

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

TEMA:

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Autor: Michelle Yadira Capuz Mancero
Tutor: Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

Ambato – Ecuador
Julio 2025

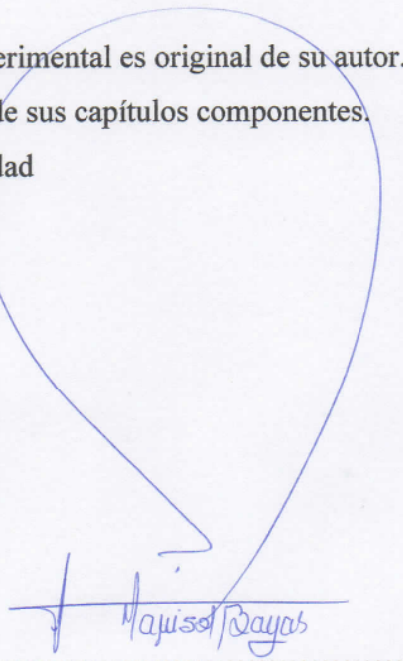
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS "**, elaborado por la estudiante Michelle Yadira Capuz Mancero, portadora de la cédula de ciudadanía número 1850125756, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad

Ambato, julio 2025



.....

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg

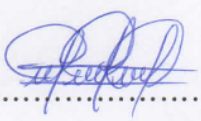
C.C: 1802939205

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Michelle Yadira Capuz Mancero,** con C.C. 1850125756 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2025



.....

Michelle Yadira Capuz Mancero

C.C. 1850125756

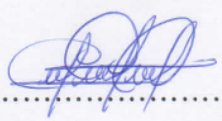
AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, julio 2025



.....

Capuz Mancero Michelle Yadira

C.C. 1850125756

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimenta, realizado por el estudiante **Michelle Yadira Capuz Mancero**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"**

Ambato, julio 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg	Ing. Alex Gustavo López Arboleda, Mg
C.C:1710320332	C.C: 1802919322
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación, que hoy llega a su fin, es el resultado de un camino lleno de retos, fue un año lleno de batallas internas, de abrazarme en soledad y levantarme con heridas. Pero aquí estoy. Un camino que no hubiera sido posible recorrer sin el apoyo incondicional de personas que iluminaron cada paso. Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, que ha sido mi guía, mi fortaleza y mi inspiración en este camino.

A mis padres Mery y Vini a pesar de las diferencias, de los silencios y de las distancias emocionales, quiero agradecerles por haberme dado la vida y por brindarme, a su manera lo necesario para llegar hasta aquí, el valor de los sacrificios hechos, aunque no han sido expresados con palabras, en medio de las complejidades, este logro también lleva una parte de ustedes. Gracias por ser parte de mi historia, por lo que fue, por lo que no fue y por lo que incluso sin saberlo, me impulsó a seguir adelante.

A mi mami Olí, mujer de temple inquebrantable, de corazón inmenso y amor sin límites, gracias por sus manos que cuidaron de mí con paciencia, por sus palabras que calmaron mis temores y su fe profunda que me enseñó a creer en mis propios sueños.

A Dennis y Shirley verlos crecer, luchar y seguir su propio camino me ha llenado de orgullo, ustedes han sido, sin saberlo, mi motor silencioso, mi fuerza en los días difíciles y mi mayor inspiración para no rendirme.

Adri y Vale que llegaron a mi vida como compañeras y se quedaron como hermanas del alma, este logro es suyo también, porque estuvieron ahí cuando más lo necesité, su cariño fue cimiento invisible de esta meta que hoy florece, gracias por abrazar mis silencios, su amistad es el tesoro más grande que la vida me ha concedido.

A mi padrino Gio, aunque no se lo digo así, gracias por estar presente en los momentos de alegría y también en lo de incertidumbre, por escucharme y animarme cuando sentía que no podía más, y por recordarme quién soy cuando dudaba de mí misma.

De igual manera dedico este logro a ese ángel del cielo Joffrito que me acompaña, la vida ha sido muy difícil, pero sé que estaría orgulloso de todo lo que me he convertido hasta hoy.

Y, de manera especial a Susy que, sin haberme dado la vida, la has cuidado, acompañado y amado como si fueras mi madre, tu apoyo incondicional fueron la luz que iluminó mi camino. Gracias por creer en mí, por recorrer a mi lado en cada etapa de este sueño, gracias por ser mi principal motor de inspiración, por asumir responsabilidades que no te correspondían, por no dejarme nunca sola, por preocuparte por mí, por cuidarme, guiarme, y por comprender incluso mi silencio. Te llevo conmigo en cada paso.

Con amor, Yady

AGRADECIMIENTO

Este trabajo no es solo un logro individual, es el reflejo de un camino compartido y el resultado de incontables apoyos, inmenso cariño y la inquebrantable compañía que recibí a lo largo de esta desafiante, pero gratificante, travesía.

A mis queridos tíos quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional a lo largo de este camino. Sus palabras de aliento, sus consejos sabios y su presencia constante han sido un faro de luz en los momentos más desafiantes. Tíos, su amor y cuidado han sido un pilar fundamental en mi vida, les agradezco de corazón por creer en mí y por impulsarme a alcanzar mis metas. Su presencia ha significado más de lo que las palabras pueden expresar. Gracias por ser mi equipo de apoyo y motivación.

A mis amigos, aquellos que se convirtieron en familia Pame, Fabo, Vale, Bri, Diego, Ara, Rob, Ari les debo su paciencia y comprensión durante los momentos de crisis existencial, por respetar mis procesos y por celebrar conmigo cada pequeño avance, algunos son lo mejor que me dejo pandemia y en este hermoso capitulo llamado universidad, gracias por coleccionar momentos conmigo. Amigos, su amistad sincera y su compañía invaluable han hecho que este viaje sea más llevadero y significativo. Gracias por las risas compartidas, por los momentos de apoyo incondicional y por ser mi familia elegida. Su cariño y amistad son un tesoro que valoro profundamente, y les estoy eternamente agradecido por formar parte de mi vida.

A mis profesores y mentores, les expreso mi gratitud por su sabiduría y guía. Mi más sincero agradecimiento a la Ing. Marisol Bayas, tutora de esta investigación, por su valiosa paciencia y compromiso durante todo el proceso de desarrollo de esta tesis y por la calidez humana que siempre me brindó.

A ti, pequeña Michelle… gracias por soñar, por no rendirte cuando te sentiste sola, por abrazar silencios que pesaban y por desear llegar lejos cuando ni siquiera sabías cómo.

A mi querida Maye y Vale gracias por ser una fuente constante de alegría, sus travesuras iluminaron muchos de mis días, su energía y entusiasmo me recordaron la importancia de perseguir los sueños. Gracias por su luz

A todas aquellas personas cuyo nombre no he mencionado, pero que de alguna manera formaron parte de este proceso, les agradezco de corazón. Si mi memoria me ha traicionado, que no lo haga mi gratitud. Cada gesto, palabra o apoyo que recibí dejó una huella en este logro. Gracias, sinceramente.

Con cariño, Yady

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA……i

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO viii

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE TABLAS xi

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xii

RESUMEN EJECUTIVO xiii

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1

I. JUSTIFICACIÓN 1

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 2

III. OBJETIVO GENERAL 6

A. OBJETIVO GENERAL 6

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 6

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 7

I. EQUIPOS Y MATERIALES: 7

II. MÉTODOS: 8

FASE 2 14

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 31

IV. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 46

V. CONCLUSIONES 49

VI. RECOMENDACIONES 51

VII. BIBLIOGRAFÍA..... 52

VIII. ANEXOS:..... 55

Ensayos de Laboratorio 55

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X..... 93

Análisis de Precios Unitarios..... 94

Anexos fotográficos..... 103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la muestra zona Oriente. 10
Figura 2. Ubicación de la muestra zona Sierra 10
Figura 3. Ubicación de la muestra zona Costa 11
Figura 4. Recolección de la cáscara de coco para su secado 12
Figura 5. Horno para calcinación de CCC 13
Figura 6. Registro de temperatura por cámara fotográfica 13
Figura 7. Muestra para ensayo FRX 15
Figura 8. Muestra de suelo más porcentaje de CCC 15
Figura 9. Color de las muestras de suelo en estado natural 33
Figura 10. Costo para estabilizar suelos 45

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. 5
TABLA II 11
TABLA III 16
TABLA IV 24
TABLA V. 24
TABLA VI. 26
TABLA VII. 26
TABLA VIII. 27
TABLA IX 32
TABLA X. 33
TABLA XI. 34
TABLA XII. 35
TABLA XIII. 36
TABLA XIV. 38
TABLA XV. 40
TABLA XVI 41
TABLA XVII 42
TABLA XVIII. 43
TABLA XIX. 44
TABLA XX 45
TABLA XXI 48

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CCC	Ceniza de cáscara de coco
CCA	Ceniza de cáscara de arroz
CBR	California Bearing Ratio
AASHTO	Association of State Highway and Transportation Officials
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
FRX	Fluorescencia de rayos X
CHO	Contenido de humedad óptimo
SC	Arenas arcillosas
SM	Arena limosa
SP	Arena mal graduada

RESUMEN EJECUTIVO

Ante el impacto ambiental de los métodos tradicionales de estabilización de suelos, esta investigación evalúa el uso de ceniza de cáscara de coco (CCC) como alternativa económica y sostenible. La CCC, obtenida al carbonizar a temperaturas superiores a 400°C, contiene óxidos de sílice, calcio y aluminio, los cuales tienen potencial para mejorar las propiedades físico – mecánicas del suelo. El objetivo principal fue comprobar si la adicción de CCC mejora el comportamiento del suelo y al mismo tiempo reutilizar residuos agroindustriales.

Se recolectaron tres muestras de suelo de diferentes regiones del Ecuador: Oriente (M1), Sierra (M2) y Costa (M3). Se realizaron pruebas físicas y mecánicas (Humedad, Límites de Atterberg, granulometría, Proctor y CBR) comparando una muestra de control y tres con la adición de 3%, 5% y 8% de porcentajes de CCC.

Los resultados mostraron mejoras notables en la capacidad de soporte del suelo. En M1 (Oriente), el CBR natural de 11.5% subió 16.7% con una adición de 3% de CCC, aunque mayores proporciones redujeron la efectividad. En M2 (Sierra), con un CBR natural excelente de 20.5%, la adición del 5% de CCC lo elevo a 54.1%, permitiendo su uso como subbase, lo que representa un ahorro económico. Mientras que M3 (Costa), inicialmente con un CBR muy bajo de 4.3%, alcanzó 13.9% con 5% de CCC, mejorando su clasificación para uso en subrasante. Además, la CCC ayudó a reducir el hinchamiento del suelo, dependiendo de la dosis y la compactación aplicada.

Desde el punto económico, la CCC resultó sostenible, reutilizar residuos agrícolas que normalmente se queman o se desechan, y al sustituir materiales con alta energía incorporada, contribuye a reducir la huella de carbono. Además, es un material no tóxico y biodegradable. Si bien el proceso de obtención conlleva ciertos riesgos, éstos pueden ser controlados con técnicas adecuadas.

En conclusión, la ceniza de la cáscara de coco demuestra ser un estabilizador eficaz, sostenible y accesible, su uso mejora significativamente las propiedades del suelo y ofrece ventajas económicas y reduce el impacto ambiental, consolidándose como una opción prometedora en la construcción.

PALABRAS CLAVE: SUELO, CENIZA DE CÁCARA DE COCO, ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, MATERIALES ALTERNATIVOS

ABSTRACT

Given the significant environmental impact associated with conventional soil stabilization methods, this investigation evaluates the utilization of coconut shell ash (CSA) as an economic and sustainable alternative. CSA, obtained through controlled carbonization at temperatures exceeding 400°C, comprises oxides of silicon, calcium, and aluminum, which possess the inherent pozzolanic potential to enhance the physical and mechanical properties of soil. The primary objective of this study was to empirically ascertain whether the incorporation of CSA improves soil behavior while concurrently promoting the valorization of agro-industrial waste.

Three representative soil samples were collected from distinct regions of Ecuador: Oriente (M1), Sierra (M2), and Costa (M3). Comprehensive physical tests (natural moisture content, Atterberg Limits, particle size distribution) and mechanical tests (Proctor compaction and California Bearing Ratio (CBR) assays) were conducted. The experimental design involved comparing a control specimen (untreated soil) with three specimens incorporating CSA at concentrations of 3%, 5%, and 8% by dry weight of soil.

The obtained results unequivocally demonstrated notable enhancements in the soil's bearing capacity. For M1 (Oriente), the natural CBR value of 11.5% increased to 16.7% with an optimal 3% CSA addition; however, higher proportions exhibited a reduction in stabilization effectiveness. In M2 (Sierra), which presented an excellent natural CBR of 20.5%, the incorporation of 5% CSA elevated its value to an impressive 54.1%, thereby permitting its reclassification for subbase applications and signifying potential economic savings in pavement design. Conversely, M3 (Costa), initially characterized by a very low CBR of 4.3%, achieved 13.9% with 5% CSA, considerably improving its classification for subgrade utilization. Furthermore, CSA contributed to the mitigation of soil swell potential, with the efficacy observed to be dependent on the applied dosage and compaction energy.

From an economic standpoint, CSA proved to be a highly competitive and sustainable material. Environmentally, its utilization represents a sustainable solution by repurposing agricultural waste that would typically be incinerated or landfilled, thereby contributing significantly to reducing the carbon footprint associated with the production of materials with high embodied energy. Moreover, CSA is characterized as a non-toxic and biodegradable material. While the acquisition process entails certain inherent risks, these can be effectively managed through the application of appropriate techniques and control measures.

In conclusion, coconut shell ash unequivocally demonstrates its efficacy as a soil stabilizer, proving to be sustainable and economically accessible. Its application not only significantly enhances the geotechnical properties of soil but also offers considerable economic advantages and mitigates environmental impact, thus solidifying its position as a promising option for sustainable civil engineering practices.

KEYWORDS: SOIL, COCONUT SHELL ASH, STABILIZATION OF SOIL, ALTERNATIVE MATERIALS.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

En este capítulo se describe la problemática de los desperdicios que genera el consumo de coco en ciudades desarrolladas, su residuo puede generar impactos negativos en el entorno local como su ocupación de espacio, contaminación visual y de salubridad. Se conoce que la cáscara de coco tiene un reconocido potencial para realizar varias aplicaciones ambientales y económicas, asimismo de los retos que se presentan al ser incorporados en los métodos tradicionales.

La estabilización de suelos ha sido un desafío persistente, impulsando la búsqueda de técnicas alternativas sostenibles ante la creciente escasez de suministros convencionales. Esta realidad conduce a la necesidad de promover un desarrollo sostenible y explorar soluciones innovadoras y ambientalmente responsable para abordar la problemática relacionada con la mejora de las propiedades geotécnicas de los suelos [1].

El consumo de coco ha generado un incremento proporcional en los residuos derivados, particularmente la cáscara. En contextos urbanos desarrollados, la gestión predominante se limita como desecho, pero su aprovechamiento puede potencializar a otras aplicaciones. Si bien se conoce que las cáscaras de coco constituyen un desecho agroindustrial, su compuesto atribuye al 30% de su peso, esas fibras tienen el nombre de bonote y son consideradas como las más gruesas y resistentes de todas las fibras naturales comerciales [2].

Ecuador es un país multiverso que posee 10 tipos de suelos identificados, algunos suelos son muy buenos para trabajar como los entisoles, inceptisoles y alfisoles debido a su estabilidad y desarrollo, sin embargo también existen suelos como son los histosoles, aridisol que necesitan de una estabilización para asegurar una adecuada construcción [3].

La estabilización de suelos es un tema muy importante en la ingeniería civil , la búsqueda de alternativas económicas, sostenibles y ecológicas se han vuelto muy importantes en los últimos años y la combinación de materiales residuales a los métodos tradicionales son alternativas que con el paso del tiempo se va a dar con mayor acogida, al evaluar materiales que contribuyan a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, la sostenibilidad ambiental al reducir residuos y la contribución del desarrollo infraestructural, asegura que esta investigación propuesta será viable desde el punto de vista técnico, normativo y ambiental. Esta investigación da paso al estudio de nuevos materiales para la construcción que sean ecológicos y eficientes para contribuir con el desarrollo de la infraestructura de la localidad tanto rural como urbana.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En este capítulo se analiza la evolución que ha tenido la estabilización de suelos al incorporar nuevos procesos con materiales ambientales en métodos técnicos, además los materiales que se ven competentes en el futuro y la forma de combinarlos con los suelos, caben recalcar que no todos los suelos tienen las mismas características y la efectividad del componente va a depender de sus propiedades.

La estabilización de suelos ha evolucionado a lo largo de la historia de la construcción según Castro [4] dice que, las nuevas tecnologías y la implementación de materiales amigables ayuda a mejorar los suelos , además indica que es una opción prometedora el uso de la cáscara de coco debido a su abundancia de consumo y el aporte que tiene para mejorar algunas propiedades índice del suelo.

La estabilización del terreno mejora la resistencia, controla la contracción – expansión y aumenta la capacidad de carga de la subrasante se puede llevar a cabo mediante la adición de aditivos a través de un proceso de compactación mecánica. Es una solución económica para optimizar suelos problemáticos al fortalecer su cementación y reducir su sensibilidad a la humedad [5].

A través del tiempo el uso de estabilizadores tradicionales, no tradicionales y mixtos, se pudo evidenciar en Mesopotamia aplicando en suelos que eran muy fértiles pero tenían baja resistencia para sus construcciones, las estabilizaciones de ese tiempo se pudo demostrar que fueron realizadas con madera, ceniza y arcillas marinas [6].

En la India por su alta producción de caña de azúcar, han elaborado subproductos como la ceniza del bagazo de caña ,ésta contiene un alto porcentaje de sílice que al ser incorporada con el suelo ayuda a reducir el comportamiento plástico sin alterar las propiedades propias del suelo, la valorización de ceniza del bagazo de caña de azúcar representa una solución muy rentable y amigablemente sostenible [7].

En [8] se explica la efectividad que hay al utilizar cenizas de diversos residuos agrícolas como la cáscara de huevo, concha de almeja, concha de berberecho y concha de ostra. Este estudio demostró que la incorporación de estas cenizas mejora significativamente las propiedades geotécnicas del suelo, reduciendo la plasticidad, el potencial de expansión y aumentando la resistencia mecánica. Los hallazgos resaltan el potencial de estos materiales de desecho como una alternativa sostenible para la estabilización de suelos, contribuyendo a la conservación ambiental y la resiliencia de la infraestructura.

Como sostiene [9] que la influencia de cenizas de carbón y al ser sometidos a los ensayos de límites de consistencias, compactación Proctor estándar y CBR los resultados indicaron que la capacidad de soporte del suelo mejoró con el aumento del porcentaje de cenizas añadidas en suelos tipo CH y OH.

Como sostiene [10] en Indonesia, han explorado técnicas de estabilización de suelos utilizando cemento, cal y ceniza de cascarilla de arroz (CCA). Si bien el cemento y la cal son métodos comunes y efectivos para ciertos suelos problemáticos, su producción implica costos económicos y ambientales significativos. La CCA, un residuo agrícola abundante, emerge como una alternativa prometedora debido a su disponibilidad y potencial reactividad puzolánica con la cal. Los resultados de diversas pruebas revelaron que las mezclas presentan respuestas variables. El cemento demostró superioridad en resistencia a ciclos de humectación-secado y un aumento notable en la resistencia a la compresión simple. La cal sola no mejoró significativamente la durabilidad ni la resistencia a la compresión simple; sin embargo, la adición de CCA a la mezcla de suelo y cal incrementó la durabilidad, a pesar de una ligera disminución en la resistencia a la compresión libre. Este antecedente destaca la exploración de alternativas sostenibles como la CCA para la estabilización de suelos problemáticos, buscando un equilibrio entre eficacia, costo y menor impacto ambiental.

En el contexto latinoamericano [6] específicamente en Perú, la investigación sobre la aplicación de estabilizadores no convencionales para la mejora de suelos arcillosos ha cobrado relevancia. Estudios han explorado la efectividad de incorporar cenizas residuales de procesos industriales locales, como las provenientes de ladrilleras y la combustión de carbón de madera, como una estrategia para mitigar los problemas inherentes a los suelos arcillosos, caracterizados por su baja capacidad de soporte y alta susceptibilidad a la expansión volumétrica, el resultado de estas investigaciones sugieren que la adición controlada de estos materiales puede inducir mejoras significativas en las propiedades mecánicas de los suelos, incrementando su resistencia y disminuyendo su potencial de expansión, ofreciendo así alternativas más económicas y sostenibles a los métodos de estabilización tradicionales.

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de suelos son las mezclas de suelo con agentes aglutinantes para mejorar las propiedades mecánicas, sin embargo se ha vuelto muy importante tener en cuenta la sostenibilidad y la contaminación ambiental, este artículo [11] menciona que las cementeras son las industrias principales en emitir CO_2 pero al momento de incorporar otro aditivo esto reduciría las emisiones de CO_2, además concluyeron que las cenizas tienen un efecto favorable en cuanto a durabilidad.

Algo semejante ocurre con la quinua, tras su proceso de industrialización genera un residuo que habitualmente se desecha y se quema , mediante un proceso de quemado controlado, es posible tener una ceniza de forma sencilla, cuya aplicación en estudios empíricos ha demostrado ser efectiva como estabilizador de suelos cohesivos [12].

El artículo de revisión [13] evalúa sistemáticamente el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material puzolánico sostenible para la estabilización de suelos, buscando reducir el impacto ambiental de la construcción, su conclusión principal es que la estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar mejora con éxito las propiedades del suelo arcilloso.

Esta investigación [14] se suma al creciente cuerpo de conocimiento que explora el uso de residuos agrícolas como alternativas sostenibles en la mejora de las propiedades geotécnicas de los suelos. Un aspecto clave es que se caracteriza una mezcla de suelo arenoso con ceniza de cáscara de arroz (CCA) y cal, con el objetivo de ofrecer una solución económica para pavimentos de bajo volumen de tránsito y abordar el problema ambiental asociado a la disposición de la CCA. Vale la pena señalar que el estudio realizado con suelo arenoso analiza la influencia de diferentes proporciones de estos materiales en la composición mineralógica (mediante difracto gramas de rayos-x), los parámetros óptimos de compactación, el índice de soporte California (CBR), la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción diametral y la durabilidad de las mezclas. De modo que los resultados de esta investigación buscan proporcionar una base para la aplicación de esta mezcla como una solución viable y ambientalmente consciente en la construcción de infraestructuras viales de bajo costo.

Los tratamientos químicos implican la adición de cal, cemento, cenizas volantes, cascarillas de arroz, polvo de horno, materiales reciclados, nanomateriales, geo sintéticos, nano compuestos, gracias a ello se descubrió que los geopolímeros son sustituciones loables para técnicas de estabilización tradicional [15].

Gracias a la investigación de Dvidovits [16] se menciona que los nuevos materiales como los “geopolímeros” están abriendo a nuevas aplicaciones de la química inorgánica y como bien la ceniza se considera parte de ello, los principales componentes inorgánicos que están en una ceniza son: silicatos, carbonatos, fosfatos, óxidos de metales como calcio, magnesio entre otros y esos componentes al ser incorporados con suelos pueden mejorar las propiedades.

El estudio de coco a nivel internacional sobresale como un excelente componente que proporciona buena resistencia y estabilidad, destacando su capacidad para enfrentar problemas de erosión y mejorar significativamente las propiedades mecánicas del suelo, haciéndolo ideal para aplicaciones en proyectos de estabilización y control de suelos [17].

El proceso de combustión desempeña un papel crucial, ya que, al ser llevado a cabo en exceso o a temperaturas extremadamente elevadas, puede ocasionar la pérdida de propiedades químicas fundamentales, disminuyendo así su eficacia. La adición de la ceniza de la cáscara de coco al suelo se presenta como una alternativa eficiente para mejorar el índice de CBR del suelo, incrementando su resistencia estructural, debido a que la ceniza tiene la capacidad de infiltrarse en los espacios vacíos del suelo, permitiendo una compactación eficiente y homogénea, optimizando las propiedades mecánicas [18].

En la tabla I se observa la composición química de la cáscara de coco:

TABLA I.
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CARBÓN DE CÁSCARA DE COCO [18]

Composition	**Content (%)**
K_20	45.01
Na_2O	15.42
CaO	6.26
Mg_2O	1.32
Fe_2O_3dan Al_2O_3	1.39
P_2O_3	4.64
SO_3	5.75
SiO_3	4.64

El óxido de potasio es el componente que ayuda a aglomerar las partículas mejorando la estructura y la estabilidad, en consecuencia, se observa que la ceniza de la cáscara de coco tiene un alto porcentaje de óxido de potasio esté es el indicio que este material ecológico puede ayudar de forma positiva a una estabilización de suelo por su composición.

Birla Goa [19] menciona que la ceniza de la cáscara de coco podría considerarse como uno de los materiales residuales más prometedores para fortalecer los suelos, en su investigación se observó que la adición de 0.4 % a 0.8% presenta una mejora de la densidad seca y el contenido de humedad, también el ángulo de fricción interna y la cohesión.

En resumen la búsqueda de alternativas ante la escasez de materiales convencionales han impulsado a la investigación en la implementación de estabilizadores no tradicionales, varios estudios han demostrado que la incorporación de estos materiales alternativos en técnicas de estabilización pueden inducir a mejoras significativas en las propiedades geotécnicas [5].

III. OBJETIVO GENERAL

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de la ceniza de la cáscara de coco mediante ensayos de laboratorio para estabilizar diferentes tipos de suelo.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1) Seleccionar y preparar el material para elaborar las probetas de ensayo.
2) Analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con y sin la adición de ceniza de cáscara de coco en varios porcentajes para determinar su capacidad.
3) Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de las mezclas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

En esta sección se expone el procedimiento metodológico adoptado, que busca evaluar la efectividad de la ceniza de la cáscara de coco como estabilizador de suelos, la elección de la metodología se basó en la comparación de los resultados que se va a obtener con ensayos previos. Además, para la ejecución de esta investigación se ha limitado por 3 fases, las cuales tienen una amplia relación con los objetivos específicos planteados, con un enfoque cuantitativo para así poder verificar la hipótesis planteada mediante los resultados de los ensayos realizados. En la primera fase se seleccionó y preparó el material para elaborar las probetas, por otra parte, en la segunda fase se analizó las propiedades físicas y mecánicas del suelo con y sin la adición de ceniza de cáscara de coco en varios porcentajes para determinar su comportamiento y por otra parte la tercera fase se evaluó la viabilidad técnica, económica y ambiental de las mezclas.

I. EQUIPOS Y MATERIALES:

En la fase preliminar se usó un vehículo para el transporte y la recolección de la cáscara de coco, para la fase uno la recolección de las muestras y el traslado del suelo natural se utilizó un vehículo, además se usó herramientas de recolección manual denominadas herramienta menor, se dispuso en sacos de polipropileno y para traer una pequeña muestra para el contenido de humedad se pusieron en fundas ziploc para salvaguardar su humedad, para este proceso se utilizó un horno (Humbolt, modelo H-30145E) con una temperatura controlada de 110±5 y una balanza digital (Lexus).

