

En cuanto al asfalto, en los porcentajes de 2%, 4% y 6%, los valores de cohesión son bajos, entre 0.72 kg/cm² y 1.36 kg/cm², similares a los del suelo sin tratar. Esto indica que, en las condiciones y cantidades utilizadas, el asfalto no logró mejorar la cohesión del suelo. Además, a diferencia de la cal y la ceniza, las muestras con asfalto no se sometieron a un proceso de curado en horno. La razón principal es que el asfalto, en su uso típico, requiere un proceso de calentamiento y aplicación en caliente, y no un curado en horno en seco como los otros estabilizantes. Naturalmente, el asfalto necesita ser fundido o calentado durante su aplicación para que se mezcle y adhiera correctamente a los materiales del suelo, por lo que el proceso de curado en horno no sería apropiado ni efectivo en este caso.

Tabla 12.

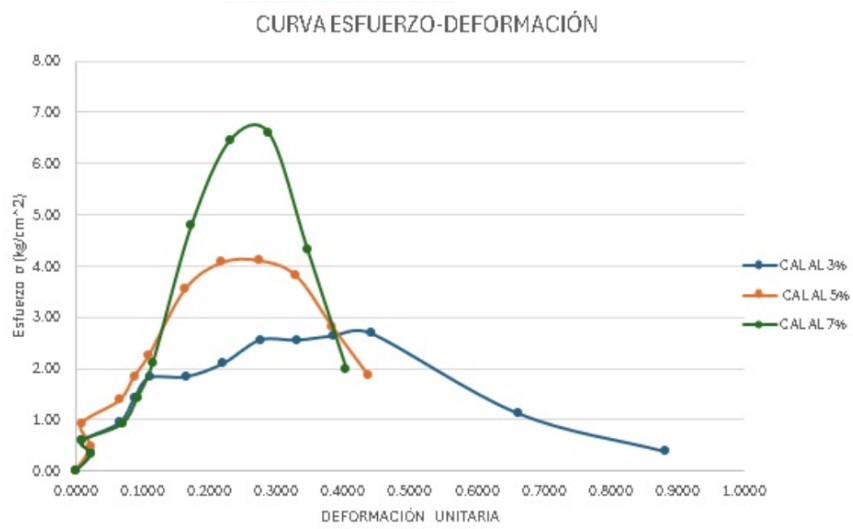
Cuadro de resumen del Ensayo Compresión Simple

Muestra	Cohesión (kg/cm ²)
suelo natural	0.65
cal al 3%	1.35
cal al 5%	2.06
cal al 7%	3.29
ceniza al 10	0.24
ceniza al 15	1.19
ceniza al 20	2.65
asfalto 2	0.72
asfalto 4	1.38
asfalto 6	1.36

Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 16.

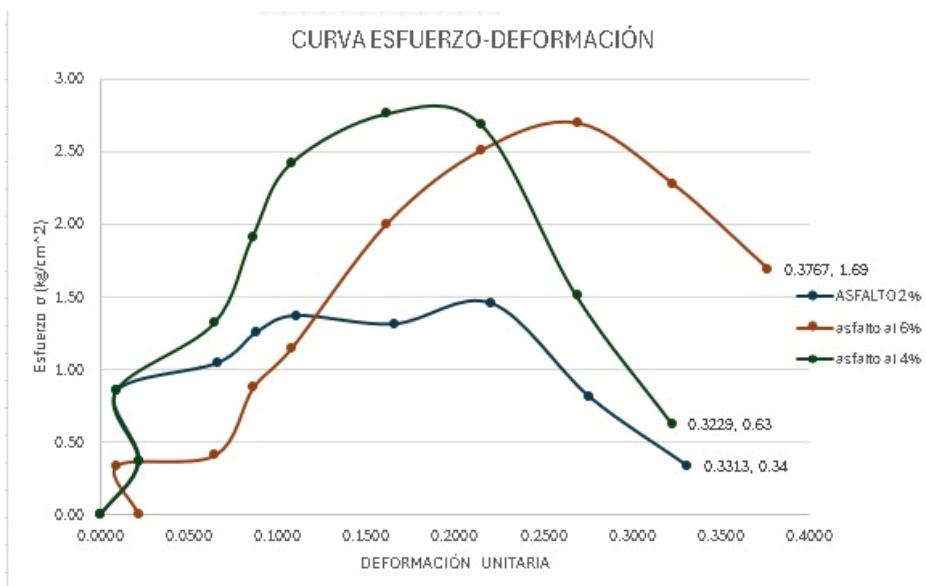
Curva esfuerzo deformación de los % de Cal.



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

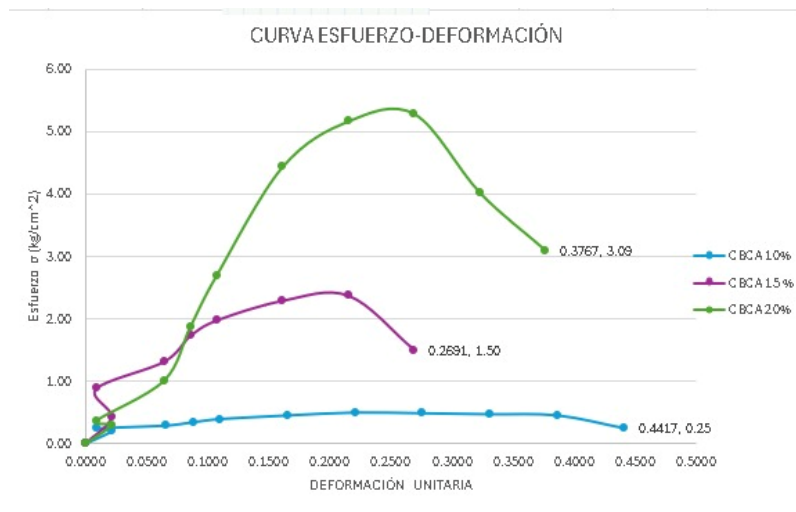
Ilustración 17.

Curva esfuerzo deformación de los % Asfalto.



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

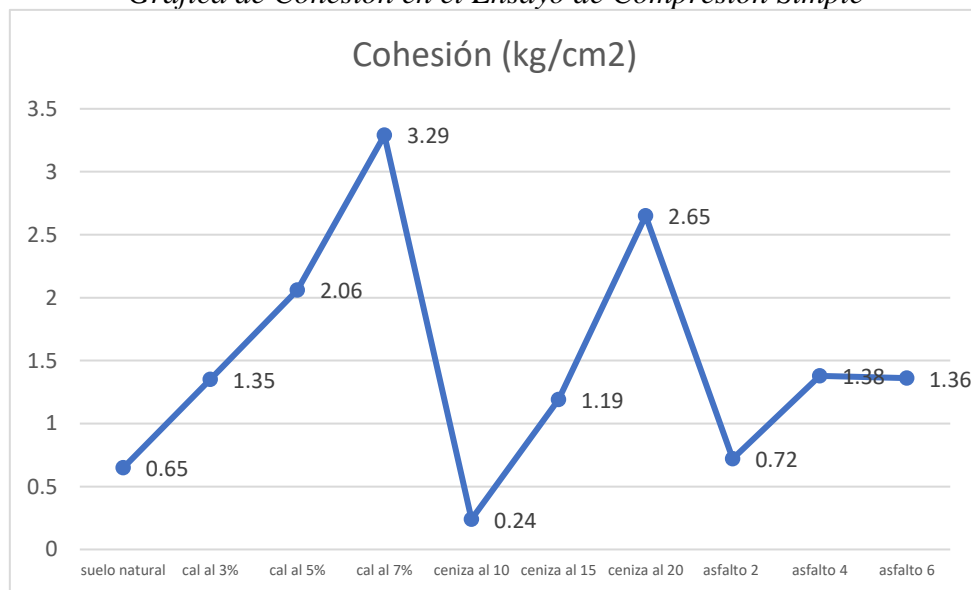
Ilustración 18.



Curva esfuerzo deformación de los % CBA. Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 19.

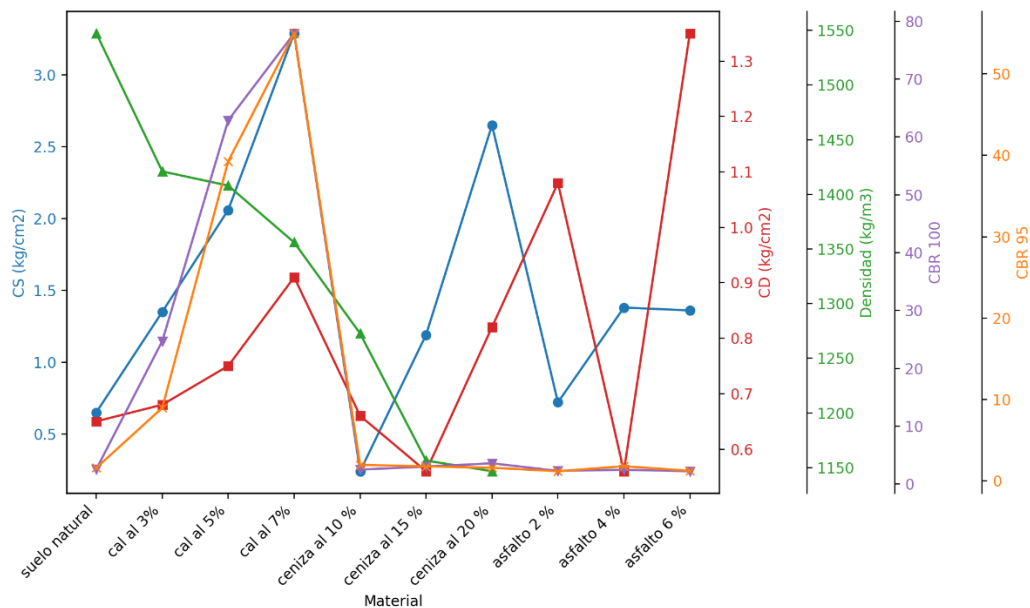
Gráfica de Cohesión en el Ensayo de Compresión Simple



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

Ilustración 20.

Gráfica comparativa de todas las propiedades del material con estabilizantes.



Nota. Fuente: (Elaborado por autor).

4 CAPITULO IV: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La caracterización del suelo de Gualay, mediante ensayos de laboratorio como análisis granulométrico, límites de Atterberg, pruebas de compactación, CBR y corte directo, permitió identificar que se trata de un limo de baja plasticidad (ML). Estos ensayos demostraron que el suelo tiene propiedades físicas y mecánicas deficientes para soportar cargas sin tratamiento, lo que indica que necesita estabilización para mejorar su comportamiento y garantizar la estabilidad de las obras civiles que allí se pueda construir.
- Para evaluar cómo mejorar las propiedades del suelo, se seleccionaron y aplicaron diferentes estabilizantes: cal, ceniza de bagazo de caña y asfalto. Los resultados de los ensayos mostraron que la cal, en concentraciones del 3%, 5% y 7%, fue la más efectiva. La cal logró aumentar la densidad seca máxima, mejorar la resistencia a la compresión simple, elevar la capacidad de carga (CBR) y optimizar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción en el corte directo. Por su parte, la ceniza de bagazo de caña, en porcentajes del 10%, 15% y 20%, mostró una capacidad importante para

reducir los límites de plasticidad y mejorar la resistencia del suelo, aunque en menor medida que la cal. La ceniza al 20% fue especialmente efectiva, logrando los valores más bajos en límites de Atterberg, mayor resistencia en compresión simple y un CBR elevado, indicando que favorece la estabilidad y la durabilidad del suelo, siendo una opción viable para estabilización en la comunidad de Gualay, mientras que el asfalto en 2%, 4% y 6% también aportó mejoras, particularmente en la resistencia y cohesión del suelo, aunque en menor medida en comparación con la cal y la ceniza. Los ensayos mostraron que el asfalto puede ser útil en aplicaciones donde se requiere resistencia adicional.

- De todos los estabilizantes evaluados, la cal al 7% fue la que obtuvo los mejores resultados en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo. La mayor cantidad de cal incrementa su efecto cementante, fortaleciendo la estructura del suelo, reduciendo su plasticidad y aumentando su resistencia. Esto confirma que, utilizando mayores porcentajes de cal, se puede obtener un suelo mucho más resistente y estable, apto para su uso en obras civiles en la comunidad de Gualay. La acción cementante de la cal, que se intensifica con mayores porcentajes, hace que el suelo sea más resistente ante deformaciones y expansiones, contribuyendo a la durabilidad y seguridad de las estructuras.
- Aunque la cal al 7% fue el estabilizante más efectivo en términos generales, existen ciertos ensayos donde no alcanzó los mejores resultados. En el ensayo de corte directo, la cohesión más alta se obtuvo con el asfalto al 6%, superando a la cal. Por otro lado, la ceniza de bagazo de caña al 20% logró una mayor reducción en los límites de Atterberg, mostrando una disminución más efectiva de la plasticidad del suelo. Además, en el ensayo Proctor, la cal redujo la densidad seca máxima respecto al suelo natural, que presentó el valor más alto sin estabilizar. Estos resultados indican

que, aunque la cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, otros estabilizantes pueden ser más eficientes para objetivos específicos como aumentar la cohesión o reducir la plasticidad.

- En total se elaboraron 78 cilindros para la ejecución de los distintos ensayos de laboratorio. Para el ensayo Proctor modificado se prepararon 28 cilindros, distribuidos entre suelo natural y suelos estabilizados con cal y ceniza de bagazo. En el ensayo CBR se trabajó con 30 cilindros, incluyendo el suelo sin tratar y variantes con estabilizantes como cal, ceniza de bagazo y emulsión asfáltica. Para los ensayos de corte directo y compresión simple se prepararon 10 cilindros en cada caso, cubriendo tanto el suelo natural como sus estabilizaciones. Esta cantidad significativa de muestras permitió una evaluación comparativa completa del comportamiento del suelo bajo distintas condiciones de mejora.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear cal al 7% como estabilizante principal para mejorar de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas del suelo de Gualay. Esta concentración ha demostrado incrementar la resistencia, reducir la deformabilidad y aumentar la estabilidad estructural del suelo, lo cual es fundamental para garantizar la durabilidad y seguridad en las obras civiles en la región.

Además, es recomendable realizar estudios adicionales para optimizar las concentraciones de ceniza de bagazo y asfalto, especialmente en condiciones de campo. Esto permitirá determinar su efectividad y relación costo-beneficio, asegurando que su uso sea eficiente y adecuado para aplicaciones específicas en el proyecto.

Asimismo, en la implementación en campo, se debe controlar cuidadosamente la humedad y la compactación del suelo, siguiendo las condiciones que demostraron ser óptimas

en laboratorio. Esto asegurará que las propiedades de resistencia y estabilidad observadas en los ensayos se mantengan en las condiciones reales de trabajo.

Es importante destacar que, como parte de una investigación complementaria, se realizó un proceso de curado térmico en horno a 60 °C durante 7 días. Este procedimiento fue fundamental para potenciar los efectos de estabilización, ya que permitió que las reacciones químicas y cementantes se desarrollaran de forma más completa. Como resultado, se observaron mejoras significativas en las propiedades mecánicas del suelo, lo cual demuestra la relevancia de incorporar este tipo de curado en futuros estudios o aplicaciones prácticas con aditivos como la cal o la ceniza. Además, se recomienda realizar investigaciones futuras orientadas a evaluar la viabilidad de implementar este tipo de curado térmico en condiciones de campo, con el fin de trasladar los beneficios observados en laboratorio a contextos reales de obra.

BIBLIOGRAFIA

- Afrin, H. (2017). Stabilization of Clayey Soils Using Chloride Components. *Habiba Afrin. Stabilization of Clayey Soils Using Chloride Components. American Journal of Civil Engineering*, 5(6), 365–370. <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20170506.18>
- Akhtar, M. (2012). *The role of soil mechanics in civil engineering*. https://www.researchgate.net/profile/Mohammad-Akhtar-10/publication/261366087_Role_of_Soil_Mechanics_In_Civil_Engineering/links/00b7d5341839cf2308000000/Role-of-Soil-Mechanics-In-Civil-Engineering.pdf
- Andrea, I., & Calderón, U. (2012). Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. *Métodos y Materiales*, ISSN-e 2215-4558, ISSN 2215-342X, Vol. 2, N°. 1 (Enero-Diciembre), 2012, Págs. 17-24, 2(1), 17–24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6240938&info=resumen&idioma=ENG>
- ASTM D1883. (2021). *Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. <https://doi.org/10.1520/D1883-21>
- Badillo, E. (2005). *MECANICA DE SUELOS*. <https://veteranos1927.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Baque, G. (2017). *Caracterización físico - mecánicas del suelo para cimentación en edificaciones de categoría baja, sector By Pass – John F. Kennedy, ciudad Jipijapa*.

