



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

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

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA
DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO**

AUTOR: Christian Javier Portero Panimbosa

TUTOR: Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

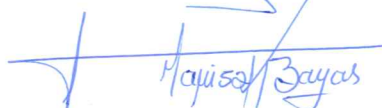
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”, elaborado por el Sr. Christian Javier Portero Panimbosa, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 180533957-7, 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.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024




**Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.
TUTOR**

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Christian Javier Portero Panimbosa**, con C.I. 180533957-7, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



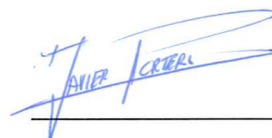
Christian Javier Portero Panimbosa
C.I. 180533957-7
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2024



Christian Javier Portero Panimbosa
C.I. 180533957-7
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Christian Javier Portero Panimbosa, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO”.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis hermanos cuyo apoyo incondicional y aliento constante han sido fuentes invaluable de inspiración, por su comprensión, paciencia y por ser mi fuente de fortaleza durante este desafiante pero enriquecedor viaje académico.

A mis padres, quienes han sido mi mayor motivación y cuyo sacrificio ha hecho posible que hoy pueda alcanzar esta meta. A mis amigos, por compartir risas, desafíos y por ser pilares fundamentales en cada etapa de este camino.

Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que han dejado una huella en mi trayectoria académica. A cada maestro, profesor, y a todos aquellos que han contribuido de alguna manera a mi formación.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de alguna manera a la realización de este trabajo de titulación.

A mi tutora Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus valiosos comentarios y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo y mejora de este trabajo.

Agradezco a mis profesores por su dedicación y enseñanzas que han sido la base de mi formación académica.

Quiero extender mi gratitud a mis amigos y familiares por su aliento inquebrantable y comprensión durante los momentos desafiantes. Su apoyo moral ha sido fundamental para mi éxito.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de alguna manera, han contribuido a la culminación de este proyecto.

Este logro no hubiera sido posible sin el respaldo de cada uno de ustedes.

¡Gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II	6
METODOLOGÍA	6
2.1 Materiales	6
2.2 Métodos	8
2.2.1 Fase preliminar	8
2.2.1.1 Recolección de la materia prima	9
2.2.1.1.1 Suelo	9
2.2.1.1.2 Ceniza de la cascarilla de arroz	12
2.2.2 Fase 1	13
2.2.2.1 Ensayos	14
2.2.2.1.1 Contenido de humedad natural.....	14
2.2.2.1.2 Análisis Granulométrico.....	15

2.2.2.1.3 Gravedad específica de sólidos	17
2.2.2.1.4 Límites de Atterberg.....	19
2.2.2.1.4.1. Límite Líquido.....	19
2.2.2.1.4.2. Límite Plástico.....	21
2.2.2.1.4.3. Índice de plasticidad	21
2.2.2.1.5 Proctor Modificado.....	22
2.2.2.1.6 California Bearing Ratio (CBR).....	24
2.2.2.2 Clasificación del suelo	26
2.2.2.2.1 Sistema de clasificación AASHTO	26
2.2.2.2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS	29
2.2.3 Fase 2.....	31
2.2.4 Fase 3.....	33
CAPÍTULO III.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 Propiedades del suelo en estado natural	34
3.1.1 Propiedades físicas.....	34
3.1.1.1 Color.....	34
3.1.1.2 Humedad natural	35
3.1.1.3 Gravedad específica	35
3.1.1.4 Granulometría	35
3.1.1.5 Límites de Atterberg	35
3.1.1.6 Tipo de suelo, clasificación SUCS y AASHTO.....	36
3.1.2 Propiedades mecánicas.....	38
3.1.2.1 Análisis Proctor modificado suelo natural	38
3.1.2.2 Análisis CBR suelo natural	39
3.2 Características de la ceniza.....	39
3.2.1 Gravedad específica.....	39

3.2.2 Granulometría.....	40
3.3 Análisis de la adición óptima de CCA	41
3.3.1 Muestra de suelo M1.....	41
3.3.2 Muestra de suelo M2.....	42
3.3.3 Muestra de suelo M3.....	43
3.4 Propiedades de los suelos estabilizados y no estabilizados.....	43
3.4.1 Análisis Proctor modificado y CBR muestra de suelo M1.....	44
3.4.1.1 Análisis Proctor modificado.....	44
3.4.1.2 Análisis ensayo CBR.....	45
3.4.1.3 Análisis Esponjamiento.....	47
3.4.1.4 Análisis CBR con CCA óptimo	48
3.4.2 Análisis Proctor modificado y CBR muestra de suelo M2.....	48
3.4.2.1 Análisis Proctor modificado.....	48
3.4.2.2 Análisis ensayo CBR.....	50
3.4.2.3 Análisis Esponjamiento.....	51
3.4.2.4 Análisis CBR con CCA óptimo	52
3.4.3 Análisis Proctor modificado y CBR muestra de suelo M3.....	53
3.4.3.1 Análisis Proctor modificado.....	53
3.4.3.2 Análisis CBR.....	55
3.4.3.3 Análisis Esponjamiento.....	56
3.4.3.4 Análisis CBR con CCA óptimo	57
3.5 Análisis económico	58
3.6 Verificación de hipótesis	60
CAPÍTULO IV	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
4.1 Conclusiones.....	63
4.2 Recomendaciones	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

ANEXOS..	69
5.1. ANEXO A: Fotografías ensayos	69
5.2. ANEXO B: Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para diferentes temperaturas.....	77
5.3. ANEXO C: Ensayos de laboratorio.....	78
5.3 ANEXO D: Rubros para análisis de costo	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Ubicación de las muestras de estudio.....	11
Tabla 02. Cantidad de suelo necesario en cada ensayo.....	12
Tabla 03. Cantidad de CCA necesario en cada ensayo.....	13
Tabla 04. Determinación del contenido de humedad natural muestra M3.....	14
Tabla 05. Distribución granulométrica muestra M2	16
Tabla 06. Valores típicos de Gs	19
Tabla 07. Valores de penetración muestra M2 + 15 %CCA.....	24
Tabla 08. Clasificación del suelo de acuerdo con el valor de CBR	26
Tabla 09. Clasificación de materiales AASHTO para el primer grupo.	27
Tabla 10. Clasificación de materiales AASHTO para el segundo grupo.....	28
Tabla 11. Sistema de clasificación SUCS para grupo de suelo tipo grava.....	29
Tabla 12. Sistema de clasificación SUCS para grupo de suelo tipo arena.....	30
Tabla 13. Sistema de clasificación SUCS para grupo de suelo tipo limo y arcilla. ..	30
Tabla 14. Propiedades físicas	34
Tabla 15. % de suelo que pasa por la malla #10, #40 y #200	35
Tabla 16. Límites de Atterberg	36
Tabla 17. Clasificación de los suelos	36
Tabla 18. Propiedades mecánicas suelo en estado natural	38
Tabla 19. Distribución granulométrica Ceniza de la cascarilla de arroz.....	40
Tabla 20. Valor de CBR estabilizado y no estabilizado.....	41
Tabla 21. Propiedades mecánicas suelos estabilizados y no estabilizados	44
Tabla 22. Incremento del valor de CBR muestra M1	46
Tabla 23. Incremento del valor de CBR muestra M2	50
Tabla 24. Incremento del valor de CBR muestra M3	55
Tabla 25. Precio de estabilización por metro cúbico	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Gráfico 01. Curva granulométrica muestra M2	17
Gráfico 02. Límite Líquido (Copa Casagrande) muestra M3	20
Gráfico 03. Curva de compactación.....	23
Gráfico 04. Diagrama de esfuerzo vs penetración muestra M2 + 5 % CCA	25
Gráfico 05. Carta de plasticidad AASHTO.....	28
Gráfico 06. Carta de plasticidad SUCS.....	31
Gráfico 07. Contenido de CCA vs CBR	33
Gráfico 08. Muestras M1, M2 y M3 dentro de la carta de plasticidad SUCS.....	36
Gráfico 09. Muestras M1, M2 y M3 dentro de la carta de plasticidad AASHTO	37
Gráfico 10. Curva granulométrica Ceniza de la cascarilla de arroz.....	40
Gráfico 11. CBR de la muestra M1 + CCA en diferentes proporciones.....	41
Gráfico 12. CBR de la muestra M2 + CCA en diferentes proporciones.....	42
Gráfico 13. CBR de la muestra M3 + CCA en diferentes proporciones.....	43
Gráfico 14. Proctor modificado muestra M1	45
Gráfico 15. Resultados ensayo CBR muestra M1.....	46
Gráfico 16. Esponjamiento a las 72 horas muestra M1.....	47
Gráfico 17. Relación óptima CCA= 26.80 % y CBR=34.00 % muestra M1.....	48
Gráfico 18. Proctor modificado muestra M2	49
Gráfico 19. Resultados ensayo CBR muestra M2.....	50
Gráfico 20. Esponjamiento a las 72 horas muestra M2.....	52
Gráfico 21. Relación óptima CCA= 12.30 % y CBR=39.25 % muestra M2.....	52
Gráfico 22. Proctor modificado muestra M3	53
Gráfico 23. Resultados ensayo CBR muestra M3.....	55
Gráfico 24. Esponjamiento a las 72 horas muestra M3.....	57
Gráfico 25. Relación óptima CCA= 26.00 % y CBR=20.90 % muestra M3.....	57
Gráfico 26. Precio de estabilización por metro cúbico con CCA, Cemento y Cal ...	59
Gráfico 27. CBR con adiciones de CCA – Muestra de suelo M1 - Tisaleo.....	60
Gráfico 28. CBR con adiciones de CCA – Muestra de suelo M2 - Cevallos.....	60
Gráfico 29. CBR con adiciones de CCA – Muestra de suelo M3 – Puyo.....	61

Imagen N° 01. Excavación de una calicata.	9
Imagen N° 02. Excavación calicata muestra M1- Cevallos - Tungurahua	10
Imagen N° 03. Excavación calicata muestra M2 – Tisaleo - Tungurahua.....	10
Imagen N° 04. Excavación calicata muestra M3 – Puyo - Pastaza.....	11
Imagen N° 05. Incineración de la cascarilla de arroz.....	12
Imagen N° 06. Ensayo de análisis granulométrico	17
Imagen N° 07. Ensayo de gravedad específica	18
Imagen N° 08. Ensayo Límite Líquido (Copa Casagrande).....	20
Imagen N° 09. Ensayo Límite Plástico LP.....	21
Imagen N° 10. Ensayo Proctor Modificado	23
Imagen N° 11. Ensayo CBR.....	26
Imagen N° 12. Muestra de suelo + CCA.....	32
Imagen N° 13. Color de las muestras de suelo en estado natural	34
Imagen N° 14. Color de la CCA luego de la incineración	39

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación surge como una alternativa en la estabilización del suelo mediante el aprovechamiento de la ceniza de la cascarilla de arroz (CCA) generando un impacto positivo en el medio ambiente. La industria arrocera genera gran cantidad de residuos agrícolas que no son aprovechados: cómo la cascarilla de arroz que, al ser calcinada a temperaturas superiores a 500 grados centígrados, produce ceniza rica en sílice.

Para conocer la influencia de la CCA en las propiedades mecánica de los suelos, se tomó una muestra de tres lugares diferentes, los ensayos de Proctor modificado y CBR fueron realizados, primero con muestras de suelo en estado natural y luego con reemplazo de CCA en diferentes proporciones (15, 25 y 35 por ciento). Los datos revelaron que: la inclusión de CCA lleva a un incremento del contenido de humedad óptimo y una disminución en la densidad seca máxima además expresan una mejora significativa del CBR, para un suelo arenoso SM con la adición de 26.80 por ciento de CCA, el CBR aumentó en 18.30 por ciento, para una arena limosa ML con la adición de 12.30 por ciento de CCA, el valor de CBR incrementó en 12.55 por ciento, por otro lado, para una arcilla CH con la adición de 26.00 por ciento de CCA, el CBR incrementó en 11.10 por ciento.

En consecuencia, los resultados obtenidos del presente proyecto experimental podrán ser utilizados como un punto de partida en cuanto al desarrollo de nuevos métodos y materiales para estabilizar el suelo.

Palabras clave: suelo arenoso, arena limosa, suelo arcilloso, estabilización de suelo, CCA, humedad óptima, densidad seca, CBR.

ABSTRACT

This research arises as an alternative in soil stabilization by using rice husk ash (RHA) to generate a positive impact on the environment. The rice industry generates a huge amount of agricultural waste that are not used, such as rice husk, which, when it is incinerated under controlled temperatures exceeding 500 degrees Celsius, produce ash rich in silica.

To assess the influence of RHA on the mechanical properties of soils, one sample of soil was taken from three different locations, tests like modified Proctor and CBR were conducted initially on natural soil samples and subsequently with the replacement of RHA in different proportions (15, 25, and 35 percent). The data revealed that the inclusion of RHA led to an increase in the optimum moisture content and a decrease in maximum dry density, also showed a significant improvement in CBR, where, for sandy soil SM with the addition of 26.80 percent of RHA, the CBR increased by 18.30 percent, for sandy silty soil ML with the addition of 12.30 percent of RHA, the CBR increased by 12.55 percent, and for clayed soil CH with the addition of 26.00 percent of RHA, the CBR increased by 11.10 percent.

Consequently, the findings from this experimental project could serve as a starting point for the development of new methods and materials for soil stabilization.

Keywords: sandy soil, sandy silty soil, clayey soil, soil stabilization, RHA, optimum moisture, dry density, CBR.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

En algunos de los casos el suelo sobre el cual se requiere edificar cualquier proyecto de ingeniería no cumple con los parámetros mínimos requeridos, lo que genera la necesidad de buscar de otras alternativas como el reemplazo o el estabilizar el suelo, la estabilización de suelos con ceniza de la cascarilla de arroz ha surgido como una alternativa que busca solventar algunos de los problemas presentes en el suelo, por lo cual se han realizado diversas investigaciones que han buscado demostrar que se puede mejorar la capacidad portante del suelo mediante la adición de escoria.

La producción de arroz en el Ecuador se ha incrementado en los últimos años, por lo cual la producción de residuos arroceros como la cascarilla de arroz también crece. A medida que la producción de cascarilla de arroz crece, se generan problemas ambientales ya que estos residuos se queman sin ninguna clase de aprovechamiento [1]. De acuerdo con el MAGAP, alrededor del 50 % de la cascarilla de arroz es quemada en las piladoras, bosque, terrenos [2]. Esto indica un gran potencial en el aprovechamiento de estos residuos como material estabilizante.

En el año 2019 K. Kodicherla y K. Nandyala [3] llevaron a cabo un estudio para analizar la influencia de las fibras de coco y las cenizas volantes mezcladas aleatoriamente en la estabilización de una subrasante arcillosa, y se encontró que, al incrementar las adiciones de ceniza volante, da como resultado una reducción el comportamiento plástico del suelo, el índice de plasticidad decrece linealmente con la adición de ceniza volante. Los picos de la curva de compactación caen al incrementarse el contenido de cenizas volantes de 0 a 30 %, la densidad seca máxima disminuyó de 17.5 a 15.8 kN/m³. El esfuerzo de compresión no confinada se incrementó en alrededor del 50 % para un suelo mezclado con 20 % de cenizas volantes en comparación con el suelo no estabilizado, de igual manera el valor de soporte de california CBR incrementó en un 6 %.

De igual manera, T. Karatai [4], expresa que, con la adición de un 20 % de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) y un 2 % de limo natural (NL) la capacidad portante del suelo arcilloso incrementó significativamente de un valor de CBR de 2 % a 9 %, valor de CBR mínimo para ser considerado en una capa de subrasante, además, con la

adición de 20 % RHA y 2 % NL el índice de plasticidad del suelo (PI) se redujo de 56 % al 8 % siendo el PI máximo permitido de 50 %.