Para la culminación de la primera fase para el proceso de la ceniza de la cáscara de coco se utilizó un horno que fue fabricado artesanalmente con un tanque metálico reutilizado que fue revestido con ladrillos para que soporte el calor, un soplete para generar la llama y un cilindro de gas, para controlar la temperatura de la calcinación de la cáscara se utilizó una cámara termográfica (Fotric 348A), para su almacenamiento fueron envasados en un balde plástico.

La segunda fase que se determina las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron equipos y materiales dependiendo el tipo de ensayo que se realizó, para el contenido de humedad se usó bandejas, un horno industrial (Humbolt, modelo H-30145E), balanza digital (Lexus), para el ensayo de granulometría se trabajó muestras de suelo, juego de tamices metálicos redondos (CONTROLS, modelo 15-D2365/J), siendo estos los tamices #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 y fuente, una tamizadora eléctrica (MATEST, modelo SERVER P), balanza digital (Lexus) y un horno industrial (Humbolt, modelo H-30145E).

Para determinar los límites de Atterberg como el límite líquido y límite plástico se utilizó el material que pasa por el tamiz #40, recipientes metálicos, una placa de vidrio (CONTROLS, modelo 22-T0040/l), balanza digital (Lexus), mortero con pistilo (CONTROLS, modelo 86-D1170), agua, espátula (CONTROLS, modelo 86-D1630) y la Copa de Casagrande (CONTROLS, modelo 22-T0031/F).

En cuanto a los ensayos de Proctor modificado y resistencia CBR se llevaron a cabo utilizando la muestra que pasa por el tamiz #4 y se utilizó un molde cilíndrico CBR marca (Dirimpex), con un diámetro de 15 cm de diámetro y una altura 17.5 cm, acompañado de su respectivo collarín y base de retorta, sus pesas (marca CONTROLS, modelo ASTM/AASHTO), martillo compactador de 10 lb (marca CONTROLS, modelo 33-T0076), prensa de carga (CBR multispeed Humboldt), probeta (marca BRAND, modelo GRADUADA) además se utilizaron equipos complementarios como tamiz N°4, calibrador, regla de enrase, probeta de 1000 ml, Balanza digital (Lexus).

Para la ejecución del ensayo Proctor Modificado se utilizaron materiales y equipos similares a los empleados en el ensayo CBR, adaptando únicamente las dimensiones del molde y el peso del martillo de compactación, se emplearon cilindros con un diámetro de 15.4 cm y una altura de 11.64 cm, junto con un martillo compactador de 10 lb, balanza digital (Lenux), horno industrial, serie de tamices, herramientas menores para el manejo y preparación del material durante el ensayo.

Finalmente, en la fase dos para la caracterización mineralógica de la ceniza de la cáscara de coco, se utiliza un difractómetro de rayos X (XRD), molino de bolas, balanza analítica de alta precisión, sistema de análisis computacional, guantes, espátula de acero inoxidable y frascos de vidrio.

En la fase tres se emplea el computador (Hp) para el análisis de datos como Excel, Calculadora científica (Hp prime), hojas de cálculo y formularios de análisis de costos, acceso a bibliografía técnica y ambiental.

II. MÉTODOS:

Este capítulo describe el enfoque metodológico adoptado para llevar a cabo la presente investigación, cuyo objetivo principal fue evaluar la capacidad de la ceniza de la cáscara de coco como estabilizante del suelo, la metodología se estructura en tres fases que van a hacer descritas a continuación, cada una de las fases se ha diseñado con base en normas técnicas

reconocidas y criterios científicos que garantizan la validez y confiabilidad de los datos obtenidos.

Es fundamental destacar que la investigación contempló una fase preliminar enfocada en la recolección y preparación de los materiales, etapa esencial para garantizar la representatividad y calidad de las muestras utilizadas en los ensayos. Esta fase incluyó la selección de los sitios de muestreo con base en criterios como accesibilidad y representatividad del suelo.

FASE 1

Esta fase corresponde al primer objetivo específico del estudio, orientado a la selección y preparación de los materiales requeridos para la elaboración de probetas destinadas a los ensayos de laboratorio. El desarrollo se esta fase se estructura en dos etapas principales detalladas a continuación:

1) **Recolección de la materia prima**

a) ***Obtención y preparación del suelo***

Las muestras de suelo utilizadas en la investigación fueron seleccionadas de las tres regiones geográficas del Ecuador. La elección de los sitios de muestreo se basó en un método de recolección secundaria, específicamente mediante un análisis documental. Como resultado, se seleccionaron las siguientes ubicaciones representativas: en la región Costa, la provincia de Los Ríos (Cantón Babahoyo); en la región Sierra, la provincia de Tungurahua (cantón Cevallos); y en la región Amazónica, la provincia de Napo (Cantón Arosemena Tola)

La primera muestra de suelo (M1) fue extraída de la provincia de Napo, cantón Arosemena Tola, barrio Santa Rosa en las coordenadas: Zona 18; 187648 m E; 9876794.00 m N.



Figura 1. Ubicación de la muestra zona Oriente.

La segunda muestra de suelo (M2) fue extraída de la provincia de Tungurahua, cantón Cevallos, barrio Vinces en las coordenadas: Zona 17; 764860.00 m E; 9851966.00 m N



Figura 2. Ubicación de la muestra zona Sierra

La tercera muestra de suelo (M3) fue extraída de la provincia de los Ríos, cantón Babahoyo, recinto los Guayabos, sector Sereje, en las coordenadas: Zona 17; 666292.00 m E; 9795854.00 m N.

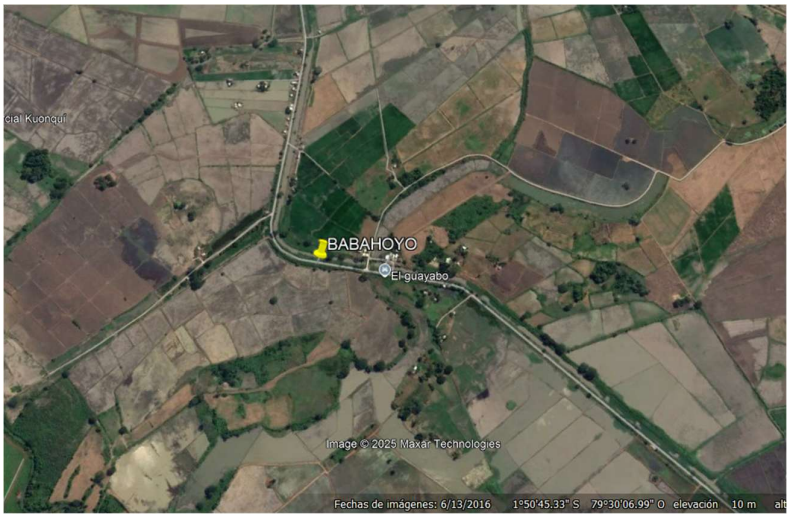


Figura 3. Ubicación de la muestra zona Costa

TABLA II
UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ESTUDIO

Muestra	ID Muestra	Provincia	Coordenadas		
			Este	Norte	Zona
Primera	M1	Napo	187648.00	9876794.00	18
Segunda	M2	Tungurahua	764860.00	9851966.00	17
Tercera	M3	Los Ríos	666292.00	9795854.00	17

Los suelos se sometieron a un secado, después se trituro y se tamizó para asegurar una granulometría uniforme y por último se almacenaron en un balde para evitar contaminación.

2) **Ceniza de cáscara de coco**

La obtención de la ceniza de la cáscara de coco está ligada a la fase preliminar pues se empezó por la recolección de la materia prima de diferentes puntos de la provincia donde se evidencia un alto consumo de cocos. Este proceso se dividió en varias etapas: recolección y pretratamiento, secado, calcinación y tamizado.

a) ***Recolección y pretratamiento de la materia prima***

Las cáscaras de coco frescas fueron recolectadas de la ciudad de Ambato, estos cocos son originarios de la provincia de Manabí capital Portoviejo, en este proceso se realizó un pre-tratamiento para eliminar cualquier material ajeno a la investigación y reducir el tamaño inicial de las cáscaras. Esto se realizó mediante un proceso de troceado utilizando una herramienta menor como es el hacha para obtener fragmentos de dimensiones manejables para facilitar el secado y una combustión más uniforme durante la calcinación.

b) Secado de la cáscara de coco

Los fragmentos de la cáscara de coco pretratados fueron sometidos a un proceso de secado para reducir su contenido de humedad y asegurar una combustión eficiente en etapas posteriores. El secado se llevó a cabo en el Cantón Cevallos en un área ventilada con exposición solar a una temperatura ambiente durante un periodo de 2 meses.



Figura 4. Recolección de la cáscara de coco para su secado

c) Calcinación Controlada

La calcinación de la cáscara de coco se realizó en un horno artesanal con la ayuda de un soplete y un revestimiento de ladrillos para que soporte la temperatura, su objetivo fue la eliminación completa de la materia orgánica y la transformación de la biomasa en una ceniza con alta concentración de sílice amorfa y otros elementos que contiene la CCC, la calcinación se llevó a cabo a una temperatura de 400°C – 800°C basándose en investigaciones, la misma fue monitoreada por una cámara digital termográfica, el material se mantuvo a la temperatura de calcinación y mientras se consumía las cáscaras se iba colocando más este proceso se lo realizó durante 4 horas diarias, la ceniza se enfrió dentro del mismo horno para asegurar un enfriamiento lento y alcanzar la temperatura ambiente para luego guardarlo en un recipiente de plástico.



Figura 5. Horno para calcinación de CCC

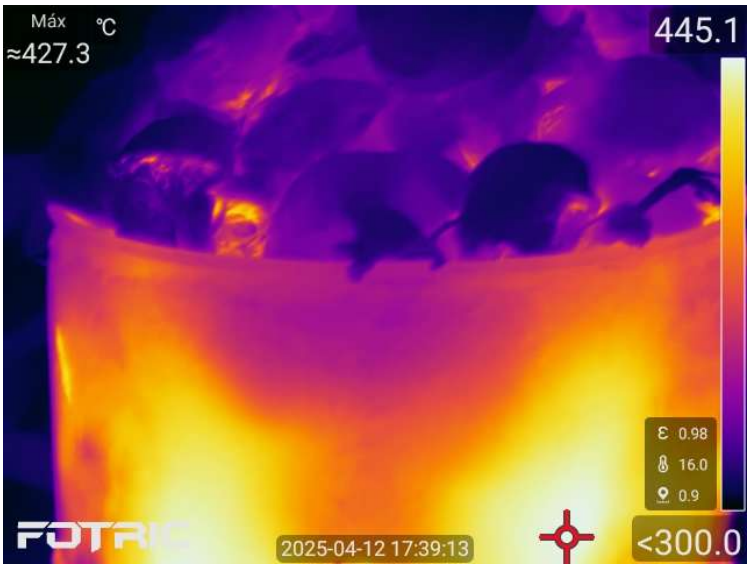


Figura 6. Registro de temperatura por cámara fotográfica

*d) **Tamizado de la Ceniza***

Una vez enfriada y almacenada la ceniza se sometió a un proceso de tamizado para obtener uniformidad en sus partículas, se utilizó el tamiz N° 4 ya que de acuerdo con las normativas estándar para realizar CBR se debe utilizar el material que pase por el mismo.

FASE 2

Esta fase corresponde al segundo objetivo específico de la investigación, que consiste en analizar y comparar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural y del suelo tratado con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de coco (CCC). En esta sección se realizaron algunos ensayos como Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR) para evaluar el comportamiento del suelo.

Los ensayos efectuados se desarrollaron conforme a los procedimientos establecidos por normas técnicas específicas, la metodología de investigación descriptiva facilitó la caracterización y clasificación de las muestras analizadas, empleando los sistemas AASHTO y SUCS.

3) Fluorescencia de rayos X de la ceniza de la cáscara de coco

Para determinar la composición de la ceniza de la cáscara de coco (CCC), se llevó a cabo un análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX), este método es crucial para identificar y cuantificar los óxidos mayoritarios presentes en la ceniza, lo cual es fundamental para evaluar su potencial puzolánico como estabilización de suelos.

a) Preparación de la Muestra

La ceniza de cáscara de coco, previamente calcinada a una temperatura controlada entre 400°C - 800°C y enfriada, fue sometida a un proceso de tamizado para asegura la homogeneidad. El ensayo se desarrolló en la Universidad Politécnica Nacional en la ciudad de Quito, posteriormente, se prepararon tabletas prensadas de la ceniza, se mezcló con aglutinante y se compacto bajo una presión utilizando una prensa hidráulica. La homogeneidad de la tableta y su superficie lisa son esenciales para minimizar la dispersión de los rayos X y asegurar resultados precisos.



Figura 7. Muestra para ensayo FRX

*b) **Preparación de las mezclas suelo – ceniza***

Cada tipo de suelo se someterá a la adición de porciones con ceniza de la cáscara de coco de 3%, 5% y 8%. Las mezclas fueron homogéneamente preparadas en el laboratorio, procurando una distribución uniforme del aditivo.



Figura 8. Muestra de suelo más porcentaje de CCC

4) **Ensayos de laboratorio**

En la Tabla III se presentan las normativas técnicas que regulan la ejecución de cada uno de los ensayos contemplados en el proyecto. Estas normativas establecen los procedimientos estándar que deben ser seguidos para garantizar la confiabilidad, productividad y validez de los resultados obtenidos durante las pruebas.

TABLA III
NORMATIVA PARA ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYOS	NORMATIVA
CONTENIDO DE HUMEDAD	ASTM D2216
GRANULOMETRÍA	ASTM D6913 / AASHTO T27
LÍMITES DE ATTERBERG	ASTM D4318 / AASHTO T89-90
PROCTOR MODIFICADO	ASTM D1557 / AASHTO T180
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	ASTM D1883 / AASHTO T193

a) ***Contenido de humedad natural***

El procedimiento inicial consiste en la determinación del contenido de humedad. Para ello. Se extraerán dos muestras de suelo inalterado de cada calicata. Cada muestra se pesará en su estado húmedo, registrando la masa inicial. Posteriormente, las muestras serán sometidas a un proceso de secado en horno a una temperatura controlada de 110° ± 5, durante un periodo de 18 a 24 horas, con el fin de eliminar la humedad existente y obtener la masa del suelo seco. Finalmente, el contenido de humedad se cuantificará mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$\boldsymbol{W}(\%) = \frac{\boldsymbol{W_W}}{\boldsymbol{W_S}} * \mathbf{100} \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde,

W%: Contenido de humedad

Ww: Peso húmedo

Ws: Peso del seco húmedo

b) ***Ensayo Granulométrico***

El análisis granulométrico es un procedimiento manual o mecánico que separa las partículas de un agregado según su tamaño, determinando la proporción de cada tamaño respecto al peso

total, mediante el uso de tamices; los resultados se expresan como porcentajes de masa retenida, y los porcentajes acumulados se utilizan para generar la curva granulométrica [20].

La metodología de este ensayo se inicia con la obtención de una muestra representativa del material. Posteriormente, se realiza la eliminación de las partículas de gran tamaño y se verifica que la muestra se encuentre completamente seca. A continuación, se toma una pequeña muestra para el proceso de tamizado, utilizando una serie de tamices dispuestos de forma descendente según su abertura. Durante el tamizado, se aplica una agitación controlada para asegurar el paso del material a través de los tamices y minimizar la pérdida de muestra. Seguidamente, se determina la masa del material retenido en cada tamiz. Los datos obtenidos se utilizarán para la clasificación del suelo y la determinación de propiedades geotécnicas como el diámetro medio, el coeficiente de uniformidad y la desviación estándar [21].

El porcentaje retenido, que cuantifica la fracción de partículas que no atraviesa un tamiz específico, se calculará mediante la siguiente ecuación 2:

$$\boldsymbol{P_r = \left(\frac{W_r}{W_t}\right) * 100} \qquad \text{Ec. 2}$$

Donde,

Pr: Valor del porcentaje retenido

Wr: Peso de partículas retenidas

Wt: Peso total de la muestra

El porcentaje que pasa, como su denominación indica, representa la proporción de partículas que atraviesan un tamiz de abertura específica. Este parámetro se determina mediante la aplicación de la ecuación 3:

$$\boldsymbol{P_p = 100 - P_r} \qquad \text{Ec. 3}$$

El coeficiente de curvatura, un parámetro que describe la forma de la curva granulometría, se determina mediante la división del cuadrado del producto de D_{30}*D_{60} menos D_{10}*D_{30}, entre el producto de D_{10}*D_{60}, tal como se expresa en la ecuación 4:

$$\boldsymbol{C_C = \frac{(D_{30} * D_{60})^2 - (D_{10} * D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}} \qquad \text{Ec. 4}$$

Donde,

Cc: Coeficiente de curvatura

D_{10}: diámetro efectivo correspondiente al 10% del suelo que pasa

D_{30}: diámetro efectivo correspondiente al 30% del suelo que pasa

D_{60}: diámetro efectivo correspondiente al 60% del suelo que pasa

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde,

C_U: Coeficiente de uniformidad

D_{10}: diámetro efectivo correspondiente al 10% del suelo que pasa

D_{60}: diámetro efectivo correspondiente al 60% del suelo que pasa

Un suelo se considera bien graduado cuando el coeficiente de curvatura (Cc) se encuentra en el rango de 1 a 3. Por el contrario, un valor del coeficiente de uniformidad (Cu) inferior a 3 indica un suelo altamente uniforme, es decir, con partículas de tamaño muy similar. Para las gravas, un Cu superior a 4 sugiere una buena gradación, mientras que, en el caso de las arenas, se considera que presentan una gradación adecuada cuando el Cu excede el valor de 6.

c) Límite Líquido

Este ensayo representa el contenido de humedad en el cual un suelo cambia del estado líquido al estado plástico, lo que permite evaluar su plasticidad y comportamiento frente a variaciones de humedad. Este parámetro fue determinado conforme a la norma AASHTO T 89, la muestra debe ser preparada de manera que un mínimo de 150 gr del material pase el tamiz N°40. Inicialmente, se procede a la verificación de la calibración de la copa de Casagrande, inspeccionando la ausencia de oxidación, la inexistencia de desgaste excesivo y la conformidad de la altura de caída, la cual debe situarse dentro del rango de 10 ± 2mm. Una vez confirmada la conformidad de estos parámetros, se ajusta el contenido de humedad de la muestra mediante la adicción gradual de agua, buscando alcanzar una consistencia que requiera un número de golpes comprendido entre 15 y 35 para lograr el cierre de la ranura [21].

Tras la obtención de la muestra, ésta se deposita en un contenedor, se determina su masa y se introduce en un horno para su secado. Se registran los valores de masa de la muestra tanto en su estado húmedo como en su estado seco. Posteriormente, se calcula el contenido de humedad mediante la aplicación de la ecuación 1. Finalmente, el valor del límite líquido se establece mediante la proyección en el gráfico de contenido de humedad versus número de golpes, realizando una interpolación correspondiente a 25 golpes.

d) ***Límite Plástico***

Del procedimiento precedente, se extraerá una submuestra de suelo de 15 gr como mínimo. Dicha submuestra será acondicionada en términos de humedad y posteriormente será moldeada en forma de rollos, procurando minimizar la adherencia del material a las manos durante la manipulación [21].

El procedimiento experimental se llevará a cabo mediante la norma AASHTO T 90 de la siguiente manera: se extraerá una submuestra de suelo con una masa comprendida entre 1.5 y 2 gr, la muestra será manipulada entre los dedos y sobre una placa de vidrio con el objetivo de formar un cilindro uniforme con un diámetro aproximado de 3 mm. Si se alcanza esta dimensión sin que se observe desintegración del material se inferirá hoy que la humedad de la muestra excede el límite plástico. En tal caso, el proceso se repetirá, permitiendo la evaporación gradual de humedad.

Al reiterar el procedimiento y obtener el resultado deseado, se procederá a depositar el material en un recipiente de masa conocida, registrando la masa del conjunto. Los cálculos subsiguientes incluirán la determinación del contenido de humedad, efectuada mediante la ecuación 1 previamente especificada, y la cuantificación del límite plástico, para lo cual se empleará la ecuación número 5.

$$\boldsymbol{L_p = \frac{W1 + W2 + \cdots .. Wn}{n}} \qquad \text{Ec. 6}$$

Ecuación 5

Donde,

W1: Humedad natural

n: Número de puntos tomados

e) ***Índice de plasticidad***

El índice de plasticidad se determina mediante la diferencia aritmética entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP).

$$\boldsymbol{IP = LL - LP} \qquad \text{Ec. 7}$$

Donde,

IP: Índice de plasticidad

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

f) Ensayo de Compactación - Proctor Modificado

El procedimiento se inicia con el tamizado de la muestra de suelo obtenida mediante el método de calicatas. Posteriormente, se verifica que el porcentaje de material que pasa el tamiz 4" exceda el 30%. Para optimizar la precisión del ensayo, se preparan tres submuestras con el fin de generar la curva de compactación y, subsiguientemente, determinar la densidad seca máxima [21].

Continuando con el procedimiento experimental, la muestra se introduce en un molde de dimensiones apropiadas, donde se procede a la adición controlada de agua para determinar la humedad óptima en la primera submuestra. Las tres submuestras restantes se hidratan de manera que su contenido de humedad difiera en dos unidades por encima y una por debajo, o viceversa, respecto a la primera, cuantificándose el volumen de agua añadido mediante una pipeta volumétrica.

Posteriormente, se realiza una mezcla homogénea de la muestra con el volumen de agua calculado. El molde cilíndrico, cuyo peso ha sido previamente determinado, se rellena con la mezcla, y se inicia el proceso de compactación mediante la aplicación de impactos distribuidos en cinco capas. Cada capa recibe 56 impactos, aplicados uniformemente sobre la superficie. Es fundamental asegurar que la altura de caída del martillo se mantenga constante y que la última capa de material sobresalga del borde superior del molde en una altura mínima de 6 mm [21].

Una vez concluido el proceso de compactación, se retira el collar del molde y se procede al enrasado de la superficie. En esta etapa, es crucial corregir cualquier irregularidad por la presencia de vacíos, los cuales se rellenarán con material sobrante del tamizado, asegurando una superficie nivelada. Finalmente, se extraen submuestras del material compactado para determinar el contenido de humedad.

Los cálculos requeridos para el ensayo de compactación Proctor Modificado se detallan en las ecuaciones siguientes:

$$\boldsymbol{A = \frac{\pi * D^2}{4}} \qquad \text{Ec. 8}$$

Donde

A: área del círculo

D: diámetro

$$\boldsymbol{V = A * H} \qquad \text{Ec. 9}$$

Donde:

V: Volumen

A: Área

H: Altura del molde

Es fundamental disponer de los datos geométricos del molde cilindro empleado en el ensayo, específicamente, los valores correspondientes al área de la sección transversal y al volumen.

Se requiere determinar el contenido de humedad de la muestra utilizando la ecuación 1, previamente. Adicionalmente, se calcularán la densidad húmeda (γm) y densidad seca (γd) correspondientes a la ecuación 9 y 10.

$$\boldsymbol{\gamma_m = \frac{Wm}{V}} \qquad \text{Ec. 10}$$

Donde,

γm: Densidad húmeda del suelo (gr/cm^3)

Wm: Peso húmedo compactado (gr)

V: Volumen del molde (cm^3)

A partir del valor promedio del contenido de humedad en cada punto y de la densidad húmeda, es posible calcular la densidad seca mediante la siguiente relación:

$$\boldsymbol{\gamma_d = \frac{\gamma m}{1 + W}} \qquad \text{Ec. 11}$$

Donde:

γd: densidad seca del suelo (gr/cm^3)

γm: densidad húmeda del suelo (gr/cm^3)

W: Contenido de humedad (%)

A partir de los valores obtenidos, se construye la gráfica de contenido de humedad frente a la densidad seca (peso específico seco), lo que permite generar la curva de compactación, mediante la cual se identifica la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo.

g) Ensayo CBR (California Bearin Ratio):

Uno de los propósitos fundamentales de este ensayo es la clasificación de la capacidad portante del suelo destinado a su uso como base o subbase en estructuras de pavimento. El índice CBR (California Bearing Ratio) constituye un parámetro esencial para el diseño de pavimentos flexibles y está estrechamente relacionado con el ensayo de compactación previamente descrito [21].

El procedimiento se realizó en base a la norma AASHTO T 193 y se inicia con la preparación de la muestra de suelo, la cual debe mantener su humedad natural, permitiéndose una variación

máxima de ± 4°C. El tamaño máximo nominal de las partículas de la muestra será de 19 mm, y se requerirá una masa mínima de 5000gr, la cual debe acondicionarse a la humedad óptima determinada previamente mediante el ensayo de compactación.

El ensayo prosigue con la determinación del contenido de humedad inicial de la muestra, condicionado por la norma AASHTO T 180. A continuación, se registra la masa del molde, así como sus dimensiones geométricas (altura y volumen). Se procede al ensamblaje del cilindro de compactación, compuesto por la base, el molde y el collarín. Una vez ensamblado, se introduce la muestra en el molde, sobre la retorta, y se compacta en cinco capas, de manera análoga al ensayo Proctor Modificado.

Tras la compactación, se enrasa la superficie del material y se pesa el molde sin collarín y se extrae una submuestra para la determinación del contenido de humedad.

El siguiente paso se lleva a cabo con la muestra saturada, invertido el molde, se inserta una placa perforada provista de un vástago y las pesas que simulan la sobrecarga, con una masa aproximada de 2.2 Kg, se prepara un tanque con una superficie estable y se sumerge el molde, verificando que el nivel de agua sobrepase el extremo superior de la muestra, se instala un trípode para medir la expansión de la muestra y se marcan los puntos de referencia para su colocación. Se registra la lectura inicial de la altura de la muestra y se mantiene la muestra sumergida durante un periodo no inferior a 24 horas ni superior a 96 horas, registrando lecturas periódicas de la expansión.

Tras la inmersión, la muestra se deja escurrir 15 minutos antes de pesar el molde con la muestra saturada y la sobrecarga. Luego el molde se coloca en la máquina de compresión, se aplica una precarga de hasta 4.5 Kg y se comprime a 1.27 mm/min, registrando la carga cada 0.025 de penetración. Los cálculos se basan en las ecuaciones 8 y 12. Finalmente, en la curva de presión – penetración, si hay concavidad ascendente, se traza una tangente en el punto de inflexión para corregir la penetración y calcular el índice CBR, que indica la resistencia del suelo y es clave para el diseño de pavimentos.

$$\boldsymbol{CBR}\ [\%] = \frac{\boldsymbol{carga\ unitaria\ del\ ensayo}}{\boldsymbol{carga\ unitaria\ de\ la\ muestra\ patrón}} * \mathbf{100} \qquad \text{Ec. 12}$$

h) ***Esponjamiento***

El esponjamiento o expansión se define como la relación porcentual entre la altura final y la altura inicial de la muestra como resultado del proceso de saturación. Este valor se calcula utilizando la siguiente expresión matemática:

$$E = \frac{(Lf - Li)}{Hi} * 100 \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

E: Expansión (%)

Lf: Lectura final

Li: Lectura inicial.