- Bauzá Castelló, J. D. (2015). *El tratamiento de los suelos arcillosos con cal. Comportamiento mecánico y evolución a largo plazo ante cambios de humedad*. <http://hdl.handle.net/11441/32957>
- Braja, M. D. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica 4ta edición. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Braja m Das 4ta Edición*, 2015(1), 1–658. https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion
- Cepedes, S., & Reyes, D. (2020). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso antes y después de la adición de Huacales de transporte fracturados (PEAD)*. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9251/1330_e_4%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Clancy, K. (2022). The origins, definitions and differences among concepts that underlie food systems modeling. *Food Systems Modelling: Tools for Assessing Sustainability in Food and Agriculture*, 13–36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822112-9.00005-9>
- Das, B. M. (2014). *Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición*.
- GAD Parroquial de Victoria del Portete. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Victoria del Portete*. https://gadvictoriadelportete.gob.ec/azuay/wp-content/uploads/2021/05/PDOT_GADPARROQUIAL_VICTORIA-DEL-PORTETE.pdf
- García, M. F. (2024). *INFLUENCIA DEL TERRASIL EN LOS PARÁMETROS DE COMPACTACIÓN EN SUELO ARCILLOSO DE BAJA PLASTICIDAD DEL SECTOR HUACARIZ, CAJAMAR*.
- Gavilanes Pozo, E. S. (2022). *Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico – mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34104>
- González Maldonado, M. D. (2022). *Estabilización de Arcillas Expansivas en el Sector de la Autopista Azogues El Descanso Mediante Procesos Químicos*. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/29448>
- Goutham, D. R., & Krishnaiah, A. J. (2023). Características de contracción y resistencia del suelo expansivo modificado con ceniza de bagazo y cal. *Revista Ingeniería de Construcción*, 38(3), 437–447. <https://doi.org/10.7764/RIC.00082.21>
- Gutiérrez Montoya, J. J., & Romero Costilla, J. A. (2022). Estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar en el distrito de Paiján . *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96534>
- Highway Research Board Bulletin. (1959). *Lime and Lime-Flyash as Soil Stabilizers*. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbulletin/231/231.pdf#page=65>

- Montejo Alfonso, Montejo Alejandro, & Montejo Alberto. (2018b). *Ingeniería civil Estabilización de suelos*. www.edicionesdelau.com
- Muñoz Perez, S. P., Millones-Chapoñan, M., & Villanueva-Meza, C. D. (2022). La Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar Como Aditivo Estabilizador en Suelos Arcillosos con Fines de Pavimentación: Una Revisión Literaria. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 25(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11801>
- Noriega Armas, Yeimi Viviana, & Vives Arroyo. (2022). *Uso de estabilizadores de suelo: una revisión del impacto al corte y asentamiento*. 19(1), 1–15. <https://www.redalyc.org/pdf/7579/757979611007.pdf>
- Ortiz, S. (2024). *Efectos de la aplicación de Ácidos Húmicos sobre la estructura de los suelos franco arenosos*.
- PDOT Victoria del Portete. (2019). *PDOT* . https://gadvictoriadelportete.gob.ec/azuay/wp-content/uploads/2021/05/PDOT_GADPARROQUIAL_VICTORIA-DEL-PORTETE.pdf
- Rezende, C. A., De Lima, M., Maziero, P., Deazevedo, E., Garcia, W., & Polikarpov, I. (2011). Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Biotechnology for Biofuels*, 4. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-4-54>
- Sánchez Albán, M. A. (2014). *Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Cacical del cantón Tosagua provincia de Manabí*. PUCE - Quito. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/26254>
- Sanz Llano, J. J. (1975). *Mecánica de suelos*. 221.
- Sarmiento Otálora, M. A. (2012). *Estudio del comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11577>
- Sarmiento, S. (2024). *Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) para uso en la alimentación animal*.
- Usca Sarmiento, A. A. (2024). *Estabilización de suelos finos tropicales con emulsiones asfálticas CSS-IH en pavimentos básicos con base en la metodología MCT para la carretera Nanay-Mazan Iquitos*. Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/15744>

5 ANEXOS

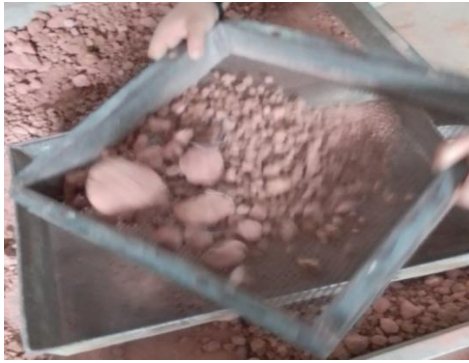
Apéndice 1: Extracción de muestras para zona de estudio



Apéndice 2: Límites líquidos y plásticos



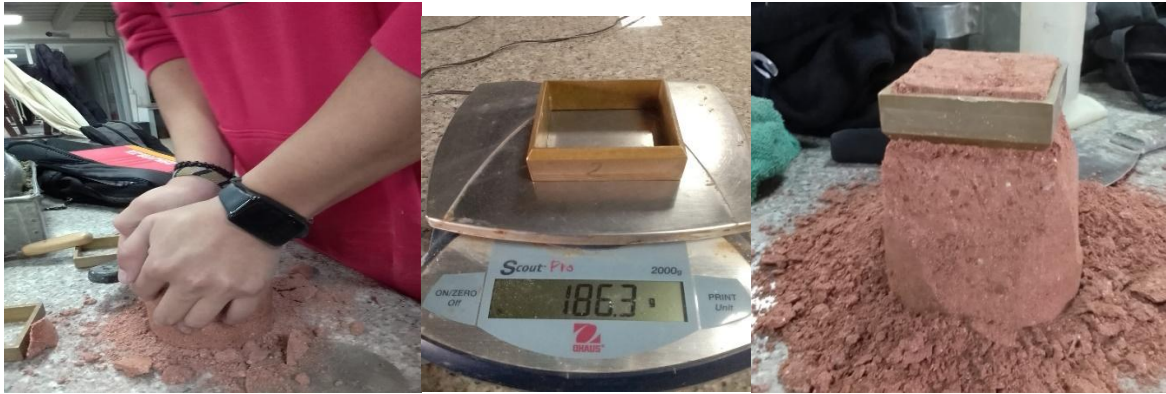
Apéndice 3: Ensayo de Proctor Modificado



Apéndice 4: Ensayo CBR



Apéndice 5: Corte directo



Apéndice 6: Compresión Simple

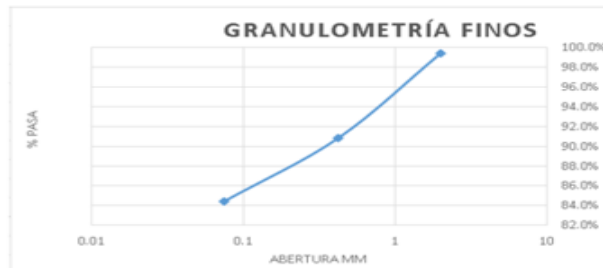


ENSAYO	GRANULOMETRIA DE SUELOS, LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 7: GRANULOMETRIA DE SUELOS, LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL

FINOS					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Pes. Ret. Acum. (gr)	% Retenido	% Pasa
10	2	3.300	3.300	0.6%	99.4%
40	0.425	45.5	48.800	9.2%	90.8%
200	0.075	34.1	82.900	15.6%	84.4%
FONDO		0.6			
Total	-	83.500			

Humedad	
hum	164
sec	145.5
%w	12.7147766
Muestra	
Humedo	600
Seco	532.32
seco lavado	83.500

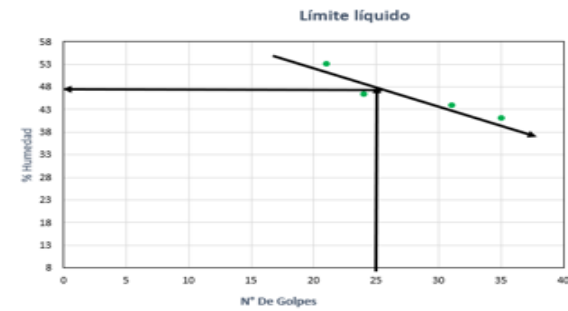


Datos Límite Líquido						
Nombre	Peso Resip.	peso H	Seco+tarro	Peso seco	N° Golpes	Humedad %
19	10.43	23.94	20	9.57	35	41.170324
0	20.98	33.96	30	9.02	31	43.902439
p11	10.04	20.53	17.2	7.16	24	46.50838
p110	11.76	25.6	20.8	9.04	21	53.097345
LL					27	46.5

Limite plastico					
nombre	pesoh	sec+tarro	tarro	seco	%H
5	9.63	8.7	6.2	2.5	37.2
p2	6.14	5.6	4.11	1.49	36.241611
204	5.91	5.5	4.4	4.37	37.272727
p1	7.15	6.2	4	4.1	43.181818
LP					38.898719
IP					7.6012813

N°Golpes	Humedad
0	46.5
25	46.5
25	8

LL	LP	IP
47	39	8



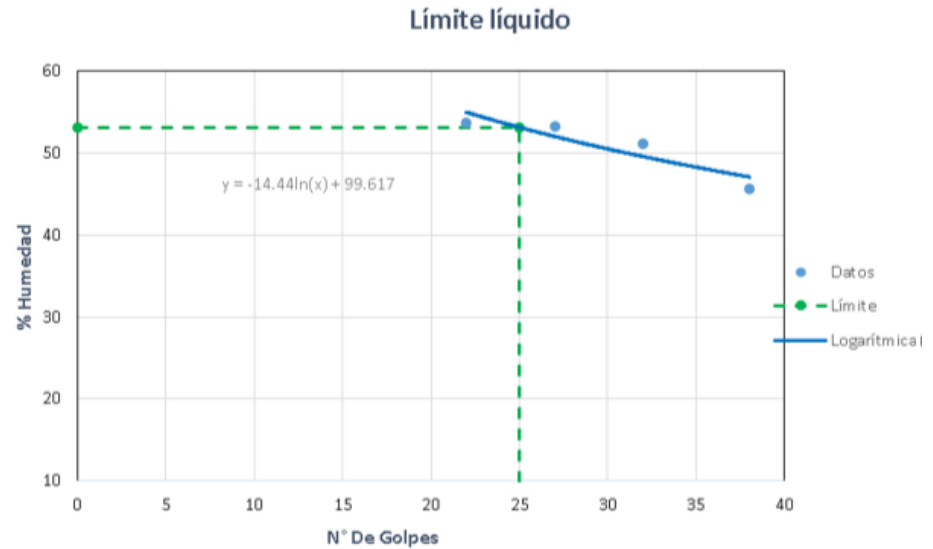
ENSAYO	LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 3
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 8: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 3

Datos Limite Liquido						
Nombre	Peso Resip.	peso H	Seco+tarro	Peso seco	Nº Golpes	Humedad %
c4	21.3	37.6	32.5	11.2	38	45.5357143
c3	21.3	41.1	34.4	13.1	32	51.1450382
c8	21.1	37.8	32	10.9	27	53.2110092
b2	21.1	39.7	33.2	12.1	22	53.7190083
LL					25	53.1364331

Limite plastico					
Nombre	Peso Hume	Sec+Tarro	Tarro	Seco	%H
69	8.2	7.7	6.3	1.4	35.714286
a3	6.4	5.73	4.1	1.63	41.104294
h101	5.7	5.23	4.1	1.13	41.59292
202	6.6	5.93	4.3	1.63	41.104294
LP					41.26717
IP					11.869263

LL	LP	IP
53.136	41.267	11.869



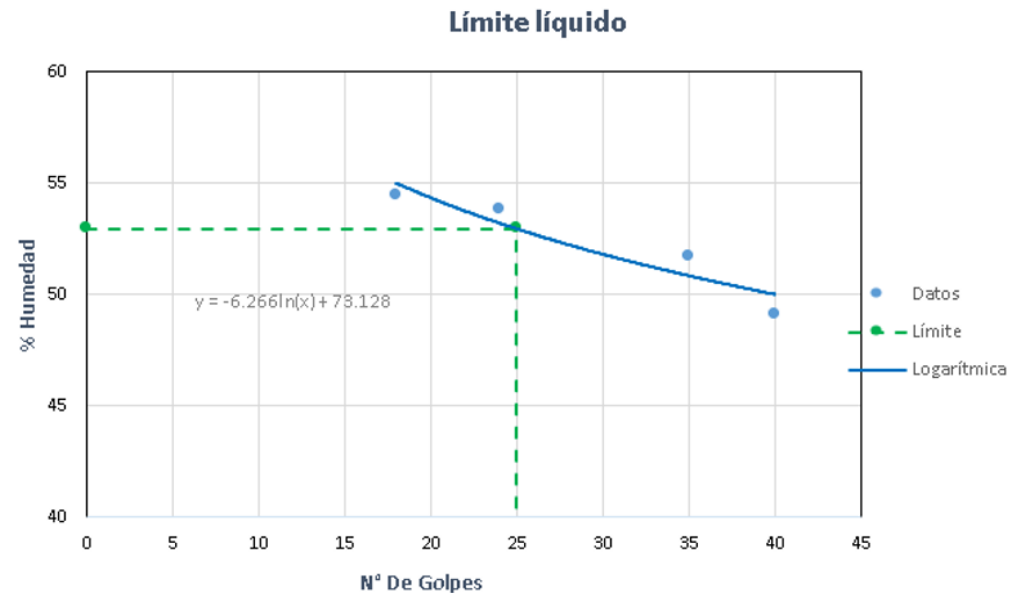
ENSAYO	LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 5
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 9: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 5

Datos Limite Liquido						
Nombre	Peso Resip.	peso H	Seco+tarro	Peso seco	Nº Golpes	Humedad %
f	20.8	37.05	31.7	10.9	40	49.0826
4	21.1	39	32.9	11.8	35	51.6949
l2	21.1	39.1	32.8	11.7	24	53.8462
da	20.7	39.7	33	12.3	18	54.4715
LL					25	52.9585

Limite plastico					
nombre	pesoh	sec+tarro	tarro	seco	%H
l12	9	8.27	6.4	1.87	39.037433
fl7	9	8.29	6.5	1.79	39.664804
b5	8.7	8.04	6.4	1.64	40.243902
p3	9	7.6	4.1	3.5	40
LP					39.736535
IP					13.221989

LL	LP	IP
52.959	39.737	13.222



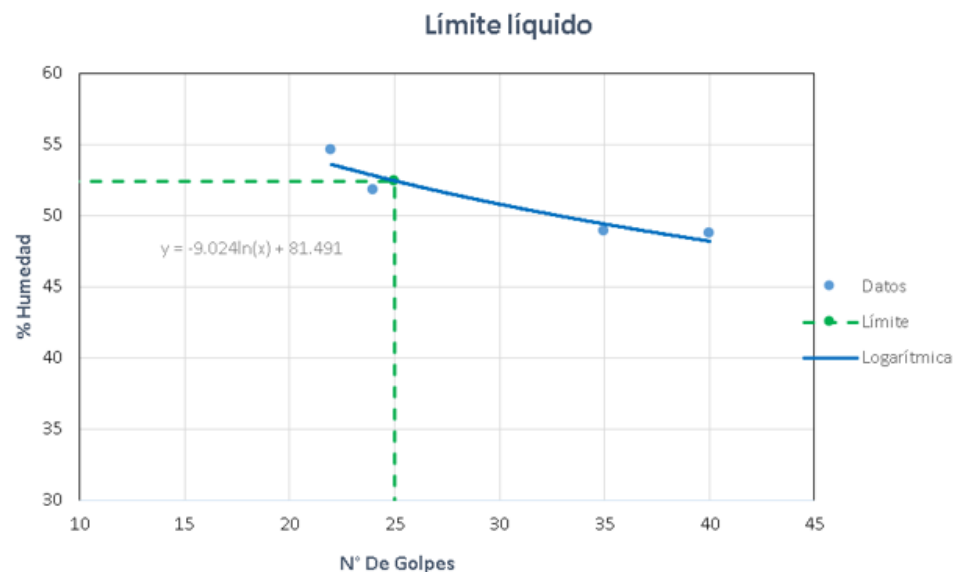
ENSAYO	LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 15
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 10: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CAL 7

Datos Límite Líquido						
Nombre	Peso Resip.	peso H	Seco+tarro	Peso seco	Nº Golpes	Humedad %
p3	10.3	24.4	19.78	9.48	40	48.7342
0	21.1	39	33.12	12.02	35	48.9185
1	22	39.3	33.4	11.4	24	51.7544
p5	10.2	25.8	20.29	10.09	22	54.6085
LL					25	52.402

Limite plastico					
nombre	pesoh	sec+tarro	tarro	seco	%H
5	14.3	13.14	10.4	2.74	42.33577
69	7.6	6.66	4.3	2.36	39.83051
s2	12.3	11.71	10.2	1.51	39.07285
18	13.4	12.48	10.1	2.38	38.65546
LP					39.18627
IP					13.21572