Por su parte, G. Kodaz *et al.* [5], evidenciaron que el uso de cenizas volantes ayudó a mejorar las características de resistencia de las arcillas expansivas altamente plásticas, pues con la adición de un 20 % de ceniza volante en peso, la resistencia a la compresión no confinada (UCS) incrementó en un 66 %, pasó de 21.1 kPa a 35 kPa , de igual manera, los valores de CBR aumentaron en un 65 % pasando de 3.9 % a 6.4 %, con lo que concluyeron que las cenizas volantes son un aditivo confiable en el mejoramiento de las características de resistencia de los suelos expansivos, además recomendaron considerar contenidos de cenizas volantes superiores al 20 % para obtener mejores resultados.

En la misma línea, E. Wibowo *et al* [6], demostraron que la adición de ceniza y cemento afecta positivamente al suelo y las pruebas realizadas en laboratorio rebelaron que la capacidad portante del suelo aumentó en comparación con las muestras de suelo no estabilizada, además, el contenido de agua disminuyó con la incorporación de la ceniza de cascarilla de arroz y cemento puzolánico.

D. Ewa *et al* en su artículo [7], destaca que la sílice es el componente principal de la ceniza de la cascarilla de arroz (RHA) por lo cual es importante en la estabilización de la subrasante, pues aumenta su capacidad portante, demostró que con una adición del 10 % de RHA se incrementó en un 63.43 % los valores de CBR, pasando de 6.89 % a 11.26 %, también se observó que al aumentar la cantidad de RHA se genera un incremento en el contenido de humedad óptimo y una disminución en la densidad seca máxima. Con respecto a los límites de Atterberg se observó que al aumentar el contenido de RHA existe una disminución en el límite líquido y un incremento en el límite plástico.

H. Tuhin y A. Julfikar realizaron una investigación para conocer los efectos de la adición de ceniza de cascara de arroz (RHA) en diferentes cantidades sobre las propiedades del suelo [8] y encontraron que al incrementar el contenido de RHA se incrementa la humedad óptima, la densidad seca máxima disminuye, al incrementar la cantidad de RHA y con el avance del tiempo, la propiedad cementante de la ceniza se vuelve más efectiva lo que produce un incremento en la resistencia del suelo de alrededor de un 20 % con la adición de un 20 % de RHA y un curado de 28 días.

En base a investigaciones y ensayos de laboratorio, K. Brahmachary *et al* en un artículo de investigación [9], encontraron que; el valor de densidad seca máxima disminuye gradualmente al incrementar el contenido de ceniza de cáscara de arroz (RHA) de 16.66 a 13.08 kN/m³, mientras que el contenido de humedad óptimo incrementa del 12.23 al 16.88 % que es un incremento de alrededor de un 38 % con respecto al suelo en estado natural. Con la adición de un 15 % de RHA el valor de CBR sumergido y no sumergido incrementa hasta 4.48 % y 6.67 % respectivamente, lo que indica un incremento de aproximadamente un 48.35 % y 31.29 % respectivamente en comparación al suelo en estado natural.

Por otra parte, en el ámbito latinoamericano, A. Castro [10], mediante estudios y ensayos de laboratorio obtuvo resultados que demostraron que es factible utilizar la ceniza de la cascarilla de arroz como agente estabilizador en suelos medianamente plásticos expansivos, con la adición de un 20 % de ceniza de cascarilla de arroz el valor de CBR se incrementó en un 100 % de la densidad seca máxima del Proctor modificado de 5 hasta 38.5 %, lo que indicó un incremento de 6 veces del valor inicial.

L. Behak y W. Nuñez [11], estimaron que al adicionarse un 20 % de ceniza de cascarilla de arroz y un 10 % de cal al suelo, se produce una corrección granulométrica, causando que el valor de CBR aumente en 2.8 veces, pasando de 9 % para el suelo sin estabilizar a 25 % de CBR para el suelo estabilizado. De esta manera se afirmó que la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz y cal mejora las características del material.

Bajo la misma premisa y en busca de materiales alternativos para estabilizar suelos, R. Montejo *et al* [12], concluyeron que el uso de ceniza de la cascarilla de arroz en la estabilización de suelo del tipo limoso y arcilloso es propicio, pues la ceniza de la cascarilla de arroz ayuda a incrementar los valores de CBR y la capacidad de soporte del suelo.

En cuanto a la utilización de cal y ceniza volate, A. Gonzáles [13], demostró que estos, afectan de manera positiva las propiedades del suelo de tipo cohesivo, pues al incorporarse un 15 % de ceniza volante y un 5 % de cal, el valor de CBR se incrementó 4 veces con respecto al valor inicial, lo que indica que la utilización de cal y ceniza volante es eficaz en la estabilización de suelos cohesivos.

Otro estudio, en el cual I. Llauce y D. Perez [14], evidenciaron en su tesis que con la adición de un 15 % de ceniza de la cascarilla de arroz el valor de CBR aumentó 3.31 veces, pasando de 3.50 a 11.60 %, con respecto a los valores de contenido de humedad óptima y densidad seca máxima, se evidenció que al adicionar la ceniza de cascarilla de arroz el valor de humedad óptima pasó de 14.92 % para el suelo en estado natural, a un 15.94 % para un suelo estabilizado con el 15 % de ceniza de la cascarilla de arroz.

I. Murillo en el 2016 realizó un estudio acerca del “Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente” [15], en el cual demostró mediante estudios y ensayos de laboratorio que, al adicionarse un 4 % de ceniza de cascarilla de arroz CCA el módulo resiliente alcanzó una mejora del 21.7 %, y un incremento en más del 100 % de la resistencia no confinada del material, lo que induce un incremento en la resistencia del material.

En Ecuador, hay que tener en cuenta que F. Oña y E. Estévez [16], en su trabajo escribieron que se apreció una reducción del índice de expansión al incrementarse el contenido de ceniza de cascarilla de arroz, se obtuvo un mayor descenso al adicionarse 30 % de ceniza de cascarilla de arroz, con una reducción de más del 50 % en comparación con la muestra patrón, en relación con el coeficiente de permeabilidad, la muestra se vuelve impermeable.

De acuerdo con el estudio realizado por C. Ordóñez y K. Solórzano [17], al adicionarse un 20 % de puzolanas, se alcanzaron resultados óptimos de estabilización, llegando a reducirse el valor del índice de expansión entre 34 y 62 %. Con la adición del 20 % de puzolanas, se redujo la densidad seca máxima entre un 21 hasta un 41 % y se observó que, con esa adición de puzolana, las propiedades físicas y mecánicas fueron más satisfactorias en comparación con el suelo en su estado natural.

D. Condo [18], realizó una investigación denominada “Estabilización del suelo mediante adiciones de ceniza de cascarilla de arroz” en la cual mediante ensayos de laboratorio determinó que la adición de ceniza de cascarilla de arroz aumenta la resistencia del suelo, además que disminuye la densidad y aumenta la absorción del suelo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la influencia de la ceniza de la cascarilla de arroz en las propiedades y comportamiento mecánico de diferentes tipos de suelo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los tipos y propiedades de las muestras sustraídas mediante ensayos de Contenido de humedad, Granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR).
- Obtener el porcentaje adecuado de ceniza de cascarilla de arroz necesario para mejorar la capacidad portante del suelo.
- Comparar las propiedades de cada tipo de suelo de las muestras sustraídas estabilizadas con ceniza de cascarilla de arroz, con las propiedades de las muestras no estabilizadas.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

El presente proyecto se dividió en tres fases que permitieron dar cumplimiento a los objetivos planteados, la primera fase corresponde a determinar los tipos y propiedades de las muestras sustraídas mediante ensayos de Contenido de humedad, Granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR), la segunda fase tuvo por objetivo el obtener el porcentaje adecuado de ceniza de cascarilla de arroz necesario para mejorar la capacidad portante del suelo, finalmente la tercera fase consistió en comparar las propiedades de cada tipo de suelo de las muestras sustraídas estabilizadas con ceniza de cascarilla de arroz, con las propiedades de las muestras no estabilizadas.

A continuación, se describen los materiales y métodos de acuerdo con cada fase desarrollada en el proyecto.

2.1 Materiales

Con la finalidad de cumplir con la primera fase del presente proyecto se realizaron ensayos de laboratorio, los datos que se obtuvieron permitieron determinar los tipos y propiedades de las muestras sustraídas.

En primer lugar, para la realización de los ensayos, se hizo necesaria la extracción de muestras in situ, mismas que fueron extraídas mediante el uso de una barra metálica y una pala, al momento de realizar la excavación es importante tomar una muestra de suelo, guardarla y empaquetarla de tal manera que no pierda humedad, esto con la finalidad de conocer su humedad natural, para la cual fue necesario el uso de un horno (marca Humbolt, modelo H-30145E) con temperatura controlada en un rango de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y una balanza electrónica (marca PCE, modelo WS 30) con una aproximación de 0,1 gr.

En cuanto a la granulometría, se empleó un juego de tamices (marca CONTROLS, modelo 15-D2365/J), siendo estos los tamices #4, #8, #10, #16, #30, #40, #60, #100, #200 y fuente, también se usó una tamizadora (marca MATEST, modelo SERVER P) cuya función fue agitar el juego de tamices y permitir a las partículas de suelo rebotar y caer de un tamiz a otro en función de sus tamaños.

Posteriormente, con el material que pasa por el tamiz #4 se procedió a determinar la gravedad específica, para lo cual fue necesario el uso del picnómetro (marca MICROTRAC, modelo ASTM D 854), termómetro (marca IDOIT, modelo NOM-008-SCFI-2002), pipeta (marca 7085-10, modelo ISO 648), y máquina de baño María (marca HUMBOLT, modelo H-1390), el primero se trata de un frasco de vidrio con una capacidad de 500 ml, el segundo permite determinar la temperatura del agua, el tercero consiste en un tubo de cristal que permite trasladar pequeñas porciones de líquido de un recipiente a otro, y finalmente el cuarto es una máquina cuya función es calentar el picnómetro con agua y muestra de suelo de manera indirecta con la finalidad de eliminar el aire presente en la muestra de suelo.

De igual manera, para el ensayo de límites de Atterberg que contemplan el límite líquido y límite plástico, se utilizó el material que pasó por el tamiz # 40, además fue necesario el uso de la Copa Casagrande (marca CONTROLS, modelo 22-T0031/F), un acanalador (marca FORNEY USA, modelo LA-3720), una placa de vidrio (marca CONTROLS, modelo 22-T0040/I), un mortero de porcelana (marca CONTROLS, modelo 86-D1170) y una espátula (marca CONTROLS, modelo 86-D1630). El primero consiste en una cuchara de bronce que está fijada a un dispositivo de rotación que eleva y baja la cuchara la cual se choca con la base de equipo, el segundo en un ranurador de acero inoxidable con forma curva trapezoidal que permite realizar una ranura en la muestra del suelo, el tercero permite realizar los royos de suelo necesarios para determinar el límite plástico del suelo, el cuarto es un recipiente que permite mezclar la muestra de suelo tanto para límite líquido como para límite plástico, finalmente el quinto se utiliza para enraizar y mezclar la muestra de suelo.

En cuanto al ensayo de Proctor modificado, el mismo conlleva una serie de procedimientos, los cuales se llevaron a cabo mediante el uso de una muestra de suelo que pasó por el tamiz #4 y un molde (marca CONTROLS, modelo ASTM/AASHTO) mismo que consta de un cilindro metálico que es colocado sobre una base plana, en la parte superior se coloca el collarín y en la parte inferior la retorta, otro material importante es el martillo de compactación (marca CONTROLS, modelo 33-T0076), el cual debe cumplir con especificaciones establecidas en la normativa, lo que permite obtener una energía de compactación necesaria para realizar el ensayo, de igual manera la probeta (marca BRAND, modelo GRADUADA) es un instrumento importante, pues

permitió medir las cantidades de agua a ser usadas en el ensayo.

Por otra parte, el ensayo CBR se realizó con los datos de humedad óptima obtenidos previamente en el ensayo de Proctor modificado. Para la realización del ensayo CBR se utilizaron los materiales de Proctor modificado más la inclusión de otros materiales como son las pesas (marca CONTROLS, modelo ASTM/AASHTO), una placa de metal perforada, trípode (marca CONTROLS, modelo 34-T0093), y la máquina Multispeed (marca CONTROLS, modelo 34-V1172). Las primeras son uno o dos pesas anulares de metal con una masa total de $4,54 \pm 0,02$ kg y pesas ranuradas de metal con masas de $2,27 \pm 0,02$ kg cada una, la placa de metal perforada se usa una por cada molde y es de un diámetro de 15 cm, el trípode permite colocar un deformímetro para medir la expansión, y el último, la máquina Multispeed, usada para forzar una penetración de un pistón en la muestra después de la inmersión.

Con relación a la segunda fase del proyecto correspondiente a obtener el porcentaje adecuado de ceniza de cascarilla de arroz necesario para mejorar la capacidad portante del suelo, se necesitaron de los materiales descritos en la fase uno acerca de los ensayos de Proctor modificado y CBR, más la ceniza de la cascarilla de arroz.

Finalmente, para dar cumplimiento a la tercera fase que corresponde a comparar las propiedades de cada tipo de suelo de las muestras sustraídas estabilizadas con ceniza de cascarilla de arroz, con las propiedades de las muestras no estabilizadas se utilizó un software de hojas de cálculo (Excel 2019 perteneciente a la empresa Microsoft Office) que permitió gestionar y analizar los datos obtenidos en las fases descritas anteriormente.

2.2 Métodos

El presente trabajo corresponde a un trabajo experimental, el cual para su correcta ejecución se llevó a cabo una serie de procedimientos, los cuales se representan en una fase preliminar y tres fases descritas anteriormente, cada una de las fases se explican a continuación:

2.2.1 Fase preliminar

En esta fase se llevaron a cabo estudios preliminares en base a una investigación documental e investigación de campo, mismas que permitieron obtener la materia

prima y la información necesaria para la elaboración de los diferentes ensayos necesarios para dar cumplimiento al objetivo del presente trabajo.

La investigación documental permitió extraer información acerca de las puzolanas, información de cómo obtener la ceniza de la cascarilla de arroz (CCA), información referente al uso de la CCA como una alternativa en la estabilización del suelo, además de proporcionar información acerca de los procedimientos a seguir en cada uno de los ensayos que se realizaron durante la elaboración del presente proyecto técnico experimental. Por otro lado, la investigación de campo permitió obtener la materia prima.

2.2.1.1 Recolección de la materia prima

2.2.1.1.1 Suelo

Las muestras de suelo fueron obtenidas de diferentes lugares mediante excavación de calicatas de 1.50 m x 1.50 m x 1.00 m, sin contar la capa vegetal.

Imagen N° 01. Excavación de una calicata cantón Puyo



Fuente: Autor

La primera muestra de suelo (M1) se obtuvo en el barrio Agua Santa del cantón Cevallos perteneciente a la provincia de Tungurahua en las coordenadas: Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m N (Imagen 02).

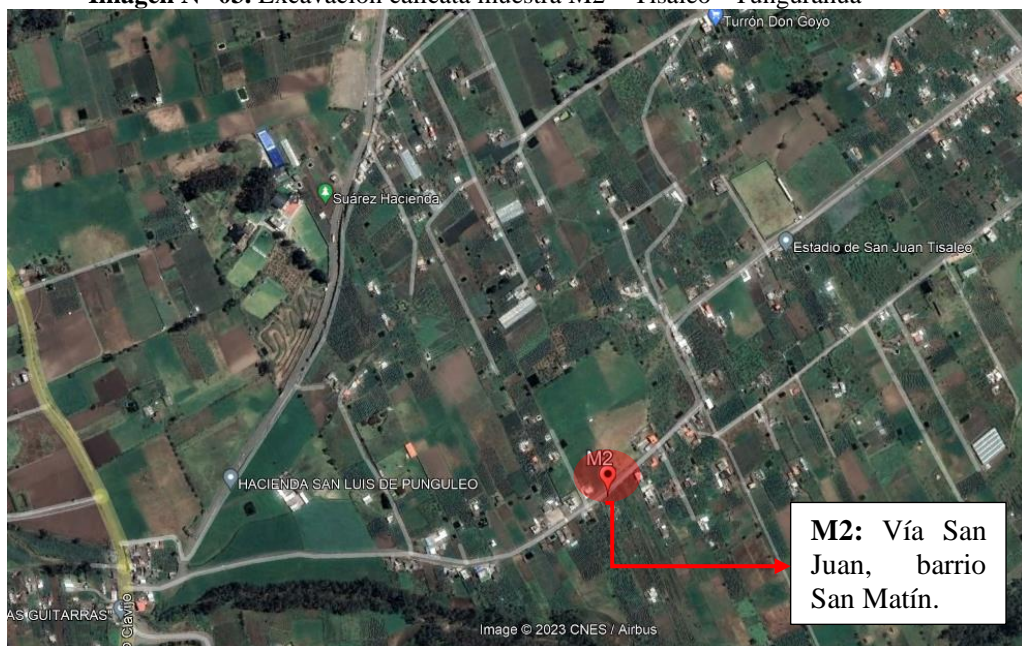
Imagen N° 02. Excavación calicata muestra M1- Cevallos - Tungurahua



Fuente: Google Eart Pro

La segunda muestra de suelo (M2) corresponde al barrio San Martín perteneciente al cantón Tisaleo en la provincia de Tungurahua en las coordenadas: Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00m N (Imagen 03).