Hi: Altura inicial del molde

5) **Clasificación del suelo**

La clasificación de los suelos en grupos y subgrupos responde a la similitud que presentan ciertos materiales en cuanto a sus propiedades índice y comportamiento mecánico. Con este propósito, se han desarrollado sistemas de clasificación como el AASHTO y el SUCS, los cuales establecen categorías basadas en características como la distribución granulométrica y los límites de Atterberg[22].

a) ***Sistema de clasificación AASHTO***

El sistema de clasificación AASHTO divide los suelos en dos grandes categorías. La primera corresponde a materiales granulares en los que menos del 35% del total pasa por el tamiz N° 200. La segunda categoría incluye suelos finos, donde más del 35% del material atraviesa dicho tamiz.

Dentro del primer grupo, los suelos se clasifican como A – 1(que incluye fragmentos de roca, gravas y arenas), A -3 (arenas finas) y A – 2 (mezclas que pueden contener limo, grava arcillosa y arena). Estos grupos presentan subdivisiones, tales como A -1 – a y A – 1 – b para el grupo A – 1, y A- 2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7 para el grupo A- 2, como se muestra en la Tabla IV.

En cuanto al segundo grupo, está conformado por suelos predominantemente limosos (grupos A-4, A-5) y suelos arcillosos (grupo A-6, A -7), el cual se subdivide en A – 7 – 5 y A – 7 – 6, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla V.

TABLA IV.
CLASIFICACIÓN DE MATERIALES AASHTO PARA EL PRIMER GRUPO

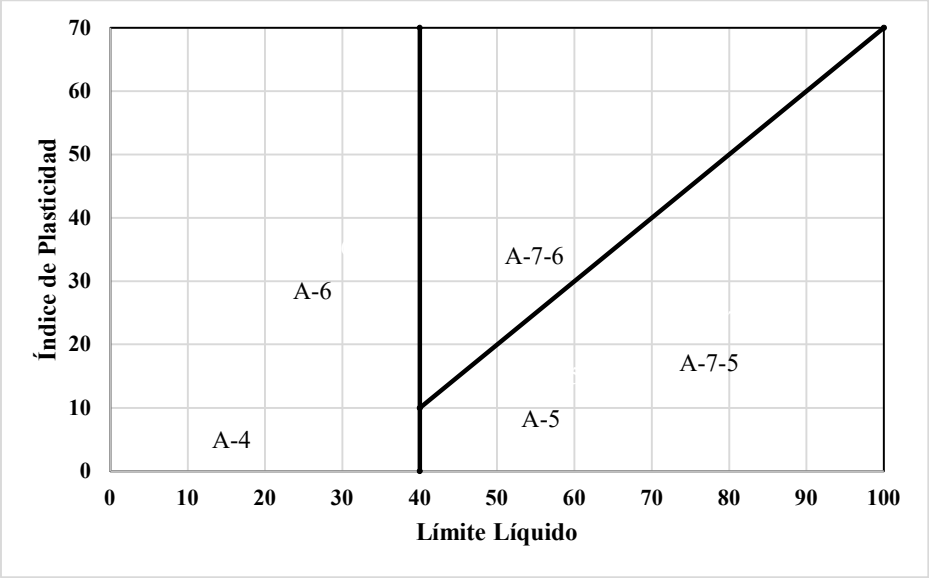
Clasificación general	**Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla Nº 200)**						
Clasificación de grupo	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
Nº 10	50 máx						
Nº 40	30 máx	50 máx	51 min				
Nº 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Características de la fracción que pasa la malla N° 40							
Límite líquido				40 máx	41 min	40 máx	41 min
Índice de plasticidad	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 min	11 min
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de las subrasantes	De excelente a bueno						

TABLA V.
CLASIFICACIÓN DE MATERIALES AASHTO PARA EL SEGUNDO GRUPO

Clasificación general	**Materiales limo - arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla Nº 200)**			
Clasificación de grupo	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6+
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)				
Nº 10				
Nº 40				
Nº 200	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de lla fracción que pasa la malla Nº 40				
Límite líquido	40 máx	41 min	40 máx	41 min
Índice de plasticidad	10 máx	10 máx	11 min	11 min
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de las subrasantes	De mediano a pobre			

* Para A-7-5, PI ≤ LL-30
`+ Para A-7-6, PI>LL-30

Una alternativa para la clasificación de suelos consiste en el uso de la carta de plasticidad gráfico 1, la cual representa gráficamente la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad, permitiendo distinguir el tipo y comportamiento del suelo en función de sus características de plasticidad.



Gráfica 1. Carta de plasticidad AASHTO [22]

*b) **Sistema Unificado de Clasificación de suelos SUCS***

Este sistema de clasificación divide los suelos en dos grandes categorías. La primera corresponde a suelos de grano grueso, caracterizados porque menos del 50 % del material pasa por el tamiz N° 200, estos suelos están compuestos principalmente por grava y arena, y se identifican con los prefijos G (grava) y S (arena). La segunda categoría agrupada a los suelos finos, en los cuales más del 50% del material atraviesa el tamiz N° 200, clasificándose mediante los prefijos M (limos inorgánicos), C (arcillas inorgánicas) y O (limos y arcillas orgánicas).

Adicionalmente, se utilizan símbolos complementarios para describir características específicas del suelo, tales como : W para suelos bien graduados, P para suelos mal graduados, L para materiales con baja plasticidad (límite líquido menos de 50) y H para los de alta plasticidad (límite líquido mayor a 50), según se detalla en las tablas VI , VII y VIII [23] .

TABLA VI.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO GRAVA

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla Nº 200 Cu= D6/D10 mayor que o igual que 4 Cc= (D30)^ 2/(D10xD60) entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla Nº 200 No cumple ambos criterios para GW
GM	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidas menor que 4
GC	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidas mayor que 7
GC-GM	Más del 12% pasa la malla Nº 200 Los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la gráfica 6
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla Nº 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GC

TABLA VII.

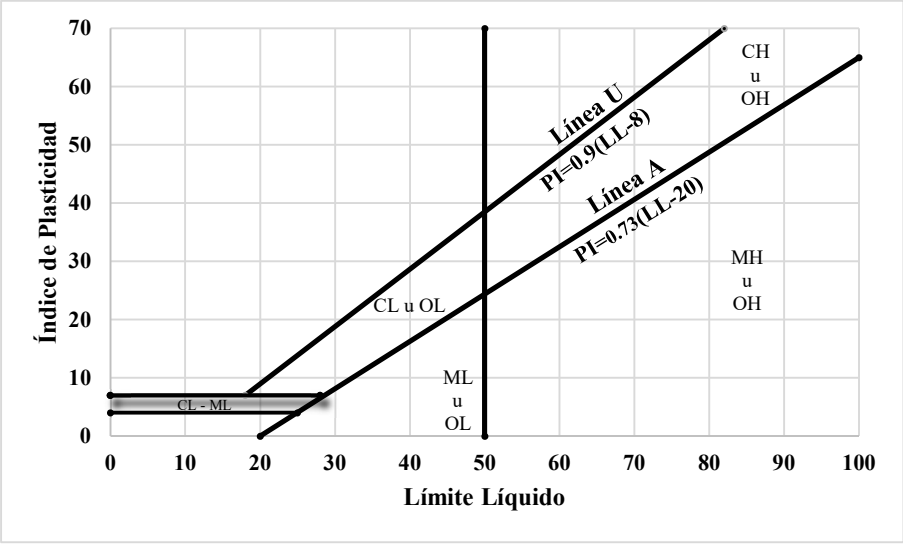
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO ARENA

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

TABLA VIII.
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO LIMO Y ARCILLA

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

A continuación, se expone la carta de plasticidad elaborada por Casagrande, la cual está destinada a la clasificación de suelos finos e inorgánicos. Esta representación gráfica también sintetiza la información contenida en la tabla del sistema de clasificación SUCS, facilitando la identificación del tipo de suelo en función de su comportamiento plástico.



Gráfica 2. Carta de plasticidad de SUCS [22]

6) **Registro y análisis de datos**

Los datos se organizaron en hojas de cálculo y se representaron mediante tablas y gráficos. Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva para analizar las variaciones en la resistencia en base a los análisis hechos. Adicionalmente se realizó una comparación de los resultados obtenidos para las tras regiones, con el fin de determinar si el comportamiento del suelo tratado exhibe diferencias significativas en función de su procedencia.

FASE 3

Esta fase corresponde al tercer objetivo específico del estudio: analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la utilización de la ceniza de cáscara de coco (CCC) como estabilizante de suelos en las tres regiones del Ecuador. El propósito es establecer si, más allá de mejorar las propiedades mecánicas del suelo, esta técnica resulta aplicable y sostenible dentro de contextos reales de ingeniería.

7) **Viabilidad Técnica**

La evaluación técnica se fundamentó en los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio desarrollados en la Fase 2. Gracias al ensayo de difracción de rayos x realizado se pudo determinar que la ceniza de cáscara de coco, al ser rica en sílice (SiO_2) y óxidos metálicos, presentan propiedades puzolánicas que mejoran el comportamiento mecánico de suelos con baja capacidad portante.

Investigaciones como las del Shwetha Prasanna han evidenciado que la incorporación de CCC en 0.4% a 0.8% mejoró parámetros como la densidad seca máxima, el contenido de humedad óptima, ángulo de fricción interna y cohesión. Estas mejoras se atribuyen a reacciones químicas entre los compuestos presentes en la ceniza y las partículas del suelo, generando una matriz más estable y densa.

El análisis comprendió:

- El porcentaje óptimo de ceniza para cada tipo de suelo, basado en los ensayos realizados con las proporciones de ceniza establecidas de 3%, 5% y 8%.
- La evolución del comportamiento mecánico del suelo estabilizado en función del ensayo de CBR. La compatibilidad del material de ceniza con diferentes tipos de suelo de las regiones Costa, Sierra y Oriente.
- Se consideró técnicamente viable toda mezcla que demostró una mejora significativa en comparación con el suelo natural, sin comprometer su trabajabilidad ni inducir problemas de manejabilidad o dispersión.

8) **Viabilidad Económica**

El uso de CCC resulta altamente viable, particularmente por que el consumo de coco es grande. Su obtención a partir de residuos agroindustriales representa una reducción significativa en los costos de adquisición de estabilizantes convencionales como la cal o el cemento, estudios comparativos han mostrado que los tratamientos de suelo con CCC pueden llegar a ser entre un 30% y un 50% más económicos en comparación con alternativas tradicionales, sin comprometer el desempeño estructural.

Para esta evaluación se consideraron los siguientes aspectos:

- Disponibilidad del material: La cáscara de coco es un residuo agroindustrial abundante en varias regiones del Ecuador, especialmente en zonas costeras.
- Costo de producción de la ceniza: Se calcularon los costos aproximados de recolección, secado, quema y tamizado, en comparación con estabilizantes comerciales como la cal o el cemento.
- Reducción de costos indirectos: Se analizó el posible ahorro en materiales o mantenimiento estructural gracias a la mejora en la capacidad de soporte del suelo.
- Para contextualizar la viabilidad económica de CCC, se realizó un análisis comparativo, cotejando su rentabilidad con los datos de estudios anteriores sobre técnicas de estabilización de suelos.

9) **Viabilidad Ambiental**

En términos ambientales, el aprovechamiento de la ceniza de la cáscara de coco contribuye directamente a la reducción de residuos agrícolas que, de otro modo, serían quemados o dispuestos en vertederos, generando emisiones contaminantes.

La valorización de estos residuos reduce la huella de carbono asociado a la estabilización de suelos al remplazar materiales de alta energía incorporada como el cemento. Además, al tratarse de un material no tóxico y biodegradable, su uso minimiza los riesgos de contaminación del suelo y aguas subterráneas. Se evaluaron los impactos ambientales positivos y negativos del uso de CCC:

Impactos Positivos:

- Reutilización de un residuo orgánico (cáscara de coco).

- Disminución de la necesidad de estabilizantes industriales que generan emisiones de CO_2.
- Reducción de residuos sólidos en vertederos o quemas no controladas.

Riesgos o Impactos Potenciales:

- Contaminación por quema no controlada si no se siguen procedimientos adecuados.
- Emisión de partículas durante la manipulación del material fino (ceniza).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis se centró en evaluar el comportamiento del suelo natural frente a la adición de ceniza de la cáscara de coco en proporciones del 3%, 5% y 8%, con base en los resultados obtenidos en el ensayo CBR (California Bearing Ratio). Este ensayo fue fundamental para determinar la capacidad portante del suelo modificado y establecer si la incorporación del proceso de la cáscara de coco contribuye a mejorar su resistencia mecánica.

Fase 1

En esta etapa se procedió a la obtención del suelo representativo de tres regiones del Ecuador: Costa (Babahoyo), Sierra (Cevallos) y Oriente (Tena), con el objetivo de contar con una muestra diversa y representativa de las condiciones del país. Asimismo, se recolectaron cáscaras de coco para transformarla en ceniza, siguiendo un proceso controlado de secado, calcinación y tamizado.

El suelo fue preparado, secado al aire libre y almacenado en condiciones estables hasta su utilización. La ceniza, por su parte, fue dosificada en proporciones del 3%, 5% y 8% respecto al peso del suelo seco a estudiar, conforme a estudios previos sobre estabilización con aditivos puzolánicos.

Fase 2

En esta fase se realizaron los siguientes ensayos al suelo natural: granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad y ensayo Proctor. Estos permitieron caracterizar el tipo de suelo y establecer su comportamiento frente a la compactación, humedad y plasticidad. Además, se realizó un análisis de la ceniza de cáscara de coco, mediante el cual se determinaron los elementos que la componen, proporcionando información clave sobre su potencial como estabilizador de suelo.

a) Análisis de la ceniza de la cáscara de coco

La tabla IX proporcionada detalla el contenido elemental de CCC, esta caracterización permite determinar su posible influencia como estabilizante de suelo. De acuerdo con la

composición, la ceniza de cáscara de coco posee un alto contenido de sílice (Si), calcio (Ca) y aluminio (Al), lo que la convierten en un material con potencial puzolánico, estos componentes pueden reaccionar con el hidróxido de calcio presente en el suelo o añadido, formando compuestos cementantes que mejoran la resistencia y estabilidad del suelo. Algunos elementos claves es el Si (Silicio) que tiene un 12.89% generalmente está presente como óxido de silicio (SiO2), que es esencial en la formación de compuestos cementantes al reaccionar con el Ca (OH)2, esto favorece la actividad puzolánica. Otro elemento clave es el Calcio (Ca) que tiene un 4.95% y en forma de óxidos (CaO) o hidróxidos, ayuda a formar compuestos ceméntales (C-S-H) esenciales para la estabilización química.

Otro componente esencial es el Al (Aluminio) con un 2.40% en forma de óxidos de aluminio (Al2O3), reacciona con Ca (OH)2 y SiO2 para formar compuestos cementantes (C-A-H), promoviendo la actividad puzolánica. El Fe (Hierro) con un 2.27% puede estar presente como Fe2O3 contribuyendo levemente a la actividad puzolánica, pero no es determinante, el Mn (Manganeso) con 0.05% similar al Fe, podría influir mínimamente, pero su efecto es menor.

De acuerdo con la composición, la ceniza de cáscara de coco posee un alto contenido de sílice (Si), calcio (Ca) y aluminio (Al), lo que le convierte en un material con potencial puzolánico, los mismo que pueden reaccionar con el hidróxido de calcio presente en el suelo o añadido, formando compuestos cementales que mejoran la resistencia y estabilidad del suelo.

TABLA IX.
PORCENTAJE DE CONTENIDO DE ELEMENTOS DE LA CCC

Elemento	**Contenido (%)**
K	25,92
Si	12,89
Cl	5,41
Ca	4,95
Mg	3,61
Na	2,43
Al	2,40
P	2,37
Fe	2,27
S	0,49
Ti	0,20
Sr	0,05
Mn	0,05
Br	0,03
Zn	0,02
Cu	0,02
Cr	0,01

10) **Propiedades del suelo en estado natural**

a) ***Propiedades físicas***

En la tabla X se presentan propiedades físicas de los suelos naturales

TABLA X.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS

Muestra	**Lugar**	**ID Muestra**	**Color**	**Contenido de Humedad W (%)**
Primera	Arosemena Tola	M1	Tomate Rojizo	29.38%
Segunda	Cevallos	M2	Gris	18.48%
Tercera	Babahoyo	M3	Gris Verdoso	52.25%
Ceniza	-	CCC	Gris Blanquecino	-

b) ***Color***

Las muestras de suelo M1, M2, M3 presentan una coloración tomate rojizo, gris y gris verdoso



Figura 9. Color de las muestras de suelo en estado natural

c) ***Humedad Natural***

Según los datos presentados en la TABLA X, el contenido de humedad del suelo registra un valor de 28.38% en la muestra M1, mientras que en la muestra M2 desciende a 18.48%. Por otro lado, la muestra M3 presenta una humedad natural de 52.25%.

d) ***Granulometría***

En la Tabla XI presenta el porcentaje de material que pasa a través de los tamices específicos para la muestra M1, en el tamiz N°10 pasa el 100% de partículas quiere decir que está compuesta por partículas más pequeñas de 2.00 mm. Por lo tanto, no contiene gravas.

En el tamiz N°40 pasa el 83.1% esto implica que la muestra es inferior a 0.425mm y sugiere una proporción significativa de arenas finas, en cuanto al tamiz N°200 pasa un 14.67% esto significa que la muestra está compuesta por finos (ya sea limos o arcillas).

Según el sistema AASHTO, se clasifica como un suelo A – 2 – 6, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) la clasifican como un suelo (SC) Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.

Para la muestra M2, es un material predominante granular con una fracción de finos que están alrededor del 20%. La presencia de más del 15% y menos del 30% de finos en un material predominante arenoso, su clasificación mediante SUCS es (SM) Arena limosa, mezcla de arena – limo y en cuanto a la clasificación AASHTO es un suelo tipo A – 2 - 4, indicando la influencia de los finos en el comportamiento del suelo

La mezcla M3 es una muestra compuesta principalmente por un material arenoso dado que el 99.96 % pasa el tamiz N° 10 y la cantidad de finos que pasa el tamiz N°200 es del 8.24%, según la clasificación SUCS es una Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino (SP) y Arena arcillosas, mezcla de arena - arcilla (SC), en cuanto a la clasificación AASHTO es un suelo A – 2 – 7.

TABLA XI.
% DE SUELO QUE PASAN POR LA MALLA #10, #40 y #200

ID Muestra	**Granulometría porcentaje que pasa**		
	Tamiz N°10	**Tamiz N°40**	**Tamiz N°200**
M1	100.00	83.10	14.67
M2	93.73	76.65	19.83
M3	99.96	61.03	8.24

e) ***Límites de Atterberg***

En la Tabla XII se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de límites de Atterberg realizado a las tres muestras representativas del suelo, identificadas como M1, M2, M3, este ensayo permite determinar el comportamiento plástico del suelo.

La muestra M1 presento un límite líquido de 31.64% y un índice plástico de 9.35%, lo cual ubica dentro de la categoría de suelos con ligera plasticidad, este tipo de suelo suele mostrar un

comportamiento estable frente a cambios de humedad, con una cohesión moderada que lo hace adecuado para ser utilizado en capas de subrasante o subbase.

La muestra M2 mostró el menor índice plástico de todas las muestras analizadas 1.84% y un límite líquido de 22.64% clasificándose como un suelo de baja plasticidad, la escasa plasticidad implica que su comportamiento mecánico no está fuertemente influenciado por cambios de contenido de humedad, es decir el suelo presenta muy poca cohesión y una alta susceptibilidad a la erosión o deformaciones en condiciones de humedad.

La muestra M3 registro el mayor valor del límite líquido 47.95% y un índice plástico de 10.54%, clasificándose como un suelo de mediana plasticidad, indica la presencia de arcillas plásticas, lo cual incrementa la cohesividad del suelo, pero también su potencial de expansión y contracción frente a variaciones de humedad.

TABLA XII.
LÍMITES DE ATTERBERG Y GRADO DE PLASTICIDAD

ID Muestra	Límites de Atterberg			Grado de Plasticidad
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
M1	31.64	22.29	9.35	Ligera Plasticidad
M2	23.24	20.81	2.44	Baja Plasticidad
M3	47.95	37.41	10.54	Mediana Plasticidad

f) Tipo de suelo, clasificación SUCS y AASHTO

La Tabla XIII presenta un análisis comprensivo de las propiedades geotécnicas de las muestras de suelo, abarcando sus límites de Atterberg y su granulometría, adicionalmente se incluye la clasificación de cada suelo según dos normativas ampliamente reconocidas como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Sistema de Clasificación American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Muestra M1: Los límites de Atterberg especialmente el IP categorizan al suelo como baja plasticidad. En cuanto a la granulometría confirma que se compone la mayor parte por arena con 85.33% y con un 14.67% de finos y ausencia de grava. Para la clasificación SUCS es SC, es decir, Arena Arcillosa, como el índice de plasticidad es de 9.35% estas se tratan de arcillas de baja compresibilidad, la clasificación AASHTO para M1 es A – 2 – 6, lo que corresponde a subrasante de calidad regular a buena.

Muestra M2: La muestra contiene el LL de 23.24%, LP de 20.81% y un IP de 2.44% se lo clasifica como suelo de baja plasticidad, en cuanto a la granulometría se determina que la fracción de finos es alta con 80.17% y reveló su clasificación como SM (Arena Limosa) según SUCS y como A – 2 – 4 bajo el sistema AASHTO, correspondiente a una subrasante de buena calidad. Este suelo posee condiciones favorables para su uso en obras civiles.

Muestra 3: Evidenció un límite líquido de 47.95%, un límite plástico de 37.41% y el índice de plasticidad de 10.54%, refleja un nivel de plasticidad de baja a moderada. Su granulometría está dominada por un 91.72% de arena, con un 8.24% de limo y arcilla, en el sistema SUCS fue clasificado como: Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino (SP), Arena arcillosas, mezcla de arena - arcilla (SC) y en el sistema AASHTO como A – 2 – 7, categoría que representa subrasantes de calidad regular a deficiente.

TABLA XIII.
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

ID Muestra	Límites de Atterberg			Norma	Granulometría			Clasificación
	LL (%)	LP (%)	IP (%)		Grava %	Arena %	Limo y Arcilla %	
M1	31.64	22.29	9.35	SUCS	0,00	85,33	14.67	SC
				AASHTO	0,00	85,33	14.67	A - 2 - 6
M2	23,24	20.81	2,44	SUCS	0.32	80,17	19,83	SM
				AASHTO	6,27	73.9	19,83	A - 2 - 4
M3	47.95	37.41	10.54	SUCS	0,00	91,76	8,24	SP - SC
				AASHTO	0,04	91,72	8,24	A -2 - 7

11) **Propiedades mecánicas**

Entre las propiedades mecánicas evaluadas en la investigación se realizó el ensayo Proctor Modificado y el índice de Capacidad Portante California Bearing Ratio (CBR). A través del primero, se determinó el contenido óptimo de humedad, es decir, la cantidad de agua con la cual el suelo alcanza su máxima compactación, así como la densidad seca máxima, por otro lado, el ensayo CBR permite cuantificar la capacidad portante del suelo, proporcionando un indicador clave para la evaluación de su resistencia y desempeño estructural.

*a) **Análisis Proctor***

La tabla XVI resume los datos obtenidos para las muestras de suelo M1, M2 y M3, mediante el ensayo Proctor modificado AASHTO 180, estos valores de densidad seca máxima y

contenido de humedad óptimo son fundamentales ya que a partir de este resultado se va a ir incrementando los diferentes porcentajes de ceniza, pero manteniendo el porcentaje de humedad óptima natural para ver cómo actúan al ensayo CBR en el proceso de compactación de 11, 27 y 56 golpes.

Muestra 1: Alcanzó una densidad seca máxima de 1.936 gr/cm^3 y un contenido de humedad óptima de 14%, la densidad máxima relativamente alta de M1 es consistente con su predominio de arena del 85.33% y su clasificación como Arena Arcillosa, indicando así que es un material con una buena capacidad para ser compactado a altas densidades. El Contenido de humedad óptima es un valor típico para arenas que requieren una lubricación adecuada para alcanzar la máxima densificación sin saturar excesivamente los vacíos.

Muestra 2: Se observa una densidad seca máxima de 1,730 gr/cm^3 y una humedad óptima del 14%, comparativamente M2 presenta una densidad máxima inferior a M1 esto puede atribuirse a su mayor porcentaje de finos 19.83% en comparación con M1 14.67% y su clasificación como arena limosa (SM) o A – 2 – 4. Los suelos con mayor contenido de finos, especialmente si son limosos o de baja plasticidad, tienden a tener densidades máximas ligeramente menores debido a la menor gravedad específica de los finos y una mayor área superficial, que retiene más agua. La humedad óptima, similar a M1 sugiere que el contenido de finos no eleva drásticamente el contenido de humedad óptimo para alcanzar la máxima densidad, la densidad al 95% de esta muestra tiene un resultado de 1.643 gr/cm^3.

Muestra 3 : Esta muestra registra la densidad seca máxima más baja con 1.521 gr/cm^3 y la humedad óptima más alta de 18.4% , estos parámetros son consistentes con un suelo que a pesar de ser predominantemente arenoso 91.65% presenta el mayor límite líquido de 47.95% y un índice de plasticidad de 10.54% indicando que sus finos , aunque en menor proporción que M2 de 8.35%, son los más plásticos en un suelo granular resulta en una menor densidad máxima y un mayor contenido de humedad óptima, ya que se requiere más agua para lubricar las partículas arcillosas y permitir una reordenación eficiente. La densidad seca al 95% para esta muestra es de 1.444 gr/cm^3.

TABLA XIV.
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS INVESTIGADOS

ID Muestra	Contenido de Humedad W (%)	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	Densidad Seca 95% (gr/cm3)	Humedad óptima
M1	29.380%	1.936	1.839	14.000%
M2	18.480%	1.730	1.643	14.000%
M3	52.250%	1.521	1.444	18.400%

*b) **Análisis ensayo CBR***

La siguiente tabla presenta resultados cruciales del ensayo CBR (California Bearing Ratio) para las tres muestras de suelo M1, M2 y M3 tanto en su estado natural como con la adición de diferentes porcentajes del material estabilizador como es la CCC. Además, incluye una descripción cualitativa del CBR y el uso recomendado para cada condición. Estos datos son centrales para evaluar la capacidad de soporte del suelo y la efectividad del estabilizador.

Muestra 1 Oriente: Mejora con Dosis Bajas de Estabilizador

La muestra M1 con un contenido de humedad natural del 29.38% presentó un valor de CBR en condición natural de 11.50% clasificándose como Regular – Buena para su uso como subrasante. Con ello, se puede indicar que tiene una capacidad de soporte aceptable, pero no óptima en su estado natural.