LL	LP	IP
52.402	39.186	13.216



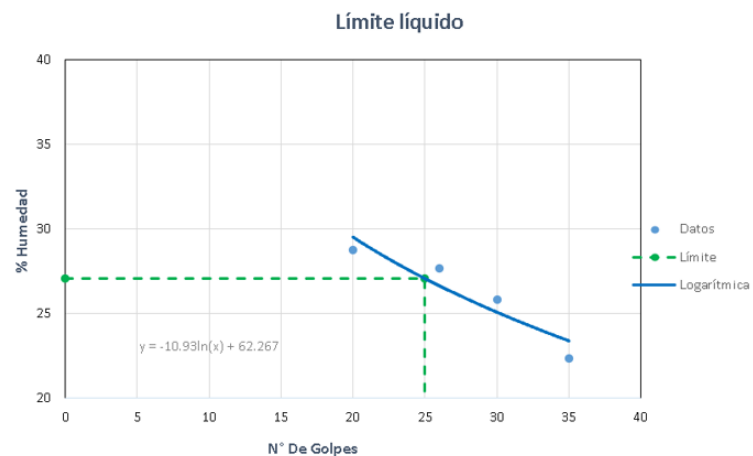
ENSAYO	LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA 15
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 11: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 15

Datos Limite Líquido						
Nombre	Peso Resip.	peso H	Seco+tarro	Peso seco	Nº Golpes	Humedad %
B2A	21.1	41.9	38.1	17	35	22.3529
F	20.8	42.7	38.2	17.4	30	25.8621
C7	21.6	42.8	38.2	16.6	26	27.7108
C3H	21.3	41.9	37.3	16	20	28.75
LL					25	27.0847

Limite plastico						
nombre	pesoh	sec+tarro	tarro	seco	%H	
69	7.7	7.08	4.3	2.78	22.302158	
19	7.9	7.19	4	3.19	22.257053	
13	12.8	12.3	10.1	2.2	22.727273	
j	8.4	7.6	4.1	3.5	22.857143	
LP					22.535907	
IP					4.5487804	

LL	LP	IP
27.085	22.536	4.549



ENSAYO	LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA 20
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 12: LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO DEL SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO 20

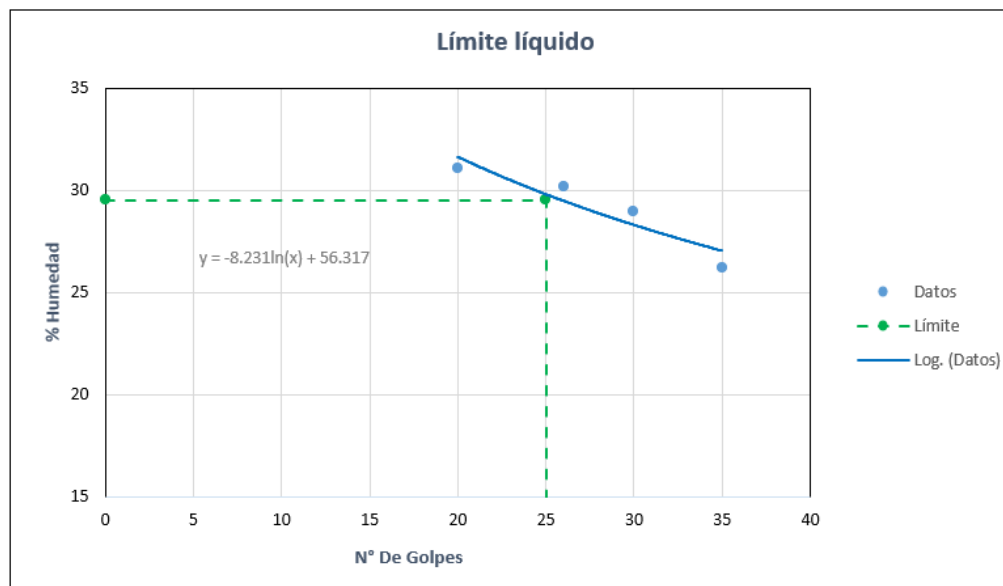
Datos Límite Líquido						
Nombre	Peso Resp.	peso H	Seco+tarro	Peso seco	Nº Golpes	Humedad %
L3	24.8	42.22	38.6	13.8	35	26.2319
4	20.9	40.25	35.9	15	30	29
3	20.7	39.97	35.5	14.8	26	30.2027
DE	21.2	45.06	39.4	18.2	20	31.0989
LL					25	29.526

Limite plastico					
nombre	pesoh	sec+tarro	tarro	seco	%H
69	7.7	7.02	4.3	2.72	25
19	7.9	7.1	4	3.1	25.80645
13	12.8	12.25	10.1	2.15	25.5814
j	8.4	7.52	4.1	3.42	25.73099

NºGolpes	Humedad
0	29.52597
25	29.52597
25	0

LP	25.52971
IP	3.996264

LL	LP	IP
29.526	25.530	3.996



29.526

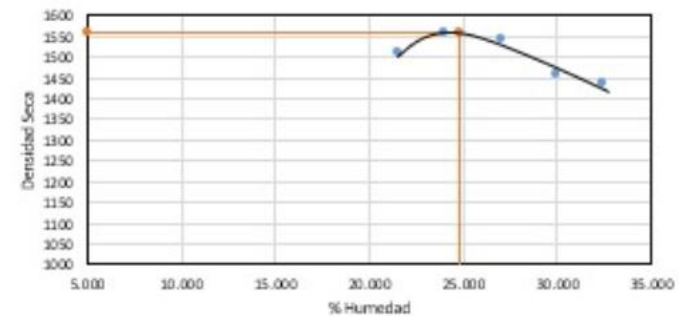
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 13: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL

DATOS DEL ENSAYO MEJORAMIENTO										
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		
peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		
5978.0		6067.0		6094.0		6035.0		6035.0		
peso	1717.0	peso	1806.0	peso	1833.0	peso	1774.0	peso	1774.0	
Densidad	1838.3	Densidad	1933.6	Densidad	1962.5	Densidad	1899.4	Densidad	1899.4	
DEN. SECA	Dens. Seca	1513.4	Dens. Seca	1559.7	Dens. Seca	1545.8	Dens. Seca	1461.3	Dens. Seca	1435.1
HUMEDAD	%w	21.5	%w	24.0	%w	27.0	%w	30.0	%w	32.3

Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		
peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		
5978.0		6067.0		6094.0		6035.0		6035.0		
peso	1717.0	peso	1806.0	peso	1833.0	peso	1774.0	peso	1774.0	
Densidad	1838.3	Densidad	1933.6	Densidad	1962.5	Densidad	1899.4	Densidad	1899.4	
DEN. SECA	Dens. Seca	1513.4	Dens. Seca	1559.7	Dens. Seca	1545.8	Dens. Seca	1461.3	Dens. Seca	1435.1
HUMEDAD	%w	21.5	%w	24.0	%w	27.0	%w	30.0	%w	32.3

Curva de Proctor



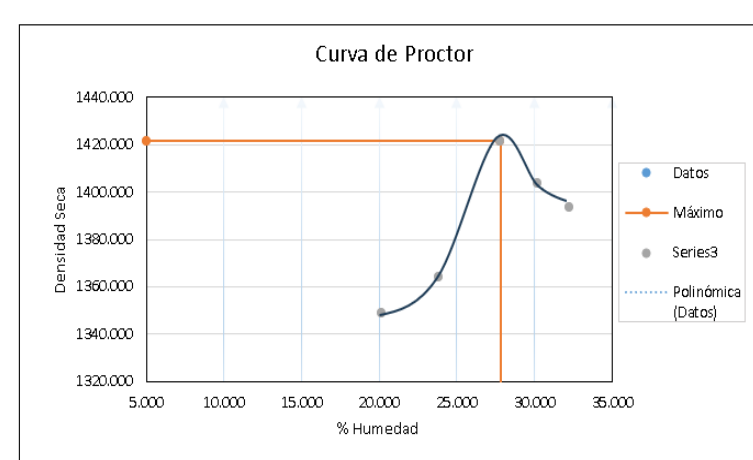
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 3
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 14: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 3

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5	
	peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.	
	5970		5980		5995		5850		5785	
	peso	1713	peso	1723	peso	1738	peso	1593	peso	1528
	Densidad	1816.5429	Densidad	1827.1474	Densidad	1843.0541	Densidad	1689.2895	Densidad	1620.3606
DEN. SECA	Dens.Seca	1421.4789	Dens.Seca	1403.3874	Dens.Seca	1393.6704	Dens.Seca	1363.9802	Dens.Seca	1348.8088
HUMEDAD	%w	27.792	%w	30.196	%w	32.245	%w	23.850	%w	20.133

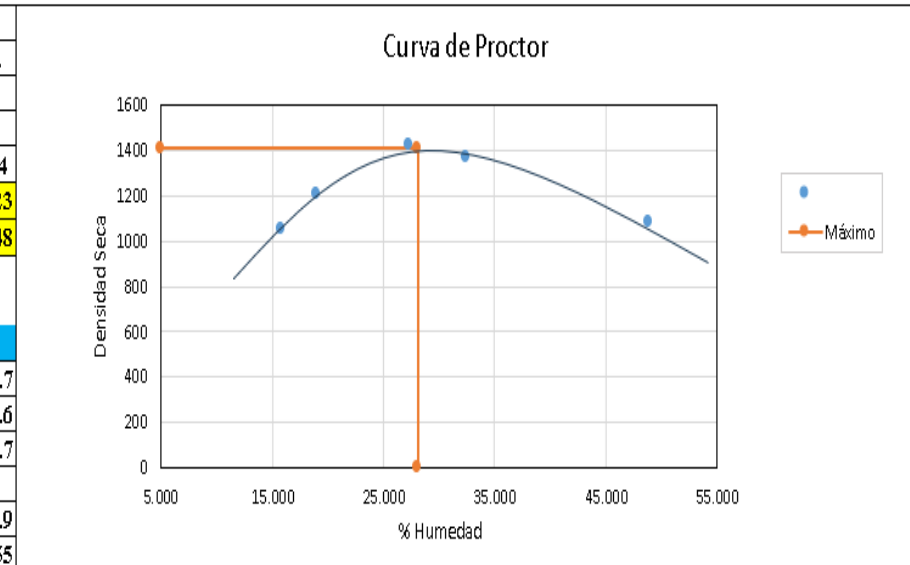
DATOS DE LA HUMEDAD										
Tarro	21.1	20.7	21.3	21	20.9	21.1	21.3	21.1	22	21.1
W+T	60.72	58.4	59.3	77.4	59.5	53.6	66.2	44.03	65.9	56.4
Sec.+T	52	50.3	50.5	64.3	50.3	45.5	57.7	39.5	58.4	50.6
	c8	da	c4	0	f	l2	c7	c8	1	b2
Humedo	39.62	37.7	38	56.4	38.6	32.5	44.9	22.93	43.9	35.3
Seco	30.9	29.6	29.2	43.3	29.4	24.4	36.4	18.4	36.4	29.5
%W	28.220065	27.364865	30.136986	30.254042	31.292517	33.196721	23.351648	24.619565	20.604396	19.661017
%W pro.	27.792		30.196		32.245		23.850		20.133	

x	y	DATOS GRÁFIA EN NARANJA
5.000	1421.4789	SOLO MENCIONAR EL
27.792	1421.4789	MAXIMO Y HUMEDAD EN EL
27.792465	0	INFROME



Apéndice 15: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 5

DATOS DEL ENSAYO MEJORAMIENTO										
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		
peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		
5954		5959		5770		5600		5400		
peso	1704.5	peso	1709.5	peso	1520.5	peso	1350.5	peso	1150.5	
Densidad	1807.5292	Densidad	1812.8314	Densidad	1612.4072	Densidad	1432.1315	Densidad	1220.0424	
DEN. SECA	Dens.Seca	1419.6678	Dens.Seca	1368.644	Dens.Seca	1083.1498	Dens.Seca	1204.1737	Dens.Seca	1053.1423
HUMEDAD	%w	27.321	%w	32.455	%w	48.863	%w	18.931	%w	15.848
19										
16										
DATOS DE LA HUMEDAD										
Tarro	62.6	67.5	65.6	68.2	43	64.7	52.8	25	52.7	64.7
W+T	121.4	128	135	147.2	106	125	136.8	93	111.15	128.6
Sec.+T	108.8	115	117.6	128.3	83.6	107	123.4	82.2	103.3	119.7
	6 p12		5	3	1 T7			2 i4		t7
Humedo	58.8	60.5	69.4	79	63	60.3	84	68	58.45	63.9
Seco	46.2	47.5	52	60.1	40.6	42.3	70.6	57.2	50.6	55
%W	27.272727	27.368421	33.461538	31.447587	55.172414	42.553191	18.98017	18.881119	15.513834	16.181818
%W pro.	27.321		32.455		48.863		18.931		15.848	



ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 7
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 16: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CAL 7

DATOS DEL ENSAYO MEJORAMIENTO								
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		
peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		
5738.5		5874.5		5937.5		5887		
peso	1504.5	peso	1640.5	peso	1703.5	peso	1653	
Densidad	1595.440085	Densidad	1739.660657	Densidad	1806.468717	Densidad	1752.916225	
DEN. SECA	Dens.Seca	1271.981223	Dens.Seca	1326.07534	Dens.Seca	1356.662936	Dens.Seca	1249.506805
HUMEDAD	%w	25.430	%w	31.189	%w	33.155	%w	40.289

DATOS DE LA HUMEDAD								
Tarro	52.6	54.3	25	52.9	44	52.7	65.8	65.9
W+T	102.16	107.6	82.5	114	114.3	105	138	124.4
Sec.+T	92.2	96.7	68.9	99.4	96.9	91.9	116.9	107.9
	8 m3		2	5	86 t2		24 t7	
Humedo	49.56	53.3	57.5	61.1	70.3	52.3	72.2	58.5
Seco	39.6	42.4	43.9	46.5	52.9	39.2	51.1	42
%W	25.151515	25.70754717	30.979499	31.39784946	32.89225	33.41836735	41.291585	39.28571429
%W pro.	25.430		31.189		33.155		40.289	

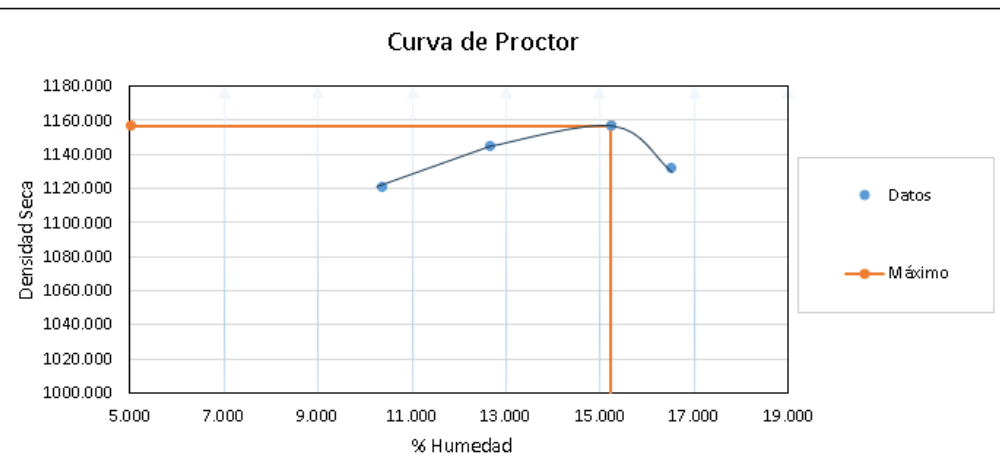


ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA 15
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 17: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CENIZA BAGAZO DE CAÑA 15

DATOS DEL ENSAYO MEJORAMIENTO								
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		
peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		
5400		5450		5490.7		5478		
peso	1166	peso	1216	peso	1256.7	peso	1244	
Densidad	1236.4793	Densidad	1289.5016	Densidad	1332.6617	Densidad	1319.1941	
DEN. SECA	Dens.Seca	1120.4764	Dens.Seca	1144.7937	Dens.Seca	1156.6435	Dens.Seca	1132.378
HUMEDAD	%w	10.353	%w	12.641	%w	15.218	%w	16.498