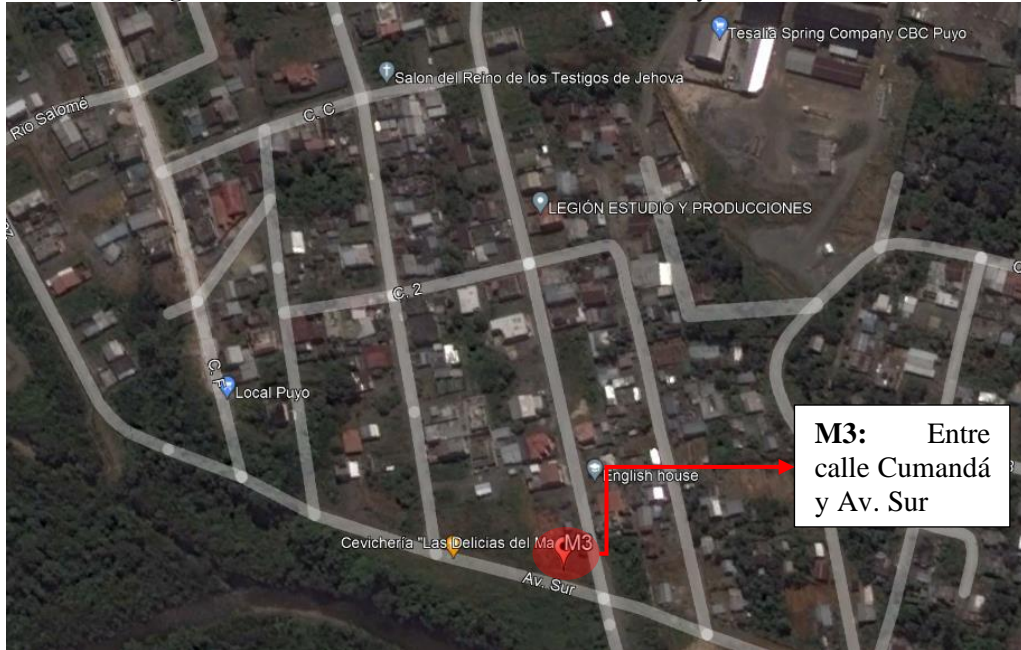
Imagen N° 03. Excavación calicata muestra M2 – Tisaleo - Tungurahua



Fuente: Google Eart Pro

Por último, la tercera muestra de suelo (M3) fue extraída del cantón Puyo parroquia Puyo perteneciente a la provincia de Pastaza en las coordenadas: Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40m N (Imagen 04).

Imagen N° 04. Excavación calicata muestra M3 – Puyo - Pastaza



Fuente: Google Eart Pro

Tabla 01. Ubicación de las muestras de estudio

Muestra	ID Muestra	Coordenadas			Zona
		Este	Norte		
Primera	M1	765050,63	9880896,44	17	
Segunda	M2	760076,00	9851632,00	17	
Tercera	M3	833475,34	9834450,40	17	

Fuente: Autor

La cantidad de suelo extraído, tanto para M1, M2 y M3 fue conforme a la Tabla 02, la cual detalla la cantidad de suelo requerida en cada uno de los ensayos que se realizaron y la cantidad de suelo total extraído en cada una de las muestras.

Tabla 02. Cantidad de suelo necesario en cada ensayo

Ensayo realizado	Suelo requerido por cada muestra (gr)
Contenido de humedad	100
Granulometría	1000
Gravedad específica	50
Límites de Atterberg	210
Proctor modificado Suelo Natural	20000
Proctor modificado Suelo +15 % CCA	17000
Proctor modificado Suelo +25 % CCA	15000
Proctor modificado Suelo +35 % CCA	13000
California Bearing Ratio (CBR) Suelo Natural	15000
CBR Suelo + 15 % CCA	12750
CBR Suelo + 25 % CCA	11250
CBR Suelo + 35 % CCA	9750
Total:	115110

Fuente: Autor

2.2.1.1.2 Ceniza de la cascarilla de arroz

En primero lugar, para la obtención de la ceniza de la cascarilla de arroz, fue necesario adquirir la cáscara de arroz, misma que fue sometida a un proceso de combustión a una temperatura controlada entre 500 °C y 700 °C mediante el uso de un termómetro digital láser, de esa manera se alcanza mejores contenidos de sílice. Cabe recalcar que la cáscara de arroz al ser calcinada pierde alrededor del 80 % de su peso inicial, pues al calcinar 50 kg de cascarilla de arroz se obtienen 10 kg de CCA.

Imagen N° 05. Incineración de la cascarilla de arroz



Fuente: Autor

La cantidad de ceniza de la cascarilla de arroz a utilizarse se determinó conforme a la Tabla 03, en la cual especifica la cantidad de CCA a emplearse en cada ensayo y la cantidad total de CCA a emplearse en las tres muestras de suelo.

Tabla 03. Cantidad de CCA necesario en cada ensayo

Ensayo realizado	CCA requerido por cada muestra (gr)
Contenido de humedad	---
Granulometría	500
Gravedad específica	50
Límites de Atterberg	---
Proctor modificado Suelo Natural	---
Proctor modificado Suelo +15 % CCA	3000
Proctor modificado Suelo +25 % CCA	5000
Proctor modificado Suelo +35 % CCA	7000
California Bearing Ratio (CBR) Suelo Natural	---
CBR Suelo + 15 % CCA	2250
CBR Suelo + 25 % CCA	3750
CBR Suelo + 35 % CCA	5250
Total:	79300

Fuente: Autor

2.2.2 Fase 1

La primera fase consistió en determinar los tipos y propiedades de las muestras sustraídas mediante ensayos de Contenido de humedad, Granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR), para el cumplimiento de esta fase, se realizó una investigación de laboratorio y una investigación descriptiva.

La investigación de laboratorio se llevó a cabo con la finalidad de conocer las características de la ceniza y las propiedades de las muestras de suelo en estado natural. En el caso de la ceniza se realizaron los ensayos de Granulometría y Gravedad Específica, para los suelos, los ensayos de Contenido de humedad, Granulometría, Gravedad Específica, Límites de Atterberg, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR) fueron llevados a cabo. Los ensayos mencionados se realizaron de acuerdo con el uso de normas y documentos que serán detallados posteriormente.

La investigación descriptiva por otro lado permitió realizar una descripción y clasificación de las muestras en estudio en base a los sistemas AASHTO y SUCS.

A continuación, se describen los procedimientos de los ensayos realizados además de los métodos de clasificación, tablas y cálculos realizados.

2.2.2.1 Ensayos

2.2.2.1.1 Contenido de humedad natural

Es uno de los ensayos más usados debido a su fácil y rápida ejecución, y permite determinar la cantidad de agua que contiene una muestra de suelo [19].

El ensayo de contenido de humedad se lo realizó en base a la norma AASHTO T 265 2015, en la cual, primero lugar se debe de registrar el peso del recipiente (m_1) mismo que debe ser de material metálico que resista la temperatura del horno, en el recipiente se coloca una porción del suelo a ensayarse, se pesa y se registra el valor (m_2), se coloca el recipiente en horno a una temperatura constante durante 24 horas, posterior a ese tiempo, se saca el recipiente del horno y se registra el peso del recipiente con el suelo (m_3), se anotan lo valores cómo se ejemplifica en la Tabla 04 y finalmente se determina el contenido de humedad mediante la ecuación 1.

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$$

(Ecuación 1)

Donde:

W = contenido de agua en %.

m_1 = masa del recipiente en gr.

m_2 = masa del recipiente más suelo húmedo en gr.

m_3 = masa del recipiente más suelo seco en gr.

Tabla 04. Determinación del contenido de humedad natural muestra M3

Contenido de humedad (W%)		
N° Recipiente	P7	P8
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	64,17	72,24
Masa de suelo seco + recipiente (gr)	44,23	49,08
Masa recipiente (gr)	9,67	9,50
Masa de agua Ww (gr)	19,94	23,16
Masa suelo seco Ws (gr)	34,56	39,58
Contenido de humedad (W%)	57,70	58,51
W Promedio (%)	58,11	

Fuente: Autor

2.2.2.1.2 Análisis Granulométrico

La granulometría del suelo es una propiedad que está estrechamente ligada a la resistencia mecánica y el comportamiento hidráulico, hace referencia a la distribución granulométrica de las partículas de los suelos en diferentes rangos de tamaños, utilizando mallas cuadradas o tamices, el proceso mediante el cual se separan las partículas es la vibración y se expresa en porcentaje en función del peso retenido en cada tamiz con respecto al total de la muestra.

Dentro de los parámetros granulométricos estudiados, se encuentran el coeficiente de uniformidad (C_u), el coeficiente de curvatura (C_c) y el coeficiente de gradación, también llamado tamaño nominal máximo (TNM) [20], para determinar estos parámetros, es necesario el uso de expresiones matemáticas, así, por ejemplo:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

(Ecuación 2)

Donde:

C_c = coeficiente de curvatura.

D_{10} = diámetro que corresponde al 10 % de suelo que pasa.

D_{30} = diámetro que corresponde al 30 % de suelo que pasa.

D_{60} = diámetro que corresponde al 60 % de suelo que pasa.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

(Ecuación 3)

Donde:

C_u = coeficiente de uniformidad.

D_{10} = diámetro que corresponde al 10 % de suelo que pasa.

D_{60} = diámetro que corresponde al 60 % de suelo que pasa.

Se dice que un suelo está bien graduado cuando el Cc se encuentra entre 1 y 3, por otro lado, si el Cu es menor a 3, se dice que un suelo es muy uniforme, si Cu es mayor a 4 se dice que son gravas bien graduadas, cuando Cu es mayor a 6, se habla de arenas bien graduadas [20].

El ensayo de análisis granulométrico se lo realizó en base a la norma AASHTO T 88 2013, para lo cual, se inició con el pesaje de una cantidad representativa de suelo, entre 500 y 1000 gr, se dejó secar en el horno a una temperatura constante durante un periodo de 24 horas, transcurrido el tiempo, se pasó el suelo por un juego de tamices que van desde el tamiz # 4 (4.76 mm) hasta el tamiz # 200 (0.075 mm) los cuales fueron previamente seleccionados y ordenados de acuerdo con el tamaño de abertura, el juego de tamices fue introducido en la tamizadora durante 10 minutos, posterior al tamizado, se procedió a pesar la cantidad de suelo retenido en cada uno de los tamices y determinar el porcentaje de suelo que pasa por cada tamiz, así por ejemplo:

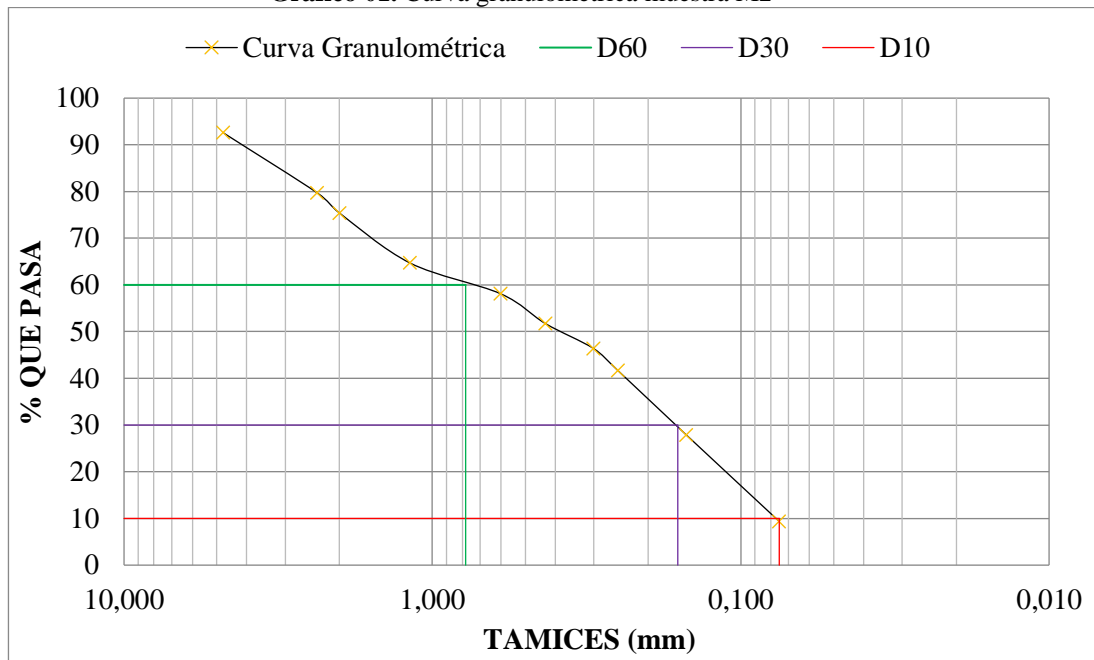
Tabla 05. Distribución granulométrica muestra M2

Tamiz #	Abertura(mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Peso Retenido	% Que Pasa
#4	4,760	34,50	34,50	3,45	96,55
#8	2,360	128,71	163,21	16,33	83,67
#10	2,000	42,92	206,13	20,62	79,38
#16	1,180	107,12	313,25	31,34	68,66
#30	0,600	65,80	379,05	37,92	62,08
#40	0,430	63,70	442,75	44,29	55,71
#50	0,300	53,50	496,25	49,64	50,36
#60	0,250	47,30	543,55	54,37	45,63
#100	0,150	137,82	681,37	68,16	31,84
#200	0,075	185,10	866,47	86,68	13,32
Fuente	-	133,20	133,20	13,32	-

Fuente: Autor

Los resultados se representan en una gráfica mediante una curva en escala logarítmica como lo indica la gráfica 01.

Gráfico 01. Curva granulométrica muestra M2



Fuente: Autor

Imagen N° 06. Ensayo de análisis granulométrico



Fuente: Autor

2.2.2.1.3 Gravedad específica de sólidos

La gravedad específica del suelo (G_s) es la relación que existe entre la masa de los sólidos del suelo y el volumen del agua desplazada.

El ensayo se lo realizó conforme la norma AASHTO T 100 2015, para lo cual fue necesario pesar una muestra de suelo que pasa por el tamiz # 4, secarla en el horno a una temperatura constante para posteriormente esta se encuentre seca, dejarla enfriar

por alrededor de 15 minutos, se procedió a llenar el picnómetro hasta la marca de aforo y se registró el peso, seguido se vació alrededor de un tercio del agua y se agregó 50 ± 10 gr de muestra de suelo seco, se volvió a agregar agua hasta llegar a la marca de aforo y se procedió a introducir el picnómetro en la máquina de baño maría durante diez minutos, una vez transcurrido ese tiempo, se procedió a sacar el picnómetro e inclinarlo haciéndolo rotar suavemente y realizando pequeños golpes a la base del picnómetro con la finalidad de eliminar todo el aire presente en la muestra, finalmente se tomó la temperatura con el termómetro, la cual debe de estar entre 23 ± 2 °C, se tomó el peso del picnómetro con agua y muestra para posteriormente depositar el contenido del picnómetro en un envase metálico y dejarlo secar a una temperatura de 110 ± 5 °C y determinar su masa [19].