Al incorporar el agente estabilizador, se ve una mejora inicial en la capacidad de soporte con una adición del 3% el CBR se incrementó a 16,70%, manteniendo la clasificación Regular – Buena. Sin embargo, al aumentar la dosis al 5% el CBR disminuyó ligeramente a 12, 60% y con una adición de 8% el valor de CBR cayo drásticamente a 5,50%, siendo clasificado como Mala. la tendencia sugiere que para la Muestra M1, una dosis excesiva del agente estabilizador por encima del 3-5% podría tener un efecto perjudicial en la capacidad de soporte. Esto implica la existencia de una dosis óptima de adición, la cual parece ser cercana al 3% para esta muestra.

Muestra M2 Sierra: Excelente Potencial de Estabilización para Subbases

La Muestra M2, con un contenido de humedad natural del 18.48%, tuvo un CBR en condiciones naturales de 20.50%, clasificado como Excelente para subrasante, los resultados para esta muestra fueron sobresalientes. Con una adición del 3% el CBR se elevó a 38.00%, lo

que ya la clasifica como Buena para uso de subbase. La máxima capacidad de soporte alcanzó con una adición del 5% logrando un impresionante CBR de 54.10% consolidando su clasificación de Buena para subbase, a pesar de que la adición del 8% tuvo una ligera disminución a 48.00% el valor se mantuvo dentro de la categoría Buena para subbase. Estos resultados demuestran el elevado potencial de estabilización de la muestra M2, transformándola de un excelente material de subrasante a un material apto para capas de subbase, lo que implica una reducción en el espesor requerido de las capas superiores del pavimento y consecuentemente, beneficios económicos y de durabilidad.

Muestra M3 Costa: Transformación de Muy Mala a Regular – Buena

La muestra M3, que presenta el contenido de humedad natural más alto 52.25% y el IP más elevado 10.54% entre las muestras, mostró un CBR en condición natural muy bajo de 4.30%, clasificándose como Muy mala para subrasante. Este valor es consistente con sus propiedades de mayor plasticidad y su alto contenido de humedad natural, que limitan su capacidad de soporte sin tratamiento.

La adición del agente estabilizador tuvo un impacto transformador en la muestra M3, inicialmente con el 3% de adición de la CCC, el CBR solo mejoró marginalmente a 4.90% aún clasificado como Muy Mala. Sin embargo, al aumentar la dosis, se observó una mejora sustancial: con una adición del 5%, el CBR se incrementó a 13.90%, logrando una clasificación de Regular – Buena para subrasante. Un valor similar de 12.90% se obtuvo con el 8% de adición. Esta mejora considerable, de Muy Mala a Regular – Buena, demuestra la eficacia del agente estabilizador en la mejora de las propiedades de soporte de suelos cohesivos y con baja capacidad portante inicial.

TABLA XV.
PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS ESTABILIZADOS Y NO ESTABILIZADOS

ID Muestra	Contenido de Humedad W (%)	Descripción	CBR (%)	Clasificación	Usos
M1 Oriente	29.38%	Natural	11.50%	Regular - Buena	Subrasante
		Adición 3%	16.70%	Regular - Buena	Subrasante
		Adición 5%	12.60%	Regular - Buena	Subrasante
		Adición 8%	5.50%	Mala	Subrasante
M2 Sierra	18.48%	Natural	20.50%	Excelente	Subrasante
		Adición 3%	38.00%	Buena	Subbase
		Adición 5%	54.10%	Buena	Subbase
		Adición 8%	48.00%	Buena	Subbase
M3 Costa	52.25%	Natural	4.30%	Muy mala	Subrasante
		Adición 3%	4.90%	Muy mala	Subrasante
		Adición 5%	13.90%	Regular - Buena	Subrasante
		Adición 8%	12.90%	Regular - Buena	Subrasante

*c) **Esponjamiento***

En la Tabla XVI, XVII y XVIII se muestra como el esponjamiento se ve afectado por el contenido de ceniza y la energía de compactación (número de golpes), un aspecto notable en los resultados es la presencia de valores de esponjamiento negativos para la mayoría de las muestras compactadas con 27 y 56 golpes.

Muestra 1 – Oriente

Compactación con 11 golpes

El suelo natural presenta un esponjamiento positivo de 0.2 indicando cierta tendencia a hincharse, además la adición de CCC a 3% elimina completamente el esponjamiento (0), lo cual es un resultado excelente. Con el 5% de CCC el esponjamiento es muy bajo de 0.03mm y al 8% de CCC, el esponjamiento aumenta a 0.13 mm, sugiriendo que, para esta energía de compactación, una dosis excesiva de ceniza puede ser menos afectiva en el control del esponjamiento o incluso ligeramente perjudicial comparada con dosis menores.

Compactación 27 Golpes

Todas las muestras, tanto natural como estabilizadas con CCC, muestran valores de esponjamiento negativos o muy cercanos a cero de -0.1 mm a 0. 002 mm. Esto sugiere que, bajo esta energía de compactación, los suelos tienden a no hincharse, sino a consolidarse

ligeramente al saturarse. La ceniza de cáscara de coco mantiene esta tendencia o la modifica mínimamente, sin inducir al hinchamiento.

Compactación con 56 golpes

El suelo natural presenta un esponjamiento negativo significativo de -0.81 mm, indicando una fuerte consolidación al saturarse. Con el 3% de CCC el esponjamiento es de -0.07mm, lo que presenta una reducción drástica de la consolidación observada en el suelo natural, acercándose a un volumen más estable, la adicción de 5% de CCC muestra un esponjamiento negativo de -0.82mm, un valor muy similar al del suelo natural, mientras con el 8% de CCC se observa un ligero esponjamiento positivo de 0.04mm que es un valor muy bajo y aceptable.

TABLA XVI
ESPONJAMIENTO SUELO ORIENTE

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
4	11	Natural	2,10	2,30	0,20
5		3%	2,32	2,32	0,00
4		5%	2,23	2,26	0,03
18		8%	1,17	1,30	0,13
6	27	Natural	2,30	2,20	-0,10
11		3%	2,30	2,20	-0,10
6		5%	1,95	1,93	-0,02
14		8%	2,33	2,26	-0,07
16	56	Natural	2,00	1,19	-0,81
15		3%	1,70	1,63	-0,07
16		5%	2,81	1,99	-0,82
9		8%	1,96	2,00	0,04

Muestra 2 – Suelo Sierra

Para el nivel de compactación de 11 golpes, la CCC fue muy efectiva, redujo el esponjamiento del suelo natural de 0.2 mm a 0 mm con 3% de CCC y a un valor muy bajo de 0.03 mm con 5% de CCC.

Para las compactaciones de 27 y 56 golpes, la mayoría de las muestras naturales y estabilizadas exhibieron valores de esponjamiento negativos o cercanos a cero, indicando una tendencia a la consolidación o una estabilidad volumétrica excelente en lugar de hinchamiento. Esto sugiere que, bajo mayores energías de compactación, estos suelos no presentan problemas de expansión.

TABLA XVII
ESPONJAMIENTO SUELO SIERRA

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
11	11	Natural	2,30	2,50	0,20
18		3%	1,42	1,36	-0,06
11		5%	2,32	2,36	0,04
5		8%	2,66	2,50	-0,16
15	27	Natural	2,40	2,60	0,20
16		3%	2,43	2,30	-0,13
15		5%	2,28	2,25	-0,03
9		8%	2,50	2,45	-0,05
5	56	Natural	2,30	2,10	-0,20
10		3%	2,07	2,15	0,08
2		5%	1,94	1,92	-0,02
12		8%	2,00	1,84	-0,16

Muestra 3 - Suelo Costa

Compactación con 11 golpes

El suelo natural exhibe un esponjamiento considerable de 0.6 mm, la adicción de 3% de CCC reduce drásticamente el esponjamiento a 0.06 mm, lo cual es un resultado altamente favorable, sin embargo, al aumentar la dosis, se observa una tendencia contraproducente el 5% de CCC resulta en un esponjamiento de 0.24 mm y el 8% de CCC en 0.65 mm. Este último valor es incluso ligeramente superior al del suelo natural, sugiriendo que la dosis elevada de CCC puede agravar el esponjamiento en lugar de mitigarlo.

Compactación con 27 golpes

El suelo natural muestra un esponjamiento de 0.21 mm, la dosis de 3% de CCC es la más efectiva reduciendo el esponjamiento a 0.03 mm, las dosis mayores de 5% 0.33 mm y 8% de 0.12 mm resultan en un esponjamiento mayor que la dosis del 3%, e incluso la dosis del 5% supera el valor del suelo natural, esto refuerza la idea de una dosificación óptima precisa.

Compactación con 56 golpes

El suelo natural presenta el esponjamiento más alto de esta serie, con 0.81 mm, indicando un suelo altamente expansivo en estado no trabajado, para esta alta energía de compactación, la CCC demuestra ser consistentemente efectiva en todas las dosis probadas, con el 3% de CCC el esponjamiento se reduce a 0.1 mm, con 5% de CCC se logra un esponjamiento negativo de -0.04 mm, lo que es un resultado excelente, indicando consolidación o ausencia de

hinchamiento, en cuanto a la adicción de 8% de CCC el esponjamiento es de 0.1 mm que sugiere que la combinación de una alta energía de compactación y la adicción de CCC es muy eficaz para controlar el esponjamiento es este tipo de suelo.

TABLA XVIII.
ESPONJAMIENTO SUELO ORIENTE

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
18	11	Natural	2,1	2,70	0,60
14		3%	1,14	1,20	0,06
15		5%	2,06	2,30	0,24
9		8%	2,25	2,90	0,65
9	27	Natural	1,8	2,01	0,21
18		3%	2,25	2,28	0,03
16		5%	1,97	2,30	0,33
6		8%	2,32	2,44	0,12
14	56	Natural	1,9	2,71	0,81
5		3%	1,95	2,05	0,10
4		5%	1,98	1,94	-0,04
11		8%	2,00	2,10	0,10

FASE 3

a) ***Viabilidad Técnica***

En conclusión, los resultados de la tabla XIX de los ensayos de CBR confirman la viabilidad técnica de la ceniza de la cáscara de coco como agente estabilizador para los suelos investigados, además se demostró su capacidad para mejorar significativamente la capacidad de soporte, incluso transformando suelos deficientes a aptos para subrasante, y elevando la calidad de suelos ya buenos a materiales de subbase.

Muestra 1: El CBR natural tiene un valor de 11.50% categorizándose como “Regular – Buena”, mejoró a 16.70% con un %, pero disminuyo con dosis mayores, esto indica que existe una dosis óptima cercana al 3% ya que los valores superiores reducen la capacidad de soporte, afectando negativamente el desempeño del suelo.

Muestra 2: Con un CBR natural de 20.50% (Excelente para subrasante), mostró un alto potencial de estabilización, con 5% de ceniza de cáscara de coco, alcanzó un CBR de 54.10% clasificándose como “Buena” para subbase. Esta mejora permite su uso en capas superiores del pavimento, reduciendo espesores y generando beneficios técnicos y económicos.

Muestra 3: La muestra M3, con alta humedad y plasticidad presentó inicialmente un CBR muy bajo (4.30%). Tras aplicar 5% y 8% de CCC, el suelo mejoró significativamente su capacidad de soporte, pasando de una clasificación "Muy Mala" a "Regular – Buena", evidenciando la efectividad del estabilizante en suelos cohesivos con baja capacidad portante.

TABLA XIX.
DESCRIPCIÓN DEL SUELO CON ENFOQUE TÉCNICO

ID Muestra	Descripción del Suelo	CBR Natural (%)	Clasificación Natural	Dosis Óptima CCC (%)	CBR con CCC Óptima (%)	Clasificación con CCC Óptima	Mejora Clave
M1 Oriente	Arena Arcillosa (SC)	11.5	Regular - Buena Subrasante	3	16.7	Regular - Buena Subrasante	Aumento del CBR, mantiene clasificación para subrasante.
M2 Sierra	Arena Limosa (SM)	20.5	Excelente Subrasante	5	54.1	Buena Subbase	Transformación a material apto para Subbase.
M3 Costa	Arena mal graduada (SP-SC)	4.3	Muy mala Subrasante	5	13.9	Regular - Buena Subrasante	Mejora significativa de "Muy mala" a "Regular - Buena".

b) ***Viabilidad Económica***

En la tabla XX de esta sección analiza el costo de estabilizar un m^3 en los diferentes tipos de suelo con ceniza de cáscara de coco (CCC) en comparación con estabilizadores tradicionales como la cal y el cemento

Muestra 1: Para este caso estabilizar con la cáscara de coco (CCC) es la opción más económica, presentando el costo más bajo que es de $21.52. La cal es ligeramente más costosa, mientras que el cemento es mucho más caro. Considerando que para la Muestra M1, el 3% de CCC es técnicamente viable sino también la alternativa económicamente superior para este tipo de suelo.

Muestra 2: Para este suelo, la cal es la opción más económica, con un costo de $22.03, el cemento sigue con $24.60 y la CCC es la más costosa entre los tres métodos de estabilizadores, a pesar de que la CCC a 5% llevó a un excelente CBR de 54.10% para M2, la cal ofrece una

solución más económica, lo que sugiere que, para este suelo en particular, la cal es la opción más favorable desde la perspectiva económica, pero en cuanto al desempeño técnico la adición de CCC es una buena alternativa.

Muestra 3: La adicción de CCC es la opción más económica con un costo de $24.51, las opciones de cal y cemento resultan ser considerablemente más caras para este tipo de suelos, La mejora sustancial de CBR de 4.30% (Muy Mala) a 13.90% (Regular – Buena) con el 5% de CCC, la CCC se posiciona como una solución altamente viable tanto técnica como económicamente para suelos problemáticos como el suelo de la Costa.

TABLA XX

COSTOS CON DIFERENTES ESTABILIZADORES

PRECIO POR M3			
ID Muestra	**Estabilizadores**		
	CCC	**CAL**	**CEMENTO**
M1	21.52	23.12	28.68
M2	25.95	22.03	24.60
M3	24.51	31.27	29.49

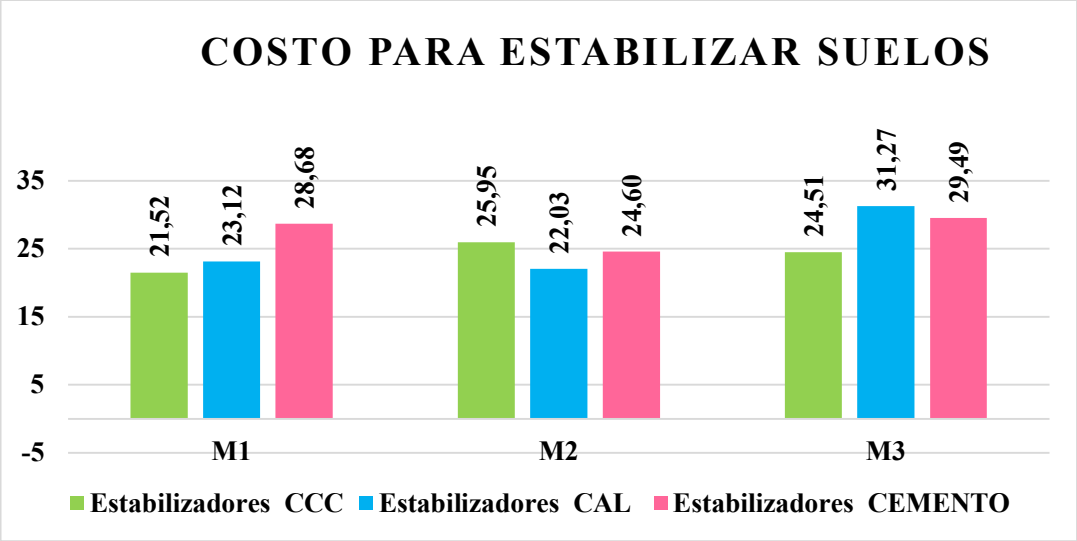


Figura 10. Costo para estabilizar suelos

c) Viabilidad Ambiental

La dimensión ambiental es cada vez más relevante en la ingeniería civil, buscando soluciones que minimicen el impacto ecológico y promuevan la sostenibilidad. Esta evaluación

se centra en el aprovechamiento de un residuo agroindustrial y la mitigación de impactos ambientales negativos asociados a prácticas convencionales.

Contribución a la Sostenibilidad y Reducción de Residuos

El aprovechamiento de la ceniza de cáscara de coco contribuye directamente a la reducción de residuos agrícolas, esta valorización de residuos orgánicos es un pilar fundamental de la economía circular, transformando un desecho en un recurso valioso para la construcción.

Al reemplazar o complementar materiales como el cemento, cuya producción genera significativas emisiones de CO_2 representando aproximadamente el 5 -8 % de las emisiones globales de CO_2 [24], al reemplazar 20% de cemento por CCC reduce la huella de carbono en más del 15% [25].

En síntesis, el uso de la CCC como estabilizador de suelos demuestra una alta viabilidad ambiental. El aprovechamiento de este subproducto agrícola contribuye de manera directa a la reducción de residuos, la disminución de la huella de carbono en la construcción y la promoción de un modelo de economía circular. Si bien existen desafíos en la gestión de su procesamiento y manipulación, estos son manejables mediante la aplicación de buenas prácticas ambientales y operativas. En general, los beneficios ambientales asociados a la valorización de este residuo superan ampliamente los riesgos potenciales, posicionados a la CCC como una solución sostenible en la ingeniería geotécnica.

IV. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

La presente investigación se planteó con el objetivo de evaluar el impacto de la incorporación de la ceniza de cáscara de coco (CCC) en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del Oriente, Sierra y Costa.

Hipótesis nula (H0): La incorporación de la ceniza de la cáscara de coco no mejorará las propiedades físicas y mecánicas del suelo

Evidencia en contra de H0: En todas las muestras de suelo (M1, M2, M3), se observó un incremento en el valor de CBR al incorporar la ceniza de la cáscara de coco en la dosis óptima. Para la muestra M2, esta mejora fue tal que el suelo cambio su clasificación a una capa superior del pavimento de subrasante a subbase. Para la muestra M3, un suelo inicialmente “Muy malo”, la mejora fue drástica, elevándolo a una clasificación funcional de “Regular – Buena”. Estos

cambios positivos y significativos en una propiedad mecánica clave contradicen directamente la afirmación de la hipótesis nula de que no habría mejora.

Hipótesis Alternativa (Hi): La incorporación de la ceniza de la cáscara de coco mejorará las propiedades físicas y mecánicas del suelo

Sustento para H1: La verificación de estas hipótesis se realiza mediante el contraste de los resultados experimentales obtenidos en las propiedades físicas (densidad seca máxima y humedad óptima) y mecánicas (CBR) de los suelos en su estado natural frente a los suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de CCC.

Con el fin de validar estadísticamente la hipótesis planteada, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor sobre los resultados obtenidos del ensayo California Bearing Ratio (CBR), considerando los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de coco (CCC) incorporados al suelo. El objetivo fue determinar si la adicción de CCC en proporciones del 3%, 5% y 8% genera diferencias significativas en la capacidad portante del suelo en comparación con la muestra de control (0%).

Hipótesis estadística

- **Hipótesis nula (H0):** No existen diferencias significativas en los valores medios de CBR entre los grupos de tratamiento.

- **Hipótesis Alternativa (H1):** Al menos uno de los tratamientos con CCC produce un efecto significativo en el valor medio de CBR del suelo.

  Se consideraron cuatro grupos:

  - Suelo de control (0% de CCC)
  - Suelo con 3% de CCC
  - Suelo con 5% de CCC
  - Suelo con 8% de CCC

Los datos fueron procesados mediante un software estadístico Excel, aplicando el ANOVA de un factor con nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

TABLA XXI

VALIACIÓN DE HIPÓTESIS

Muestra	% CCC	CBR (%)	Clasificación del Suelo
M1 (Oriente)	0%	11.50	Regular - Buena Subrasante
	3%	16.70	Regular - Buena Subrasante
	5%	12.60	Regular - Buena Subrasante
	8%	5.50	Mala Subrasante
M2 (Sierra)	0%	20.50	Excelente Subrasante
	3%	38.00	Buena Subbase
	5%	54.10	Buena Subbase
	8%	48.00	Buena Subbase
M3 (Costa)	0%	4.30	Muy Mala Subrasante
	3%	4.90	Muy Mala Subrasante
	5%	13.90	Regular - Buena Subrasante
	8%	12.90	Regular - Buena Subrasante

p calculado por ANOVA 0.012

El valor obtenido de $p< 0.05$ indica que se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se finiquita que existe una diferencia estadísticamente significativa en la capacidad portante del suelo (CBR) al incorporar ceniza de cáscara de coco en comparación con el suelo natural.

Los resultados del ANOVA respaldan la hipótesis alternativa planteada en esta investigación: la adición de ceniza de cáscara de coco mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, específicamente su capacidad de soporte, validando su uso como estabilizador alternativo en la ingeniería de suelos.

V. CONCLUSIONES

- La metodología para la selección y preparación de los materiales, incluyó la recolección de tres muestras de suelo representativas M1 – Oriente en la provincia de Napo, cantón Arosemena Tola, M2 – Sierra en la provincia de Tungurahua – cantón Cevallos, y M3 – Costa en la provincia de Los Ríos, cantón Babahoyo y la obtención controlada de ceniza de cáscara de coco (CCC) mediante calcinación a temperaturas dentro de un rango de 400°C – 800°C, fue ejecutada exitosamente, esto garantizó la disponibilidad de diferentes clasificaciones de suelos : M1 como SC (Arenas arcillosas, mezclas de arena – arcilla), M2 como SM (Arena limosa, mezcla de arena – limo) y M3 como SP – SC (Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino y Arena arcillosas, mezcla de arena – arcilla) y un agente estabilizador con composición química conocida mediante el ensayo FRX teniendo como resultado elementos claves para la estabilización como el Si con 12.89%, calcio con 4.95% y Al con un 2.40% que son fundamentales para la estabilización de suelos y así la elaboración de las probetas de ensayo y la consecución de resultados confiables.

- El análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, tanto en su estado natural como con la adición de diferentes porcentajes de CCC, demostró de manera contundente la capacidad de este material como estabilizador, además se observaron mejoras significativas en la Capacidad de Soporte (CBR) en todas las muestras. Específicamente se identificaron dosificaciones óptimas de CCC dando como resultado que para el suelo M1 es de 3% y para los suelos M2, M3 es de 5% de adición de CCC que maximizaron el CBR, elevando la clasificación de los suelos para su uso en capas de subrasante e incluso subbase. Adicionalmente, la incorporación de CCC fue efectiva en mitigar el potencial de esponjamiento del suelo, contribuyendo a la estabilidad volumétrica de las mezclas, estos hallazgos corroboran que la CCC induce una mejora sustancial en el comportamiento geotécnico de los suelos.

- La muestra M1 (Oriente), con un contenido de humedad natural del 29.38% y un CBR natural de 11.50%, mostró una mejora inicial con la adición del 3% de CCC (CBR de 16.70%), manteniéndose en la categoría de “Regular – Buena”. Sin embargo, incrementos posteriores de la resistencia, alcanzó un valor crítico de 5.50% con 8% de CCC, lo que indica sobresaturación del aditivo que perjudica la estructura del suelo, este comportamiento sugiere que existe una dosis óptima cercana al 3%.

- En contraste la muestra M2 (Sierra) mostró un desempeño sobresaliente, con un CBR natural de 20.5%, mejoró significativamente hasta alcanzar un valor de 54.10% con 5% de CCC, clasificándose como apta para capas de subbase. Esto representa un cambio funcional relevante en el diseño del pavimento, al reducirse la necesidad de materiales estructurales superiores, generando ventajas técnicas y económicas.

- La muestra M3 (Costa), inicialmente clasificada como “Muy Mala” con un CBR 4.30% debido a su alta humedad y plasticidad, experimentó una mejora significativa con la adición de 5% de CCC, alcanzando un CBR de 13.90% suficiente para reclasificarse como “Regular – Buena”, este resultado valida la efectividad del estabilizante en suelos de baja capacidad portante inicial, demostrando su utilidad en circunstancias desfavorables.

- La evaluación integral de las mezclas de suelo más CCC confirmó su viabilidad en los tres ejes fundamentales. Técnicamente, las mejoras sustanciales en el CBR y el control efectivo del esponjamiento validad la aptitud de las mezclas estabilizadas con CCC para su aplicación en la construcción de pavimentos, cumpliendo con los requisitos de capacidad de soporte y mantener su forma y tamaño, aunque cambien las condiciones. Los análisis de costos comparativos posicionan a la CCC como una alternativa altamente competitiva y en la mayoría de los casos, más económica que los estabilizadores tradicionales como la cal y el cemento. La utilización de la CCC representa una solución sostenible al valorizar un residuo agroindustrial, reduciendo la generación de desechos, mitigando las emisiones de carbono asociadas a materiales convencionales y promoviendo prácticas de construcción más ecológicas y una economía circular.

VI. RECOMENDACIONES

- Se aconseja investigar los impactos ambientales del proceso de carbonización de la cáscara de coco industriales como artesanales, incluyendo emisiones atmosféricas y calidad de la ceniza resultante para desarrollar guías de mejores prácticas y asegurar un procesamiento ambientalmente responsable.
- Se sugiere profundizar la investigación con estudios de durabilidad a largo plazo y análisis microestructurales detallados para comprender mejor los mecanismos de estabilización, es importante desarrollar metodologías estandarizadas para la producción de CCC.
- Se recomienda impulsar programas que promuevan la valorización local de la cáscara de coco, es fundamental sensibilizar a la población sobre los beneficios de esta tecnología y fomentar la colaboración para su implementación a gran escala.

VII. BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Anburuvel, The Engineering Behind Soil Stabilization with Additives: A State-of-the-Art RReview, *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 42, n.º 1, pp. 1-42, ene. 2024, doi: 10.1007/s10706-023-02554-x.

[2] T. S. Gomez, S. Z. Palacio, M. C. S. Marín, A. F. Peñuela, y P. F. Morales, «Comportamiento mecánico de fibras y no tejidos de coco. Comparación entre parámetros de punzonado y adhesión química», *Av. Investig. En Ing.*, vol. 17, n.º 1 (enero-junio), Art. n.º 1 (enero-junio), abr. 2020, doi: 10.18041/1794-4953/avances.1.5255.

[3] Ministerio de agricultura y ganadería, *MAPA DE ÓRDENES DE SUELOS DEL ECUADOR*. Quito - Ecuador, 2017.

[4] H. R. Castro Jerónimo, B. R. Romero Rodríguez, C. A. Vásquez Mendoza, y G. G. Arriola Carrasco, «influencia de la cáscara y fibra de coco en mezclas asfálticas en caliente», *Ing. Cienc. Tecnol. E Innov.*, vol. 7, n.º 2, dic. 2020, doi: 10.26495/icti. v7i2.1506.

[5] S. Y. Amakye y S. J. Abbey, «Understanding the performance of expansive subgrade materials treated with non-traditional stabilisers: A review», *Clean. Eng. Technol.*, vol. 4, p. 100159, oct. 2021, doi: 10.1016/j.clet.2021.100159.

[6] Y. V. Noriega Armas, J. A. Vives Arroyo, y S. P. Muñoz Pérez, «Uso de estabiliazadores de suelo: Una revisión del impacto al corte y asentamiento», *Av. Investig. En Ing.*, vol. 19, n.º 1, mar. 2022, doi: 10.18041/1794-4953/avances.1.6856.