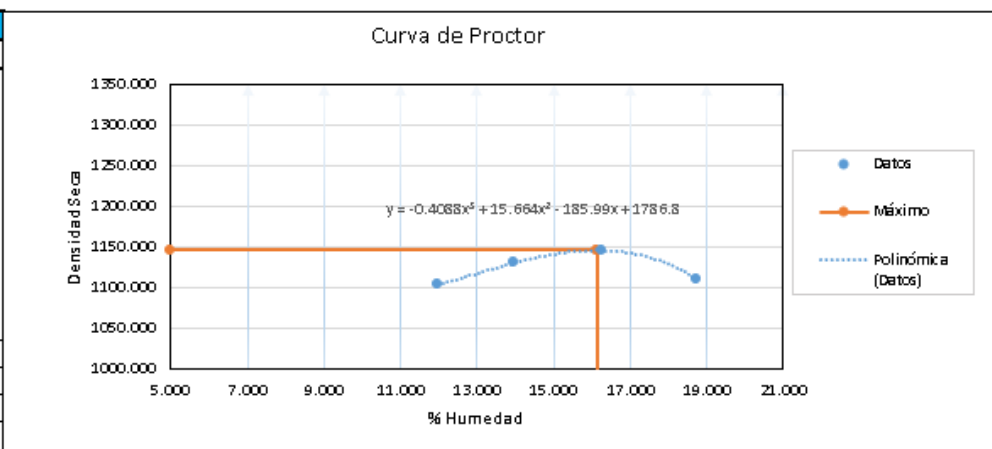
DATOS DE LA HUMEDAD								
Tarro	43.3	52.9	38.5	53	32.75	65.9	64.6	65.3
W+T	100.3	101.5	71.5	80.6	56.34	150.6	159.8	152.4
Sec.+T	95	96.9	67.8	77.5	53.2	139.5	146.5	139.9
	A1	G7	S1	10	1	T7	M1	2N
Humedo	57	48.6	33	27.6	23.59	84.7	95.2	87.1
Seco	51.7	44	29.3	24.5	20.45	73.6	81.9	74.6
%W	10.251451	10.454545	12.627986	12.653061	15.354523	15.081522	16.239316	16.756032
%W pro.	10.353		12.641		15.218		16.498	



ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA 20
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 18: PROCTOR MODIFICADO SUELO NATURAL CON BAGAZO 20

DATOS DEL ENSAYO MEJORAMIENTO								
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		
								
peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		peso material y recip.		
5400		5450		5490.7		5478		
peso	1166	peso	1216	peso	1256.7	peso	1244	
Densidad	1236.47932	Densidad	1289.50159	Densidad	1332.66172	Densidad	1319.19406	
DEN. SECA	Dens. Seca	1103.99939	Dens. Seca	1131.14175	Dens. Seca	1146.27103	Dens. Seca	1110.76004
HUMEDAD	%w	12.000	%w	14.000	%w	16.261	%w	18.765



DATOS DE LA HUMEDAD								
Tarro	43.3	52.9	38.5	53	32.75	65.9	64.6	65.3
W+T	100.4	101.5	71.5	80.6	56.34	150.6	159.8	152.4
Sec.+T	94.1	96	67.4	77.1	53	138.9	144.8	138.6
	A1	G7	S1	10	1	T7	M1	2N
Humedo	57.1	48.6	33	27.6	23.59	84.7	95.2	87.1
Seco	50.8	43.1	28.9	24.1	20.25	73	80.2	73.3
%W	12.4015748	12.7610209	14.1868512	14.5228216	16.4938272	16.0273973	18.7032419	18.8267394
%W pro.	12.581		14.355		16.261		18.765	

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CON CAL 3
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 19: CBR SUELO NATURAL CON CAL 3

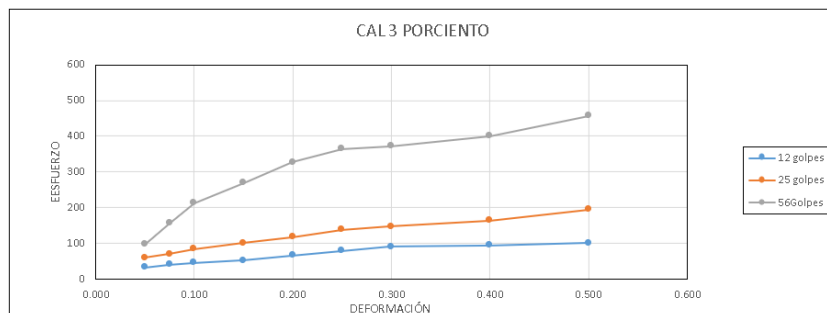
Molde	Lectura	Molde #	27	22	21
18		Nº capas	5	5	5
31		Nº Golpes	56	25	12
21		Volumen	2304.521574	2334.943972	2286.375735

DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	12		25		56	
	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	12827	13015	10877	11161	13127.5	13950
Peso recipiente	8942	8942	6910	6910	9045	9045
Peso muestra humeda	3885	4073	3967	4251	4082.5	4905
Volumen	2304.521574	2366.22	2334.943972	2390.84	2286.375735	2353.7
Peso muestra seca	3087.2	3202.4	3138.1	3279.4	3245.7	3828.4
Densidad Humeda	1.686	1.721	1.699	1.778	1.786	2.084
Densidad Seca	1.340	1.353	1.344	1.372	1.420	1.627
% de compactacion	94%		95%		100%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	j6	M1	2	l4	s	t7
Peso muestra hum + recipiente	239.8	238.7	147.1	196.7	196.4	304.2
Peso muestra sec + recipiente	204	203	122	166	166	257
Peso recipiente	65.8	64.5	25	52.1	52.9	65.8
Humedad %	25.90	25.78	25.88	26.35	26.88	24.69
Promedio Humedad %	25.84		26.41		25.78	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	m7	o4	m9	8	t01	8
Peso muestra hum + recipiente	185.2	163.2	184.8	238.4	152.8	170.4
Peso muestra sec + recipiente	154.5	135.01	154.8	198.7	126	145
Peso recipiente	43.9	29.1	53	65.4	32.8	52.6
Humedad %	27.76	26.62	29.47	29.78	28.76	27.49
Promedio Humedad %	27.19		29.63		28.12	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	14	100.1866	32.91904151		
0.050	18	123.0142	40.41967245		
0.075	21	140.1349	46.04514566		
0.100	24	157.2556	51.67061887	1000	5.167061887
0.150	32	202.9108	66.67188075		
0.200	39	242.8591	79.7979849	1500	5.31986566
0.250	45	277.1005	91.04893131		
0.300	47	288.5143	94.79924678	1900	4.989434041
0.400	50	305.635	100.42472		
0.500	56	339.8764	111.6756664		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR	CBR
0.025	28	180.0832	59.17124981		
0.050	34	214.3246	70.42219622		
0.075	41	254.2729	83.54830037		
0.100	50	305.635	100.42472	1000	10.042472
0.150	59	356.9971	117.3011396		
0.200	70	419.773	137.9278747	1500	9.195191647
0.250	75	448.3075	147.3036634		
0.300	84	499.6696	164.180083	1900	8.641057
0.400	100	590.98	194.1826068		
0.500	118	693.7042	227.935446		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR	CBR
0.025	48	294.2212	96.67440452		
0.050	80	476.842	156.6794521		
0.075	110	648.049	212.9341841		
0.100	140	819.256	269.1889162	1000	26.91889162
0.150	171	996.1699	327.318806		
0.200	191	1110.3079	364.8219607	1500	24.32146405
0.250	195	1133.1355	372.3225916		
0.300	210	1218.739	400.4499577	1900	21.07631356
0.400	240	1389.946	456.7046897		
0.500	255	1475.5495	484.8320558		

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CON CAL 5
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

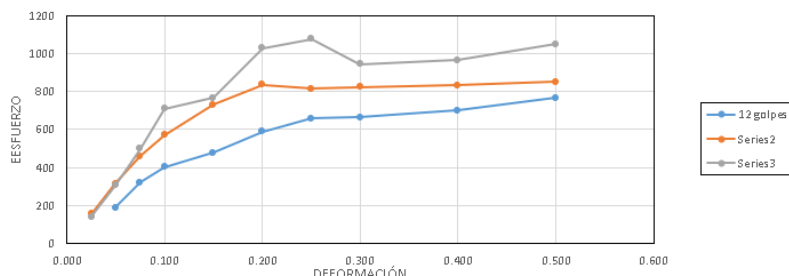
Apéndice 20: CBR SUELO NATURAL CON CAL 5

	Lectura	Molde #	32	5	33
	381	Nº capas	5	5	5
	321	Nº Golpe	56	25	12
	241	Volumen	2304.521574	2333.105434	2316.558586

	12		25		56	
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	10727	11184.5	9936	10267.5	11202.5	11714.5
Peso recipiente	6906	6906	5960	5960	7222.5	7222.5
Peso muestra humeda	3821	4278.5	3976	4307.5	3980	4492
Volumen	2304.52	2371.84	2333.11	2392.12	2316.56	2377.41
Peso muestra seca	3107.8	3363.9	3259.0	3374.2	3243.9	3506.0
Densidad Humeda	1.658	1.804	1.704	1.801	1.718	1.889
Densidad Seca	1.349	1.418	1.397	1.411	1.400	1.475
% de compactacion en base al proctor	96%		99%		99%	

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro Nº	3	6	5	m4	d2	24
Peso muestra hum + recipiente	234.1	244.4	240	235.7	144.4	205.4
Peso muestra sec + recipiente	203.1	210.6	204	198	126	179.3
Peso recipiente	68.4	62.9	25	64.9	43.9	65.7
Humedad %	23.01	22.88	20.11	28.32	22.41	22.98
Promedio Humedad %	22.95		22.00		22.69	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro Nº	m7	o4	m9	8	t01	8
Peso muestra hum + recipiente	185.2	163.2	180.8	238.4	152.8	170.4
Peso muestra sec + recipiente	154.5	135.01	154.8	198.7	126	145
Peso recipiente	43.9	29.1	53	65.4	32.8	52.6
Humedad %	27.76	26.62	25.54	29.78	28.76	27.49
Promedio Humedad %	27.19		27.66		28.12	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in2)	CBR
0.025	98	579.566	190.4322913		
0.050	167	973.342	319.8181751		
0.075	211	1224.45	402.3251154		
0.100	251	1452.72	477.3314248	1000	47.73314248
0.150	310	1789.43	587.9657312		
0.200	347	2000.58	657.3465675	1500	43.8231045
0.250	350	2017.71	662.9720407		
0.300	370	2131.84	700.4751954	1900	36.86711555
0.400	405	2331.58	766.1057161		
0.500	433	2491.38	818.6101327		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in2)	CBR
0.025	80	476.842	156.6794521		
0.050	164	956.222	314.1927018		
0.075	242	1401.36	460.4550052		
0.100	300	1732.36	569.2141539	1000	56.92141539
0.150	385	2217.45	728.6025614		
0.200	442	2542.74	835.4865523	1500	55.69910349
0.250	430	2474.26	812.9846595		
0.300	435	2502.79	822.3604482	1900	43.28212885
0.400	440	2531.33	831.7362369		
0.500	450	2588.4	850.4878142		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in2)	CBR
0.025	72	431.187	141.6781902		
0.050	160	933.394	306.6920709		
0.075	263	1521.2	499.8333177		
0.100	375	2160.38	709.8509841	1000	70.98509841
0.150	405	2331.58	766.1057161		
0.200	545	3130.55	1028.627799	1500	68.57518661
0.250	570	3273.22	1075.506742		
0.300	500	2873.74	944.245701	1900	49.69714216
0.400	510	2930.81	962.9972784		
0.500	556	3193.33	1049.254534		

Apéndice 21: CBR SUELO NATURAL CON CAL 7

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CON CAL 7
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

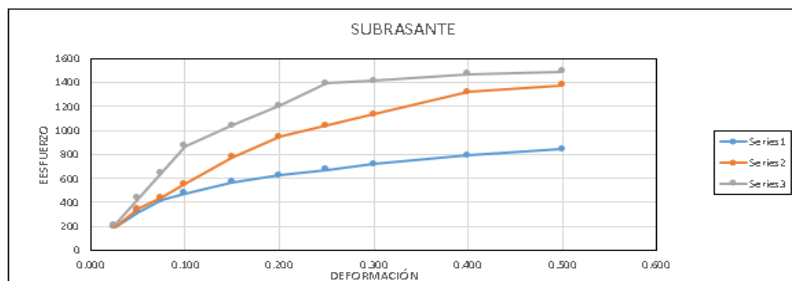
	Lectura	Molde #	32	5	33
	381	Nº capas	5	5	5
	321	Nº Golpes	56	25	12
	241	Volumen	2304.521574	2334.943972	2286.375735

Descripción	12		25		56	
	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Peso muestra + recipiente	10607.00	11164.50	9817.50	10467.50	11052.50	11904.50
Peso recipiente	6906.00	6906.00	5960.00	5960.00	7292.50	7292.50
Peso muestra humeda	3701.00	4258.50	3857.50	4507.50	3760.00	4612.00
Volumen	2304.52	2339.00	2334.94	2397.45	2286.38	2384.36
Peso muestra seca	2870.92	3151.31	3099.01	3376.47	3094.77	3447.01
Densidad Humeda	1.61	1.82	1.65	1.88	1.64	1.93
Densidad Seca	1.25	1.35	1.33	1.41	1.35	1.45
% de compactacion	92%		98%		100%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro Nº	2l	20	85	p12	m	8
Peso muestra hum + recipiente	265.5	249.1	165.6	194.43	168	182.4
Peso muestra sec + recipiente	219.9	208.09	145.52	170.47	147	165.2
Peso recipiente	64.3	64.3	67.4	67.4	65.3	65.7
Humedad %	29.31	28.52	25.70	23.25	25.70	17.29
Promedio Humedad %	28.91		24.48		21.50	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro Nº	2n	t1	t013	t13	p7	a9
Peso muestra hum + recipiente	288	260.3	165	140.1	163.1	208.9
Peso muestra sec + recipiente	230.7	209	132.4	114.4	132.9	167.2
Peso recipiente	65.3	65	35.8	37.1	43.7	43.6
Humedad %	34.64	35.63	33.75	33.25	33.86	33.74
Promedio Humedad %	35.13		33.50		33.80	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	98	579.566	190.4322913		
0.050	167	973.342	319.8181751		
0.075	219	1270.1	417.3263773		
0.100	250	1447.02	475.4562671	1000	47.54562671
0.150	298	1720.95	565.4638384		
0.200	329	1897.86	623.5937282	1500	41.57291521
0.250	355	2046.24	672.3478293		
0.300	379	2183.21	717.351615	1900	37.75534816
0.400	419	2411.48	792.3579244		
0.500	445	2559.86	841.1120255		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	100	590.98	194.1826068		
0.050	180	1047.53	344.1952256		
0.075	230	1332.88	437.9531124		
0.100	290	1675.29	550.4625765	1000	55.04625765
0.150	409	2354.41	773.6063471		
0.200	500	2873.74	944.245701	1500	62.9497134
0.250	550	3159.09	1038.003588		
0.300	600	3444.43	1131.761475	1900	59.5663934
0.400	700	4015.12	1319.277248		
0.500	730	4186.33	1375.53198		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	107	630.928	207.3087109		
0.050	227	1315.76	432.3276392		
0.075	340	1960.64	644.2204633		
0.100	460	2645.46	869.2393916	1000	86.92393916
0.150	550	3159.09	1038.003588		
0.200	640	3672.71	1206.767784	1500	80.4511856
0.250	740	4243.4	1394.283558		
0.300	750	4300.47	1413.035135	1900	74.37027026
0.400	780	4471.67	1469.289867		
0.500	790	4528.74	1488.041444		

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CENIZA AL 10
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 22: CBR SUELO NATURAL CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AL 10

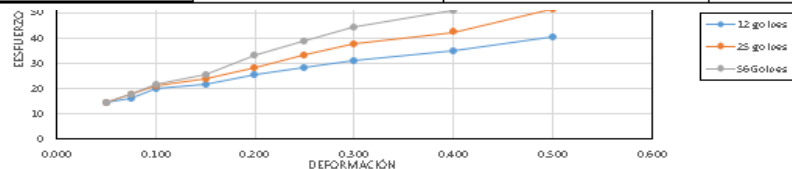
Molde	3	12	10
325 N° capas	5	5	5
562 N° Golpes	56	25	12
709 Volumen	2304.521574	2334.943972	2304.521574