Imagen N° 07. Ensayo de gravedad específica



Fuente: Autor

Una vez concluido con el procedimiento descrito anteriormente, se determinó la gravedad específica del suelo mediante la siguiente expresión:

$$G_s = \gamma_s = \frac{k * W_s}{V_s}$$

(Ecuación 4)

Donde:

G_s : peso específico de los granos.

k : factor de corrección por temperatura.

W_s : peso del suelo seco colocado.

V_s : volumen del agua desplazada.

De los valores obtenidos del ensayo de gravedad específica, se puede tener una idea aproximada de los tipos de suelos, conforme a la Tabla 06, la cual muestra valores típicos de gravedad específica de algunos tipos de suelo.

Tabla 06. Valores típicos de Gs

Tipo de Suelo	Gs
Arena	2,65 - 2,67
Arena limosa	2,67 - 2,70
Arcilla inorgánica	2,70 - 2,80
Suelos con micas o hierro	2,75 - 3,00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2,00

Fuente: E. Bowles “Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil” [19]

2.2.2.1.4 Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg o límites de consistencia, ayudan a caracterizar el conjunto de partículas de suelos. El concepto de límites se basa en que un suelo fino puede variar en cuatro estados de consistencia dependiendo de su contenido de humedad, de esta manera el suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, al añadir agua, su estado cambia de sólido al estado semisólido, plástico y por último al estado líquido. Los puntos en los cuales el suelo pasa de un estado a otro, se denominan límite de contracción, límite plástico y límite líquido [21][22].

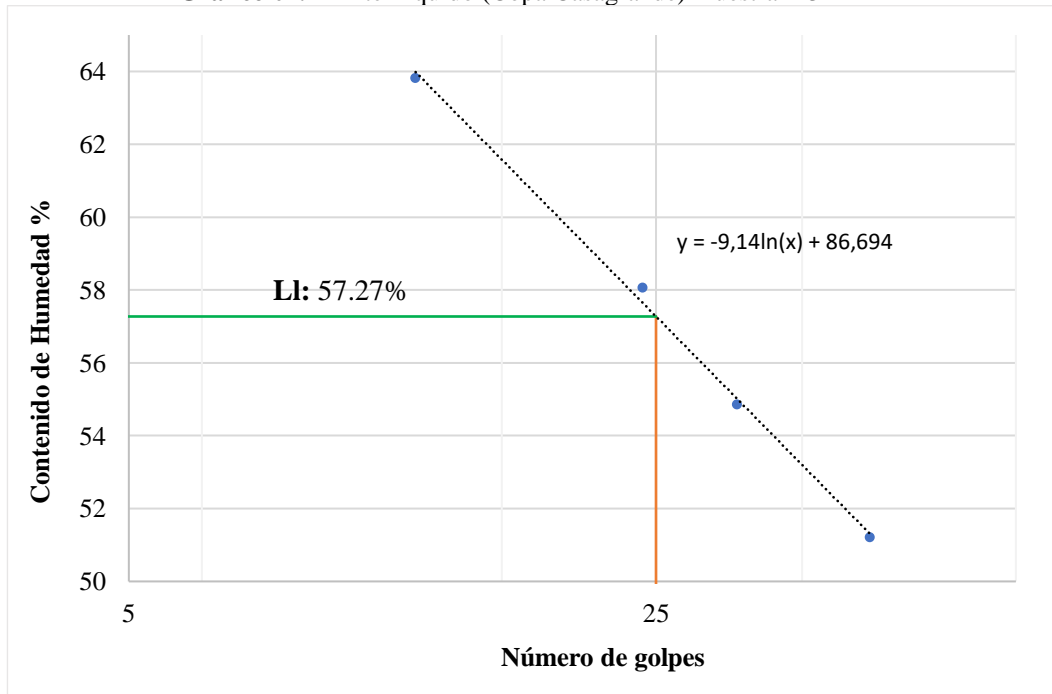
2.2.2.1.4.1. Límite Líquido

El límite líquido es una relación que existe entre el porcentaje de contenido de humedad y el peso seco de la muestra, es el estado mediante el cual un suelo pasa de estar en estado líquido a un estado plástico.

El presente ensayo se lo realizó con base a la norma AASHTO T 89 2013, el cual consiste en mezclar una muestra de suelo seca que pasa por el tamiz # 40 en un mortero de porcelana, al cual se va añadiendo agua hasta obtener una muestra homogénea, misma que con la ayuda de una espátula, se coloca sobre la Copa Casagrande hasta el 75 % y se enrasa, posteriormente se realiza un surco por la mitad con la ayuda del ranurador, se procede a accionar el mecanismo, contando el número de golpes necesarios para cerrar el surco, el ensayo se dará por finalizado cuando se obtengan dos valores debajo de los 25 golpes y 2 sobre los 25 golpes, para lo cual, se deben realizar incrementos de agua. Para determinar la humedad en la cual se unió el surco,

se toman 2 muestras del lugar donde se juntaron los bordes del canal, se colocan en recipientes, se pesan y se los envía al horno y se determina el contenido de agua conforme la norma AASHTO T 265 2015. De acuerdo con los datos que se obtienen, se realiza una gráfica que represente el número de golpes vs el contenido de humedad expresada en porcentaje (Gráfico 02), el Límite Líquido será la humedad correspondiente a los 25 golpes [19].

Gráfico 02. Límite Líquido (Copa Casagrande) muestra M3



Fuente: Autor

Imagen N° 08. Ensayo Límite Líquido (Copa Casagrande)



Fuente: Autor

2.2.2.1.4.2. Límite Plástico

El límite plástico es el porcentaje de contenido de agua necesario para formar unos rollos o cilindros de 3mm de diámetro y 50 mm de longitud sin que se presenten algún tipo de resquebrajamiento, en lo cual un suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

Para determinar el Límite Plástico se empleó la norma AASHTO T 90 2016 en la cual se procedió a humedecer una muestra de suelo que pasa por el tamiz # 40 hasta obtener una masa homogénea semi – sólida, se toma una muestra de la masa preparada y sobre la placa de vidrio se procede a formar un cilindro de 3 mm de diámetro y 50 mm de longitud sin que el cilindro sufra de agrietamientos o se desmorone, una vez que se obtiene el cilindro, se procede a colocarlo en un recipiente de masa conocida para obtener el peso del cilindro, posteriormente se lleva el recipiente al horno, finalmente después de un periodo de tiempo se saca la muestra y se determina el contenido de humedad, se procede de la misma manera hasta obtener 5 cilindros. El límite plástico será el promedio del contenido de humedad de los 5 cilindros realizados [19].

Imagen N° 09. Ensayo Límite Plástico LP



Fuente: Autor

2.2.2.1.4.3. Índice de plasticidad

El índice plástico (IP) o índice de plasticidad es la diferencia entre el valor de límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) de una muestra de suelo y se determina conforme a la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

(Ecuación 5)

2.2.2.1.5 Proctor Modificado

La compactación del suelo está relacionada con la resistencia, deformabilidad y la estabilidad, es un proceso mediante el cual se incrementa la densidad del suelo a través del uso de energía mecánica, ajustando la humedad.

Para su correcta ejecución se empleó la norma AASHTO T 180 2018, en la cual se procede a colocar una muestra de suelo con contenido de humedad seleccionado dentro de un molde de dimensiones dadas para luego compactar el suelo en cinco capas con 56 golpes cada una mediante el uso de un martillo de 10 lb (44.5 N) que se deja caer desde una altura de 457 mm, ejerciendo una fuerza de compactación de alrededor de 2700 kNm/m³. Se incrementa el contenido de humedad y realiza el mismo procedimiento hasta obtener el número de puntos suficientes que permitan establecer una relación entre el contenido de humedad y la densidad seca [23].

Con cada aumento del contenido de humedad se determina la densidad húmeda del suelo de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \frac{W}{Vm}$$

(Ecuación 6)

Donde:

γ_m : densidad húmeda del suelo [gr/cm³]

W : Peso del suelo húmedo compactado gr.

V_m : volumen del molde cm³.

Con el promedio del contenido de humedad de cada punto y la densidad húmeda, se puede determinar la densidad seca, así:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{w [\%]}{100}}$$

(Ecuación 7)

Donde:

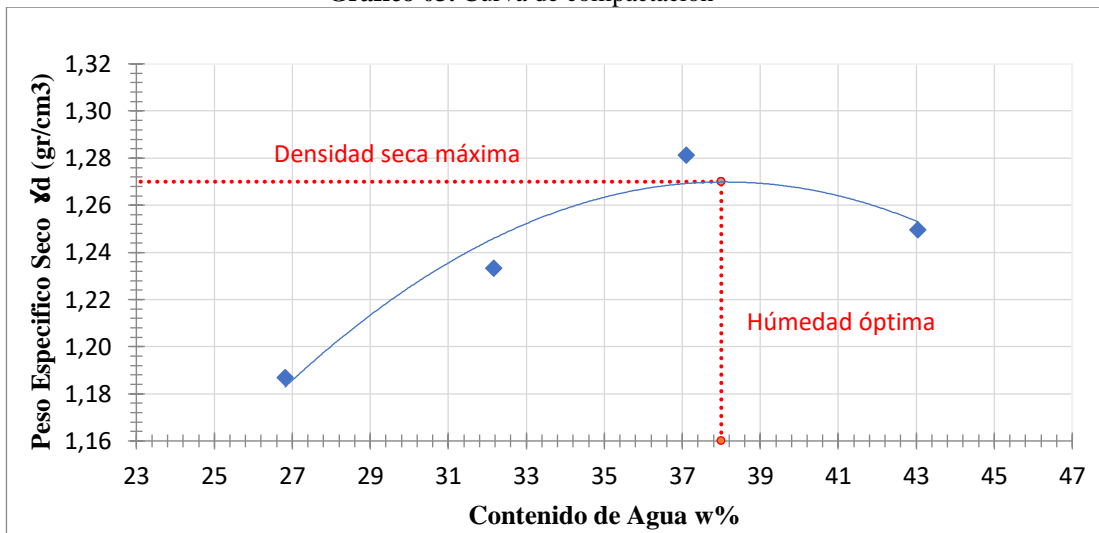
γ_d : densidad seca del suelo [gr/cm³].

γ_m : densidad húmeda del suelo [gr/cm³].

W : contenido de humedad [%].

Con los valores obtenidos, se traza una curva de contenido de humedad versus la densidad seca (peso específico seco) y se obtiene la curva de compactación, en la cual se determina la densidad seca máxima y la humedad óptima (Gráfico 03).

Gráfico 03. Curva de compactación



Fuente: Autor

Imagen N° 10. Ensayo Proctor Modificado



Fuente: Autor

2.2.2.1.6 California Bearing Ratio (CBR)

La prueba de relación de soporte de California es un procedimiento mediante el cual se determina la resistencia al corte del suelo conforme ensayos de laboratorio con humedad y densidad controladas.

Se la realizó en base a la norma AASHTO T 193 2013 y consiste en compactar tres especímenes con el material de estudio a 11, 27 y 56 golpes respectivamente y con un contenido de humedad igual al óptimo determinado en el ensayo Proctor modificado AASHTO T 180 2018, después de la compactación se somete a cada espécimen a un proceso de saturación durante un tiempo de 72 horas con la finalidad de conocer el cambio volumétrico de los especímenes. Posterior a la saturación, se aplica una carga sobre la probeta compactada mediante la máquina Multispeed, se elabora una gráfica carga versus penetración (Gráfica 04) con los valores que arroja la máquina de ensayo de CBR (Tabla 07) y se determina el valor de CBR en función de la relación entre la carga necesaria para producir una penetración determinada en una muestra patrón (Ecuación 8) [23].

$$CBR [\%] = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria de la muestra patrón}} * 100$$

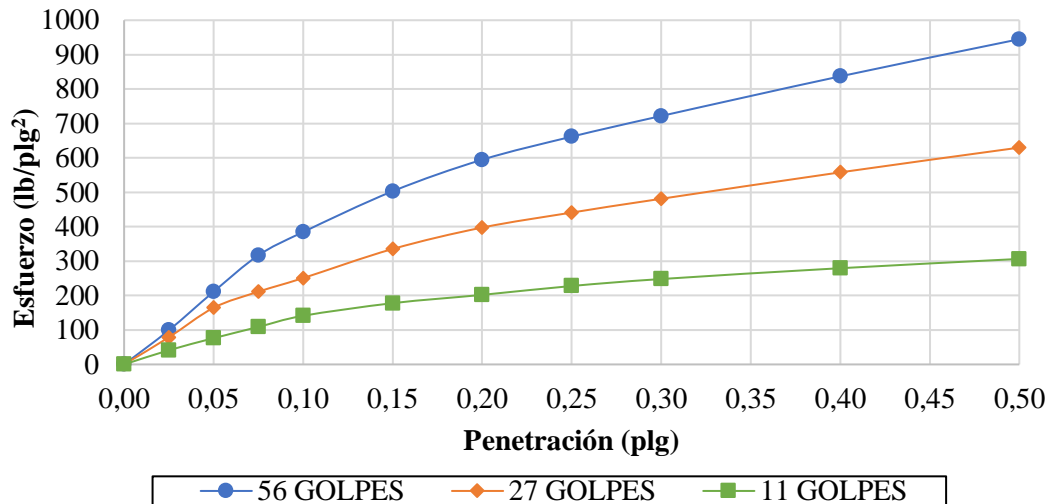
(Ecuación 8)

Tabla 07. Valores de penetración muestra M2 + 15 %CCA

Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	297,9	99,3	236,4	78,8	123,7	41,2
0,050	633,8	211,3	493,8	164,6	228,6	76,2
0,075	950,7	316,9	633,8	211,3	326,8	108,9
0,100	1153,9	384,6	752,6	250,9	423,9	141,3
0,150	1509,5	503,2	1006,3	335,4	533,9	178,0
0,200	1784,4	594,8	1192,9	397,6	606,3	202,1
0,250	1985,3	661,8	1323,5	441,2	683,6	227,9
0,300	2165,6	721,9	1443,7	481,2	744,3	248,1
0,400	2511,0	837,0	1674,0	558,0	838,6	279,5
0,500	2834,7	944,9	1889,8	629,9	919,6	306,5

Fuente: Autor

Gráfico 04. Diagrama de esfuerzo vs penetración muestra M2 + 5 % CCA



Fuente: Autor

La expansión (esponjamiento) es la relación que existe entre la altura inicial y la altura final del espécimen debido a la saturación y se expresa en porcentaje y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E = ((Lf - Li) / Hi) * 100$$

(Ecuación 9)

Donde:

E: expansión [%].

Lf: lectura final.

Li: lectura inicial.

Hi: Altura inicial de la muestra.

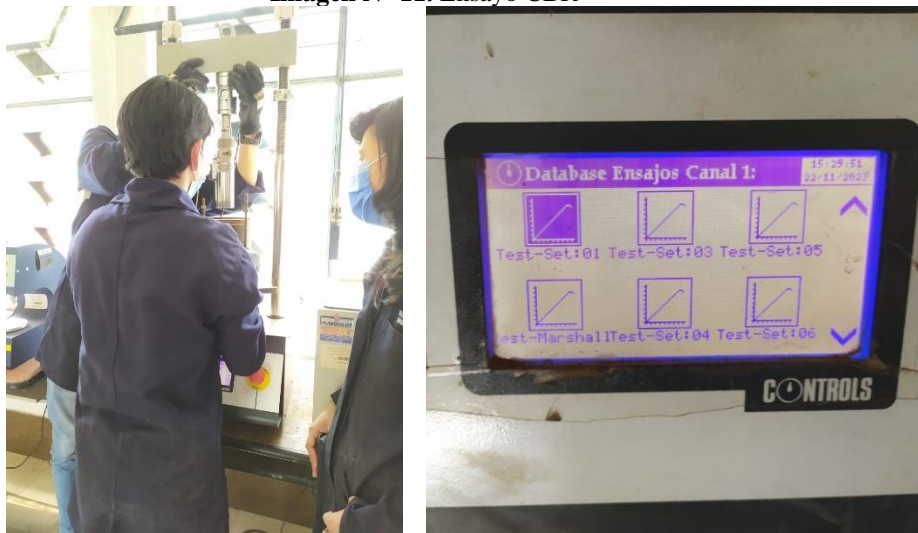
De los valores obtenidos del ensayo de CBR, se puede clasificar al suelo conforme a la Tabla 08, la cual fue realizada por Villalaz Crespo y muestra una clasificación del suelo de acuerdo con los valores de CBR.