[7] M. Adnan, S. Kumar, N. Garg, K. Kumar Gupta, y S. Kumar Das, «Soil stabilization using waste “Bagasse ash and lime”: A review», *Mater. Today Proc.*, may 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.018.

[8] S. Almuaythir, M. S. I. Zaini, M. Hasan, y M. I. Hoque, «Stabilization of expansive clay soil using shells based agricultural waste ash», *Sci. Rep.*, vol. 15, n.º 1, p. 10186, mar. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-94980-5.

[9] O. G. Labajos y J. H. S. Núñez, «Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada», *Rev. Científica UNTRM Cienc. Nat. E Ing.*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2020, doi: 10.25127/ucni. v3i1.589.

[10] Faray y W. Rahayu, «Durability and strength improvement of clayshale using various stabilized materials», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 426, n.º 1, p. 012028, feb. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/426/1/012028.

[11] A. Ekinci, M. Hanafi, y E. Aydin, «Strength, Stiffness, and Microstructure of Wood-Ash Stabilized Marine Clay», *Minerals*, vol. 10, n.º 9, Art. n.º 9, sep. 2020, doi: 10.3390/min10090796.

[12] G. Mamani Gonzalo, S. A. De La Cruz Vega, C. S. Vega Neyra, P. M. Yllescas Rodríguez, y W. M. Rea Olivares, «Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú», *Infraestruct. Vial*, vol. 25, n.º 44, pp. 1-7, jun. 2023, doi: 10.15517/iv. v25i44.53569.

[13] M. Millones-Chapoñan, S. P. Muñoz-Pérez, y C. D. Villanueva-Meza, «La Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar Como Aditivo Estabilizador en Suelos Arcillosos con Fines de Pavimentación: Una Revisión Literaria», *Ing. Compet.*, vol. 25, n.º 1, pp. 1-15, 2023.

[14] L. Behak y W. Peres Núñez, «Characterization of a material comprised of sandy soil, rice husk ash and potentially useful lime in pavements», *Rev. Ing. Constr.*, vol. 23, n.º 1, pp. 34-41, abr. 2008, doi: 10.4067/S0718-50732008000100004.

[15] F. Ayub y S. A. Khan, «An overview of geopolymer composites for stabilization of soft soils», *Constr. Build. Mater.*, vol. 404, p. 133195, nov. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133195.

[16] J. Davidovits, «Geopolymers: inorganic polymeric new materials», *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 37, n.º 8, pp. 1633-1656, 1991.

[17] «Future Fibres: Coir». Accedido: 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/coir/en/

[18] Andriani, R. Yuliet, y D. Permana, «Utilization of Coconut Shell Charcoal to Improve Bearing Capacity of Clay as Subgrade for Road Pavement», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 832, n.º 1, p. 012041, jul. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/832/1/012041.

[19] S. Prasanna y P. Kumar, «Soil Reinforcement Using Coconut Shell Ash: A Case Study of Indian Soil», 2017.

[20] Universidad centroamericana y “jose simeon cañas”, uca, «analisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz no. 200 (75 □m) en agregado mineral por lavado».

[21] wilmar ándres botía diaz, «manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo». Universidad militar nueva granada facultad ingenieria, mayo de 2015.

[22] E. Barragan, «Fundamentos de Ingenieria Geotecnica Braja M Das», Accedido: 12 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das

[23] «Scopus - Document details - Insights into potential of banana leaf powder as a mud soil stabilizer». Accedido: 9 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85206440060&doi=10.1016%2fj.rineng.2024.103166&origin=inward&txGid=5bed4a1da7546c7aeb641787dd4a96a7

[24] M. Soomro, V. W. Y. Tam, y A. C. Jorge Evangelista, «2 - Production of cement and its environmental impact», en *Recycled Concrete*, V. W. Y. Tam, M. Soomro, y A. C. Jorge vangelista, Eds., en Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering., Woodhead Publishing, 2023, pp. 11-46. doi: 10.1016/B978-0-323-85210-4.00010-2.

[25] K. S. Ranatunga, E. del Rey Castillo, y C. L. Toma, «Evaluation of the optimal concrete mix design with coconut shell ash as a partial cement replacement», oct. 2023, Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/2292/67586

VIII. ANEXOS:

Ensayos de Laboratorio

Muestra de suelo M1- Provincia Napo - Cantón Arosemena Tola

Contenido de humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"			
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero			
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg			
NORMA:	NTE INEN 690 y ASTM D 2216			
PROVINCIA:	Napo		**CANTÓN:**	Arosemena Tola
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL				
N° Calicata	**1**			
Número de recipiente	T1	T2	T3	T4
Peso del recipiente (Wr) (gr)	9,70	9,90	9,80	9,70
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	102,60	102,50	102,40	102,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	81,50	81,70	81,50	81,00
Peso del agua (Ww) (gr)	21,10	20,80	20,90	21,40
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	71,80	71,80	71,70	71,30
Contenido de humedad (W%)	29,39	28,97	29,15	30,01
Promedio (W%)	**29,38%**			

Granulometría

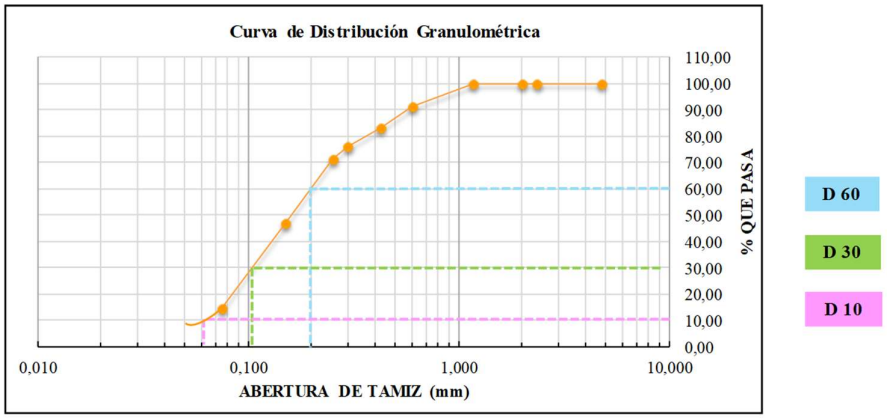
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS			
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Napo-Arosemena Tola	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg	**PESO MUESTRA SECA**	1000	gr
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**N°. CALICATA:**	1	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 8	2,360	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 10	2,000	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 16	1,180	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 30	0,600	88,10	88,10	8,83	91,17
No. 40	0,425	80,50	168,60	16,90	83,10
No. 50	0,300	71,80	240,40	24,10	75,90
No. 60	0,250	46,20	286,60	28,73	71,27
No. 100	0,150	243,20	529,80	53,10	46,90
No. 200	0,075	321,50	851,30	85,33	14,67
BANDEJA		146,40	146,40	14,67	
TOTAL			997,70		



RESULTADOS

D10 (mm)	0,064	**Cu = D60 / D10**	3,078
D30 (mm)	0,104	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	0,858
D60 (mm)	0,197	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	1,180
Error Permitido	1,00%	**Error Calculado**	0,23%

CLASIFICACIÓN

AASHTO	A - 2 -6
SUCS	Arenas arcillosas, mezcla de arena - arcilla (SC)

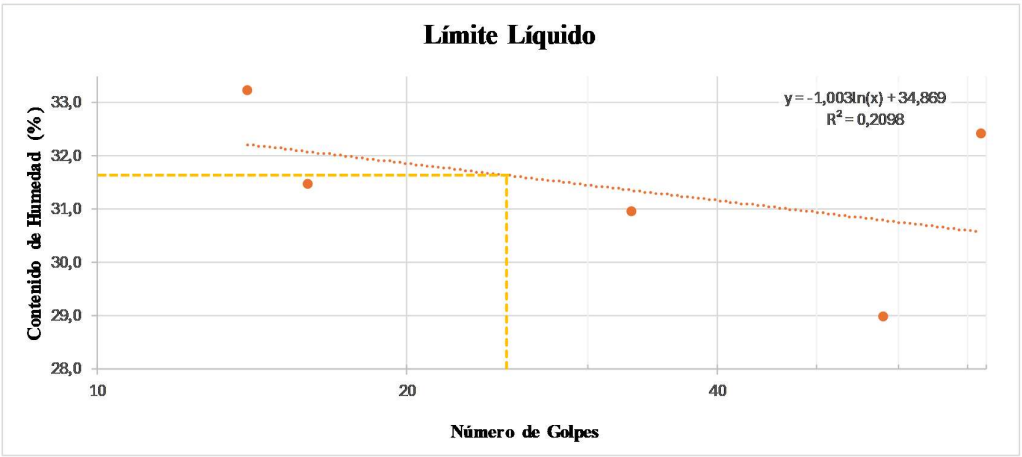
Límites de Atterberg

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

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Napo
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg		
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**N° CALICATA:**	1

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	*0 - 15*		*15 - 30*		*30 - 45*		*45 - 60*		*60 - 75*	
Número de Golpes	**14**		**16**		**33**		**58**		**72**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de recipiente										
Peso del recipiente (Wr) (gr)	4,20	4,20	4,40	4,30	4,40	7,60	4,20	4,30	4,30	4,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	25,10	31,40	20,80	23,40	23,00	25,80	21,30	25,00	16,20	16,20
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	19,90	24,60	16,90	18,80	18,60	21,50	17,50	20,30	13,30	13,20
Peso del agua (Ww) (gr)	5,20	6,80	3,90	4,60	4,40	4,30	3,80	4,70	2,90	3,00
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	15,70	20,40	12,50	14,50	14,20	13,90	13,30	16,00	9,00	9,20
Contenido de humedad (W%)	33,12	33,33	31,20	31,72	30,99	30,94	28,57	29,38	32,22	32,61
Promedio (W%)	33,23		31,46		30,97		28,98		32,42	
Límite Líquido (LL%)	**31,64**									



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5	6
Número de recipiente						
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,70	10,60	10,90	10,70	10,70	10,70
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	12,50	11,90	12,80	12,40	12,10	11,50
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	12,00	11,70	12,40	12,10	11,90	11,30
Peso del agua (Ww) (gr)	0,50	0,20	0,40	0,30	0,20	0,20
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	1,30	1,10	1,50	1,40	1,20	0,60
Contenido de humedad (W%)	38,46	18,18	26,67	21,43	14,50	14,50
Promedio (W%)	**22,29**					

RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
31,64	22,29	9,35

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

SUCS	**Arenas arcillosas, mezcla de arena - arcilla (SC)**	**AASHTO**	**A - 2 -6**

Proctor modificado tipo B

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

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DEL SUELO		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Napo - Arosemena Tola
REVISADO POR:	Ing. Miriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.		
NORMAS:	AASHTO T180	**N°. CALICATA**	1

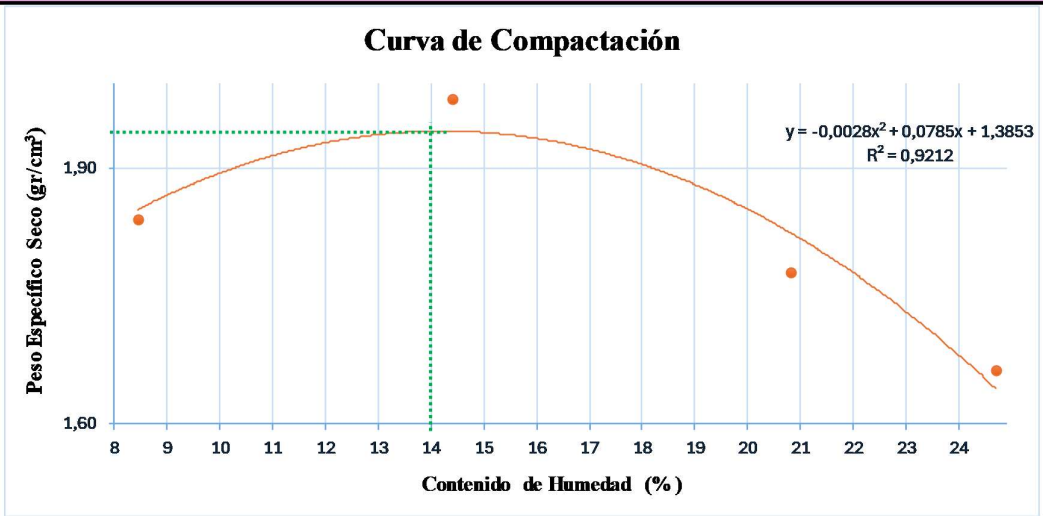
PROCTOR MODIFICADO "B"						
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14509,5
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2116,01
Peso incial deseado (gr):	5000	5000	5000	5000		

Proceso de Compactación				
Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	5	10	15	20
Humedad añadida (ml)	250	500	750	1000
Suelo húmedo + molde (gr)	18729,5	19302,5	19054	18897
Peso suelo húmedo (gr)	4220	4793	4545	4388
Peso unitario húm. (gr)	1,994	2,265	2,148	2,073

Determinacion del Contenido de Humedad								
Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	S	I	S	I	S	I	S	I
Peso del recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Peso suelo húm. + recip (gr)	45,60	45,40	55,20	55,60	59,50	59,10	54,90	54,70
Peso suelo seco + recip (gr)	42,40	41,80	48,70	48,60	49,60	49,20	44,40	44,20
Peso del agua (gr)	3,20	3,6	6,5	7	9,9	9,9	10,5	10,5
Peso suelo seco (gr)	40,6	40	46,9	46,8	47,8	47,4	42,6	42,4
Contenido de agua (%)	7,88	9,00	13,86	14,96	20,71	20,89	24,65	24,76
W (%) Promedio	8,44		14,41		20,80		24,71	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,839		1,980		1,778		1,663	

RESULTADOS	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,936
Humedad Óptima:	14,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

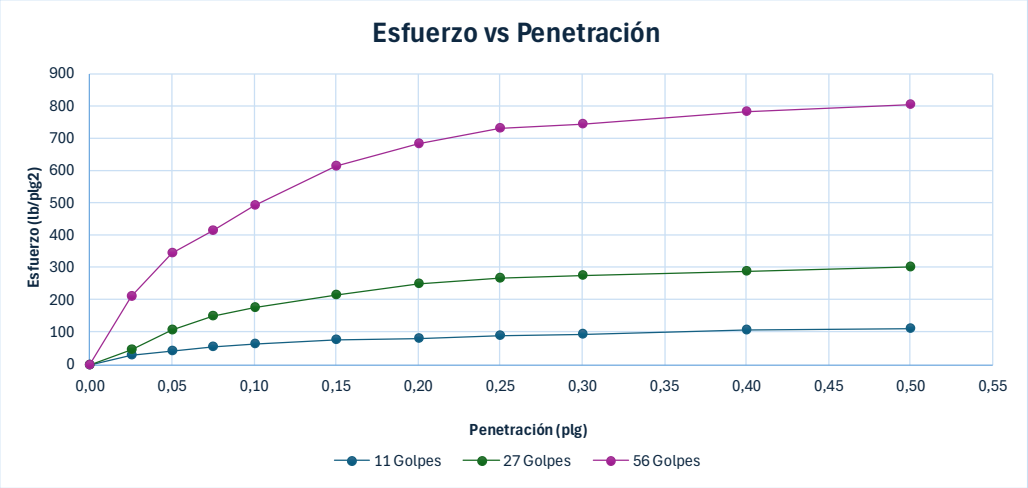


CBR Suelo Natural

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Napo - Arosemena Tola	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	4		6		16	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,2	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,00
	Altura:	12,65	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13348		13660,5		12186	
Masa del molde (gr)	8011		9370		8219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	5337		4290,5		3966,5	
Volumen muestra (cm3)	2295,45		2247,44		2217,77	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	2,325		1,909		1,789	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	11,1	11,2	6,1	6,2	16,1	16,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	42,00	42,20	42,20	42,00	42,10	42,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	36,50	36,10	36,70	36,40	36,60	36,50
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	5,50	6,10	5,50	5,60	5,50	5,60
Masa suelo seco (gr)	34,70	34,30	34,90	34,60	34,80	34,70
Contenido de humedad (w%)	15,85	17,78	15,76	16,18	15,80	16,14
W % promedio	16,82		15,97		15,97	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,990		1,646		1,542	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	13584		13970,5		12422	
Masa del molde (gr)	8011		9370		8219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	5573		4600,5		4202,5	
Volumen muestra (cm3)	2295,45		2247,44		2217,77	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	2,428		2,047		1,895	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	4,1	4,2	6,1	6,2	16,1	16,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	53,30	53,10	53,10	53,20	53,20	53,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	41,20	40,90	42,40	42,60	43,70	43,80
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	12,10	12,20	10,70	10,60	9,50	9,20
Masa suelo seco (gr)	37,25	36,95	38,45	38,65	39,75	39,85
Contenido de humedad (w%)	32,48	33,02	27,83	27,43	23,90	23,09
W % promedio	32,75		27,63		23,49	

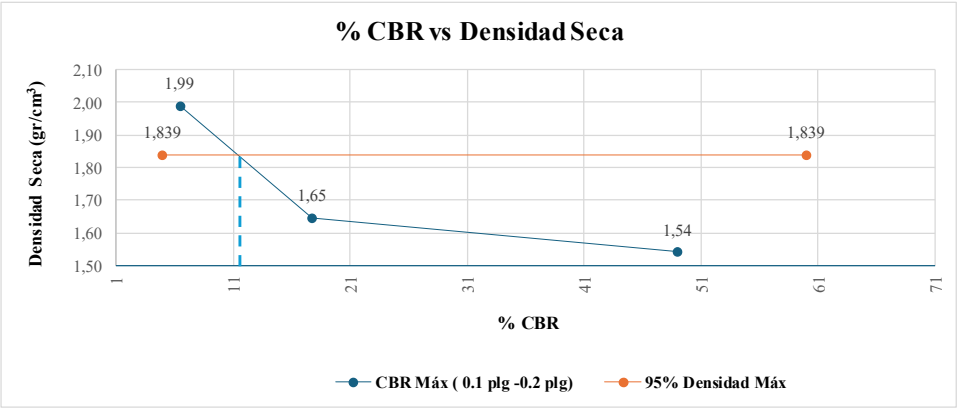
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**4**		**6**		**16**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	83,30	27,77	133,20	44,40	633,50	211,17
0,050	121,30	40,43	313,20	104,40	1030,70	343,57
0,075	162,50	54,17	453,20	151,07	1242,50	414,17
0,10	193,30	64,43	533,30	177,77	1470,20	490,07
0,15	223,20	74,40	650,40	216,80	1835,40	611,80
0,20	246,60	82,20	743,50	247,83	2053,70	684,57
0,25	267,30	89,10	793,90	264,63	2193,30	731,10
0,30	283,30	94,43	829,00	276,33	2232,50	744,17
0,40	319,20	106,40	863,30	287,77	2352,40	784,13
0,50	336,40	112,13	903,20	301,07	2413,30	804,43

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	490,07	49,01	1,542	684,57	45,64	1,542
2	177,77	17,78	1,646	247,83	16,52	1,646
3	64,43	6,44	1,990	82,20	5,48	1,990

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



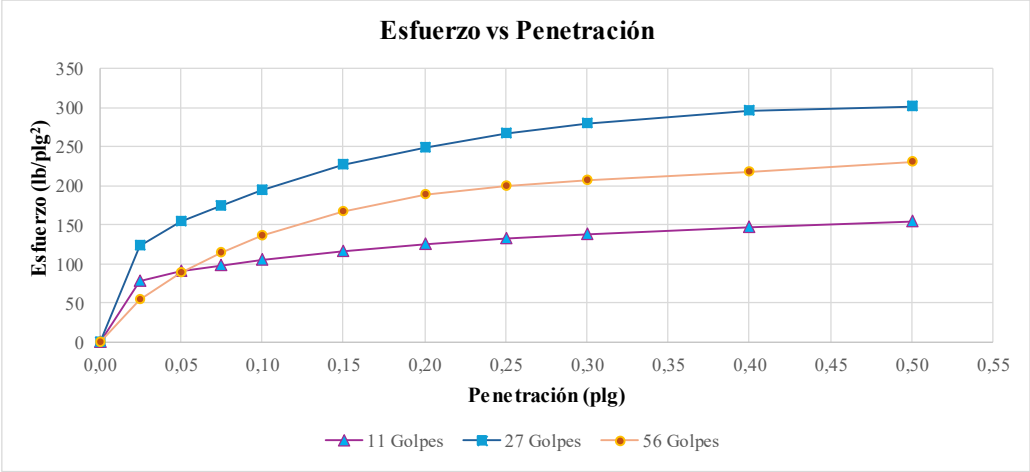
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,936		
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,839	11,50	Regular - buena	**Subrasante**

CBR con adición del 3% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Napo - Arosemena Tola	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**5**		**11**		**15**	
Dimensiones (cm)	**Diámetro:**	**15,1**	**Diámetro:**	**15,00**	**Diámetro:**	**15,00**
	Altura:	**12,55**	**Altura:**	**12,65**	**Altura:**	**12,55**
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	**11**		**27**		**56**	
Muestra húmeda + molde (gr)	13877,5		13392		14237	
Masa del molde (gr)	9358		8370		9219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**4519,5**		**5022**		**5017,5**	
Volumen muestra (cm3)	**2247,44**		**2235,44**		**2217,77**	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**2,011**		**2,247**		**2,262**	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	**5,1**	**5,2**	**11,1**	**11,2**	**15,1**	**15,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	43,10	43,00	43,10	43,00	43,10	43,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	37,30	37,40	36,90	35,90	36,60	36,40
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	**5,80**	**5,60**	**6,20**	**7,10**	**6,50**	**6,60**
Masa suelo seco (gr)	**35,50**	**35,60**	**35,10**	**34,10**	**34,80**	**34,60**
Contenido de humedad (w%)	**16,34**	**15,73**	**17,66**	**20,82**	**18,68**	**19,08**
W % promedio	**16,03**		**19,24**		**18,88**	
Peso unitario seco (gr/cm3)	**1,733**		**1,884**		**1,903**	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	14265,5		13704		14475	
Masa del molde (gr)	9358		8370		9219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**4907,5**		**5334**		**5255,5**	
Volumen muestra (cm3)	**2247,44**		**2235,44**		**2217,77**	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**2,184**		**2,386**		**2,370**	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	**5,1**	**5,2**	**11,1**	**11,2**	**15,1**	**15,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	32,10	32,00	32,30	32,10	32,00	32,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	25,70	25,60	26,50	26,50	26,70	26,40
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**6,40**	**6,40**	**5,80**	**5,60**	**5,30**	**5,60**
Masa suelo seco (gr)	**21,75**	**21,65**	**22,55**	**22,55**	**22,75**	**22,45**
Contenido de humedad (w%)	**29,43**	**29,56**	**25,72**	**24,83**	**23,30**	**24,94**
W % promedio	**29,49**		**25,28**		**24,12**	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**5**		**11**		**15**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	233,60	77,87	369,30	123,10	160,20	53,40
0,050	269,30	89,77	463,10	154,37	268,00	89,33
0,075	295,30	98,43	523,90	174,63	339,50	113,17
0,10	315,20	105,07	580,90	193,63	405,20	135,07
0,15	349,10	116,37	681,90	227,30	498,60	166,20
0,20	374,10	124,70	743,30	247,77	563,60	187,87
0,25	395,30	131,77	798,50	266,17	598,30	199,43
0,30	413,10	137,70	839,80	279,93	620,80	206,93
0,40	440,80	146,93	885,50	295,17	654,00	218,00
0,50	460,30	153,43	904,50	301,50	690,60	230,20

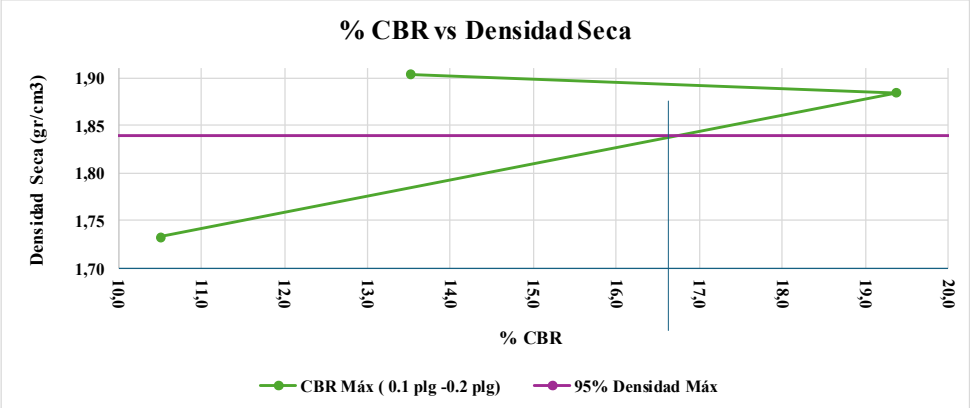
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	135,07	13,51	1,903	187,87	12,52	1,903
B	193,63	19,36	1,884	247,77	16,52	1,884
A	105,07	10,51	1,733	124,70	8,31	1,733

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



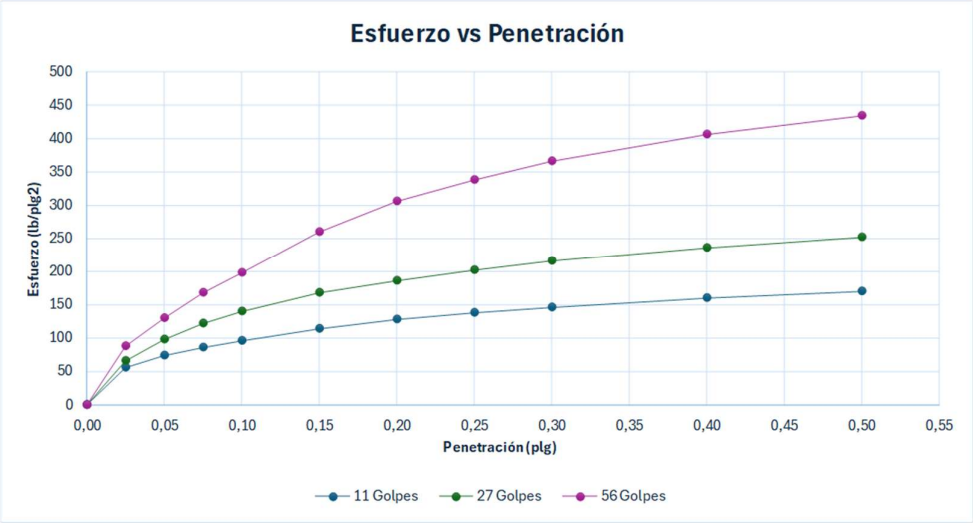
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,936		
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,839	16,70	Regular - buena	**Subrasante**