Descripción	12		25		56	
	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	10090.5	11164	9299.5	10491	8710	9960.5
Peso recipiente	7221.5	7221.5	6289	6289	5644	5644
Peso muestra humeda	2869	3942.5	3010.5	4202	3066	4316.5
Volumen	2304.521574	2361.68	2334.943972	2436.43	2304.521574	2431.36
Peso muestra seca	2517.1	2875.3	2630.7	3101.9	2671.4	3243.5
Densidad Humeda	1.245	1.669	1.289	1.725	1.330	1.775
Densidad Seca	1.092	1.217	1.127	1.273	1.159	1.334
% de compactacion	94%		97%		100%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	k11	a1	t14	s	13d	m5
Peso muestra hum + recipiente	178.7	178.1	177.9	202.7	216.4	189.9
Peso muestra sec + recipiente	161.92	161.22	158.79	184.18	195.4	172.14
Peso recipiente	43.8	38.5	29.4	52.9	52.9	52.2
Humedad %	14.21	13.75	14.77	14.11	14.74	14.81
Promedio Humedad %	13.98		14.44		14.77	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	m6	5	k11	14d	s1	c12
Peso muestra hum + recipiente	133.35	149.4	117.22	133.11	107.9	98.7
Peso muestra sec + recipiente	107.9	118.2	98.1	112	92	80.2
Peso recipiente	43	29.1	43.78	52.92	43.3	25
Humedad %	39.21	35.02	35.20	35.73	32.65	33.51
Promedio Humedad %	37.12		35.47		33.08	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADA S	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR (lb/in ²)	CBR
0.025	4	43.118	14.1674642		
0.050	5	48.825	16.0426219		
0.075	7	60.238	19.7923374		
0.100	8	65.945	21.6680951	1000	2.16680951
0.150	10	77.359	25.4184106		
0.200	11.5	85.919	28.2311472	1500	1.862076478
0.250	13	94.48	31.0438838		
0.300	15	105.89	34.7941932	1900	1.831273644
0.400	18	123.01	40.4196725		
0.500	20	134.43	44.1699879		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADA S	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR	CBR
0.025	4	43.118	14.1674642		
0.050	6	54.531	17.9177796		
0.075	7.5	63.092	20.7305162		
0.100	9	71.652	23.5432528	1000	2.354325283
0.150	11.5	85.919	28.2311472		
0.200	14	100.19	32.9190415	1500	2.194602767
0.250	16.5	114.45	37.6069358		
0.300	19	128.72	42.2948302	1900	2.226043694
0.400	24	157.26	51.6706189		
0.500	28	180.08	59.1712498		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADA S	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR	CBR
0.025	4	43.118	14.1674642		
0.050	6	54.531	17.9177796		
0.075	8	65.945	21.6680951		
0.100	10	77.359	25.4184106	1000	2.541841057
0.150	14	100.19	32.9190415		
0.200	17	117.31	38.5445147	1500	2.569634314
0.250	20	134.43	44.1699879		
0.300	23.5	154.4	50.73304	1900	2.67016
0.400	29.5	188.64	61.9833864		
0.500	35.5	222.88	73.2349328		

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CON CENIZA 15
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 23: CBR SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AL 15

Molde	Lectura	Molde #	3	12	10
	325	Nº capas	5	5	5
	562	Nº Golpes	56	25	12
	709	Volumen	2304.521574	2334.943972	2304.521574

	12		25		56	
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	10090.5	11164	9299.5	10491	8710	9960.5
Peso recipiente	7221.5	7221.5	6289	6289	5644	5644
Peso muestra humeda	2869	3942.5	3010.5	4202	3066	4316.5
Volumen	2304.521574	2361.68	2334.943972	2436.43	2304.521574	2431.36
Peso muestra seca	2517.1	2875.3	2630.7	3101.9	2671.4	3243.5
Densidad Humeda	1.245	1.669	1.289	1.725	1.330	1.775
Densidad Seca	1.092	1.217	1.127	1.273	1.159	1.334
% de compactacion	94%		97%		100%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro Nº	k11	a1	t14	s	13d	m5
Peso muestra hum + recipiente	178.7	178.1	177.9	202.7	216.4	189.9
Peso muestra sec + recipiente	161.92	161.22	158.79	184.18	195.4	172.14
Peso recipiente	43.8	38.5	29.4	52.9	52.9	52.2
Humedad %	14.21	13.75	14.77	14.11	14.74	14.81
Promedio Humedad %	13.98		14.44		14.77	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro Nº	m6	5	k11	14d	s1	c12
Peso muestra hum + recipiente	133.35	149.4	117.22	133.11	107.9	98.7
Peso muestra sec + recipiente	107.9	118.2	98.1	112	92	80.2
Peso recipiente	43	29.1	43.78	52.92	43.3	25
Humedad %	39.21	35.02	35.20	35.73	32.65	33.51
Promedio Humedad %	37.12		35.47		33.08	

12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	3	37.4107	12.29230642		
0.050	5	48.8245	16.04262189		
0.075	5.2	49.9659	16.41765344		
0.100	8	65.9452	21.6680951	1000	2.16680951
0.150	9	71.6521	23.54325283		
0.200	10	77.359	25.41841057	1500	1.694560704
0.250	11	83.0659	27.2935683		
0.300	13	94.4797	31.04388377	1900	1.63388862
0.400	14	100.187	32.91904151		
0.500	17	117.307	38.54451472		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR	CBR
0.025	4	43.1176	14.16746415		
0.050	5.5	51.678	16.98020076		
0.075	6.6	57.9555	19.04287427		
0.100	10	77.359	25.41841057	1000	2.541841057
0.150	11	83.0659	27.2935683		
0.200	14	100.187	32.91904151	1500	2.194602767
0.250	17	117.307	38.54451472		
0.300	20.5	137.281	45.10756679	1900	2.374082463
0.400	26.5	171.523	56.3585132		
0.500	29	185.79	61.04640754		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	PRESIÓN ESTANDAR	CBR
0.025	5	48.8245	16.04262189		
0.050	7	60.2383	19.79293736		
0.075	9	71.6521	23.54325283		
0.100	11	83.0659	27.2935683	1000	2.72935683
0.150	17	117.307	38.54451472		
0.200	22	145.842	47.92030339	1500	3.194686893
0.250	25	162.963	53.5457766		
0.300	33	208.618	68.54703849	1900	3.607738868
0.400	38	237.152	77.92282716		
0.500	48	294.221	96.67440452		

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA 20
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

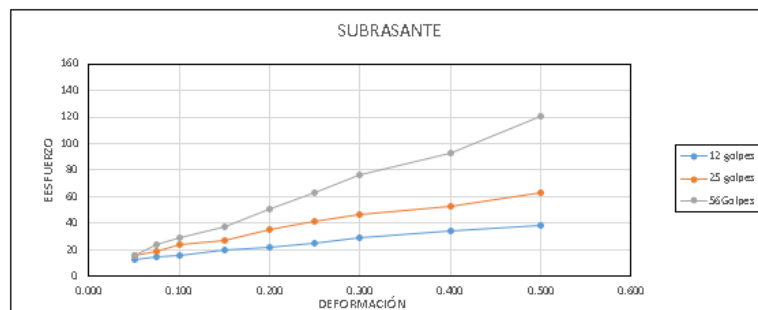
Molde	Lectura	Molde #	29	28	9
	281	N° capas	5	5	5
	480	N° Golpes	56	25	12
	350	Volumen	2304.521574	2334.943972	2286.375735

	12		25		56	
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	9415.5	10266	9900	10817.5	9320	10554
Peso recipiente	6539.5	6539.5	6832	6832	6306	6306
Peso muestra humeda	2876	3726.5	3068	3985.5	3014	4248
Volumen	2304.52157	2353.7	2334.943972	2421.36	2286.37574	2366.22
Peso muestra seca	2512.2	2641.5	2662.5	2871.3	2620.5	3061.1
Densidad Humeda	1.248	1.583	1.314	1.646	1.318	1.795
Densidad Seca	1.090	1.122	1.140	1.186	1.146	1.294
% de compactacion	95%		99%		100%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	d1	6	d8	2d	s1	c1
Peso muestra hum + recipiente	280.9	236.9	264.4	286.5	189.1	167.3
Peso muestra sec + recipiente	253.77	215.8	238.58	257.4	169.5	149.26
Peso recipiente	69.6	67.5	65.8	69.9	43.2	25
Humedad %	14.73	14.23	14.94	15.52	15.52	14.52
Promedio Humedad %	14.48		15.23		15.02	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	6	m5	d1	m9	30	2a
Peso muestra hum + recipiente	160.3	164.5	161.8	130.57	152	182
Peso muestra sec + recipiente	134.3	130.6	135.9	109	124	151
Peso recipiente	67.49	52.19	69.64	53	52.8	69.9
Humedad %	38.92	43.23	39.09	38.52	39.33	38.22
Promedio Humedad %	41.08		38.80		38.78	



Apéndice 24: CBR SUELO NATURAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AL 20

12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	3	37.4107	12.2923064		
0.050	4	43.1176	14.1674642		
0.075	5	48.8245	16.0426219		
0.100	7	60.2383	19.7929374	1000	1.979293736
0.150	8.3	67.6573	22.2306424		
0.200	10	77.359	25.4184106	1500	1.694560704
0.250	12	88.7728	29.168726		
0.300	14.5	103.04	33.8566204	1900	1.781927388
0.400	17	117.307	38.5445147		
0.500	19.5	131.575	43.2324091		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	5	48.8245	16.0426219		
0.050	6.5	57.3849	18.8553585		
0.075	9	71.6521	23.5432528		
0.100	11	83.0659	27.2935683	1000	2.72935683
0.150	15	105.894	34.7941992		
0.200	18.5	125.868	41.3572513	1500	2.757150088
0.250	21	140.135	46.0451457		
0.300	24.3	158.968	52.2331662	1900	2.74911401
0.400	30	191.497	62.9215653		
0.500	30.5	194.35	63.8591441		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	5	48.8245	16.0426219		
0.050	9	71.6521	23.5432528		
0.075	12	88.7728	29.168726		
0.100	16.5	114.454	37.6069358	1000	3.760693585
0.150	23.5	154.402	50.73304		
0.200	30	191.497	62.9215653	1500	4.194771019
0.250	37	231.445	76.0476694		
0.300	46	282.807	92.924089	1900	4.890741529
0.400	61	368.411	121.051455		
0.500	74	442.601	145.428506		

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 25: CBR SUELO NATURAL

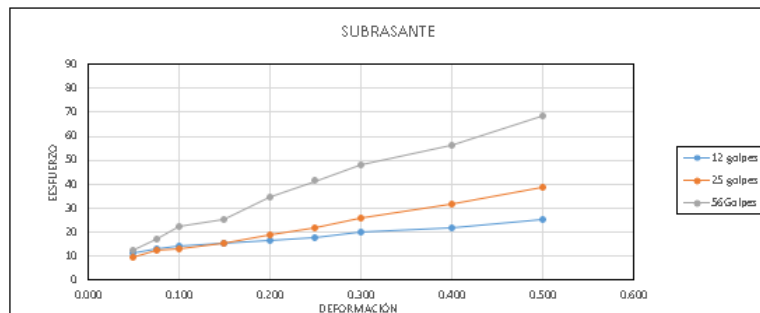
Molde	Lectura	Molde #	21	18	381
18	381	N° capas	5	5	5
31	321	N° Golpe	56	25	12
21	241	Volumen	2333.105434	2333.105434	2302.70699

	12		25		56	
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	12020	12900	10001	11323.5	10490	11900
Peso recipiente	9045	9045	6853.5	6853.5	7213.5	7213.5
Peso muestra humeda	2975	3855	3147.5	4470	3276.5	4686.5
Volumen	2304	2434.96	2335	2421.36	2305	2359.68
Peso muestra seca	2733.7	3415.5	2885.5	3967.9	2981.5	4182.3
Densidad Humeda	1.291	1.583	1.348	1.846	1.421	1.986
Densidad Seca	1.187	1.403	1.236	1.639	1.294	1.772
% de compactacion	92%		95%		100%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	T-13	T-01	T-11	T-08	T-12	T-0
Peso muestra hum + recipient	94.3	83.4	74.9	82.5	87.1	61.3
Peso muestra sec + recipient	89.2	80.1	71.6	79	83	58.5
Peso recipiente	36.2	39	35.4	40.3	37.1	32.7
Humedad %	9.62	8.03	9.12	9.04	8.93	10.85
Promedio Humedad %	8.83		9.08		9.89	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	T-13	T-01	T-11	T-08	T-12	T-0
Peso muestra hum + recipient	101.8	117.6	84.7	77.9	114.4	122.7
Peso muestra sec + recipient	97.6	112.1	80.1	74	106.8	116.6
Peso recipiente	65.8	68.2	43.6	43.3	44	65.8
Humedad %	13.21	12.53	12.60	12.70	12.10	12.01
Promedio Humedad %	12.87		12.65		12.05	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESION LB/IN ²	carga estandar (lb/in ²)	CBR
0.025	2.5	34.557	11.1475		
0.050	3	37.411	12.0679677		
0.075	3.2	38.552	12.4361548		
0.100	3.5	40.264	12.9884355	1000	1.29884355
0.150	3.6	40.835	13.172529		
0.200	3.7	41.406	13.3566226	1500	0.89044151
0.250	3.9	42.547	13.7248097		
0.300	4	43.118	13.9089032	1900	0.73204754
0.400	5	48.825	15.7498387		
0.500	5.5	51.678	16.6703065		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESION LB/IN ²	PRESION ESTANDAR	CBR
0.025	5	48.825	16.0426219		
0.050	6.2	55.673	18.2928112		
0.075	7	60.238	19.7929374		
0.100	8	65.945	21.6680951	1000	2.16680951
0.150	9.1	72.223	23.7307686		
0.200	10	77.359	25.4184106	1500	1.6945607
0.250	10.8	81.925	26.9185368		
0.300	11.7	87.061	28.6061787	1900	1.50558835
0.400	14	100.19	32.9190415		
0.500	16.5	114.45	37.6069358		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESION LB/IN ²	PRESION ESTANDAR	CBR
0.025	6	54.531	17.9177796		
0.050	11	83.066	27.2935683		
0.075	13	94.48	31.0438838		
0.100	15	105.89	34.7941992	1000	3.47941992
0.150	15.5	108.75	35.7317781		
0.200	17	117.31	38.5445147	1500	2.56963431
0.250	19	128.72	42.2948302		
0.300	19.2	129.86	42.6698617	1900	2.2457822
0.400	21	140.13	46.0451457		
0.500	22.5	148.7	48.8578823		

Apéndice 26: CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 2

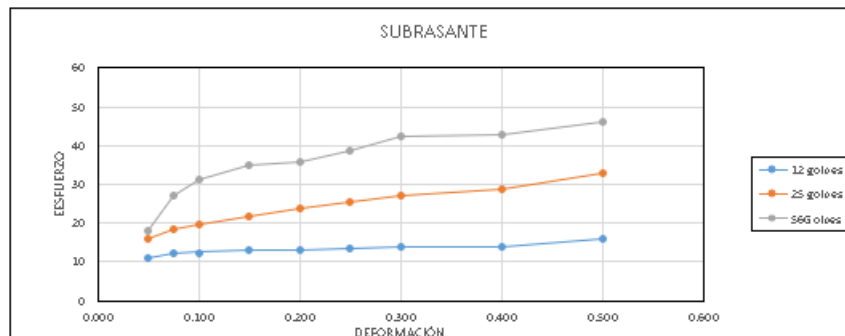
Molde	Lectura	Molde #	21	18	31
21	261	N° capas	5	5	5
18	454	N° Golpes	56	25	12
31	454	Volumen	2304.521574	2334.943972	2304.521574

12 25 56						
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	10587.5	12900	10353	11323.5	10407	11900
Peso recipiente	7373	7373	6909	6909	6890.5	6890.5
Peso muestra humeda	3214.5	5527	3444	4414.5	3516.5	5009.5
Volumen	2304.52157	2350.07	2334.943972	2416.58	2304.52157	2385.09
Peso muestra seca	2816.6	4009.8	2974.3	3077.5	3001.5	3775.4
Densidad Humeda	1.395	2.352	1.475	1.827	1.526	2.100
Densidad Seca	1.222	1.706	1.274	1.273	1.302	1.583
% de compactacion	94%		98%		101%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	s5	k	a7	6	j6	30
Peso muestra hum + recipiente	172.42	153.17	158.04	258.6	259.08	262.1
Peso muestra sec + recipiente	157.6	138.7	141.8	231.8	231.1	233
Peso recipiente	52.7	36.27	39.01	62	66.05	65.4
Humedad %	14.13	14.13	15.80	15.78	16.95	17.36
Promedio Humedad %	14.13		15.79		17.16	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	m4	4	6s	vii	k	a7
Peso muestra hum + recipiente	252.4	258.5	282.16	245.38	142.7	174.05
Peso muestra sec + recipiente	200.77	205.93	217.63	182.47	116.57	140.71
Peso recipiente	64.6	66.7	62.6	43.5	36.4	39
Humedad %	37.92	37.76	41.62	45.27	32.59	32.78
Promedio Humedad %	37.84		43.45		32.69	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in)	CBR
0.025	2.5	34.557	11.3547276		
0.050	3.5	40.264	13.2298853		
0.075	4	43.118	14.1674642		
0.100	4.5	45.971	15.105043	1000	1.510504302
0.150	5.2	49.966	16.4176534		
0.200	6	54.531	17.917796	1500	1.194518642
0.250	7	60.238	19.7929374		
0.300	8	65.945	21.6680951	1900	1.140426058
0.400	10	77.359	25.4184106		
0.500	11	83.066	27.2935683		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in)	CBR
0.025	1.5	28.85	9.47956381		
0.050	3	37.411	12.2923064		1.510504302
0.075	3.5	40.264	13.2298853		
0.100	4.5	45.971	15.105043	1000	
0.150	6.5	57.385	18.8553585		
0.200	8	65.945	21.6680951	1500	1.444539673
0.250	10.2	78.5	25.7934421		
0.300	13.3	96.192	31.6064311	1900	1.663496373
0.400	17	117.31	38.5445147		
0.500	20.5	137.28	45.1075668		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in)	CBR
0.025	3	37.411	12.2923064		
0.050	5.5	51.678	16.9802008		
0.075	8.5	68.799	22.605674		
0.100	10	77.359	25.4184106	1000	2.541841057
0.150	15	105.89	34.7941992		
0.200	18.5	125.87	41.3572513	1500	2.757150088
0.250	22	145.84	47.9203034		
0.300	26.5	171.52	56.3585132	1900	2.966237537
0.400	33	208.62	68.5470385		
0.500	39	242.86	79.7979849		