Tabla 08. Clasificación del suelo de acuerdo con el valor de CBR

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

Fuente: C. Villalaz “Mecánica de suelos y cimentaciones” [23]

Imagen N° 11. Ensayo CBR



Fuente: Autor

2.2.2.2 Clasificación del suelo

Los suelos se clasifican por grupos y subgrupos, esto es consecuencia de que algunos de los suelos presentan características similares en cuanto a sus propiedades índice y mecánicas. Para tal efecto, se han creado los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS, los cuales han determinado una clasificación de acuerdo con las propiedades de granulometría y límites de Atterberg [24].

2.2.2.2.1 Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO se encuentra dividido en dos grupos, en el primero se encuentra el material granular donde menos del 35 % del material pasa por el tamiz #200, el segundo grupo es un material granular en el cual más del 35 % pasa por el tamiz #200.

Los suelos del primer grupo se clasifican como A-1 (fragmentos de roca, grava y arena, A-3 (arena fina) y A-2 (limo o grava arcillosa y arena). Dentro de estos grupos existen subdivisiones, así por ejemplo del grupo A-1 se subdividen los grupos A-1-a, A-1-b, del grupo A-2 se tienen los grupos A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7, Tabla 09.

Los suelos del segundo grupo comprenden a suelos limosos del grupo A-4, A-5, A-6 y suelos arcillosos del grupo A-7 el cual se subdivide en los grupos A-7-5 y A-7-6, Tabla 10.

Tabla 09. Clasificación de materiales AASHTO para el primer grupo

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla N° 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	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)							
N° 10	50 máx						
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín				
N° 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 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de materiales							
componentes significativos	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes							
	De excelente a bueno						

Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

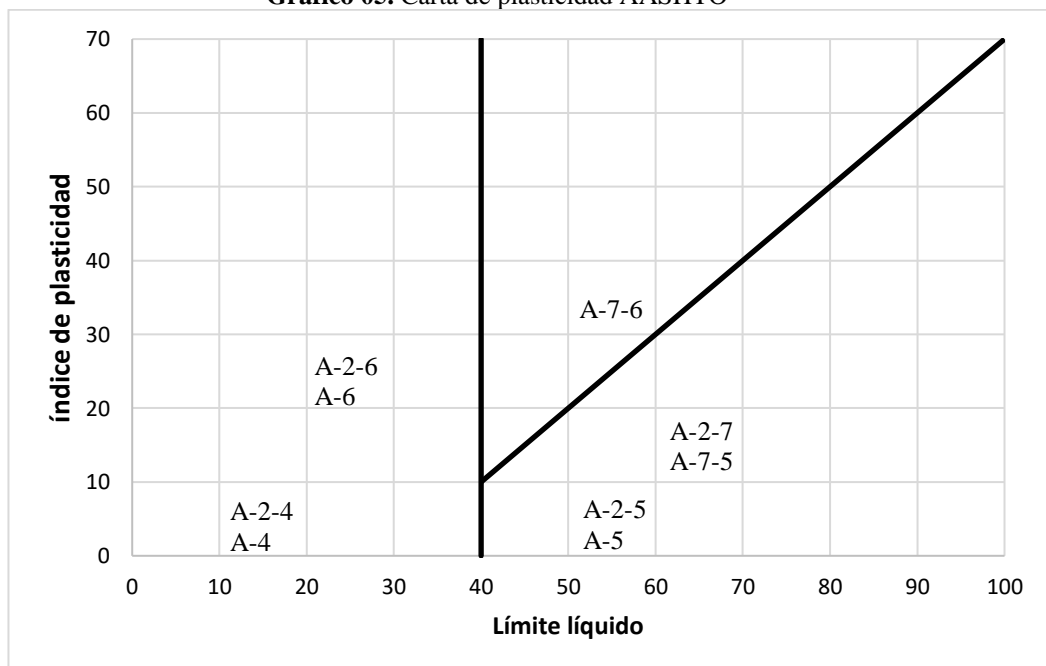
Tabla 10. Clasificación de materiales AASHTO para el segundo grupo

Clasificación general	Materiales limo - arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla N° 200)			
				A-7
				A-7-5 *
Clasificación de grupo	A-4	A-5	A-6	A-7-6 +
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)				
N° 10				
N° 40				
N° 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa la malla N°40				
Límite líquido	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de materiales componentes significativos				
	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los subrasantes				
	De mediano a pobre			
* Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
+ Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

Otra manera de clasificar el suelo es mediante la carta de plasticidad (Gráfico 05), la cual es un gráfico que establece una relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad.

Gráfico 05. Carta de plasticidad AASHTO



Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

2.2.2.2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

Este sistema clasifica los suelos en dos categorías: la primera categoría corresponde a la fracción de suelo que pasa menos del 50 % por el tamiz número 200 y son suelos de grano grueso compuesto de grava y arena, estos grupos se identifican con los prefijos G para gravas, S para arenas, la segunda categoría son los suelos en los cuales más del 50 % pasan por el tamiz número 200 y se identifican con los prefijos M para limos orgánicos, C para arcillas inorgánicas y O para limos orgánicos y arcillas. Dentro de las clasificaciones ya mencionadas, también se pueden utilizar otros símbolos de clasificación, así como; W (bien clasificado), P (mal clasificado), L (baja plasticidad con límite líquido menor a 50), H (alta plasticidad con límite líquido mayor a 50) [24] Tablas 11, 12 y 13.

Tabla 11. Sistema de clasificación SUCS para grupo de suelo tipo grava

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla N° 200 Cu = D60/D10 mayor que o igual que 4 Cc = (D30) ² / (D10 x D60) entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla N° 200 No cumple ambos criterios para GW
GM	Más del 12% pasa la malla N° 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más del 12% pasa la malla N° 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidad mayor que 7
GC - GM	Más del 12% pasa la malla N° 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 N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GM
GW - GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GC
GP - GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GM
GP - GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GC

Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

Tabla 12. Sistema de clasificación SUCS para grupo de suelo tipo arena

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla N° 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 N° 200 No cumple ambos criterios para SW
SM	Más del 12% pasa la malla N° 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica 6) o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más del 12% pasa la malla N° 200 Los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (gráfica 6) Índice de plasticidad mayor que 7
SC - SM	Más del 12% pasa la malla N° 200 Los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL - ML en la gráfica 6
SW - SM	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SW y SM
SW - SC	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SW y SC
SP - SM	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SP y SM
SP - SC	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SP y SC

Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

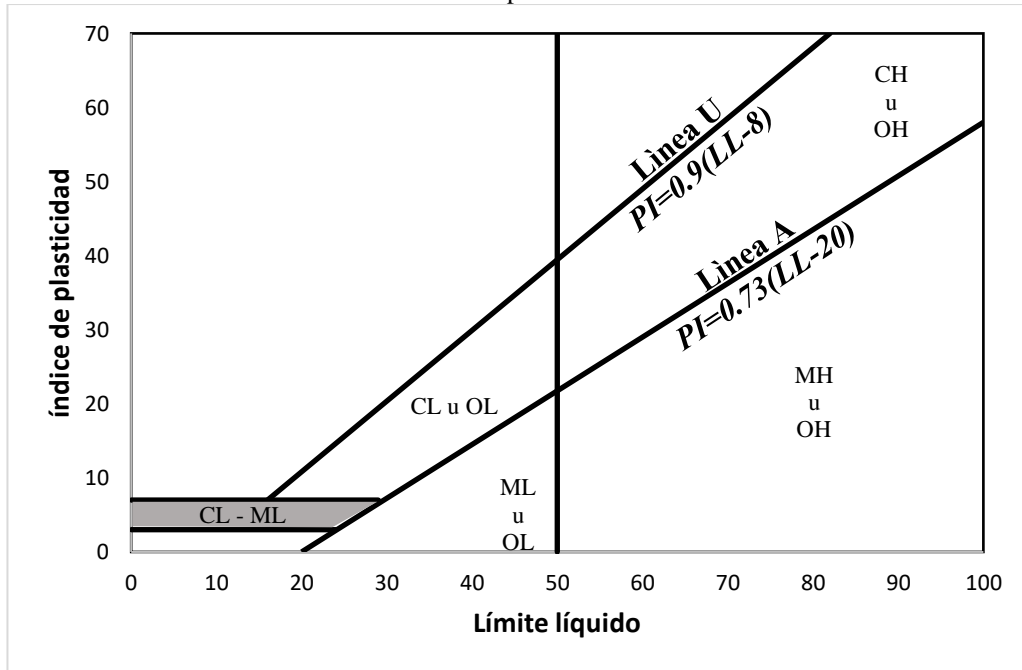
Tabla 13. Sistema de clasificación SUCS para grupo de suelo tipo limo y arcilla

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 debajo 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 CH 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 altamente orgánicos

Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

A continuación, se presenta la carta de plasticidad que desarrolló Casagrande para suelos de grano fino e inorgánicos, además que se presenta como un resumen de la tabla del sistema de clasificación SUCS.

Gráfico 06. Carta de plasticidad SUCS



Fuente: Braja M. Das “Fundamentos de ingeniería Geotécnica” [24]

2.2.3 Fase 2

Esta fase tuvo por objetivo el obtener un porcentaje adecuado de ceniza de cascarilla de arroz necesario para mejorar la capacidad portante del suelo, para lo cual se llevaron a cabo dos tipos de investigaciones; una investigación de tipo experimental y una investigación de laboratorio.

La investigación experimental se la realizó adicionando ceniza de la cascarilla de arroz al suelo en distintos porcentajes con la finalidad de encontrar nuevos materiales que se puedan utilizar en la estabilización de los suelos usados en la construcción de obras de ingeniería mediante la optimización del parámetro de resistencia al corte.

Los porcentajes de CCA utilizados en la estabilización fueron de 15 %, 25 % y 35 % del peso total de la muestra, estos valores se adoptaron en base a investigaciones realizadas por [4]-[5]-[6],[10],[13],[18] con diferentes tipos de agentes estabilizantes y que, en sus resultados, demostraron que con estos porcentajes se pueden obtener mejoras en las características mecánicas de los suelos.

Imagen N° 12. Muestra de suelo + CCA



a) Muestra de suelo M1 + CCA

b) Muestra de suelo M2 + CCA



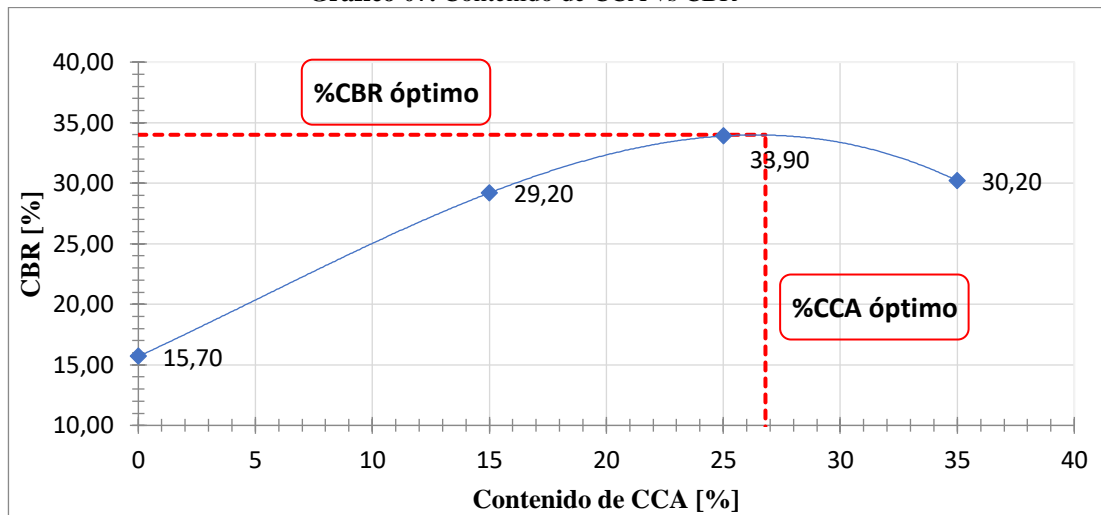
c) Muestra de suelo M3 + CCA

Fuente: Autor

En cuanto a la investigación de laboratorio, está se aplicó para conocer el comportamiento del suelo al adicionar CCA en diferentes proporciones y se llevó a cabo mediante la realización de ensayos como el de Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR) en las muestras de suelo más la adición de la CCA en diferentes porcentajes, para los cuales se utilizaron los materiales descritos en la sección 2.1 correspondiente a materiales y de igual manera las normas y procedimientos de los ensayos explicados en las secciones 2.2.2.1.5 y 2.2.2.1.6 respectivamente.

Con los datos obtenidos se elaboró una gráfica de porcentaje de CCA versus la capacidad portante del suelo (Gráfico 07) y se determinó la adición de ceniza de cascarilla de arroz óptima.

Gráfico 07. Contenido de CCA vs CBR



Fuente: Autor

2.2.4 Fase 3

La tercera fase tuvo por objetivo el comparar las propiedades de cada tipo de suelo de las muestras sustraídas estabilizadas con ceniza de cascarilla de arroz, con las propiedades de las muestras no estabilizadas. La misma fue llevada a cabo mediante una tabulación de los datos obtenidos en los diferentes ensayos realizados en la fase 1 y 2 del presente proyecto, de esta manera con la elaboración de tablas y gráficos se pudo explicar y contrastar los resultados obtenidos y se estableció una comparación entre las propiedades del suelo estabilizado con el suelo no estabilizado, dicha comparación ayudó a responder a la hipótesis acerca de si la adición de ceniza de cascarilla de arroz ayuda a mejorar la capacidad portante de suelo o no.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Propiedades del suelo en estado natural

3.1.1 Propiedades físicas

En la Tabla 14 y 15 se presentan las propiedades físicas de los suelos en estado natural dentro de las cuales se aprecia el color, la humedad natural, la gravedad específica, límites de Atterberg y granulometría.

Tabla 14. Propiedades físicas

Muestra	ID Muestra	Color	Humedad Natural W [%]	Gravedad Específica Gs
Primera	M1	Gris	3,63	2,66
Segunda	M2	Negro	23,39	2,69
Tercera	M3	Tomate rojizo	58,11	2,72
Ceniza	---	Gris blanquecino	---	2.14

Fuente: Autor

3.1.1.1 Color

Las muestras de suelo M1, M2 y M3 presentan un color gris, negro y tomate rojizo respectivamente (Imagen 13).

Imagen N° 13. Color de las muestras de suelo en estado natural



a) Muestra de suelo M1



b) Muestra de suelo M2



c) Muestra de suelo M3

Fuente: Autor

3.1.1.2 Humedad natural

De acuerdo con la Tabla 14, se observa que la humedad natural del suelo se encuentra en 3.63 % para la muestra M1, para la muestra M2 la humedad natural es de 23.39 % y para la muestra M3 la humedad natural es de 58.11 %.

3.1.1.3 Gravedad específica

Otro de los parámetros que permiten tener una idea aproximada del tipo de suelo que se está estudiando es la gravedad específica. De los resultados obtenidos, se tiene que para la muestra M1 se tiene un valor de Gs de 2.66, para M2 y M3 valores de 2.69 y 2.72 respectivamente. De acuerdo con la Tabla 06 se observa que los valores de Gs para M1 se encuentra en el rango de arena, M2 se encuentra dentro de arena limosa y M3 se encuentran dentro de arcilla orgánica.