CBR con adición del 5% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Napo - Arosemena Tola	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	4		6		16	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,2	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,00
	Altura:	12,65	Altura:	12,55	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13817		13941		13627	
Masa del molde (gr)	9374		9178,5		8219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4443		4762,5		5407,5	
Volumen muestra (cm3)	2295,45		2247,44		2217,77	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,936		2,119		2,438	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	4,1	4,2	6,1	6,2	16,1	16,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	43,10	43,20	43,20	43,30	43,20	43,20
Masa suelo seco + recip. (gr)	37,90	36,60	37,30	37,20	37,20	37,00
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	5,20	6,60	5,90	6,10	6,00	6,20
Masa suelo seco (gr)	36,10	34,80	35,50	35,40	35,40	35,20
Contenido de humedad (w%)	14,40	18,97	16,62	17,23	16,95	17,61
W % promedio	16,68		16,93		17,28	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,659		1,812		2,079	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	14205		14253		13865	
Masa del molde (gr)	9374		9178,5		8219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4831		5074,5		5645,5	
Volumen muestra (cm3)	2295,45		2247,44		2217,77	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	2,105		2,258		2,546	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	4,1	4,2	6,1	6,2	16,1	16,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	32,00	32,20	32,00	32,20	32,00	32,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	25,80	25,80	26,00	26,10	26,30	26,50
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	6,20	6,40	6,00	6,10	5,70	5,60
Masa suelo seco (gr)	21,85	21,85	22,05	22,15	22,35	22,55
Contenido de humedad (w%)	28,38	29,29	27,21	27,54	25,50	24,83
W % promedio	28,83		27,38		25,17	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**4**		**6**		**16**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	165,00	55,00	198,30	66,10	259,30	86,43
0,050	218,20	72,73	292,40	97,47	386,30	128,77
0,075	258,20	86,07	363,60	121,20	503,60	167,87
0,10	288,20	96,07	415,30	138,43	593,20	197,73
0,15	341,30	113,77	499,60	166,53	779,30	259,77
0,20	379,20	126,40	553,80	184,60	913,30	304,43
0,25	410,00	136,67	606,60	202,20	1013,30	337,77
0,30	436,00	145,33	645,60	215,20	1093,80	364,60
0,40	476,10	158,70	706,00	235,33	1219,20	406,40
0,50	507,50	169,17	752,70	250,90	1302,30	434,10

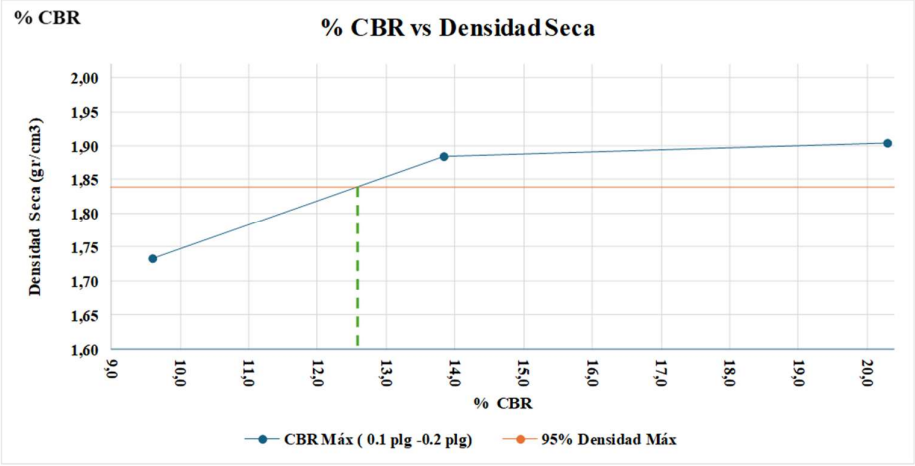
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	Presión (lb/plg^2)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg^2)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
C	197,73	19,77	2,079	304,43	20,30	2,079
B	138,43	13,84	1,812	184,60	12,31	1,812
A	96,07	9,61	1,659	126,40	8,43	1,659

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



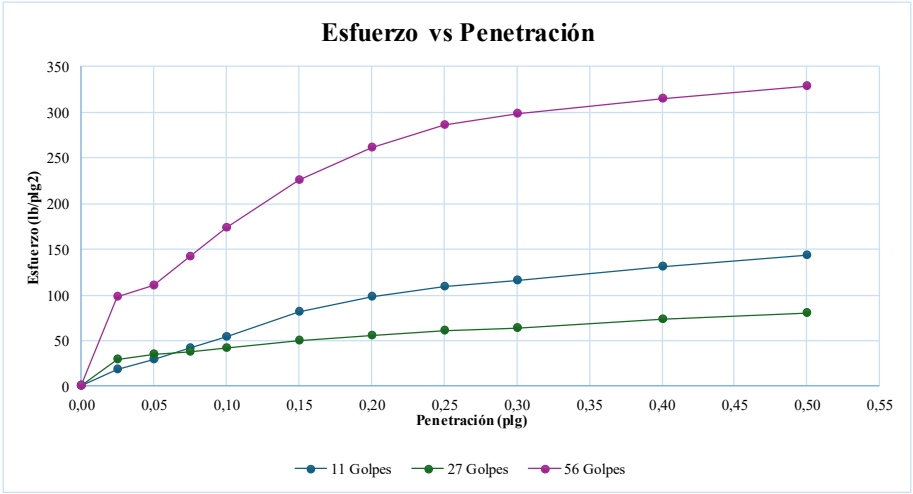
Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,936	
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,839	12,60	Regular - buena	**Subrasante**

CBR con adición del 8% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Napo - Arosemena Tola	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**N°. CALICATA**		1	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**18**		**14**		**9**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,45	Altura:	12,65	Altura:	12,45
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11195		13529,5		11850,5	
Masa del molde (gr)	7115		7448		6219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4080		6081,5		5631	
Volumen muestra (cm3)	2200,10		2235,44		2229,53	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,854		2,720		2,526	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	18,1	18,2	14,1	14,2	9,1	9,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	43,00	43,10	43,10	43,20	43,10	43,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	36,10	36,70	33,60	36,40	37,60	36,70
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	6,90	6,40	9,50	6,80	5,50	6,40
Masa suelo seco (gr)	34,30	34,90	31,80	34,60	35,80	34,90
Contenido de humedad (w%)	20,12	18,34	29,87	19,65	15,36	18,34
W % promedio	19,23		24,76		16,85	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,555		2,181		2,161	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	11429		13837,5		12234,5	
Masa del molde (gr)	7115		7448		6219,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4314		6389,5		6015	
Volumen muestra (cm3)	2200,10		2235,44		2229,53	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,961		2,858		2,698	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Número de recipiente	18,1	18,2	14,1	14,2	9,1	9,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	32,00	32,00	32,10	32,10	32,10	32,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	25,30	25,10	26,10	26,20	26,60	26,40
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	6,70	6,90	6,00	5,90	5,50	5,70
Masa suelo seco (gr)	21,35	21,15	22,15	22,25	22,65	22,45
Contenido de humedad (w%)	31,38	32,62	27,09	26,52	24,28	25,39
W % promedio	32,00		26,80		24,84	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**18**		**14**		**9**	
Penetración (plg)	**Carga (lb)**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Esfuerzo (lb/plg^2)**	**Carga**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	56,30	18,77	89,30	29,77	293,30	97,77
0,050	89,50	29,83	103,30	34,43	329,20	109,73
0,075	125,10	41,70	114,50	38,17	426,20	142,07
0,10	163,30	54,43	126,60	42,20	519,30	173,10
0,15	244,00	81,33	149,90	49,97	675,60	225,20
0,20	293,60	97,87	167,00	55,67	783,20	261,07
0,25	325,30	108,43	183,60	61,20	859,70	286,57
0,30	349,50	116,50	193,30	64,43	893,20	297,73
0,40	392,70	130,90	221,10	73,70	945,30	315,10
0,50	429,30	143,10	240,40	80,13	986,50	328,83

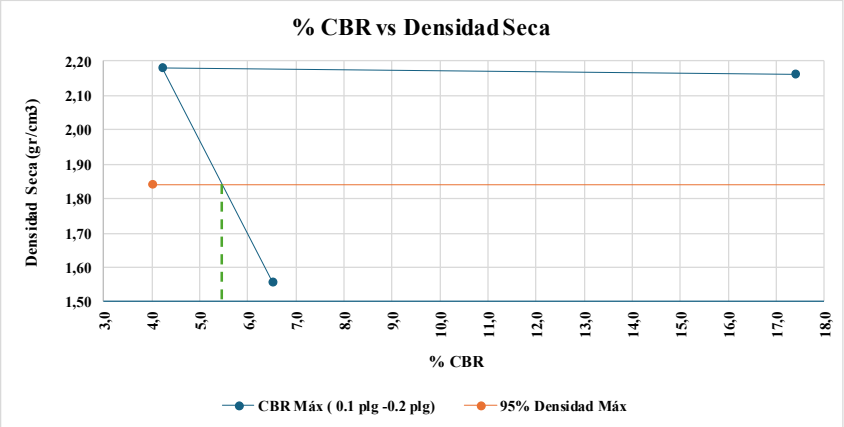
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
1	173,10	17,31	2,161	261,07	17,40	2,161
2	42,20	4,22	2,181	55,67	3,71	2,181
3	54,43	5,44	1,555	97,87	6,52	1,555

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)			1,936	
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,839	5,50	Mala	**Subrasante**

Esponjamiento

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
4	11	Natural	2,10	2,30	0,20
5		3%	2,32	2,32	0,00
4		5%	2,23	2,26	0,03
18		8%	1,17	1,30	0,13
6	27	Natural	2,30	2,20	-0,10
11		3%	2,30	2,20	-0,10
6		5%	1,95	1,93	-0,02
14		8%	2,33	2,26	-0,07
16	56	Natural	2,00	1,19	-0,81
15		3%	1,70	1,63	-0,07
16		5%	2,81	1,99	-0,82
9		8%	1,96	2,00	0,04

Muestra de suelo M2- Provincia Tungurahua - Cantón Cevallos

Contenido de humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"			
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero			
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg			
NORMA:	NTE INEN 690 y ASTM D 2216			
PROVINCIA:	Tungurahua		**CANTÓN:**	Cevallos
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL				
N° Calicata	**2**			
Número de recipiente	T1	T2	T3	T4
Peso del recipiente (Wr) (gr)	9,80	9,90	9,80	9,70
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	83,50	83,50	83,60	83,60
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	71,70	72,30	72,20	72,00
Peso del agua (Ww) (gr)	11,80	11,20	11,40	11,60
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	61,90	62,40	62,40	62,30
Contenido de humedad (W%)	19,06	17,95	18,27	18,62
Promedio (W%)	**18,48%**			

Granulometría

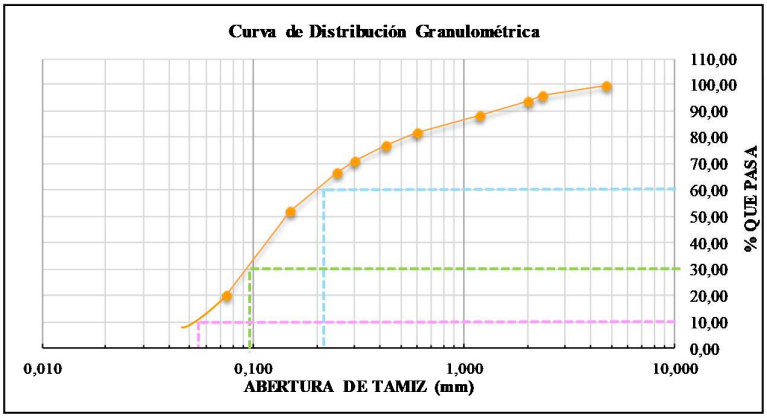
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS			
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Tungurahua - Cevallos	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg	**PESO MUESTRA SECA**	1000	gr
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**Nº. CALICATA:**	2	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	4,760	3,20	3,20	0,32	99,68
No. 8	2,360	41,40	44,60	4,48	95,52
No. 10	2,000	17,80	62,40	6,27	93,73
No. 16	1,180	54,80	117,20	11,77	88,23
No. 30	0,600	66,30	183,50	18,43	81,57
No. 40	0,425	49,00	232,50	23,35	76,65
No. 50	0,300	59,50	292,00	29,32	70,68
No. 60	0,250	41,80	333,80	33,52	66,48
No. 100	0,150	146,10	479,90	48,19	51,81
No. 200	0,075	318,50	798,40	80,17	19,83
BANDEJA		197,50	197,50	19,83	
TOTAL			995,90		



RESULTADOS

D10 (mm)	0,051	Cu = D60 / D10	3,882
D30 (mm)	0,093	Cc = D30² / (D60 * D10)	0,857
D60 (mm)	0,198	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	4,760
Error Permitido	1,00%	Error Calculado	0,41%

CLASIFICACIÓN

AASHTO	A - 2 - 4
SUCS	Arena limosa, mezcla de arena - limo (SM)

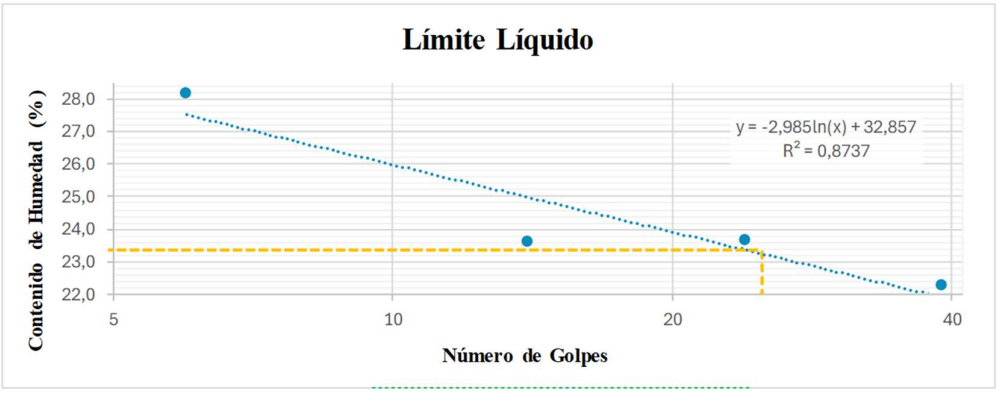
Límites de Attererg

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

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELO"		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Cevallos
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg		
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**N° CALICATA:**	2

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	*0 -10*		*10 -20*		*20 -30*		*30 -40*	
Número de Golpes	**6**		**14**		**24**		**39**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de recipiente	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	7,40	7,40	7,50	7,30	7,40	7,40	7,40	7,30
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	25,70	23,70	31,80	30,80	29,80	27,80	27,20	29,20
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	21,70	20,10	26,40	27,10	25,50	23,90	23,60	25,20
Peso del agua (Ww) (gr)	4,00	3,60	5,40	3,70	4,30	3,90	3,60	4,00
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	14,30	12,70	18,90	19,80	18,10	16,50	16,20	17,90
Contenido de humedad (W%)	27,97	28,35	28,57	18,69	23,76	23,64	22,22	22,35
Promedio (W%)	28,16		23,63		23,70		22,29	
Límite Líquido (LL%)	**23,24**							



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5	6
Número de recipiente	3	2	37	42	10	10
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,70	10,60	10,90	10,70	10,70	10,70
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	12,50	11,90	12,80	12,40	12,10	11,50
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	12,10	11,70	12,40	12,10	11,90	11,30
Peso del agua (Ww) (gr)	0,40	0,20	0,40	0,30	0,20	0,20
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	1,40	1,10	1,50	1,40	1,20	0,60
Contenido de humedad (W%)	28,57	18,18	26,67	21,43	14,50	15,50
Promedio (W%)		20,81				

RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
23,24	20,81	2,44

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

SUCS	Arena limosa, mezcla de arena - limo (SM)	**AASHTO**	A - 2 - 4

Proctor modificado B

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

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DEL SUELO		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Cevallos
REVISADO POR:	Ing. Miriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.		
NORMAS:	AASHTO T180	**N°. CALICATA**	2

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14509,5
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2116,01

Peso incial deseado (gr):	5000	5000	5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	0	7	14	21
Humedad añadida (ml)	0	350	700	1050
Suelo húmedo + molde (gr)	18160	18604,5	18864	18740
Peso suelo húmedo (gr)	3651	4095	4355	4231
Peso unitario húm. (gr)	1,725	1,935	2,058	1,999

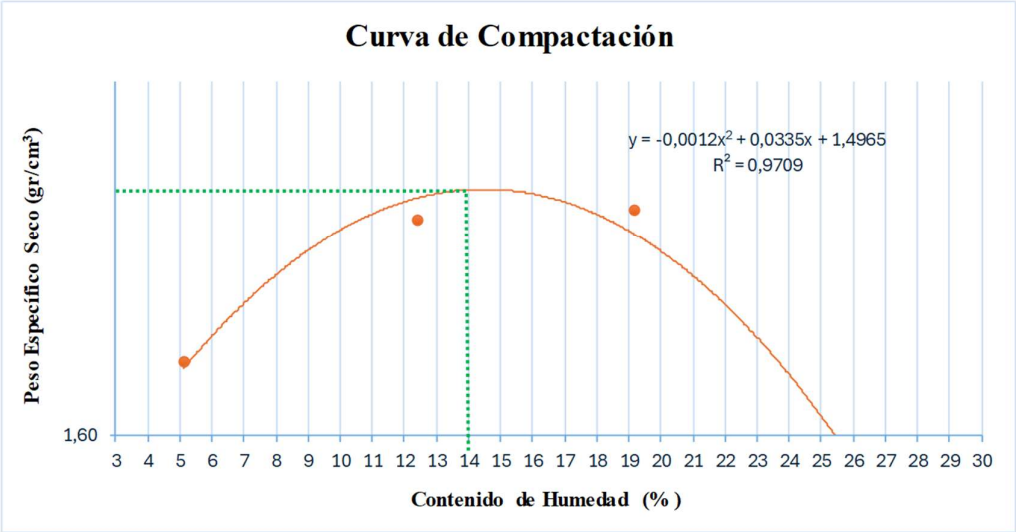
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	S	I	S	I	S	I	S	I
Peso del recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Peso suelo húm. + recip (gr)	101,70	109,40	80,70	59,00	99,60	96,80	133,70	115,20
Peso suelo seco + recip (gr)	97,00	104,00	72,10	52,60	83,10	82,30	105,50	93,30
Peso del agua (gr)	4,70	5,4	8,6	6,4	16,5	14,5	28,2	21,9
Peso suelo seco (gr)	95,2	102,2	70,3	50,8	81,3	80,5	103,7	91,5
Contenido de agua (%)	4,94	5,28	12,23	12,60	20,30	18,01	27,19	23,93
W (%) Promedio	5,11		12,42		19,15		25,56	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,641		1,722		1,727		1,592	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,730
Humedad Óptima:	14,00

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

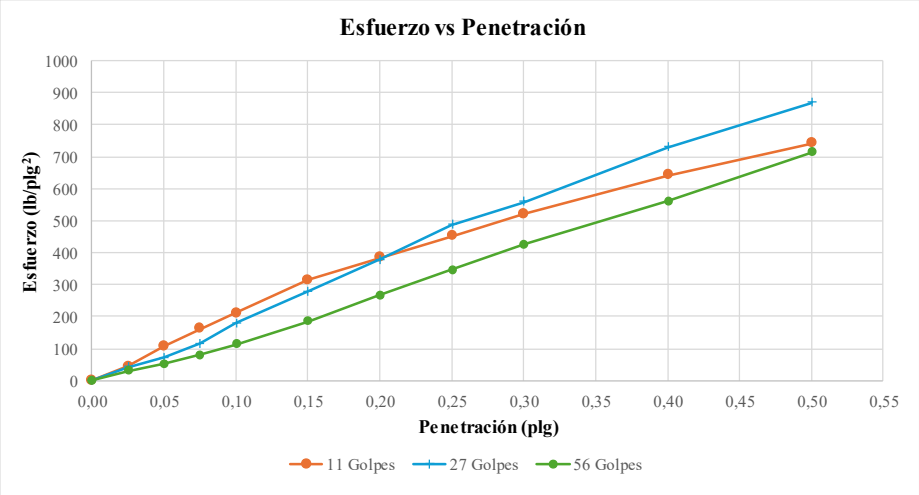


CBR con Suelo Natural

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Tungurahua - Cevallos	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		2	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**11**		**15**		**5**	
Dimensiones (cm)	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,1
	Altura:	12,65	**Altura:**	12,55	**Altura:**	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	**11**		**27**		**56**	
Muestra húmeda + molde (gr)	13917,5		12768,5		13141	
Masa del molde (gr)	8270		8376,5		7891,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**5647,5**		**4392**		**5249,5**	
Volumen muestra (cm3)	**2235,44**		**2217,77**		**2247,44**	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**2,526**		**1,980**		**1,930**	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	**11,1**	**11,2**	**15,1**	**15,2**	**5,1**	**5,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	41,10	41,20	41,10	41,00	41,10	41,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	35,10	35,10	35,20	34,80	35,00	34,70
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	**6,00**	**6,10**	**5,90**	**6,20**	**6,10**	**6,30**
Masa suelo seco (gr)	**33,30**	**33,30**	**33,40**	**33,00**	**33,20**	**32,90**
Contenido de humedad (w%)	**18,02**	**18,32**	**17,66**	**18,79**	**18,37**	**19,15**
W % promedio	**18,17**		**18,23**		**18,76**	
Peso unitario seco (gr/cm3)	**2,138**		**1,675**		**1,625**	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	14153,5		13078,5		13527	
Masa del molde (gr)	8270		8376,5		7891,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**5883,5**		**4702**		**5635,5**	
Volumen muestra (cm3)	**2235,44**		**2217,77**		**2247,44**	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**2,632**		**2,120**		**2,508**	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	**11,1**	**11,2**	**15,1**	**15,2**	**5,1**	**5,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	53,00	52,90	53,30	53,30	53,30	53,30
Masa suelo seco + recip. (gr)	43,90	43,40	44,40	44,20	44,80	44,30
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**9,10**	**9,50**	**8,90**	**9,10**	**8,50**	**9,00**
Masa suelo seco (gr)	**39,95**	**39,45**	**40,45**	**40,25**	**40,85**	**40,35**
Contenido de humedad (w%)	**22,78**	**24,08**	**22,00**	**22,61**	**20,81**	**22,30**
W % promedio	**23,43**		**22,31**		**21,56**	

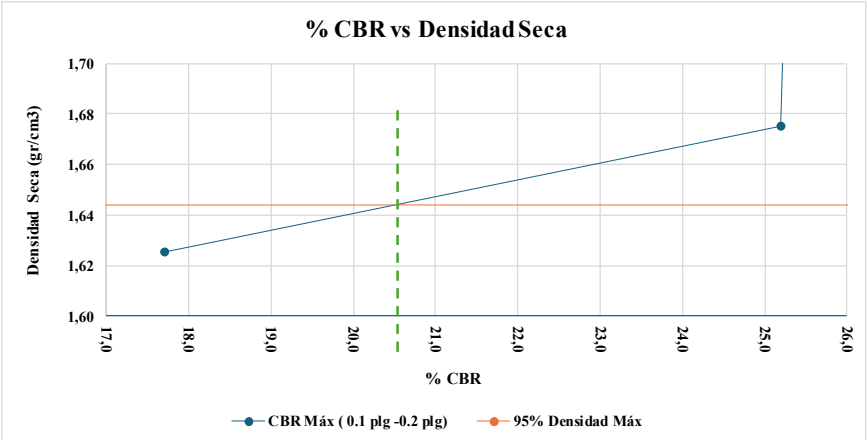
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**11**		**15**		**5**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	132,80	44,27	122,30	40,77	89,30	29,77
0,050	319,40	106,47	211,10	70,37	153,60	51,20
0,075	483,30	161,10	343,20	114,40	239,50	79,83
0,10	633,50	211,17	538,70	179,57	339,20	113,07
0,15	939,40	313,13	836,90	278,97	552,60	184,20
0,20	1153,30	384,43	1133,50	377,83	796,50	265,50
0,25	1355,20	451,73	1458,20	486,07	1037,50	345,83
0,30	1563,20	521,07	1673,20	557,73	1273,10	424,37
0,40	1925,20	641,73	2188,60	729,53	1681,30	560,43
0,50	2223,40	741,13	2606,40	868,80	2138,50	712,83

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	113,07	11,31	1,625	265,50	17,70	1,625
B	179,57	17,96	1,675	377,83	25,19	1,675
A	211,17	21,12	2,138	384,43	25,63	2,138

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



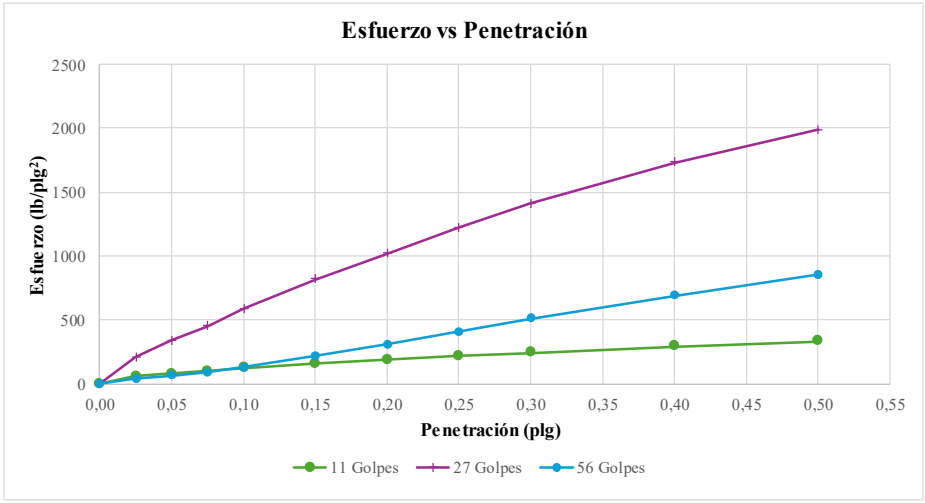
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,730		
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,644	20,50	Excelente	**Subrasante**

CBR con adición del 3% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Tungurahua - Cevallos	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		2	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**18**		**16**		**10**	
Dimensiones (cm)	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,2
	Altura:	12,45	**Altura:**	12,55	**Altura:**	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	**11**		**27**		**56**	
Muestra húmeda + molde (gr)	12486,5		13648,5		11899	
Masa del molde (gr)	8452		8219,5		8270	
Masa muestra húmeda (gr)	**4034,5**		**5429**		**3629**	
Volumen muestra (cm3)	**2200,10**		**2217,77**		**2277,30**	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,834**		**2,448**		**1,930**	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	**18,1**	**18,2**	**16,1**	**16,2**	**10,1**	**10,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	40,00	40,10	40,00	40,00	40,00	40,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	34,90	34,80	35,00	34,90	35,50	35,70
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**5,10**	**5,30**	**5,00**	**5,10**	**4,50**	**4,30**
Masa suelo seco (gr)	**30,95**	**30,85**	**31,05**	**30,95**	**31,55**	**31,75**
Contenido de humedad (w%)	**16,48**	**17,18**	**16,10**	**16,48**	**14,26**	**13,54**
W % promedio	**16,83**		**16,29**		**13,90**	
Peso unitario seco (gr/cm3)	**1,570**		**2,105**		**1,694**	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	12724,5		13960,5		12287	
Masa del molde (gr)	8452		8219,5		8270	
Masa muestra húmeda (gr)	**4272,5**		**5741**		**4017**	
Volumen muestra (cm3)	**2200,10**		**2217,77**		**2277,30**	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,942**		**2,589**		**1,764**	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	**18,1**	**18,2**	**16,1**	**16,2**	**10,1**	**10,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	50,20	50,10	50,00	50,20	50,30	50,20
Masa suelo seco + recip. (gr)	42,40	42,40	50,00	50,20	43,80	44,80
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**7,80**	**7,70**	**0,00**	**0,00**	**6,50**	**5,40**
Masa suelo seco (gr)	**38,45**	**38,45**	**46,05**	**46,25**	**39,85**	**40,85**
Contenido de humedad (w%)	**20,29**	**20,03**	**0,00**	**0,00**	**16,31**	**13,22**
W % promedio	**20,16**		**0,00**		**14,77**	