Apéndice 27: CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 4

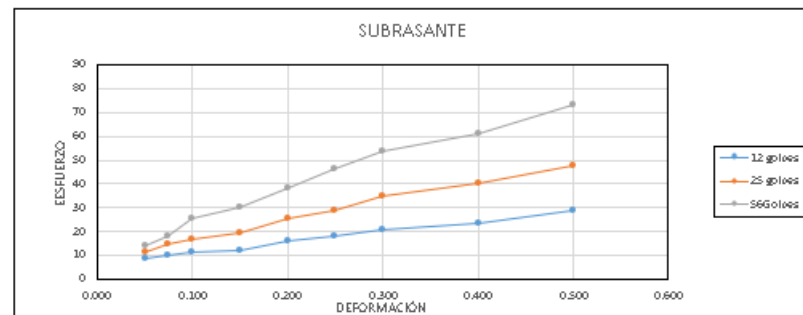
Molde	Lectura	Molde #	9	16	28
	554	N° capas	5	5	5
	480	N° Golpe	56	25	12
	314	Volumen	2304.521574	2334.943972	2304.521574

	12		25		56	
DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	9320	10700	9700	10780	10600.5	11700
Peso recipiente	6306	6306	6362	6362	7173	7173
Peso muestra humeda	3014	4394	3338	4418	3427.5	4527
Volumen	2304.5216	2403.23	2334.94397	2421.36	2304.5216	2359.68
Peso muestra seca	2689.8	3265.4	2990.1	3342.9	3042.7	3455.8
Densidad Humeda	1.308	1.828	1.430	1.825	1.487	1.918
Densidad Seca	1.167	1.359	1.281	1.381	1.320	1.465
% de compactacion	90%		99%		102%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	4	a6	a9	s10	b2	5n
Peso muestra hum + recipient	240.16	246.5	159.97	249.77	282.46	189.58
Peso muestra sec + recipient	221.3	227.7	147.9	230.4	257.9	173.4
Peso recipiente	66.79	69.7	43.7	64.7	65.32	44.37
Humedad %	12.21	11.90	11.58	11.69	12.75	12.54
Promedio Humedad %	12.05		11.64		12.65	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	p1	30	a2	c12	2e	m5
Peso muestra hum + recipient	185	266.17	173.9	182.19	256.54	213.9
Peso muestra sec + recipient	150.88	214.81	140.39	143.8	211.8	176.18
Peso recipiente	52.7	65.38	35.7	25	70.1	52.19
Humedad %	34.75	34.37	32.01	32.31	31.57	30.42
Promedio Humedad %	34.56		32.16		31.00	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in²)	CBR
0.025	1	25.997	8.5419909		
0.050	2	31.704	10.417149		
0.075	2.5	34.557	11.354728		
0.100	3	37.411	12.292306	1000	1.22923064
0.150	5	48.825	16.042622		
0.200	6	54.531	17.91778	1500	1.19451864
0.250	7.5	63.092	20.730516		
0.300	9	71.652	23.543253	1900	1.23911857
0.400	12	88.773	29.168726		
0.500	15	105.89	34.794199		

25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in²)	CBR
0.025	2.5	34.557	11.354728		
0.050	4.5	45.971	15.105043		
0.075	5.5	51.678	16.980201		
0.100	7	60.238	19.792937	1000	1.97929374
0.150	10	77.359	25.418411		
0.200	12	88.773	29.168726	1500	1.94458174
0.250	15	105.89	34.794199		
0.300	18	123.01	40.419672	1900	2.12735118
0.400	22	145.84	47.920303		
0.500	27	174.38	57.296092		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGAD	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN²	carga estandar (lbs/in²)	CBR
0.025	4	43.118	14.167464		
0.050	6	54.531	17.91778		
0.075	10	77.359	25.418411		
0.100	12.5	91.626	30.106305	1000	3.01063049
0.150	17	117.31	38.544515		
0.200	21	140.13	46.045146	1500	3.06967638
0.250	25	162.96	53.545777		
0.300	29	185.79	61.046408	1900	3.21296882
0.400	35.5	222.88	73.234933		
0.500	41	254.27	83.5483		

ENSAYO	CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 6
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 28: CBR SUELO NATURAL CON ASFALTO 6

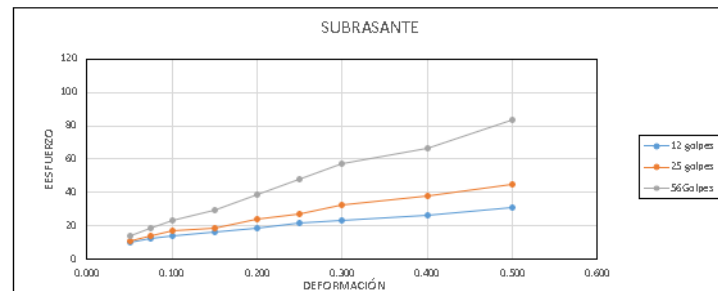
Molde	10	29	32
N° capas	5	5	5
N° Golpes	56	25	12
Volumen	2304.521574	2334.943972	2304.521574

DATOS MUESTRA ANTES Y DESPUES DEL REMOJO						
Descripción	12		25		56	
	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso muestra + recipiente	9538	10254.5	9718	10487	10628.5	11466.5
Peso recipiente	6306	6306	6362	6362	7173	7173
Peso muestra humeda	3232	3948.5	3356	4125	3455.5	4293.5
Volumen	2304.521574	2342.63	2334.943972	2421.91	2304.521574	2386.54
Peso muestra seca	2872.3	2946.7	2955.2	3099.6	3122.2	3173.1
Densidad Humeda	1.402	1.685	1.437	1.703	1.499	1.799
Densidad Seca	1.246	1.258	1.266	1.280	1.355	1.330
% de compactacion	96%		98%		105%	

en base al proctor

DATOS HUMEDA ANTES DEL REMOJO						
Tarro N°	5	1	3n	m7	c	sn
Peso muestra hum + recipiente	246	269.74	227.3	184.3	125.7	172.4
Peso muestra sec + recipiente	225.7	247.5	207.8	167.5	115.6	160.5
Peso recipiente	65.6	67.7	63.7	43.9	25	43.9
Humedad %	12.68	12.37	13.53	13.59	11.15	10.21
Promedio Humedad %	12.52		13.56		10.68	

DATOS HUMEDA DESPUES DEL REMOJO						
Tarro N°	30	d	m9	l	2e	m5
Peso muestra hum + recipiente	192.7	152.7	206.9	205.3	256.54	214
Peso muestra sec + recipiente	156.5	125.65	168.65	167.45	210	170
Peso recipiente	52.8	43.9	53.01	53.04	70.1	52.19
Humedad %	34.91	33.09	33.08	33.08	33.27	37.35
Promedio Humedad %	34.00		33.08		35.31	



12 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	2	31.7038	10.4171487		
0.050	3	37.4107	12.2923064		
0.075	4	43.1176	14.1674642		
0.100	5	48.8245	16.0426219	1000	1.604262189
0.150	6.5	57.3849	18.8553585		
0.200	8	65.9452	21.6680951	1500	1.444539673
0.250	9	71.6521	23.5432528		
0.300	10.5	80.2125	26.3559894	1900	1.387157339
0.400	13	94.4797	31.0438838		
0.500	15	105.894	34.7941992		

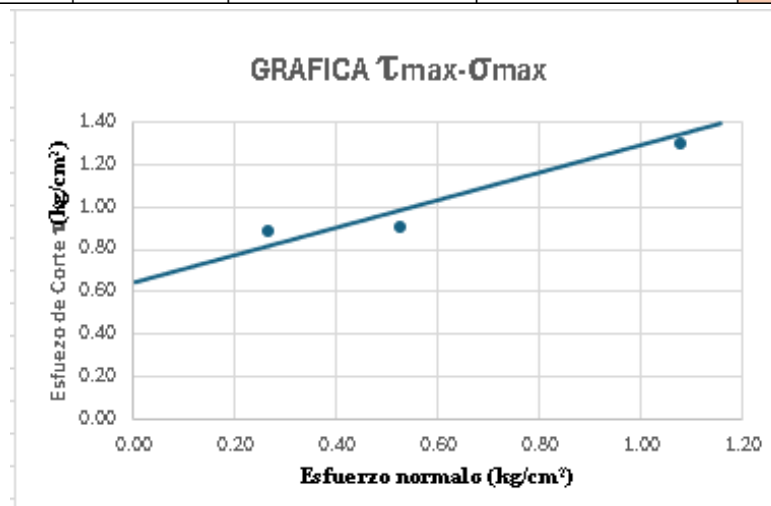
25 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	2.5	34.5573	11.3547276		
0.050	4	43.1176	14.1674642		
0.075	5.5	51.678	16.9802008		
0.100	6.5	57.3849	18.8553585	1000	1.885535849
0.150	9.5	74.5056	24.4808317		
0.200	11	83.0659	27.2935683	1500	1.81957122
0.250	14	100.187	32.9190415		
0.300	16.5	114.454	37.6069358	1900	1.979312413
0.400	20.5	137.281	45.1075668		
0.500	25	162.963	53.5457766		

56 GOLPES					
PENETRACION EN PULGADAS	LECTURAS DE CARGA	CARGA LIBRAS	PRESIÓN LB/IN ²	carga estandar (lbs/in ²)	CBR
0.025	4	43.1176	14.1674642		
0.050	6.5	57.3849	18.8553585		
0.075	9	71.6521	23.5432528		
0.100	12	88.7728	29.168726	1000	2.916872604
0.150	17	117.307	38.5445147		
0.200	22	145.842	47.9203034	1500	3.194686893
0.250	27	174.376	57.2960921		
0.300	32	202.911	66.6718807	1900	3.509046355
0.400	41	254.273	83.5483004		
0.500	50	305.635	100.42472		

ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 29: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL

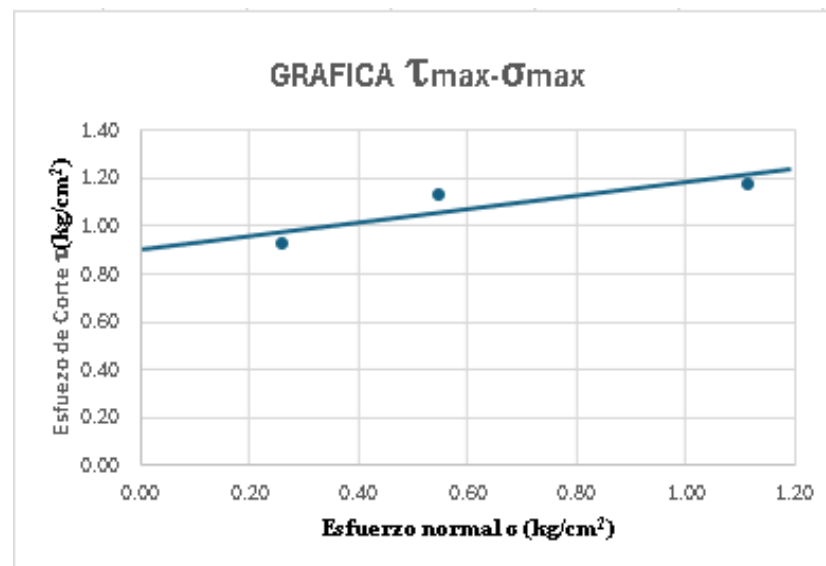
# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Area de la muestra(cm ²)
1	1	10	322.6	32.90	3.77	6.3	39.69
2	2	20	335.8	34.24	2.61	6.3	39.69
3	4	40	468.8	47.80	4.28	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)		
1	5.923	37.3149	5.98	0.27	0.88	real	
2	6.039	38.0457	4.14	0.53	0.90	c'(kg/cm ²)	0.69
3	5.872	36.9936	6.79	1.08	1.29	φ(°)	15.00



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 7
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 30: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 7

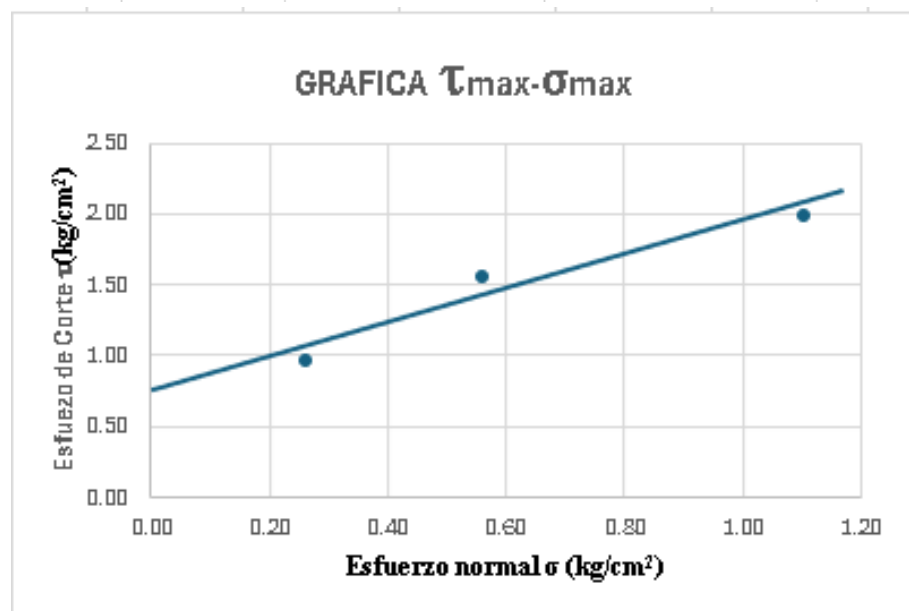
# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Área de la muestra(cm ²)
1	1	10	345	35.18	2.62	6.3	39.69
2	2	20	405	41.30	4.98	6.3	39.69
3	4	40	412.4	42.05	6.16	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	6.038	38.0394	4.16	0.26	0.92	c'(kg/cm ²)	0.91
2	5.802	36.5526	10.00	0.55	1.13	φ(°)	7.00
3	5.684	35.8092	10.00	1.12	1.17		



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 5
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 31: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 5

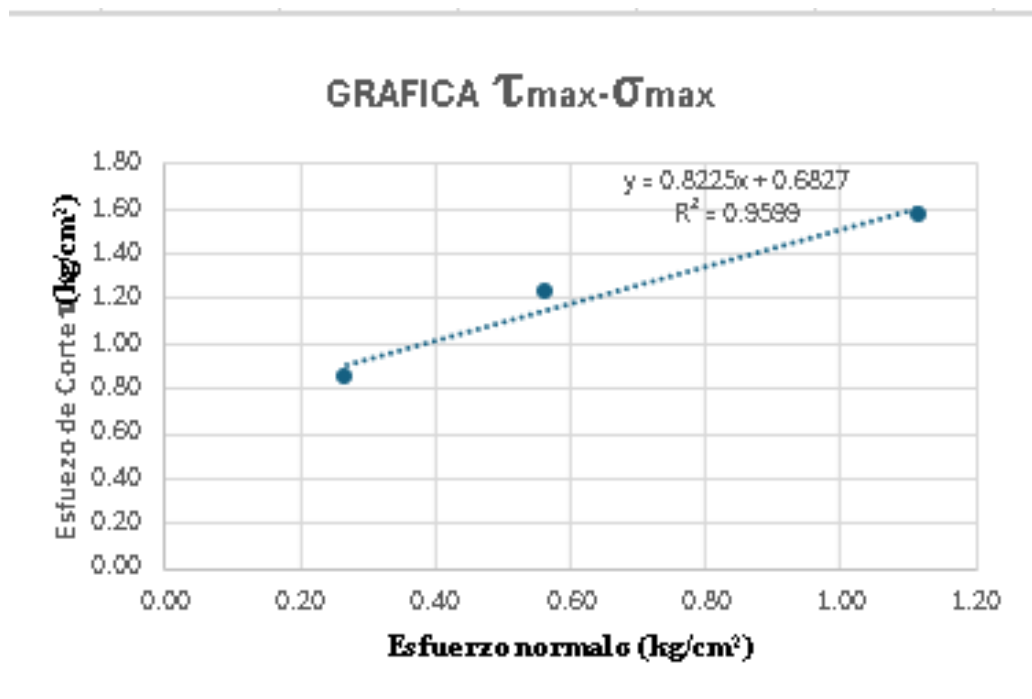
# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Área de la muestra(cm ²)
1	1	10	355.6	36.26	2.74	6.3	39.69
2	2	20	546.2	55.70	6.24	6.3	39.69
3	4	40	700	71.38	5.62	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Área corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	6.026	37.9638	4.35	0.26	0.96	c'(kg/cm ²)	0.75
2	5.676	35.7588	10.00	0.56	1.56	φ(°)	16.00
3	5.738	36.1494	10.00	1.11	1.97		