3.1.1.4 Granulometría

En la Tabla 15 se observa que para la muestra de suelo M1 y M2 menos del 35 % del material pasa por la malla # 200 por lo cual estas muestras de suelo corresponden a materiales granulares mientras que para la muestra de suelo M3 más del 35 % del material pasa a través de la malla # 200 lo que lo ubica dentro de los materiales limo – arcilla.

Tabla 15. % de suelo que pasa por la malla #10, #40 y #200

ID	Granulometría % Que pasa		
	Malla N° 10	Malla N° 40	Malla N° 200
M1	98,02	73,40	7,61
M2	79,38	55,71	13,32
M3	99,86	91,79	53,04

Fuente: Autor

3.1.1.5 Límites de Atterberg

La primera muestra de suelo no presenta propiedades plásticas, por lo cual se lo denomina un suelo no plástico lo cual es una característica importante en las arenas, por otro lado, la segunda muestra de suelo presenta un límite líquido menor a 50 % y un índice de plasticidad menor a 4 %, en cuanto a la tercera muestra de suelo, está presenta un límite líquido mayor a 50 % y un índice de plasticidad superior a 11 %.

Tabla 16. Límites de Atterberg

ID Muestra	Límites de Atterberg		
	LL [%]	LP [%]	IP [%]
M1	---	25,67	NP
M2	27,74	24,46	3,28
M3	57,27	26,58	30,70

Fuente: Autor

3.1.1.6 Tipo de suelo, clasificación SUCS y AASHTO

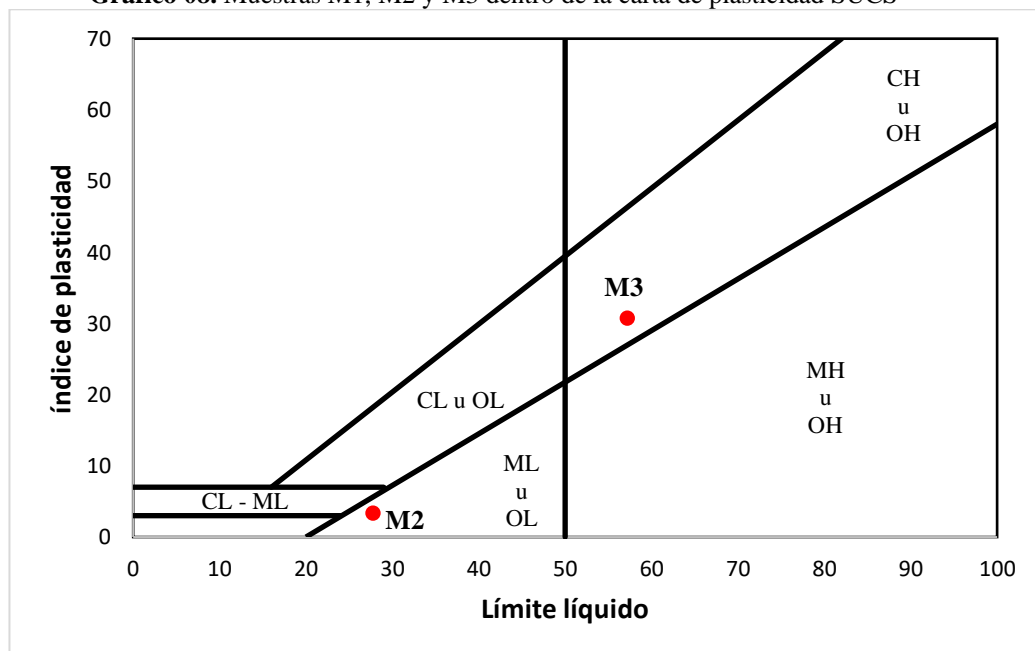
La clasificación de las muestras de suelo se basó en parámetros como el tamaño de las partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Los valores de límite líquido e índice de plasticidad se representan en la carta de plasticidad SUCS (Gráfico 08) y AASHTO (Gráfico 09) y de esta manera se determinó el tipo de suelo al que corresponde cada muestra, cómo se indica en la siguiente Tabla:

Tabla 17. Clasificación de los suelos

ID Muestra	Límites de Atterberg			Granulometría			Clasificación
	LL [%]	LP [%]	IP [%]	Grava [%]	Arena [%]	Limo y Arcilla [%]	
M1	---	25,67	NP	0,24 1,98	92,15 90,41	7,61 7,61	SUCS: SM AASHTO: A-2-4
M2	27,74	24,46	3,28	3,45 20,62	83,22 66,06	13,32 13,32	SUCS: ML AASHTO: A-2-4
M3	57,27	26,58	30,70	0,00 0,14	46,96 46,83	53,04 53,04	SUCS: CH AASHTO: A-7-6 (8)

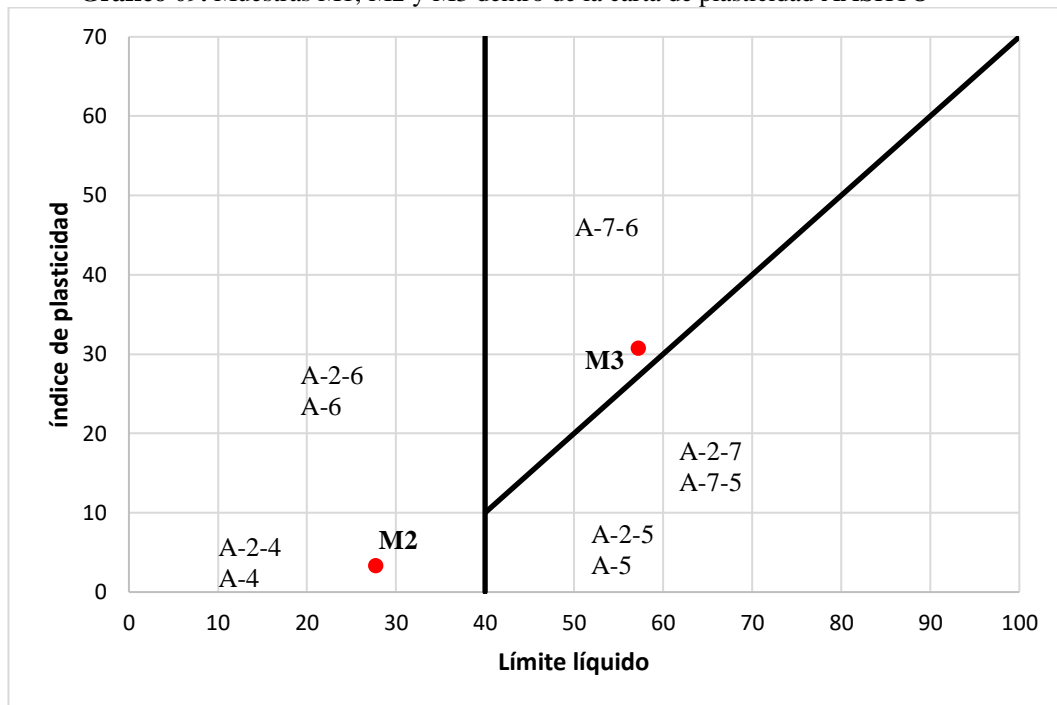
Fuente: Autor

Gráfico 08. Muestras M1, M2 y M3 dentro de la carta de plasticidad SUCS



Fuente: Autor

Gráfico 09. Muestras M1, M2 y M3 dentro de la carta de plasticidad AASHTO



Fuente: Autor

De acuerdo con las clasificaciones SUCS y AASHTO de las muestras de suelo ensayadas, se puede determinar que las mismas corresponden a:

Muestra M1: este suelo es no plástico, debido a que no se pudo determinar el límite líquido mediante la Copa Casagrande (Tabla 17) por lo cual no fue posible ubicarlo dentro de la carta de plasticidad, sin embargo, mediante el parámetro de tamaño de las partículas se tuvo que: por el método SUCS el suelo se clasifica como una Arena mal graduada SM, mediante el método AASHTO se determinó que se trata de un suelo tipo A-2-4 de buena calidad, que está compuesto de grava y arena con poca presencia de limos.

Al ser un suelo de tipo arenoso, explica el bajo contenido de humedad natural pues, una característica importante de las arenas es que, al estar compuestos de partículas más grandes, estos no retienen agua y pueden drenar rápidamente.

Muestra M2: mediante la ubicación en la carta de plasticidad (Gráfico 08 y 09) se observó que: método SUCS (Gráfico 08) el suelo se clasifica como un Limo Inorgánico ML, mediante el método AASHTO (Gráfico 09) se determinó que se trata de un suelo tipo A-2-4 de buena calidad, que está compuesto de Gravas y arenas limosas o arcillosas.

A diferencia de la primera muestra, este suelo presenta más cantidad de limo como se observa en la Tabla 17, lo que explica el contenido de humedad natural presente en la misma, pues al ser una arena limosa, este tipo de suelos están compuestos por partículas más finas lo que les permite retener más agua en comparación con las arenas.

Muestra M3: por el método SUCS el suelo se clasifica como una arcilla orgánica de alta plasticidad CH, mediante el método AASHTO se determinó que se trata de un suelo tipo A-7-6 (8) de mala calidad, que está compuesto de suelos arcillosos, tal como lo indica las Gráficas 08 y 09.

Los suelos de tipo arcilloso en su composición presentan la característica de estar compuestos por partículas muy finas lo que les permite retener gran cantidad de agua.

3.1.2 Propiedades mecánicas

Dentro de las propiedades mecánicas estudiadas se encuentran el Proctor modificado y el California Bearing Ratio (CBR), mediante el primero se obtiene el contenido de humedad óptima (cantidad de agua en la cual el suelo alcanza la máxima compactación) y la densidad seca máxima, mediante el CBR se determina la capacidad portante del suelo (Tabla 18).

Tabla 18. Propiedades mecánicas suelo en estado natural

ID Muestra	Humedad Natural [%]	Humedad Óptima [%]	Den. Seca Máxima γ_d [gr/cm³]	CBR [%]
M1	3,63	15,00	1,638	15,70
M2	23,39	18,00	1,648	26,70
M3	58,11	39,50	1,289	9,80

Fuente: Autor

3.1.2.1 Análisis Proctor modificado suelo natural

En la Tabla 18, se aprecia que las muestras de suelo M1, M2 y M3 presentan un contenido de humedad óptimo de 15 %, 18 % y 39.50 %, lo que representa para la muestra M1 un aumento de 4.134 veces la humedad natural, para las muestras M2 y M3 se observa una reducción de 1.299 y 1.471 veces la humedad natural, por otro lado, la densidad seca máxima para la muestra M1 corresponde a 1.638 gr/cm³, para la muestra M2 es de 1648 gr/cm³ y para la muestra M3 es 1.289 gr/cm³.

3.1.2.2 Análisis CBR suelo natural

De acuerdo con la clasificación representada en la Tabla 08, la muestra M1 con un valor de CBR de 15.70 % se clasifica como una subrasante de una calidad regular a buena, la muestra M2 con CBR de 26.70 % está considerada como un suelo de subrasante de calidad muy buena, por último, la muestra M3 con un valor de CBR de 9.80 % corresponde a un suelo de subrasante de mala calidad. De los tres suelos estudiados el suelo de la muestra M2 es el que mejor calidad presenta y corresponde a un limo inorgánico de buena calidad. En contraste, de los tres suelos estudiado, el que peor calidad presenta es el suelo M3 correspondiente a un suelo arcilloso de mala calidad.

3.2 Características de la ceniza

La cascarilla de arroz al ser calcinada a una temperatura controlada superior a los 500°C por alrededor de 2 horas presenta un color gris blanquecino en su mayoría con pequeñas partículas de color negro (Imagen 14) y un valor de gravedad específica de 2.14 (Tabla 14). S. Das [25] propone que cenizas con estas características pueden llegar a contener en su estructura alrededor de 92.33 % de sílice.

Imagen N° 14. Color de la CCA luego de la incineración



Fuente: Autor

3.2.1 Gravedad específica

La gravedad específica de la ceniza de la cascarilla de arroz es menor en comparación con la gravedad específica de los suelos debido a su estructura porosa (Tabla 14). Mientras que para las muestras de suelo M1, M2 y M3 la gravedad específica es de 2.66, 2.69 y 2.72 respectivamente, para la ceniza, la gravedad específica es de 2.14.

3.2.2 Granulometría

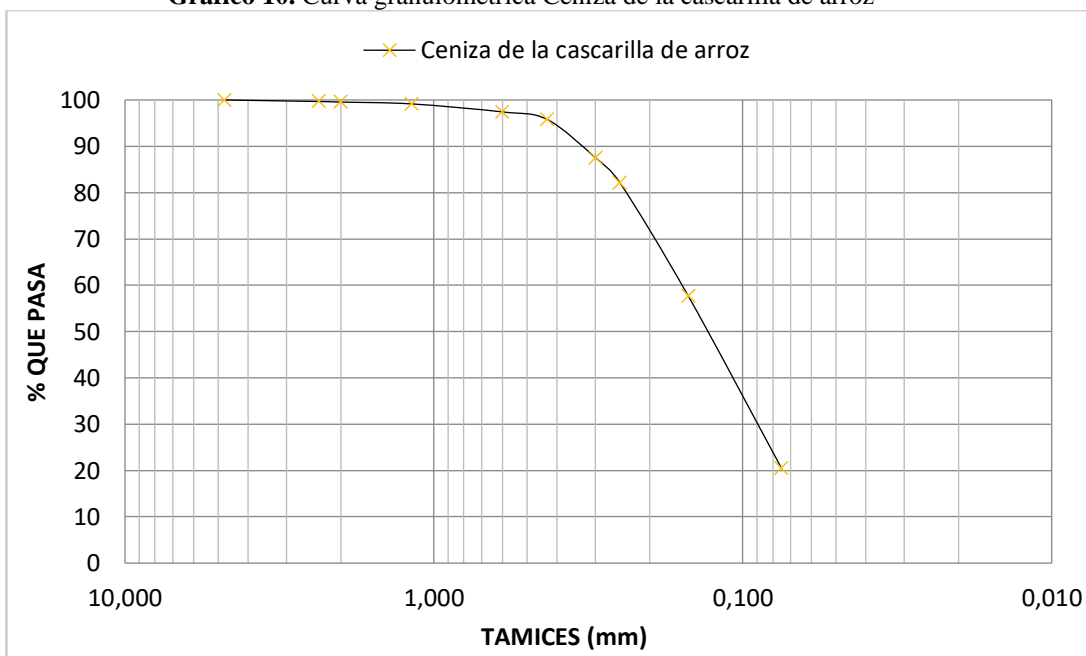
La ceniza de la cascarilla de arroz después de haber sido sometida a tamizado, arrojó los siguientes resultados:

Tabla 19. Distribución granulométrica Ceniza de la cascarilla de arroz

Tamiz #	Abertura (mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Peso Retenido	% Que Pasa
#4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00
#8	2,360	1,63	1,63	0,33	99,67
#10	2,000	0,65	2,28	0,46	99,54
#16	1,180	1,96	4,24	0,85	99,15
#30	0,600	8,66	12,90	2,58	97,42
#40	0,430	8,10	21,00	4,21	95,79
#50	0,300	41,27	62,27	12,47	87,53
#60	0,250	27,03	89,30	17,89	82,11
#100	0,150	122,58	211,88	42,44	57,56
#200	0,075	185,46	397,34	79,58	20,42
Fuente	-	101,93	101,93	20,42	-

Fuente: Autor

Gráfico 10. Curva granulométrica Ceniza de la cascarilla de arroz



Fuente: Autor

Se observa que la mayor cantidad de partículas quedan retenidas en el tamiz número 100 y 200 lo cual representa que el tamaño de las partículas de ceniza se encuentre entre 0.075 mm y 0.150 mm. La ceniza también presenta en su composición granulométrica tamaño de partículas menores a 0.075 mm que representa alrededor del

20 % lo que permite a la ceniza reaccionar químicamente con los componentes del suelo y formar compuestos con propiedades cementantes debido a que los finos poseen potencial puzolánico [26].