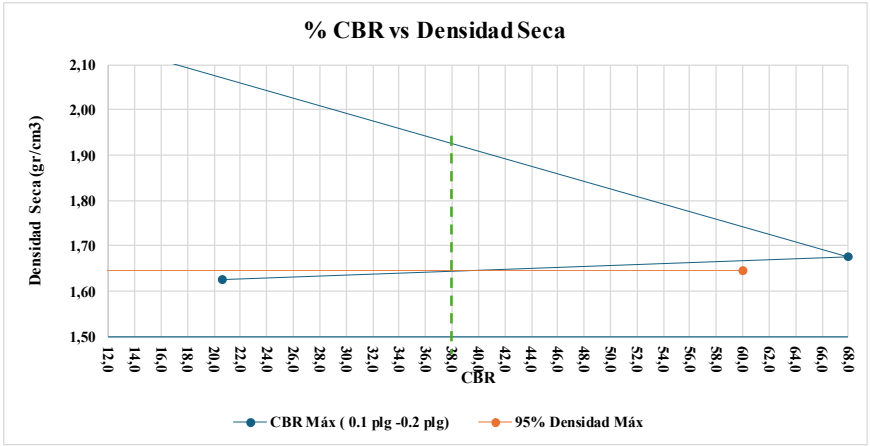
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**18**		**16**		**10**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	173,60	57,87	630,40	210,13	110,50	36,83
0,050	240,80	80,27	1019,50	339,83	193,30	64,43
0,075	303,60	101,20	1362,60	454,20	273,40	91,13
0,10	363,90	121,30	1759,30	586,43	389,00	129,67
0,15	476,70	158,90	2465,60	821,87	648,20	216,07
0,20	563,60	187,87	3057,10	1019,03	929,30	309,77
0,25	652,10	217,37	3669,30	1223,10	1227,20	409,07
0,30	731,60	243,87	4232,30	1410,77	1529,60	509,87
0,40	873,00	291,00	5204,10	1734,70	2066,30	688,77
0,50	998,30	332,77	5963,50	1987,83	2556,30	852,10

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	129,67	12,97	1,694	309,77	20,65	1,694
B	586,43	58,64	2,105	1019,03	67,94	2,105
A	121,30	12,13	1,570	187,87	12,52	1,570

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



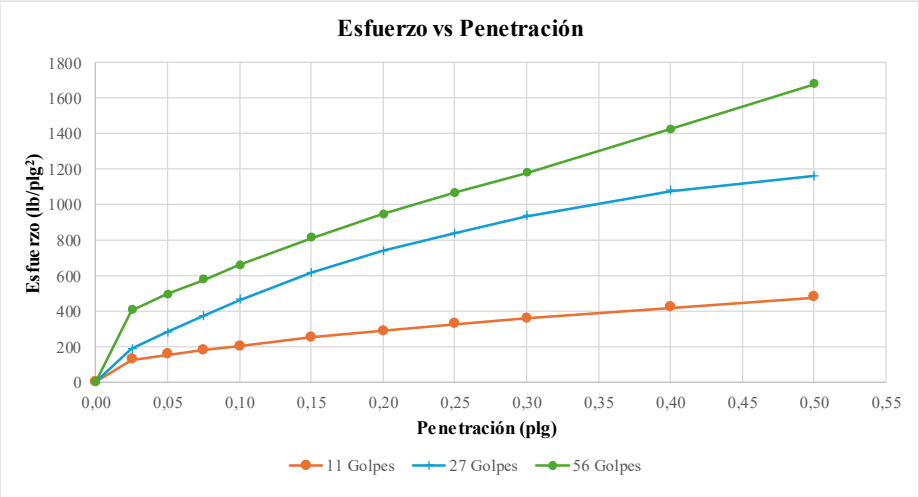
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,730		
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,644	38,00	Buena	Subbase

CBR con adición del 5% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO *FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA* *CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL*						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Tungurahua - Cevallos	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		2	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**11**		**15**		**2**	
Dimensiones (cm)	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15
	Altura:	12,65	**Altura:**	12,55	**Altura:**	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	**11**		**27**		**56**	
Muestra húmeda + molde (gr)	13917,5		12768,5		13141	
Masa del molde (gr)	9596		8376,5		9448,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**4321,5**		**4392**		**3692,5**	
Volumen muestra (cm3)	2235,44		2217,77		2217,77	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,933**		**1,980**		**1,665**	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	**11,1**	**11,2**	**15,1**	**15,2**	**2,1**	**2,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	35,50	35,20	35,40	35,50	35,10	35,20
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**4,50**	**4,80**	**4,60**	**4,50**	**4,90**	**4,90**
Masa suelo seco (gr)	**31,55**	**31,25**	**31,45**	**31,55**	**31,15**	**31,25**
Contenido de humedad (w%)	**14,26**	**15,36**	**14,63**	**14,26**	**15,73**	**15,68**
W % promedio	**14,81**		**14,44**		**15,71**	
Peso unitario seco (gr/cm3)	**1,684**		**1,730**		**1,439**	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	14152,5		13075,5		13526	
Masa del molde (gr)	9596		8376,5		9448,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**4556,5**		**4699**		**4077,5**	
Volumen muestra (cm3)	2235,44		2217,77		2217,77	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**2,038**		**2,119**		**1,839**	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	**11,1**	**11,2**	**15,1**	**15,2**	**2,1**	**2,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	50,00	50,10	50,30	50,30	50,10	50,20
Masa suelo seco + recip. (gr)	42,40	42,70	44,30	49,10	44,80	44,80
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**7,60**	**7,40**	**6,00**	**1,20**	**5,30**	**5,40**
Masa suelo seco (gr)	**38,45**	**38,75**	**40,35**	**45,15**	**40,85**	**40,85**
Contenido de humedad (w%)	**19,77**	**19,10**	**14,87**	**2,66**	**12,97**	**13,22**
W % promedio	**19,43**		**8,76**		**13,10**	

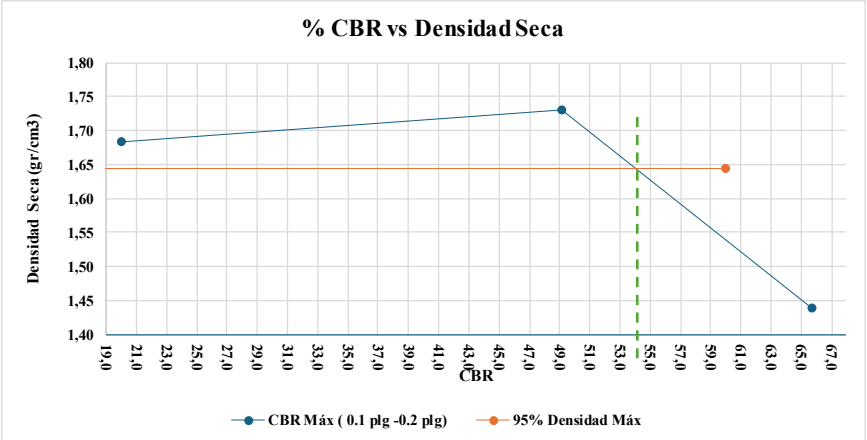
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**11**		**15**		**2**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	379,50	126,50	559,70	186,57	1208,60	402,87
0,050	464,30	154,77	836,80	278,93	1481,60	493,87
0,075	533,10	177,70	1113,20	371,07	1723,00	574,33
0,10	600,80	200,27	1386,40	462,13	1970,50	656,83
0,15	749,10	249,70	1843,60	614,53	2433,20	811,07
0,20	860,90	286,97	2213,00	737,67	2833,10	944,37
0,25	976,00	325,33	2513,50	837,83	3198,70	1066,23
0,30	1073,20	357,73	2806,10	935,37	3534,00	1178,00
0,40	1256,50	418,83	3230,70	1076,90	4266,20	1422,07
0,50	1430,20	476,73	3480,50	1160,17	5037,30	1679,10

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	656,83	65,68	1,439	944,37	62,96	1,439
B	462,13	46,21	1,730	737,67	49,18	1,730
A	200,27	20,03	1,684	286,97	19,13	1,684

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



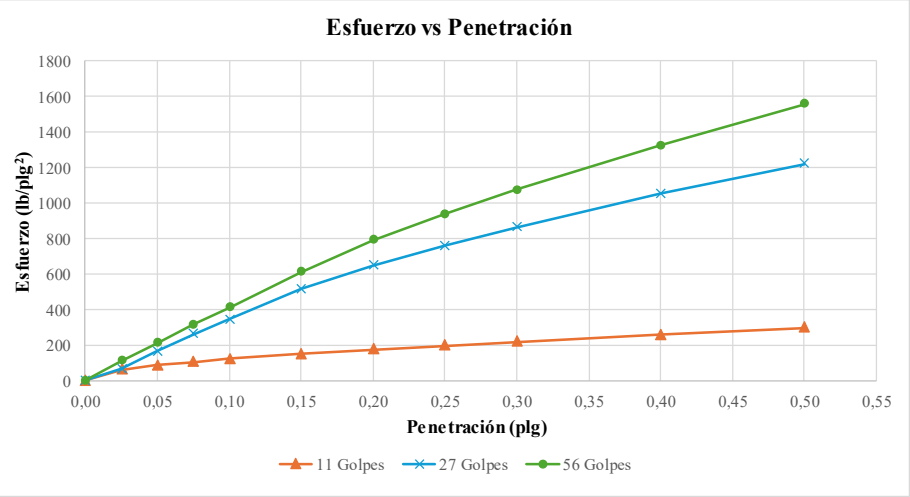
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,730		
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,644	54,10	Buena	Subbase

CBR con adición del 8% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Tungurahua - Cevallos	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		2	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**5**		**9**		**12**	
Dimensiones (cm)	**Diámetro:**	15,10	**Diámetro:**	15,10	**Diámetro:**	15,3
	Altura:	12,55	**Altura:**	12,45	**Altura:**	12,75
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	**11**		**27**		**56**	
Muestra húmeda + molde (gr)	12683,5		12379		12445	
Masa del molde (gr)	8643,5		8219,5		7891,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**4040**		**4159,5**		**4553,5**	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2229,53		2344,14	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,798**		**1,866**		**1,943**	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	**5,1**	**5,2**	**9,1**	**9,2**	**12,1**	**12,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	40,10	40,10	40,00	40,00	40,10	40,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	35,10	34,90	35,20	35,00	35,40	34,80
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**5,00**	**5,20**	**4,80**	**5,00**	**4,70**	**5,30**
Masa suelo seco (gr)	**31,15**	**30,95**	**31,25**	**31,05**	**31,45**	**30,85**
Contenido de humedad (w%)	**16,05**	**16,80**	**15,36**	**16,10**	**14,94**	**17,18**
W % promedio	**16,43**		**15,73**		**16,06**	
Peso unitario seco (gr/cm3)	**1,544**		**1,612**		**1,674**	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	12920,5		12690		12832	
Masa del molde (gr)	8643,5		8219,5		7891,5	
Masa muestra húmeda (gr)	**4277**		**4470,5**		**4940,5**	
Volumen muestra (cm3)	2247,44		2229,53		2344,14	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,903**		**2,005**		**2,108**	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	**5,1**	**5,2**	**9,1**	**9,2**	**12,1**	**12,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	50,10	50,00	50,20	50,10	50,20	50,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	42,50	42,50	47,00	43,60	44,30	43,20
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**7,60**	**7,50**	**3,20**	**6,50**	**5,90**	**6,80**
Masa suelo seco (gr)	**38,55**	**38,55**	**43,05**	**39,65**	**40,35**	**39,25**
Contenido de humedad (w%)	**19,71**	**19,46**	**7,43**	**16,39**	**14,62**	**17,32**
W % promedio	**19,58**		**11,91**		**15,97**	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**5**		**9**		**12**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	180,60	60,20	193,30	64,43	326,60	108,87
0,050	256,50	85,50	491,10	163,70	633,80	211,27
0,075	310,60	103,53	783,60	261,20	945,40	315,13
0,1	369,10	123,03	1034,20	344,73	1233,30	411,10
0,15	452,60	150,87	1543,50	514,50	1835,20	611,73
0,2	526,20	175,40	1943,50	647,83	2368,00	789,33
0,25	593,40	197,80	2274,90	758,30	2806,30	935,43
0,3	654,20	218,07	2587,50	862,50	3223,30	1074,43
0,4	776,50	258,83	3154,00	1051,33	3967,40	1322,47
0,5	892,50	297,50	3661,80	1220,60	4663,90	1554,63

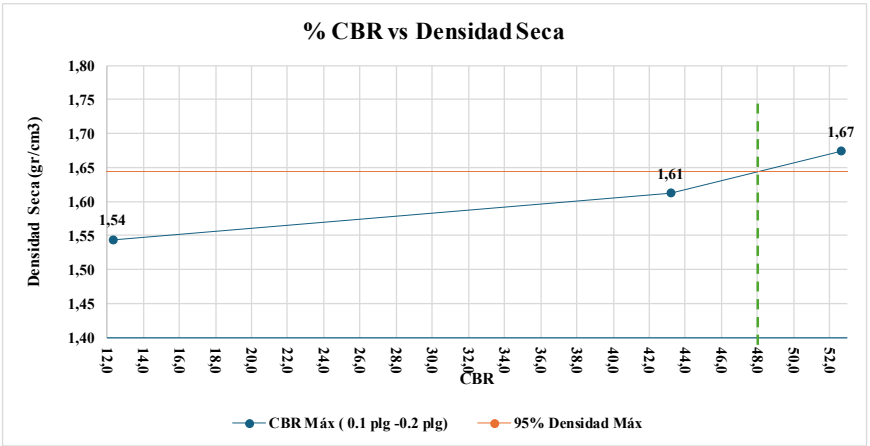
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	411,10	41,11	1,674	789,33	52,62	1,674
B	344,73	34,47	1,612	647,83	43,19	1,612
A	123,03	12,30	1,544	175,40	11,69	1,544

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,730		
DSM		**CBR%**	**Clasificación**	**Usos**
95%	1,644	48,00	Buena	Subbase

Esponjamiento

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
11	**11**	Natural	2,30	2,50	0,20
18		3%	1,42	1,36	-0,06
11		5%	2,32	2,36	0,04
5		8%	2,66	2,50	-0,16
15	**27**	Natural	2,40	2,60	0,20
16		3%	2,43	2,30	-0,13
15		5%	2,28	2,25	-0,03
9		8%	2,50	2,45	-0,05
5	**56**	Natural	2,30	2,10	-0,20
10		3%	2,07	2,15	0,08
2		5%	1,94	1,92	-0,02
12		8%	2,00	1,84	-0,16

Muestra de suelo M3- Provincia Los Ríos - Cantón Babahoyo

Contenido de humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"			
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero			
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg			
NORMA:	NTE INEN 690 y ASTM D 2216			
PROVINCIA:	Los Ríos		**CANTÓN:**	Babahoyo
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL				
N° Calicata	**2**			
Número de recipiente	T1	T2	T3	T4
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,00	7,40	9,60	9,80
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	71,80	71,80	71,80	71,80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	50,40	50,10	50,70	50,10
Peso del agua (Ww) (gr)	21,40	21,70	21,10	21,70
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	40,40	42,70	41,10	40,30
Contenido de humedad (W%)	52,97	50,82	51,34	53,85
Promedio (W%)	**52,25%**			

Granulometría

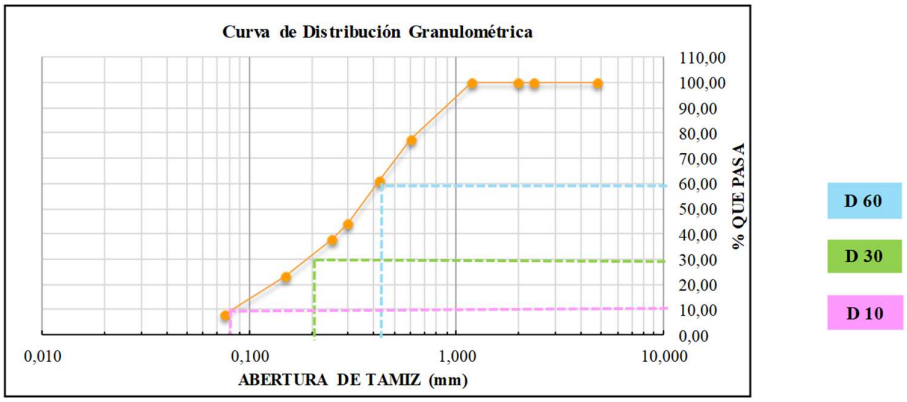
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS			
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Los Ríos - Babahoyo	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg	**PESO MUESTRA SECA**	1000	gr
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**Nº. CALICATA:**	3	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 8	2,360	0,30	0,30	0,03	99,97
No. 10	2,000	0,10	0,40	0,04	99,96
No. 16	1,180	0,80	1,20	0,12	99,88
No. 30	0,600	226,00	227,20	22,75	77,25
No. 40	0,425	162,00	389,20	38,97	61,03
No. 50	0,300	169,20	558,40	55,91	44,09
No. 60	0,250	59,50	617,90	61,86	38,14
No. 100	0,150	148,80	766,70	76,76	23,24
No. 200	0,075	149,80	916,50	91,76	8,24
BANDEJA		82,30	82,30	8,24	
TOTAL			998,80		



RESULTADOS

D10 (mm)	0,094	**Cu = D60 / D10**	4,426
D30 (mm)	0,209	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	1,117
D60 (mm)	0,416	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	4,760
Error Permitido	1,00%	**Error Calculado**	0,001

CLASIFICACIÓN

AASHTO	A - 2 - 7
SUCS	Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino (SP)Arena arcillosas, mezcla de arena - arcilla (SC)

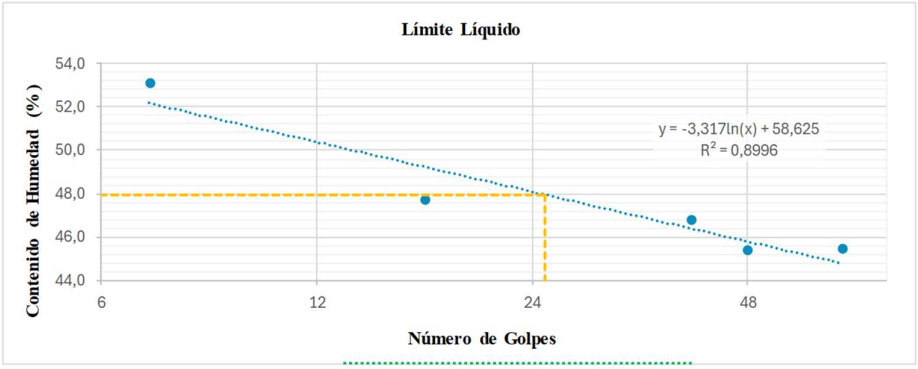
Límites de Atterberg

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

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Babahoyo
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg		
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**N° CALICATA:**	3

LÍMITE LÍQUIDO

Intervalo	*0 - 15*		*15 - 30*		*30 - 45*		*45 - 60*		*60 - 75*	
Número de Golpes	**7**		**17**		**40**		**48**		**65**	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de recipiente										
Peso del recipiente (Wr) (gr)	4,20	4,30	4,20	4,30	4,20	7,50	4,20	4,30	4,00	4,20
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	27,20	28,60	31,60	30,80	22,00	23,90	25,80	23,10	17,50	24,10
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	19,20	20,20	22,80	22,20	16,30	18,70	19,10	17,20	13,20	18,00
Peso del agua (Ww) (gr)	8,00	8,40	8,80	8,60	5,70	5,20	6,70	5,90	4,30	6,10
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	15,00	15,90	18,60	17,90	12,10	11,20	14,90	12,90	9,20	13,80
Contenido de humedad (W%)	53,33	52,83	47,31	48,04	47,11	46,43	44,97	45,74	46,74	44,20
Promedio (W%)	53,08		47,68		46,77		45,36		45,47	
Límite Líquido (LL%)	**47,95**									



LÍMITE PLÁSTICO

Número de muestra	1	2	3	4	5	6
Número de recipiente	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Peso del recipiente (Wr) (gr)	10,90	10,60	10,70	10,80	10,70	10,70
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	12,10	11,80	11,70	12,40	12,40	12,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	11,70	11,50	11,30	11,90	11,90	11,90
Peso del agua (Ww) (gr)	0,40	0,30	0,40	0,50	0,50	0,50
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	0,80	0,90	0,60	1,10	1,20	1,20
Contenido de humedad (W%)	50,00	33,33	66,67	45,45	14,50	14,50
Promedio (W%)	37,41					

RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
47,95	37,41	10,54

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

SUCS	Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino (SP), Arena arcillosas, mezcla de arena - arcilla (SC)	**AASHTO**	A - 2 - 7

Proctor Modificado tipo B

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

PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DEL SUELO		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Babahoyo
REVISADO POR:	Ing. Miriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.		
NORMAS:	AASHTO T180	**N°. CALICATA**	2

PROCTOR MODIFICADO "B"

Número de golpes:	56	Altura de caída:	18	plg	Peso del molde (gr):	14509,5
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10	lb	Volumen del molde (cm^3):	2116,01

Peso incial deseado (gr):	5000	5000	5000	5000

Proceso de Compactación

Numero de ensayo	1	2	3	4
Humedad añadida (%)	0	10	20	30
Humedad añadida (ml)	0	500	1000	1500
Suelo húmedo + molde (gr)	17848	18199	18821,5	18637
Peso suelo húmedo (gr)	3339	3690	4312	4128
Peso unitario húm. (gr)	1,578	1,744	2,038	1,951

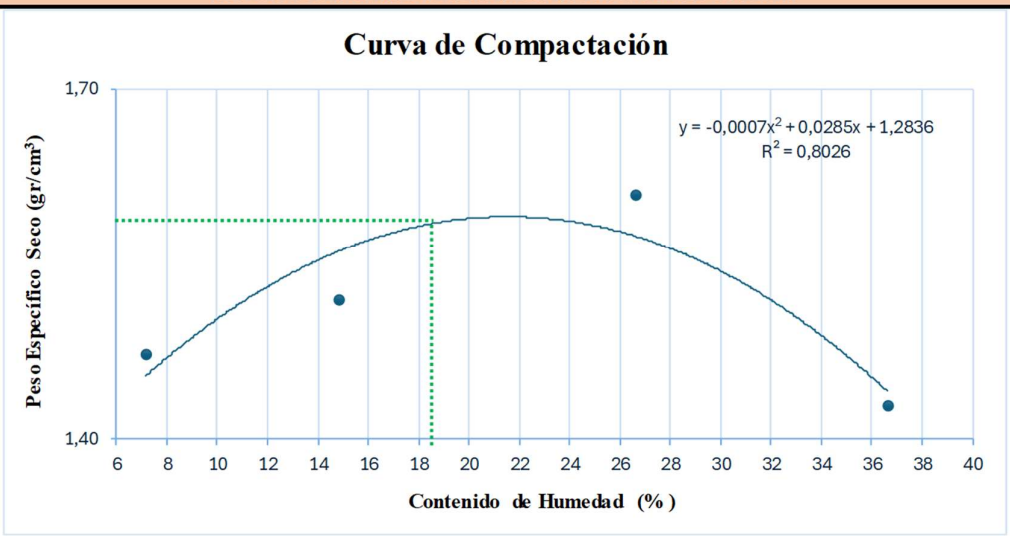
Determinacion del Contenido de Humedad

Numero de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de recipiente	S	I	S	I	S	I	S	I
Peso del recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Peso suelo húm. + recip (gr)	35,50	35,50	35,50	35,50	32,50	32,50	35,10	35,30
Peso suelo seco + recip (gr)	33,40	33,10	31,10	31,20	26,00	26,10	26,30	26,20
Peso del agua (gr)	2,10	2,4	4,4	4,3	6,5	6,4	8,8	9,1
Peso suelo seco (gr)	31,6	31,3	29,3	29,4	24,2	24,3	24,5	24,4
Contenido de agua (%)	6,65	7,67	15,02	14,63	26,86	26,34	35,92	37,30
W (%) Promedio	7,16		14,82		26,60		36,61	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,472		1,519		1,610		1,428	

RESULTADOS

Densidad Seca Máxima (gr/cm3):	1,521
Humedad Óptima:	18,40

GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA



CBR con el suelo natural

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

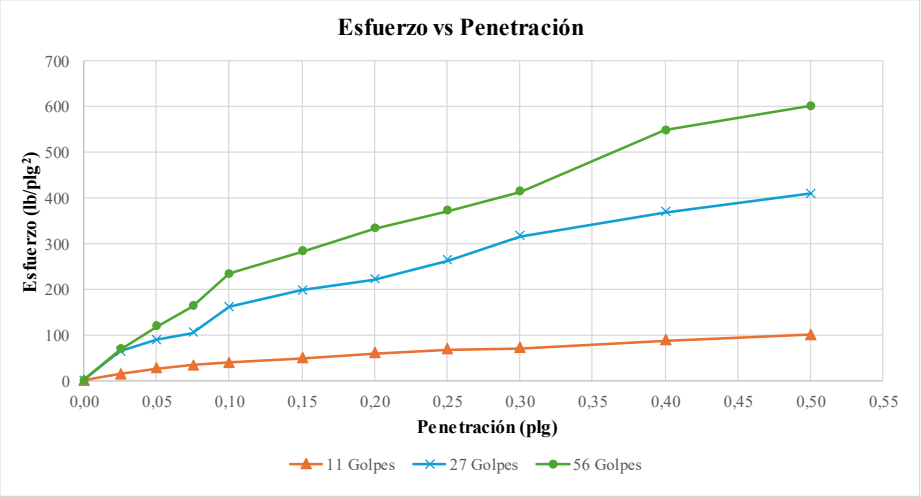
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"		
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero	**UBICACIÓN:**	Babahoyo
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg		
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883	**N°. CALICATA**	3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Molde	**18**		**9**		**14**	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,00
	Altura:	12,45	Altura:	12,45	Altura:	12,65
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12385,5		12355,5		13641,5	
Masa del molde (gr)	8452		8219,5		9155,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3933,5		4136		4486	
Volumen muestra (cm3)	2200,10		2229,53		2235,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,788		1,855		2,007	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	18,1	18,2	9,1	9,2	14,1	14,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	41,00	41,10	41,00	41,20	41,10	41,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	33,50	33,50	32,50	33,50	33,00	33,10
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	7,50	7,60	8,50	7,70	8,10	7,90
Masa suelo seco (gr)	31,70	31,70	30,70	31,70	31,20	31,30
Contenido de humedad (w%)	23,66	23,97	27,69	24,29	25,96	25,24
W % promedio	23,82		25,99		25,60	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,444		1,472		1,598	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	12621,5		12665,5		14027,5	
Masa del molde (gr)	8452		8219,5		9155,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4169,5		4446		4872	
Volumen muestra (cm3)	2200,10		2229,53		2235,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,895		1,994		2,179	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	18,1	18,2	9,1	9,2	14,1	14,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	53,20	53,20	53,30	53,30	53,10	53,30
Masa suelo seco + recip. (gr)	39,20	39,90	40,20	40,30	39,00	39,40
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	14,00	13,30	13,10	13,00	14,10	13,90
Masa suelo seco (gr)	35,25	35,95	36,25	36,35	35,05	35,45
Contenido de humedad (w%)	39,72	37,00	36,14	35,76	40,23	39,21
W % promedio	38,36		35,95		39,72	