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 3
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 32: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CAL 3

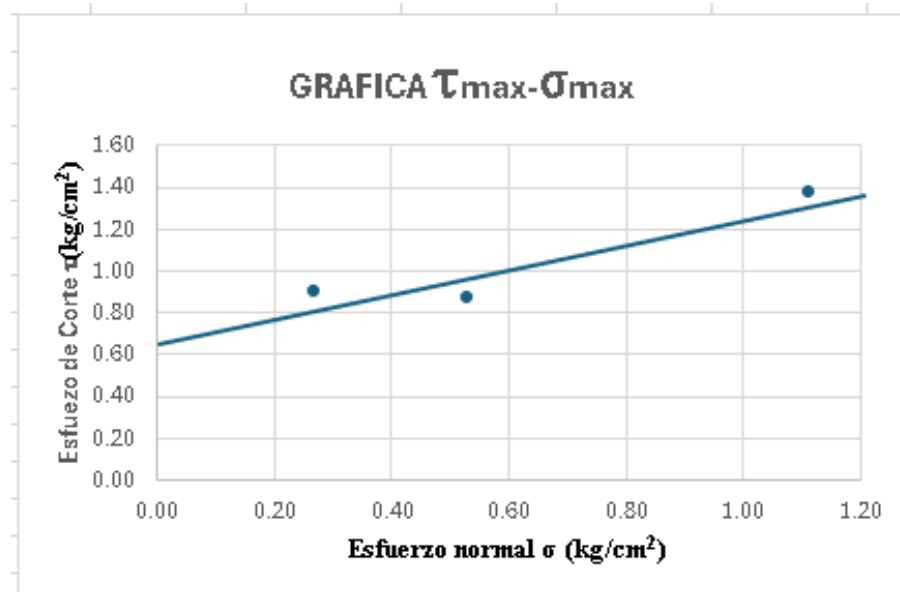
# Muestra	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Área Promedio muestra(cm ²)	Área de la muestra(cm ²)
1	1	10	311	31.71	3.73	6.3	39.69
2	2	20	428.4	43.68	6.48	6.3	39.69
3	4	40	552.8	56.37	6.05	6.3	39.69
# Muestra	Área Corregido(cm ²)	Área corregida(cm ²)	Deform. Unitaria(%)	fuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	fuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	5.927	37.3401	5.92	0.27	0.85	c'(kg/cm ²)	0.68
2	5.652	35.6076	10.00	0.56	1.23	φ(°)	15.00
3	5.695	35.8785	10.00	1.11	1.57		



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 10
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 33: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 10

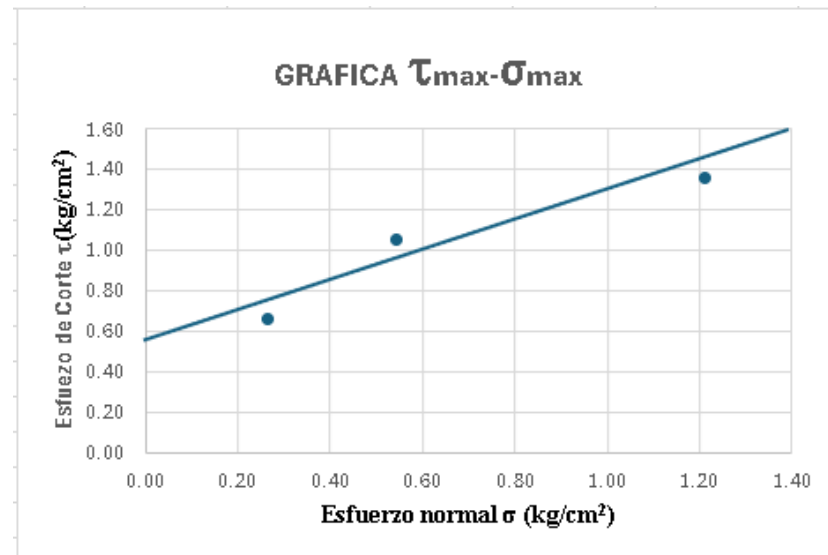
# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Area de la muestra(cm ²)
1	1	10	330	33.65	3.52	6.3	39.69
2	2	20	323.2	32.96	3.14	6.3	39.69
3	4	40	486	49.56	5.98	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	5.948	37.4724	5.59	0.27	0.90	c'(kg/cm ²)	0.66
2	5.986	37.7118	10.00	0.53	0.87	φ(°)	12.00
3	5.702	35.9226	10.00	1.11	1.38		



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 15
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 34: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 15

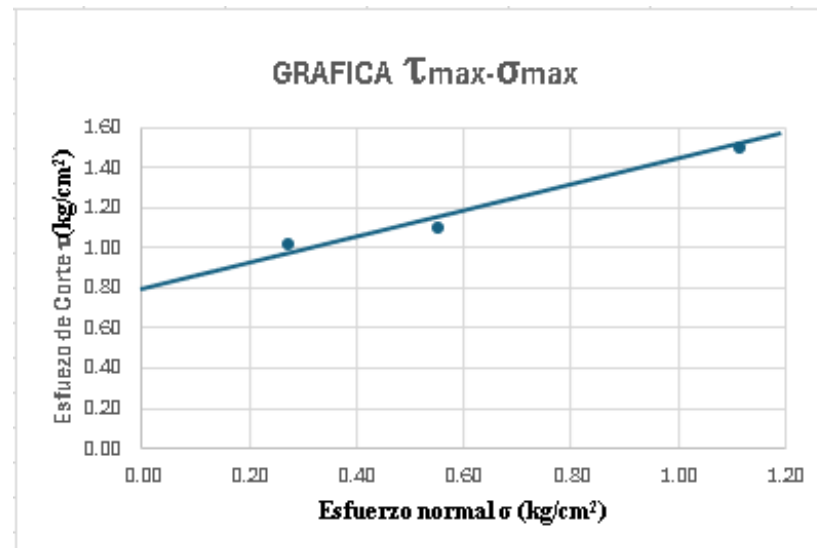
# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Area de la muestra(cm ²)
1	1	10	245.8	25.06	2.98	6.3	39.69
2	2	20	330	38.75	4.68	6.3	39.69
3	4	40	440	44.87	10.64	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	6.002	37.8126	4.73	0.26	0.66	c'(kg/cm ²)	0.56
2	5.832	36.7416	10.00	0.54	1.05	φ(°)	18.00
3	5.236	32.9868	10.00	1.21	1.36		



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON CENIZA AL 20
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 35: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 20

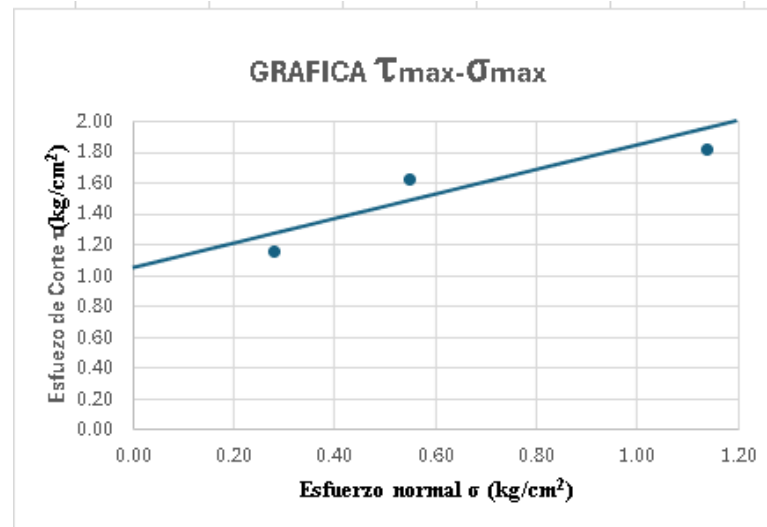
# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Área de la muestra(cm ²)
1	1	10	366.2	37.34	4.762	6.3	39.69
2	2	20	388	39.56	5.63	6.3	39.69
3	4	40	525.8	53.62	6.07	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Área corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	5.8238	36.68994	7.56	0.27	1.02	c'(kg/cm ²)	0.82
2	5.737	36.1431	10.00	0.55	1.09	φ(°)	14.00
3	5.693	35.8659	10.00	1.12	1.49		



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 2
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 36: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 2

# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Arede la muestra(cm2)
1	1	10	404.6	41.26	6.56	6.3	39.69
2	2	20	580	59.14	5.35	6.3	39.69
3	4	40	626.8	63.92	7.27	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm2)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm2)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm2)	real	
1	5.644	35.5572	10.41	0.28	1.16	c'(kg/cm2)	1.08
2	5.765	36.3195	10.00	0.55	1.63	$\phi(^{\circ})$	13.00
3	5.573	35.1099	10.00	1.14	1.82		

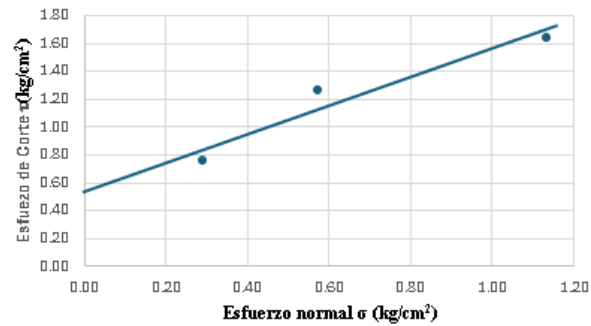


ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 4
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 37:CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 4

# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Área de la muestra(cm ²)
1	1	10	256	26.10	8.42	6.3	39.69
2	2	20	432	44.05	7.48	6.3	39.69
3	4	40	568	57.92	7.04	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	5.458	34.3854	13.37	0.29	0.76	c' (kg/cm ²)	0.56
2	5.552	34.9776	10.00	0.57	1.26	φ (°)	19.00
3	5.596	35.2548	10.00	1.13	1.64		

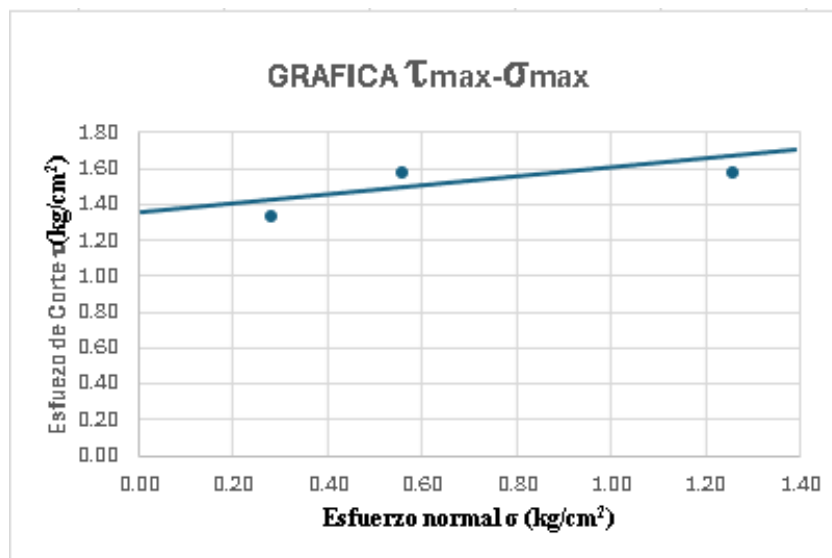
GRAFICA $\tau_{max}-\sigma_{max}$



ENSAYO	CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 6
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

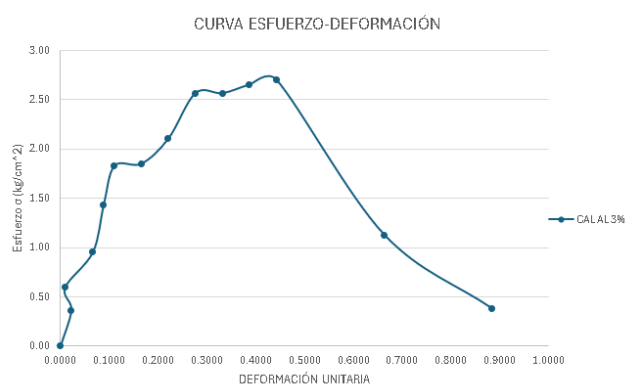
Apéndice 38: CORTE DIRECTO SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 6

# Muestras	Carga Normal(kg)	Carga Normal Max(kg)	Carga Cortante(N)	Carga Cortante Max(kgf)	Desplazamiento Horizontal(mm)	Lado Promedio muestra(cm)	Area de la muestra(cm ²)
1	1	10	456.2	46.52	7.238	6.3	39.69
2	2	20	552.2	56.31	6.28	6.3	39.69
3	4	40	488	49.76	12.61	6.3	39.69
# Muestras	Lado Corregido(cm)	Area corregida(cm ²)	Defor. Unitaria(%)	Esfuerzo Normal Max(kgf/cm ²)	Esfuerzo Cortante Max(kgf/cm ²)	real	
1	5.5762	35.13006	11.49	0.28	1.32	c'(kg/cm ²)	1.35
2	5.672	35.7336	10.00	0.56	1.58	φ(°)	6.00
3	5.039	31.7457	10.00	1.26	1.57		



ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 3
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 39: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 3



Lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación (cm)	Def Unitaria ϵ (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	80.12	0.00
8	29.9206897	65.9452	0.00254	0.0221	81.93	0.37
15	48.0460526	105.8935	0.00108	0.0094	80.88	0.59
28	81.707441	180.0832	0.00762	0.0663	85.80	0.95
45	125.72618	277.1005	0.01016	0.0883	87.88	1.43
60	164.566243	362.704	0.0127	0.1104	90.06	1.83
65	177.512931	391.2385	0.01905	0.1657	96.03	1.85
80	216.352995	476.842	0.0254	0.2209	102.83	2.10
106	283.675771	625.2214	0.03175	0.2761	110.67	2.56
115	306.979809	676.5835	0.0381	0.3313	119.81	2.56
130	345.819873	762.187	0.04445	0.3865	130.60	2.65
146	387.249274	853.4974	0.0508	0.4417	143.51	2.70
100	268.139746	590.98	0.0762	0.6626	237.47	1.13
98	262.961071	579.5662	0.1016	0.8835	687.59	0.38

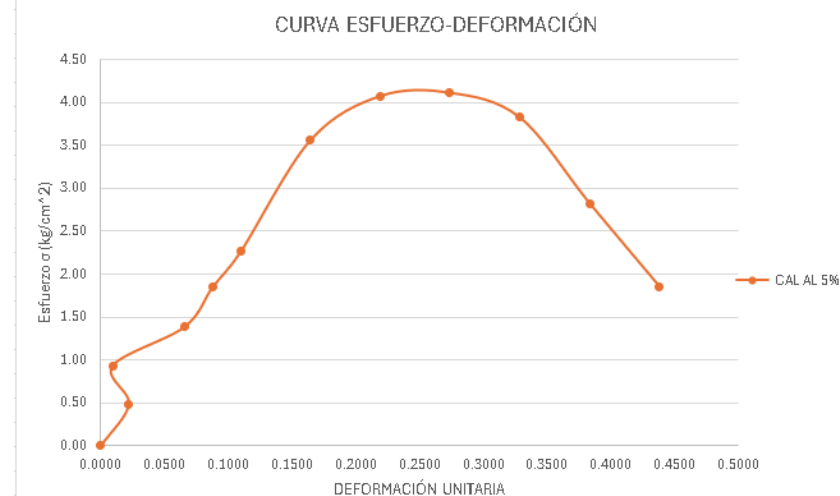
qu (kg/cm ²)	2.70
cohe (kg/cm ²)	1.34916218

ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 5
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 40: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 5

lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación n (cm)	Def Unitaria ϵ (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	81.18	0.00
12	40.2780399	88.7728	0.00254	0.0219	83.00	0.49
26	76.5287659	168.6694	0.00108	0.0093	81.94	0.93
43	120.547505	265.6367	0.00762	0.0657	86.89	1.39
60	164.566243	362.704	0.01016	0.0876	88.97	1.85
76	205.995644	454.0144	0.0127	0.1095	91.16	2.26
130	345.819873	762.187	0.01905	0.1642	97.13	3.56
160	423.5	933.394	0.0254	0.2190	103.94	4.07
174	459.750726	1013.2906	0.03175	0.2737	111.78	4.11
175	462.340064	1018.9975	0.0381	0.3284	120.89	3.82
140	371.713249	819.256	0.04445	0.3832	131.62	2.82
100	268.139746	590.98	0.0508	0.4379	144.43	1.86

qu (kg/cm ²)	4.11
cohe (kg/cm ²)	2.056586332

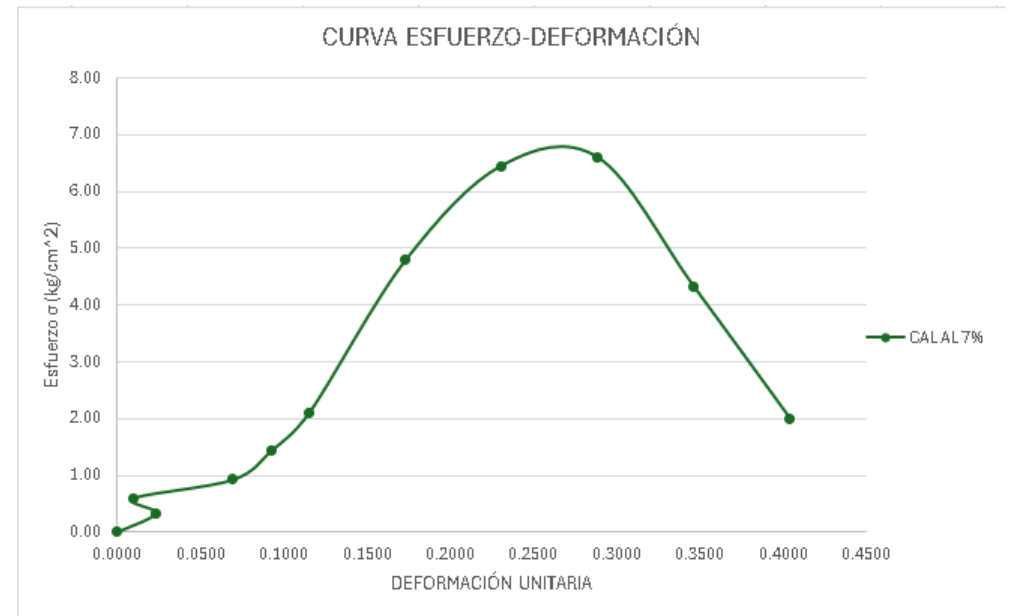


ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 7
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 41: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CAL AL 7

lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación (cm)	Def Unitaria ϵ (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	81.18	0.00
7	27.3313521	60.2383	0.00254	0.0231	81.74	0.33
15	48.0460526	105.8935	0.00108	0.0098	80.65	0.60
27	79.1181034	174.3763	0.00762	0.0693	85.80	0.92
45	125.72618	277.1005	0.01016	0.0924	87.98	1.43
70	190.459619	419.773	0.0127	0.1155	90.28	2.11
175	462.340064	1018.9975	0.01905	0.1732	96.58	4.79
255	669.487069	1475.5495	0.0254	0.2309	103.83	6.45
282	739.399183	1629.6358	0.03175	0.2886	112.26	6.59
200	527.073503	1161.67	0.0381	0.3464	122.17	4.31
100	263.139746	590.98	0.04445	0.4041	134.01	2.00
			0.0508			

qu (kg/cm ²)	6.59
cohe (kg/cm ²)	3.2933323

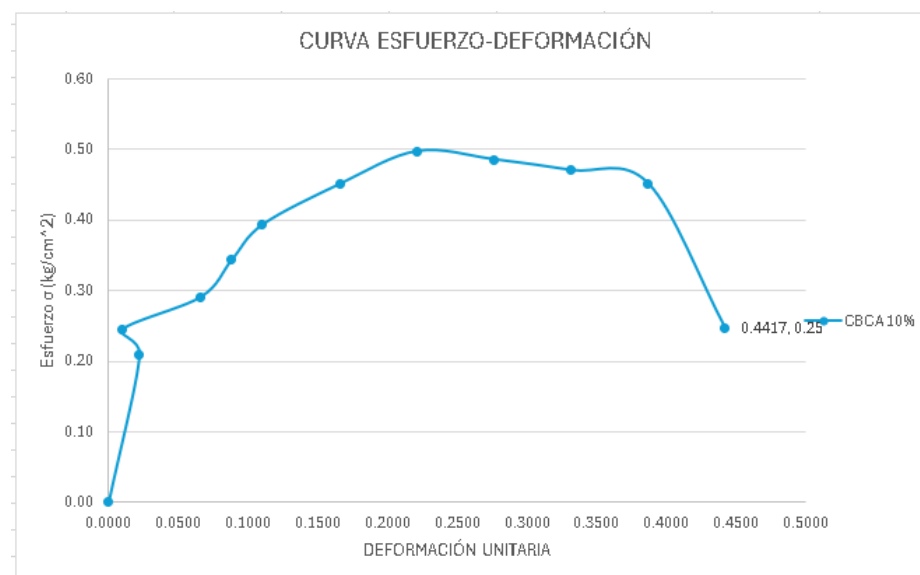


Apéndice 42: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 10

ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 10
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación (cm)	Def Unitaria ε (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	79.34	0.00
3	16.9740018	37.4107	0.00254	0.0221	81.13	0.21
4	19.5633394	43.1176	0.00108	0.0094	80.09	0.24
6	24.7420145	54.5314	0.00762	0.0663	84.97	0.29
8	29.9206897	65.9452	0.01016	0.0883	87.03	0.34
10	35.0993648	77.359	0.0127	0.1104	89.19	0.39
13	42.8673775	94.4797	0.01905	0.1657	95.09	0.45
16	50.6353902	111.6004	0.0254	0.2209	101.83	0.50
17	53.2247278	117.3073	0.03175	0.2761	109.59	0.49
18	55.8140653	123.0142	0.0381	0.3313	118.64	0.47
19	58.4034029	128.7211	0.04445	0.3865	129.32	0.45
10	35.0993648	77.359	0.0508	0.4417	142.11	0.25

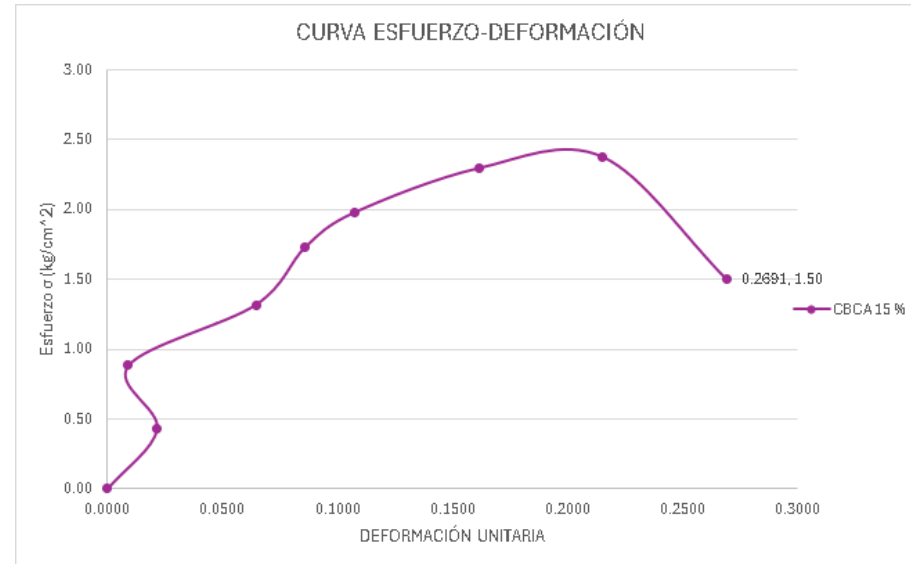
qu (kg/cm ²)	0.50
σ _{ohc} (kg/cm ²)	0.24863231



ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 15
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 43: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 15

			Deformació	Def Unitaria	Área	Esfuerzo σ	
lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	n (cm)	ϵ (%)	Corregida (cm ²)	(kg/cm ²)	
0	0	20.29	0	0.0000	80.12	0.00	
10	35.0993648	77.359	0.00254	0.0215	81.88	0.43	
24	71.3500907	157.2556	0.00108	0.0092	80.86	0.88	
40	112.779492	248.566	0.00762	0.0646	85.65	1.32	
55	151.619555	334.1695	0.01016	0.0861	87.67	1.73	
65	177.512931	391.2385	0.0127	0.1076	89.78	1.98	
81	218.942332	482.5489	0.01905	0.1614	95.54	2.29	
90	242.24637	533.911	0.0254	0.2153	102.10	2.37	qu (kg/cm ²) 2.37
60	164.566243	362.704	0.03175	0.2691	109.61	1.50	ohe (kg/cm ²) 1.18637672

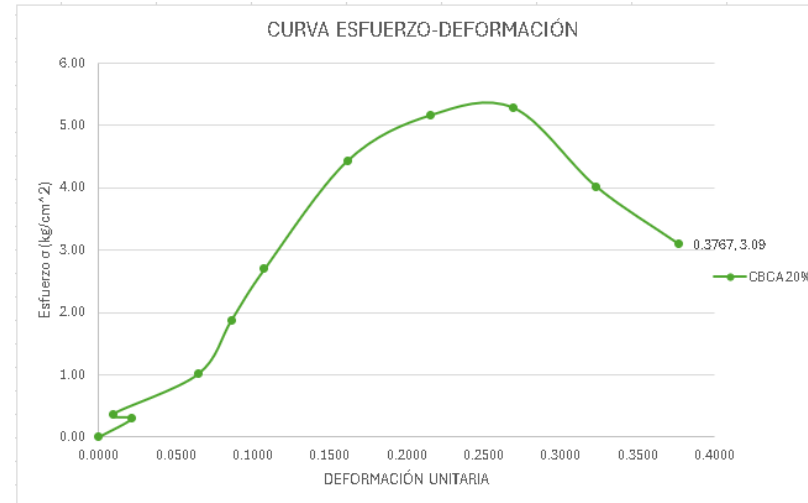


ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 20
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 44: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON CENIZA 20

lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación (cm)	Def Unitaria ε (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	80.12	0.00
6	24.7420145	54.5314	0.00254	0.0215	81.88	0.30
8	29.9206897	65.9452	0.00108	0.0092	80.86	0.37
30	86.8861162	191.497	0.00762	0.0646	85.65	1.01
60	164.566243	362.704	0.01016	0.0861	87.67	1.88
90	242.24637	533.911	0.0127	0.1076	89.78	2.70
160	423.5	933.394	0.01905	0.1614	95.54	4.43
200	527.073503	1161.67	0.0254	0.2153	102.10	5.16
220	578.860254	1275.808	0.03175	0.2691	109.61	5.28
180	475.286751	1047.532	0.0381	0.3229	118.32	4.02
150	397.606624	876.325	0.04445	0.3767	128.54	3.09

qu (kg/cm2) 5.28
:ohe (kg/cm2) 2.64050617

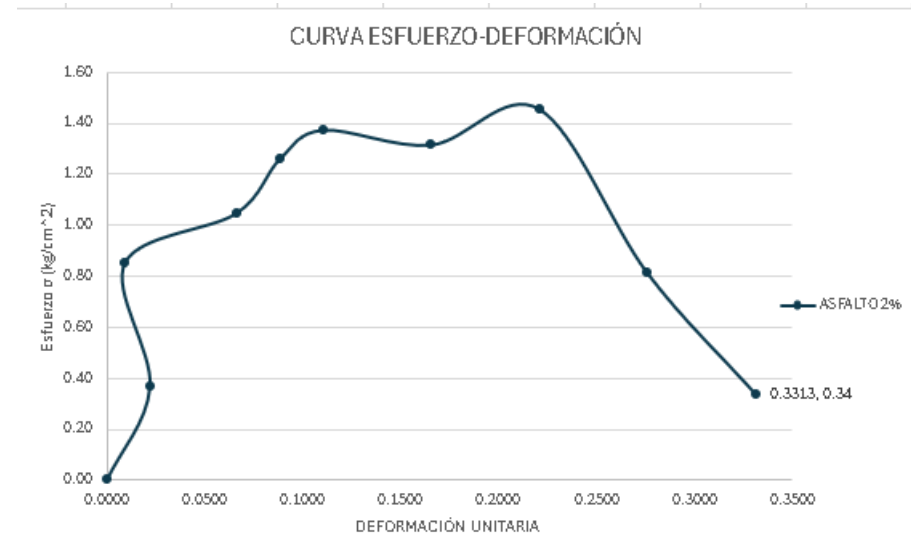


Apéndice 45: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 2

ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 2
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación n (cm)	Def Unitaria ε (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	79.86	0.00
8	29.9206397	65.9452	0.00254	0.0221	81.66	0.37
23	68.7607532	151.5437	0.00108	0.0094	80.61	0.85
31	89.4754537	197.2039	0.00762	0.0663	85.52	1.05
39	110.190154	242.8591	0.01016	0.0883	87.59	1.26
44	123.136342	271.3936	0.0127	0.1104	89.77	1.37
45	125.72618	277.1005	0.01905	0.1657	95.71	1.31
54	149.030218	328.4626	0.0254	0.2209	102.49	1.45
31	89.4754537	197.2039	0.03175	0.2761	110.31	0.81
12	40.2780399	88.7728	0.0381	0.3313	119.42	0.34

qu (kg/cm ²)	1.45
cohe (kg/cm ²)	0.72702515



ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 4
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 46: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 4

			Deformación	Def Unitaria ϵ	Área	
lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	n (cm)	(%)	Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0000	79.88	0.00
8	29.9206897	65.9452	0.00254	0.0215	81.61	0.37
23	68.7607532	151.5487	0.00108	0.0092	80.59	0.85
40	112.779492	248.566	0.00762	0.0646	85.37	1.32
61	167.155581	368.4109	0.01016	0.0861	87.38	1.91
80	216.352995	476.842	0.0127	0.1076	89.49	2.42
98	262.961071	579.5662	0.01905	0.1614	95.23	2.76
102	273.318421	602.3938	0.0254	0.2153	101.76	2.69
60	164.566243	362.704	0.03175	0.2691	109.25	1.51
25	73.9394283	162.9625	0.0381	0.3229	117.93	0.63

qu (kg/cm ²)	2.76
qhe (kg/cm ²)	1.38067092

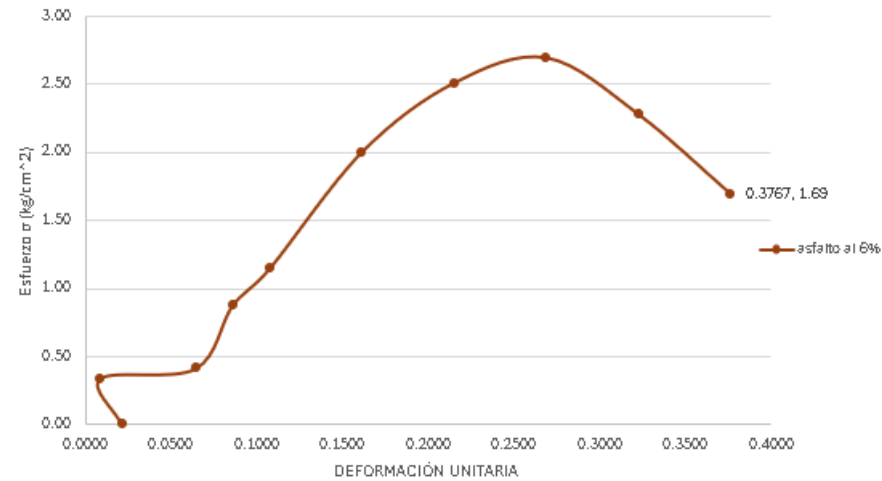


ENSAYO	COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 6
UBICACION	GUALAY-CUENCA-ECUADOR

Apéndice 47: COMPRESION SIMPLE SUELO NATURAL CON ASFALTO AL 6

lectura	Carga (kg)	Carga (lb)	Deformación n (cm)	DefUnitaria ε (%)	Área Corregida (cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
0	0	20.29	0	0.0215	81.61	0.00
7	27.3313521	60.2383	0.00254	0.0092	80.59	0.34
10	35.0993648	77.359	0.00108	0.0646	85.37	0.41
17	76.5287659	168.6694	0.00762	0.0861	87.38	0.88
26	102.422142	225.7384	0.01016	0.1076	89.49	1.14
36	190.459619	419.773	0.0127	0.1614	95.23	2.00
70	255.193058	562.4455	0.01905	0.2153	101.76	2.51
95	294.033122	648.049	0.0254	0.2691	109.25	2.69
110	268.139746	590.98	0.03175	0.3229	117.93	2.27
100	216.352995	476.842	0.0381	0.3767	128.12	1.69
					qu (kg/cm²)	2.69
					cohe (kg/cm²)	1.34566909

CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros(a)s, Ariel Steven Avila Taza y Diego Sebastián Álvarez Segarra portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N.º 0106429475 y 0105826705. Declaramos ser autore(a)s de la obra: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN PARA VERIFICAR EL CAMBIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS FINOS EN LA COMUNIDAD GUALAY, CANTÓN CUENCA" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 1 de julio de 2025

F: 
Ariel Steven Avila Taza
0106429475

F: 
Diego Sebastián Álvarez Segarra
0105826705