3.3 Análisis de la adición óptima de CCA

En la (Tabla 20) se muestran los valores de CBR del suelo estabilizado y el suelo no estabilizado con CCA en la proporción óptima.

Tabla 20. Valor de CBR estabilizado y no estabilizado

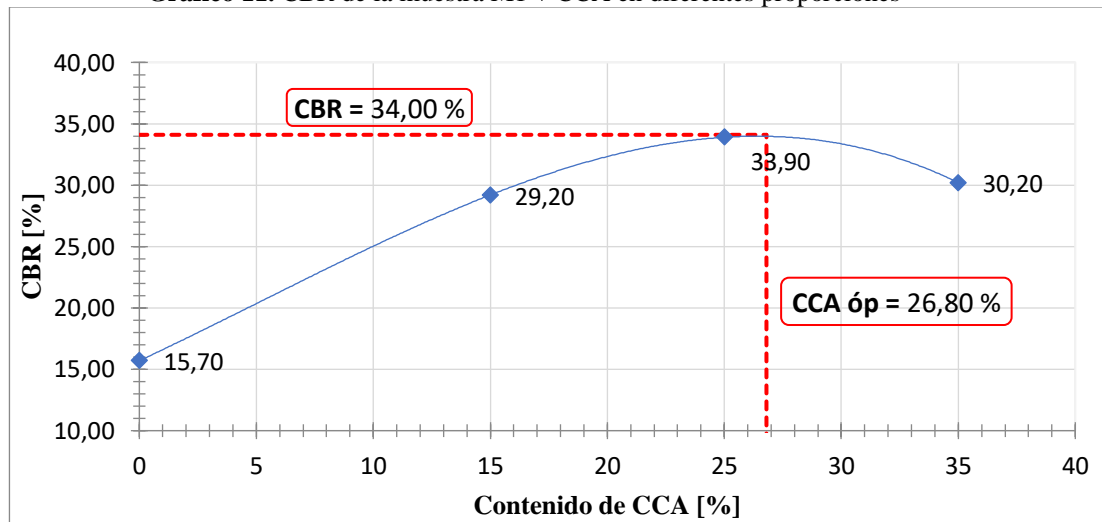
ID Muestra	% Óptimo CCA	CBR Óptimo [%]	CBR Natural [%]	Incremento CBR [%]
M1	26,80	34,00	15,70	18,30
M2	12,30	39,25	26,70	12,55
M3	26,00	20,90	9,80	11,10

Fuente: Autor

3.3.1 Muestra de suelo M1

En la Gráfica 11 se muestra el comportamiento del valor de Soporte de California (CBR) con las diferentes adiciones de ceniza de cascarilla de arroz CCA.

Gráfico 11. CBR de la muestra M1 + CCA en diferentes proporciones



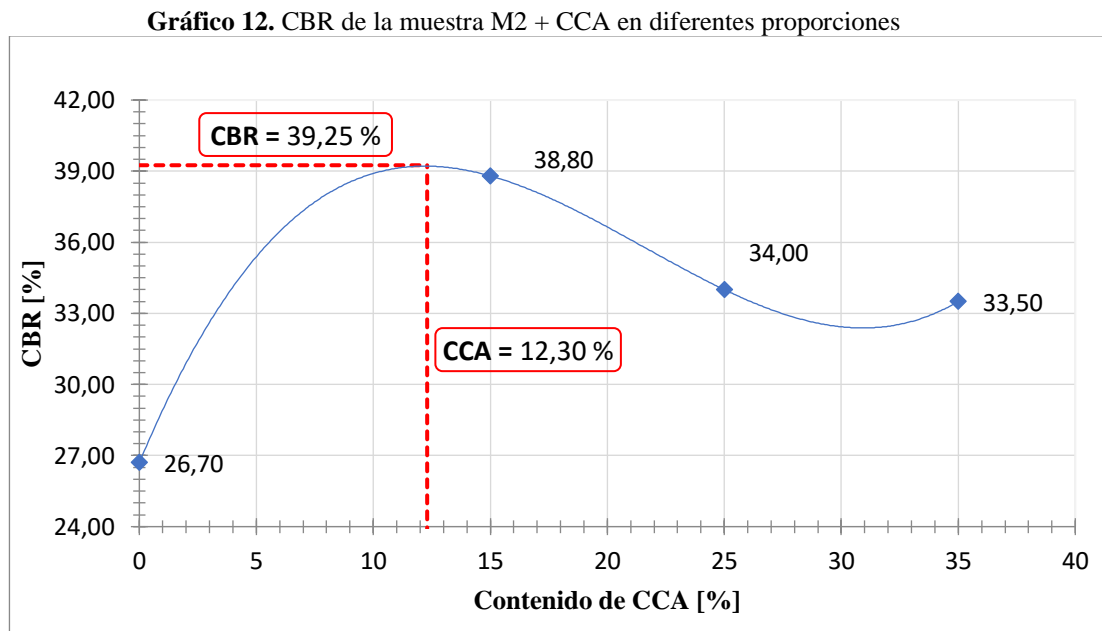
Fuente: Autor

Al incrementarse el contenido de CCA la gráfica sufre un ascenso hasta llegar a un contenido de CCA del 25 %, al adicionarse 35 % de CCA el valor de CBR disminuye, lo que indica que el contenido óptimo de CCA para este tipo de suelo se encuentra entre 25 % y 35 %. El valor óptimo de CCA es de 26.80 % donde se alcanza el pico máximo y se aprecia un valor de CBR de 34.00 %, con esta adición de CCA la

capacidad portante del suelo es 18.30 % más que el CBR del suelo en estado natural, pasando de 15.70 % a 34.00 % con lo cual pasa de ser una subrasante de clasificación regular a buena a una subbase de buena calidad.

3.3.2 Muestra de suelo M2

En relación con la muestra de suelo M2 que corresponde a un suelo de tipo areno limoso se muestra el comportamiento del valor de Soporte de California (CBR) con la adición de 15 %, 25 % y 35 % de CCA (Gráfica 12).

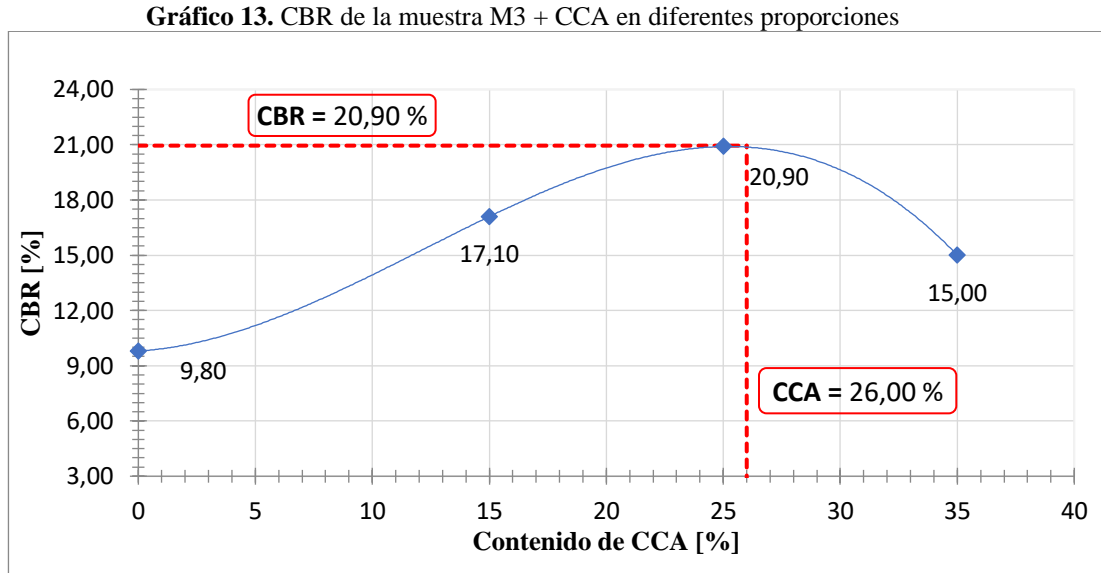


Fuente: Autor

Se aprecia que a medida que se adiciona CCA la gráfica sufre un ascenso hasta llegar a un contenido de CCA del 15 %, al adicionarse 25 % de CCA el valor de CBR disminuye y continúa decayendo con el 35 % de CCA, lo que indica que el valor óptimo de CCA para un suelo de tipo areno limoso se encuentra en el rango de 0 a 15 % del peso del suelo. El pico de la gráfica se da con un valor de CBR de 39.25 % con una adición de CCA de 12.30 %, con esta adición de CCA la capacidad portante del suelo es 12.55 % más que el valor de CBR del suelo en estado natural pasando de 26.70 % a 39.25 % por ende pasa de ser una subrasante de clasificación muy buena a una subbase de buena calidad.

3.3.3 Muestra de suelo M3

La (Gráfica 13) muestra el comportamiento del valor de Soporte de California (CBR) al adicionarse ceniza de cascarilla de arroz CCA en diferentes porcentajes para un suelo de tipo arcilloso.



Fuente: Autor

Se evidencia un incremento en el valor de CBR al adicionarse CCA, la gráfica sigue una tendencia ascendente hasta llegar a un contenido de CCA del 25 %, donde alcanza su pico máximo y desciende al adicionarse 35 % de CCA lo que indica que el valor óptimo de CCA para un suelo de tipo arcilloso se encuentra entre 25 y 35 %, siendo este un valor de 26.00 % de CCA donde la capacidad portante del suelo alcanza su máximo pasando de un CBR de 9.80 % para el suelo en estado natural a un 20.90 % para un suelo con 26.00 % de CCA lo que indica un incremento de 11.10 % y con ello pasa de ser una subrasante de mala calidad a una subrasante de muy buena calidad.

3.4 Propiedades de los suelos estabilizados y no estabilizados

En la (Tabla 21) se muestra un resumen de todos los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado y CBR, los cuales fueron realizados en las muestras de suelo en estado natural y las muestras de suelo con las diferentes adiciones de CCA, lo que permite realizar una comparación de las propiedades de los suelos estabilizados con las propiedades de los suelos no estabilizados.

Tabla 21. Propiedades mecánicas suelos estabilizados y no estabilizados

Muestra	PROCTOR MODIFICADO				CBR			
	% CCA	Wóp [%]	Den. Seca Máxima [gr/cm ³]	Den. Seca 95% [gr/cm ³]	CBR [%]	Absorción [%]		
						56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
M1	0	15,00	1,638	1,556	15,70	0,12	0,22	0,47
	15	21,00	1,423	1,352	29,20	0,46	0,71	1,42
	25	26,00	1,315	1,249	33,90	0,64	1,04	2,46
	35	32,00	1,212	1,151	30,20	0,71	1,12	2,52
M2	0	18,00	1,648	1,566	26,70	0,80	1,60	2,72
	15	23,20	1,464	1,391	38,80	0,91	1,73	3,02
	25	26,50	1,316	1,250	34,00	1,63	3,28	4,84
	35	32,00	1,221	1,160	33,50	2,44	4,10	7,26
M3	0	39,50	1,289	1,225	9,80	13,60	16,03	17,74
	15	41,00	1,265	1,202	17,10	4,00	7,26	11,90
	25	39,00	1,221	1,160	20,90	3,86	6,40	7,94
	35	37,00	1,266	1,203	15,00	2,40	4,92	7,17

Fuente: Autor

Para una mejor interpretación de los resultados, se procede a analizar cada ensayo y muestra de suelo por separado.

3.4.1 Análisis Proctor modificado y CBR muestra de suelo M1

3.4.1.1 Análisis Proctor modificado

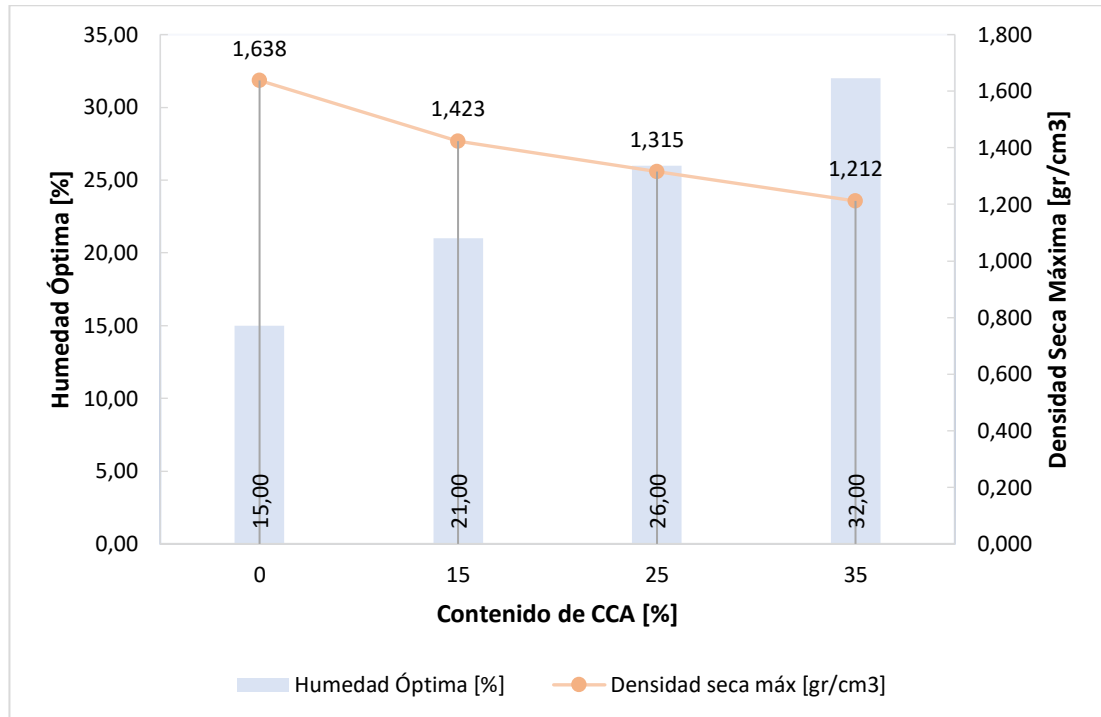
El comportamiento de la humedad óptima y densidad seca máxima del suelo al adicionar la CCA en diferentes proporciones se muestra en la (Gráfica 14), la cual, está compuesta por tres ejes, en los cuales se representa el porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz en las abscisas y en el eje de las ordenadas se representa el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima.

En esta muestra de suelo que corresponde a un suelo SM se observa que el contenido de humedad óptimo es directamente proporcional al contenido de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), al incrementarse el porcentaje de CCA el contenido de humedad óptimo también aumenta. El contenido de humedad óptimo para la muestra de suelo natural es de 15 % mientras que al adicionarse 35 % de CCA el contenido de humedad óptimo es de 32 %, lo que indica un incremento de alrededor de 2.135 veces el valor inicial, otro punto a destacar es que el comportamiento en el incremento del contenido de humedad óptimo al adicionarse CCA es uniforme.

Por otro lado, la gráfica también muestra que, a diferencia del contenido de humedad óptima, el valor de densidad seca máxima es inversamente proporcional al contenido de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), al incrementarse el porcentaje de CCA la

densidad seca máxima disminuye, así por ejemplo el valor de densidad seca máxima de la muestra en estado natural es de 1.638 gr/cm³ mientras que el valor de la densidad seca máxima al adicionarse 35 % de CCA es de 1.212 gr/cm³ lo que indica una disminución de alrededor del 35.14 % de su valor inicial.

Gráfico 14. Proctor modificado muestra M1



Fuente: Autor

L. Behak y W. Nuñez [11] están de acuerdo en que el aumento en el contenido de humedad óptima se debe a la adición de CCA, debido a que la ceniza presenta características porosas, lo que permite una mayor absorción de agua para llenar esos espacios huecos. También menciona que la disminución en la densidad seca máxima se da debido a la adición de materiales con baja gravedad específica. Bajo la misma premisa, [27] opina que la disminución de la densidad seca máxima se debe al tamaño de las partículas y la gravedad específica del suelo y del agente estabilizador, pues la gravedad específica de la ceniza es menor que la gravedad específica del suelo. La disminución en la densidad seca máxima genera que la energía de compactación para alcanzar la densidad seca máxima sea menor [28].