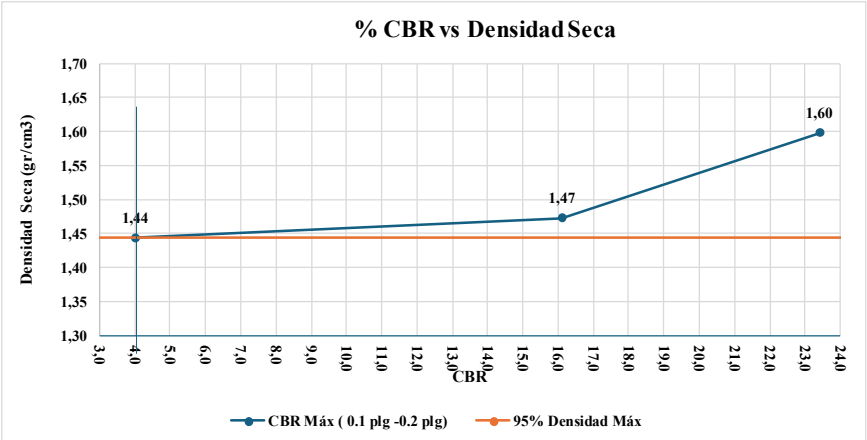
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**18**		**9**		**14**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	40,30	13,43	193,60	64,53	205,90	68,63
0,050	78,30	26,10	268,80	89,60	353,60	117,87
0,075	100,50	33,50	313,40	104,47	487,30	162,43
0,1	115,69	38,56	483,30	161,10	702,20	234,07
0,15	145,30	48,43	592,30	197,43	845,50	281,83
0,2	180,60	60,20	663,80	221,27	996,30	332,10
0,25	203,50	67,83	788,30	262,77	1114,30	371,43
0,3	211,30	70,43	945,30	315,10	1240,60	413,53
0,4	262,30	87,43	1106,50	368,83	1643,50	547,83
0,5	300,50	100,17	1226,30	408,77	1802,30	600,77

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	234,07	23,41	1,598	332,10	22,14	1,598
B	161,10	16,11	1,472	221,27	14,75	1,472
A	38,56	3,86	1,444	60,20	4,01	1,444

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



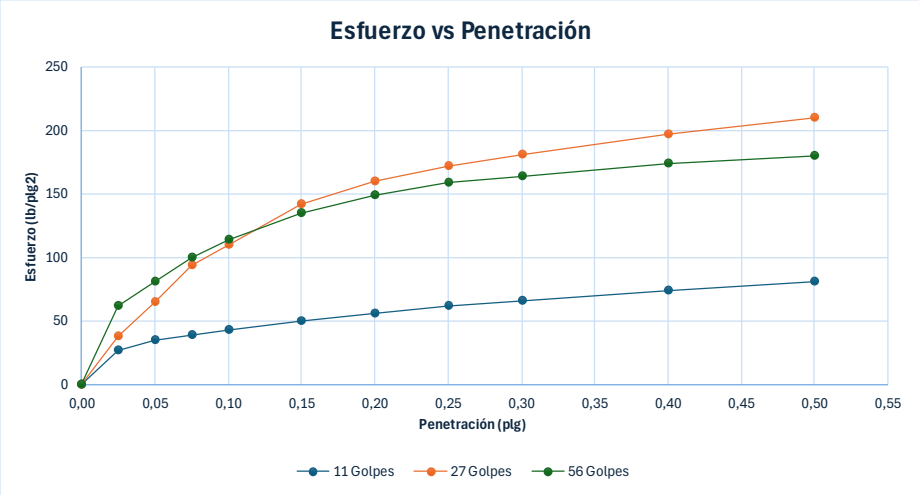
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,521		
DSM		**CBR %**	**Clasificación**	**Uso**
95%	1,445	4,30	Muy Mala	Subrasante

CBR con adición del 3% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO *FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA* *CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL*						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Babahoyo	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		3	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	14		18		5	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,00	Diámetro:	15,10
	Altura:	12,65	Altura:	12,45	Altura:	12,55
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13149		12001		13137,5	
Masa del molde (gr)	9155,5		8452		9643,5	
Masa muestra húmeda (gr)	3993,5		3549		3494	
Volumen muestra (cm3)	2235,44		2200,10		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,786		1,613		1,555	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	14,1	14,2	18,1	18,2	5,1	5,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,10	40,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	32,50	33,60	31,70	33,80	33,80	33,50
Masa recipiente (gr)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Masa del agua (gr)	7,50	6,40	8,30	6,20	6,30	6,60
Masa suelo seco (gr)	30,70	31,80	29,90	32,00	32,00	31,70
Contenido de humedad (w%)	24,43	20,13	27,76	19,38	19,69	20,82
W % promedio	22,28		23,57		20,25	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,461		1,305		1,293	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	13387		12313		13525,5	
Masa del molde (gr)	9155,5		8452		9643,5	
Masa muestra húmeda (gr)	4231,5		3861		3882	
Volumen muestra (cm3)	2235,44		2200,10		2247,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,893		1,755		1,727	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	14,1	14,2	18,1	18,2	5,1	5,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	30,10	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	23,70	23,60	24,30	24,30	24,50	24,70
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	6,40	6,40	5,70	5,70	5,50	5,30
Masa suelo seco (gr)	19,75	19,65	20,35	20,35	20,55	20,75
Contenido de humedad (w%)	32,41	32,57	28,01	28,01	26,76	25,54
W % promedio	32,49		28,01		26,15	

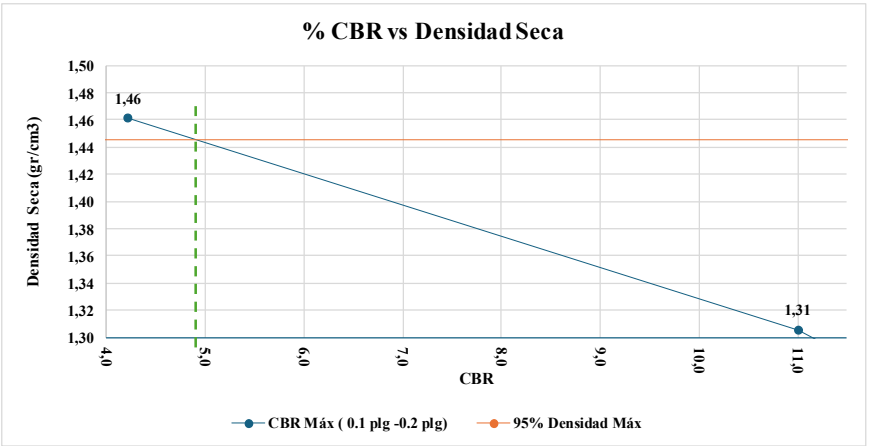
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**14**		**18**		**5**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	80,80	26,93	113,40	37,80	183,60	61,20
0,050	103,70	34,57	193,30	64,43	243,30	81,10
0,075	114,30	38,10	279,50	93,17	298,10	99,37
0,1	126,60	42,20	330,00	110,00	339,90	113,30
0,15	149,90	49,97	425,20	141,73	402,60	134,20
0,2	168,20	56,07	478,30	159,43	446,60	148,87
0,25	183,60	61,20	514,80	171,60	475,20	158,40
0,3	198,30	66,10	542,60	180,87	492,30	164,10
0,4	221,10	73,70	589,30	196,43	520,70	173,57
0,5	240,40	80,13	630,40	210,13	539,70	179,90

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	113,30	11,33	1,293	148,87	9,92	1,293
B	110,00	11,00	1,305	159,43	10,63	1,305
A	42,20	4,22	1,461	56,07	3,74	1,461

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



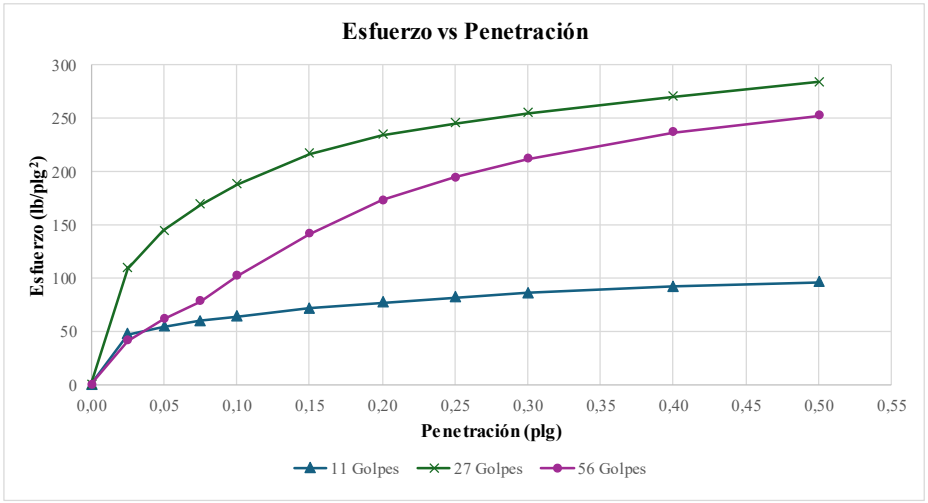
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,521		
DSM		**CBR %**	**Clasificación**	**Uso**
95%	1,445	4,90	Muy Mala	Subrasante

CBR con adición del 5% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO *FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA* *CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL*						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Babahoyo	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		3	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	**15**		**16**		**4**	
Dimensiones (cm)	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,00	**Diámetro:**	15,20
	Altura:	12,55	**Altura:**	12,55	**Altura:**	12,65
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	**11**		**27**		**56**	
Muestra húmeda + molde (gr)	13230,5		12157,5		14033,5	
Masa del molde (gr)	9596		9155		9374	
Masa muestra húmeda (gr)	**3634,5**		**3002,5**		**4659,5**	
Volumen muestra (cm3)	2217,77		2217,77		2295,45	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,639**		**1,354**		**2,030**	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	**15,1**	**15,2**	**16,1**	**16,2**	**4,1**	**4,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,10	40,10
Masa suelo seco + recip. (gr)	33,90	33,10	32,90	33,20	32,90	32,50
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**6,10**	**6,90**	**7,10**	**6,80**	**7,20**	**7,60**
Masa suelo seco (gr)	**29,95**	**29,15**	**28,95**	**29,25**	**28,95**	**28,55**
Contenido de humedad (w%)	**20,37**	**23,67**	**24,53**	**23,25**	**24,87**	**26,62**
W % promedio	**22,02**		**23,89**		**25,75**	
Peso unitario seco (gr/cm3)	**1,343**		**1,093**		**1,614**	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	13617,5		12469,5		14272	
Masa del molde (gr)	9596		9155		9374	
Masa muestra húmeda (gr)	**4021,5**		**3314,5**		**4898**	
Volumen muestra (cm3)	2217,77		2217,77		2295,45	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	**1,813**		**1,495**		**2,134**	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	**15,1**	**15,2**	**16,1**	**16,2**	**4,1**	**4,2**
Masa suelo húmedo + recip (gr)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	23,30	23,40	24,30	24,40	24,10	24,50
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	**6,70**	**6,60**	**5,70**	**5,60**	**5,90**	**5,50**
Masa suelo seco (gr)	**19,35**	**19,45**	**20,35**	**20,45**	**20,15**	**20,55**
Contenido de humedad (w%)	**34,63**	**33,93**	**28,01**	**27,38**	**29,28**	**26,76**
W % promedio	**34,28**		**27,70**		**28,02**	

Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**15**		**16**		**4**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	141,20	47,07	326,90	108,97	123,30	41,10
0,050	162,70	54,23	433,30	144,43	183,60	61,20
0,075	178,90	59,63	505,30	168,43	233,30	77,77
0,1	192,00	64,00	563,20	187,73	306,30	102,10
0,15	215,40	71,80	649,60	216,53	423,50	141,17
0,2	231,00	77,00	702,60	234,20	518,50	172,83
0,25	245,70	81,90	735,80	245,27	583,50	194,50
0,3	256,70	85,57	763,00	254,33	635,00	211,67
0,4	275,70	91,90	810,30	270,10	709,60	236,53
0,5	287,80	95,93	852,20	284,07	755,80	251,93

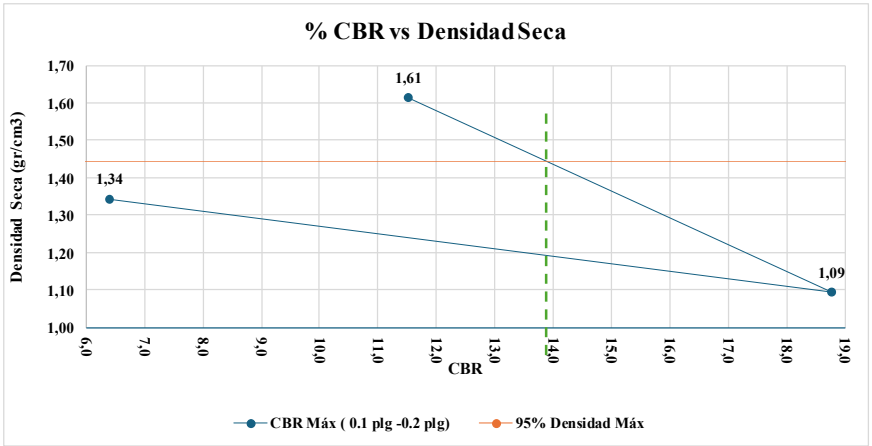
Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos

Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	102,10	10,21	1,614	172,83	11,52	1,614
B	187,73	18,77	1,093	234,20	15,61	1,093
A	64,00	6,40	1,343	77,00	5,13	1,343

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



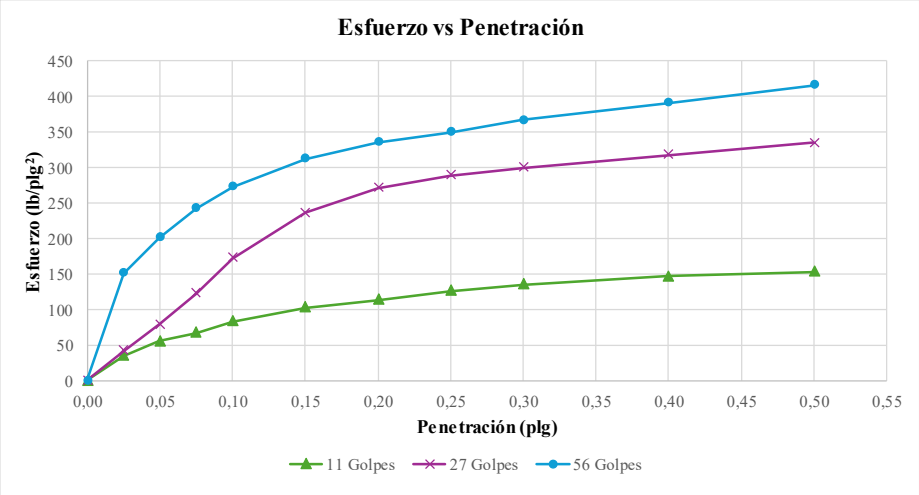
Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,521		
DSM		**CBR %**	**Clasificación**	**Uso**
95%	1,445	13,90	Regular - Buena	Subrasante

CBR con adición del 8% de CCC

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS"					
ELABORADO POR:	Michelle Yadira Capuz Mancero		**UBICACIÓN:**		Babahoyo	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg					
NORMAS:	AASHTO T193 y ASTM D 1883		**Nº. CALICATA**		3	
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Molde	9		6		11	
Dimensiones (cm)	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15,10	Diámetro:	15
	Altura:	12,45	Altura:	12,55	Altura:	12,65
Proceso de Compactación						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12152		13775,5		14119	
Masa del molde (gr)	8643,5		9178,5		9596	
Masa muestra húmeda (gr)	3508,5		4597		4523	
Volumen muestra (cm3)	2229,53		2247,44		2235,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,574		2,045		2,023	
Contenido de Humedad						
Número de recipiente	9,1	9,2	6,1	6,2	11,1	11,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	40,10	40,10	40,10	40,10	40,00	40,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	32,40	33,70	33,30	32,80	32,90	32,80
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	7,70	6,40	6,80	7,30	7,10	7,20
Masa suelo seco (gr)	28,45	29,75	29,35	28,85	28,95	28,85
Contenido de humedad (w%)	27,07	21,51	23,17	25,30	24,53	24,96
W % promedio	24,29		24,24		24,74	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,266		1,646		1,622	
Después de la Saturación						
Muestra húmeda + molde (gr)	12540		14087,5		14357	
Masa del molde (gr)	8643,5		9178,5		9596	
Masa muestra húmeda (gr)	3896,5		4909		4761	
Volumen muestra (cm3)	2229,53		2247,44		2235,44	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,748		2,184		2,130	
Contenido de Humedad						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	9,1	9,2	6,1	6,2	11,1	11,2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	30,10	30,00	30,10	30,10	30,00	30,00
Masa suelo seco + recip. (gr)	23,50	23,60	24,20	24,20	24,70	24,30
Masa recipiente (gr)	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Masa del agua (gr)	6,60	6,40	5,90	5,90	5,30	5,70
Masa suelo seco (gr)	19,55	19,65	20,25	20,25	20,75	20,35
Contenido de humedad (w%)	33,76	32,57	29,14	29,14	25,54	28,01
W % promedio	33,16		29,14		26,78	

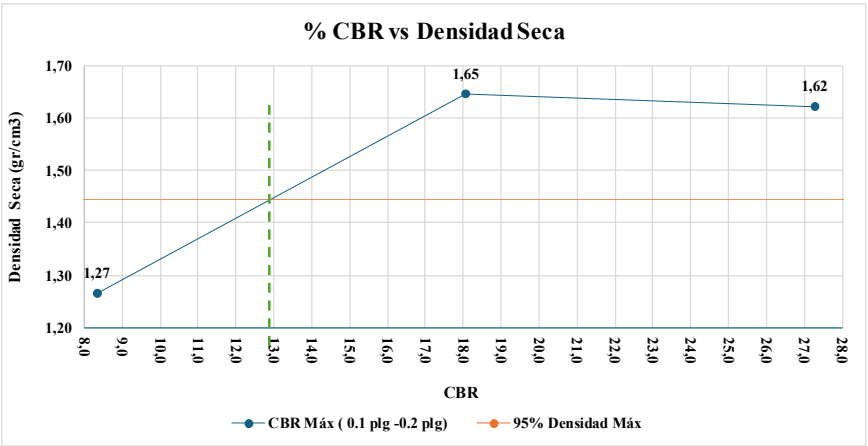
Ensayo de Carga - Penetración						
Máquina de compresión simple	Área Piston = 3 plg^2		Vel. Carga = 1.27 mm/min (0.05 plg/min)			
Molde	**9**		**6**		**11**	
Penetración (plg)	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**	**Dial**	**Presión (lb/plg^2)**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	103,40	34,47	126,50	42,17	453,00	151,00
0,050	165,30	55,10	235,30	78,43	603,30	201,10
0,075	200,30	66,77	367,80	122,60	728,30	242,77
0,1	249,80	83,27	518,60	172,87	818,30	272,77
0,15	308,20	102,73	708,60	236,20	936,00	312,00
0,2	340,30	113,43	813,10	271,03	1005,80	335,27
0,25	379,20	126,40	867,20	289,07	1049,10	349,70
0,3	405,00	135,00	899,20	299,73	1099,40	366,47
0,4	441,00	147,00	953,10	317,70	1172,80	390,93
0,5	457,70	152,57	1002,40	334,13	1247,60	415,87

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Molde	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.1 plg**	**Densidad Seca**	**Presión (lb/plg^2)**	**CBR 0.2 plg**	**Densidad Seca**
C	272,77	27,28	1,622	335,27	22,35	1,622
B	172,87	17,29	1,646	271,03	18,07	1,646
A	83,27	8,33	1,266	113,43	7,56	1,266

Gráfica de % CBR vs Densidad Seca



Densidad seca máxima (gr/cm^3)		1,521		
DSM		**CBR %**	**Clasificación**	**Uso**
95%	1,445	12,90	Regular - Buena	Subrasante

Esponjamiento

Molde	Golpes	Contenido de ceniza	Lectura inicial (mm)	Lectura final (mm)	Esponjamiento (mm)
18	**11**	Natural	2,1	2,70	0,60
14		3%	1,14	1,20	0,06
15		5%	2,06	2,30	0,24
9		8%	2,25	2,90	0,65
9	**27**	Natural	1,8	2,01	0,21
18		3%	2,25	2,28	0,03
16		5%	1,97	2,30	0,33
6		8%	2,32	2,44	0,12
14	**56**	Natural	1,9	2,71	0,81
5		3%	1,95	2,05	0,10
4		5%	1,98	1,94	-0,04
11		8%	2,00	2,10	0,10

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

Solicitante: Srta. Susana Mancero
Atención: Srta. Michelle Capuz
Referencia: ST - 8958
Fecha: 12/06/2025

Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:

Muestra 1: Ceniza de cáscara de coco (*Código registrado según el solicitante*).

El análisis químico de la muestra se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1
	Contenido (%)
K	25,92
Si	12,89
Cl	5,41
Ca	4,95
Mg	3,61
Na	2,43
Al	2,40
P	2,37
Fe	2,27
S	0,49
Ti	0,20
Sr	0,05
Mn	0,05
Br	0,03
Zn	0,02
Cu	0,02
Cr	0,01

Nota: *La muestra fue analizada mediante* ***pastilla prensada*** *utilizando el método QuantExpress. Además, es importante indicar que,* ***el equipo de FRX*** *lee los elementos presentes en la muestra* ***desde el sodio hasta el uranio.***

Firmado electrónicamente por: DIANA ENDARA DRANICHNIKOVA
Validar únicamente con FirmaEC

Firmado electrónicamente por: EVELYN PAMELA CRIOLLO TIRADO
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Diana Endara PhD.
Jefa de Departamento

MSc. Evelyn Criollo
Jefa de Laboratorio

Análisis de Precios Unitarios

Suelo del Oriente – Estabilización con CCC

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con Ceniza de la cáscara de coco **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Oriente

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	***A***	***B***	***C = AxB***	***R***	***D = CxR***
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Ceniza de cáscara de coco	KG	57,9	0,13	7,469
SUBTOTAL O				7,874

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		17,94
INDIRECTOS (%)	20,00%	3,59
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		21,52
VALOR UNITARIO		**21,52**

Suelo del Oriente – Estabilización con Cal

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con cal **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Oriente

EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Cal	KG	38,6	0,23	8,801
SUBTOTAL O				9,206

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		19,27
INDIRECTOS (%)	20,00%	3,85
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		23,12
VALOR UNITARIO		**23,12**

Suelo del Oriente – Estabilización con Cemento

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con cemento **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Oriente

EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Cemento	KG	115,8	0,12	13,433
SUBTOTAL O				13,838

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		23,90
INDIRECTOS (%)	20,00%	4,78
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		28,68
VALOR UNITARIO		**28,68**

Suelo de la Sierra – Estabilización con CCC

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con ceniza de la cáscara de coco **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Sierra

EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Ceniza de cáscara de coco	KG	86,5	0,13	11,159
SUBTOTAL O				11,564

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		21,63
INDIRECTOS (%)	20,00%	4,33
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		25,95
VALOR UNITARIO		**25,95**

Suelo de la Sierra – Estabilización con Cal

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con cal **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Sierra

EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Cal	KG	34,6	0,23	7,889
SUBTOTAL O				8,294

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		18,36
INDIRECTOS (%)	20,00%	3,67
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		22,03
VALOR UNITARIO		**22,03**

Suelo de la Sierra – Estabilización con Cemento

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con cemento **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Cevallos

EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Cemento	KG	86,5	0,12	10,034
SUBTOTAL O				10,439

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		20,50
INDIRECTOS (%)	20,00%	4,10
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		24,60
VALOR UNITARIO		**24,60**

Suelo de la Costa – Estabilización con CCC

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con Ceniza de la cáscara de coco **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Costa

EQUIPOS DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Ceniza de cáscara de coco	KG	76	0,13	9,956
SUBTOTAL O				10,361

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		20,42
INDIRECTOS (%)	20,00%	4,08
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		24,51
VALOR UNITARIO		**24,51**

Suelo de la Costa – Estabilización con Cal

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con cal **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Costa

EQUIPOS DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Cal	KG	68,4	0,23	15,595
SUBTOTAL O				16,001

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		26,06
INDIRECTOS (%)	20,00%	5,21
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		31,27
VALOR UNITARIO		**31,27**

Suelo de la Costa – Estabilización con Cemento

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

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA CENIZA DE LA CÁSCARA DE COCO COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS

RUBRO: Suelo estabilizado con cemento **UNIDAD:** M3
DESCRIPCIÓN: Suelo Costa

EQUIPOS DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Herramienta Menor 5% M.O	1	0,01	0,01	1	0,01
Motoniveladora 125 HP	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Rodillo vibratorio 8 Tn	1	35,4	35,4	0,067	2,37
Tanquero de agua	1	35,4	35,4	0,067	2,37
SUBTOTAL M					7,13

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD *A*	TARIFA *B*	COSTO HORA *C = AxB*	RENDIMIENTO *R*	COSTO *D = CxR*
Operador motoniveladora (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Operado rodillo vibratorio (EST. OCUP. C1 G1)	1	4,75	4,75	0,067	0,32
Chofer tanquero de agua (EST. OCUP. C1)	4	4,35	17,4	0,067	1,17
Peón (EST. OCP. E2)	4	4,23	16,92	0,067	1,13
SUBTOTAL N					2,94

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
Agua	M3	0,2702	1,50	0,405
Cemento	KG	121,6	0,116	14,106
SUBTOTAL O				14,511

TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD *A*	PRECIO UNIT *B*	COSTO *C = A x B*
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		24,57
INDIRECTOS (%)	20,00%	4,91
UTILIDAD (%)	0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		29,49
VALOR UNITARIO		**29,49**

Anexos fotográficos

- **Extracción de muestras**



Calicatas de suelos M1, M2 y M3

- **Contenido de humedad**



Pesos de muestras para contenido de humedad

- **Granulometría**



Granulometría, tamizado y peso retenido en cada tamiz

- **Límites de Atterberg**





Límite plástico y límite líquido

- **Propiedades Mecánicas**





Ensayo Proctor y CBR

- **Proceso de calcinación**




Horno Artesanal