3.4.1.2 Análisis ensayo CBR

El ensayo de CBR está estrechamente ligado al ensayo de Proctor modificado, pues de este se obtienen los valores de humedad óptima que se aplica en el ensayo de CBR.

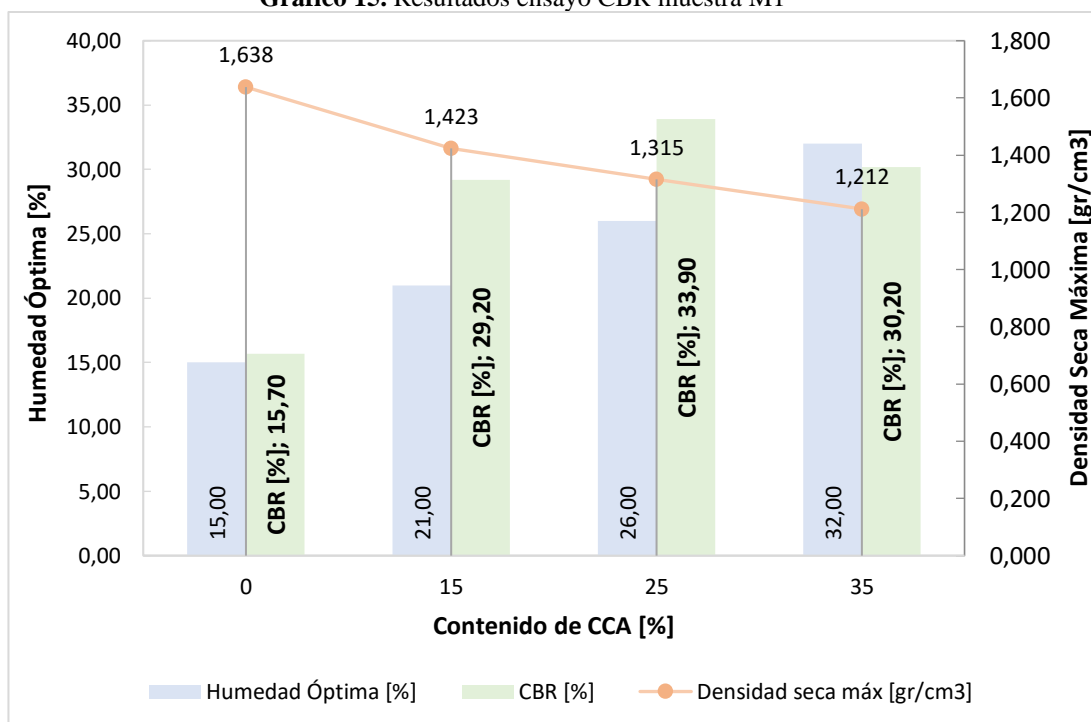
Tabla 22. Incremento del valor de CBR muestra M1

Muestra	CCA [%]	% Óptimo Humedad	CBR [%]	Incremento CBR
M1	0,00	15,00	15,70	---
	15,00	21,00	29,20	1,860
	25,00	26,00	33,90	2,159
	35,00	32,00	30,20	1,924

Fuente: Autor

En la Gráfica 15 se muestra el comportamiento del CBR al adicionarse ceniza de la cascarilla de arroz en 15 %, 25 % y 35 % del peso.

Gráfico 15. Resultados ensayo CBR muestra M1



Fuente: Autor

Se da una mejora considerable en el valor de CBR al adicionarse CCA; con la adición de 15 % de CCA el valor de CBR pasa de 15.70 % a 29.20 % lo que indica un incremento de aproximadamente 1.860 veces el valor inicial, bajo el mismo análisis al adicionarse 25 % de CCA el incremento del CBR es de 2.159 veces pasando de 15.70 % a 33.90 %, de igual manera, al adicionarse 35 % de CCA el valor de CBR sufre un incremento de 1.924 veces, pasando de 15.70 % a 30.20 %.

Con la adición de 25 % de CCA y una humedad óptima de 26 % se alcanza una densidad seca máxima de 1.315 gr/cm³ y un mayor incremento en cuanto al valor de

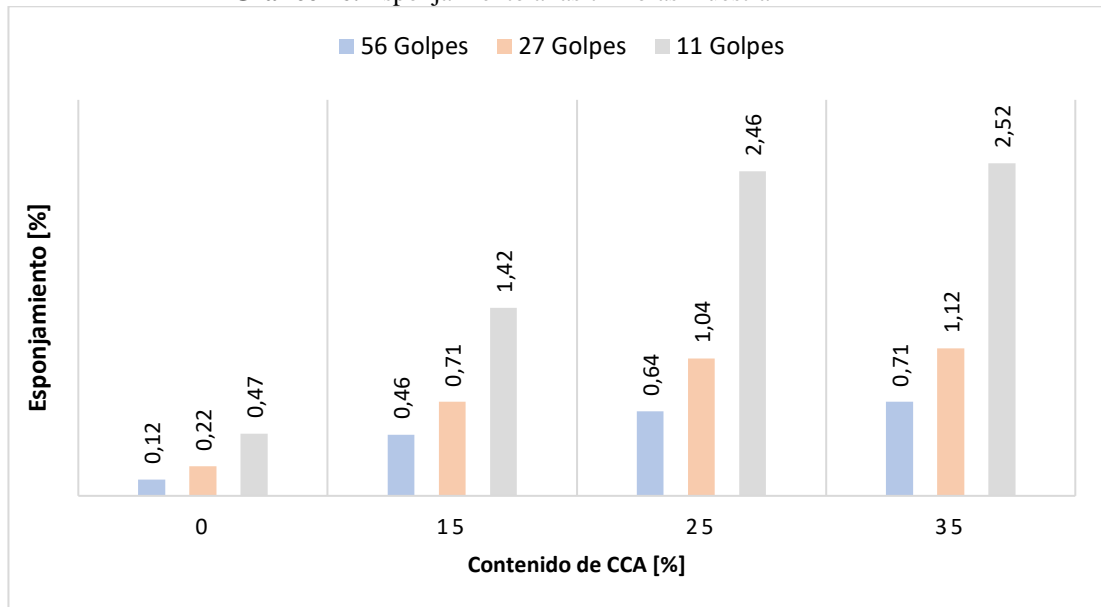
CBR, siendo este de 2.159 veces el valor del CBR del suelo en estado natural.

El incremento en cuanto al valor de CBR está en la línea de [11] el cual atribuye este suceso a una corrección granulométrica, pues en su estudio obtuvo un incremento de 2.8 veces el valor inicial de CBR. Por otro lado [9] asocia la disminución del valor de CBR después del 25 % de CCA a un exceso de CCA, misma que no pudo movilizarse durante la reacción con el suelo, causando que la ceniza ocupe espacios dentro de la muestra y en consecuencia disminuyan las mezclas de suelo-CCA.

3.4.1.3 Análisis Esponjamiento

En la Gráfica 16 se muestra la evolución del esponjamiento que sufren las muestras con los diferentes contenidos de CCA, valores dados a las 72 horas para 56, 27 y 11 golpes respectivamente.

Gráfico 16. Esponjamiento a las 72 horas muestra M1



Fuente: Autor

A medida que el contenido de CCA incrementa también lo hace el esponjamiento esto debido a que las partículas de CCA son huecas y requieren mayor humedad. A los 56 golpes se aprecia un menor esponjamiento que a los 27 y 11 golpes, esto se debe a que el suelo está más compacto mientras que a los 27 y 11 golpes el suelo es más suelto y contiene más espacios vacíos en los cuales se puede acumular el agua.

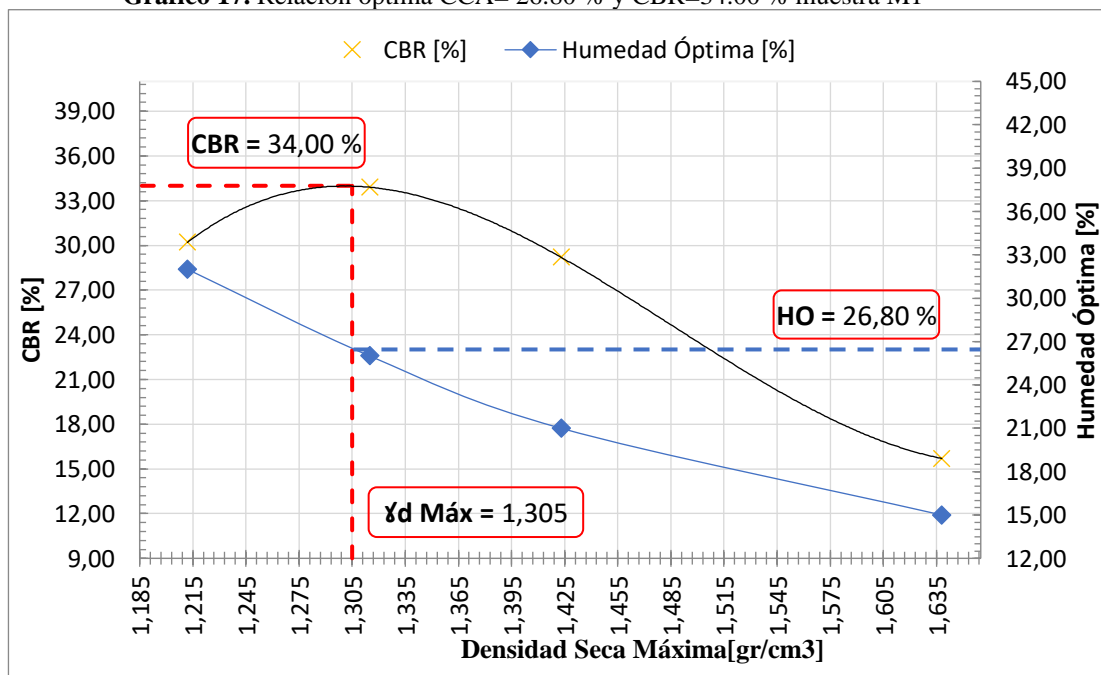
Como se reporta en [18] el incremento en el esponjamiento se debe a que la ceniza posee gran capacidad de absorción. Esto se lo pudo observar durante la ejecución del

ensayo de Proctor modificado, pues fue necesaria una mayor incorporación de agua para llegar a la humedad óptima.

3.4.1.4 Análisis CBR con CCA óptimo

La siguiente gráfica está compuesta por un eje horizontal en el cual se representa la densidad seca máxima al 100 % mientras que en el eje vertical están representados los valores de CBR y humedad óptima. La misma, permite encontrar los valores de densidad seca máxima y humedad óptima necesarios para llegar a un valor de CBR óptimo.

Gráfico 17. Relación óptima CCA= 26.80 % y CBR=34.00 % muestra M1



Fuente: Autor

Para un tipo de suelo SM, al trazar una horizontal en el valor de CBR obtenido con la adición de 26.80 % de CCA se aprecia que para alcanzar un valor de CBR de 34.00 % se debe agregar a la compactación una humedad de alrededor de 26.80 % y con ello alcanzar una densidad seca máxima de 1.305 gr/cm³.

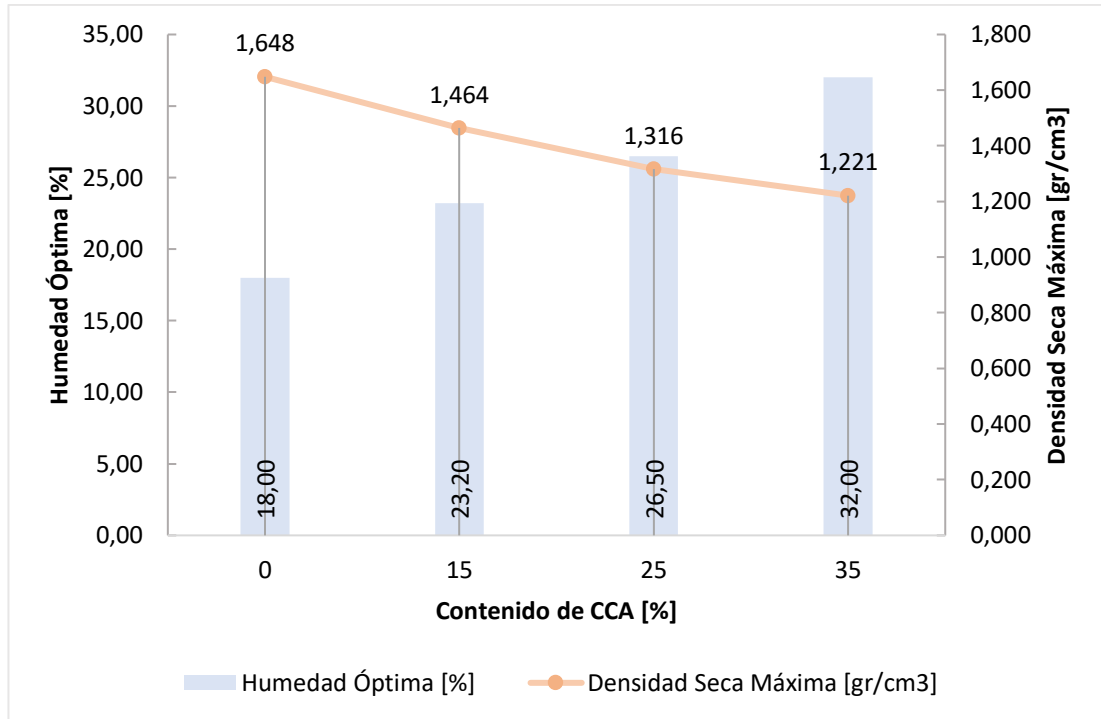
3.4.2 Análisis Proctor modificado y CBR muestra de suelo M2

3.4.2.1 Análisis Proctor modificado

La muestra de suelo M2 corresponde a un suelo de tipo ML y en la Gráfica 18 representa el comportamiento de este tipo de suelo al adicionarse CCA en 15 %, 25 % y 35 % del peso del suelo, en las abscisas se representa el porcentaje de CCA mientras

que en el eje de las ordenadas se encuentra el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima.

Gráfico 18. Proctor modificado muestra M2



Fuente: Autor

Al igual que en la muestra de suelo M1, se aprecia un incremento en el contenido de humedad óptimo al incrementarse el contenido de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), siendo este un incremento de alrededor de 1.78 veces el valor inicial, pasando de 18 % de humedad óptima para el suelo en estado natural a un 32 % de humedad óptima para el suelo más el 35 % de CCA. También se aprecia una disminución en cuanto al valor de densidad seca máxima al incrementarse el contenido de CCA, lo que indica una relación inversamente proporcional, así, por ejemplo: el valor de densidad seca máxima del suelo de la muestra M2 sin adición de CCA es de 1.648 gr/cm³ mientras que para la muestra de suelo mezclada con el 35 % de CCA es de 1.221 gr/cm³, lo que representa un decrecimiento de alrededor del 34.97 % del valor inicial.

Los valores resultantes del ensayo van acordes con [9] el cual reportó una disminución en la densidad seca máxima (DSM) y un aumento en el contenido de humedad óptimo (CHO) al incrementarse la adición de CCA, también señala que la disminución en DSM se atribuye a la adición de CCA, pues la ceniza posee una gravedad específica baja en comparación con el suelo, por otro lado el aumento de CHO se da como

consecuencia de que la partículas de CCA son huecas, lo que permite una mayor absorción de agua para una correcta lubricación.

Por su lado [18] adjudica el decrecimiento de la DSM a que las partículas de CCA se mezclan con las partículas de suelo dando lugar a unas partículas más grandes con mayores vacíos y en consecuencia con menor densidad.

3.4.2.2 Análisis ensayo CBR

La muestra de suelo M2 corresponde a un tipo de suelo areno limoso ML de buena calidad, en la Tabla 23 se muestra el incremento que presenta el CBR al adicionarse CCA.

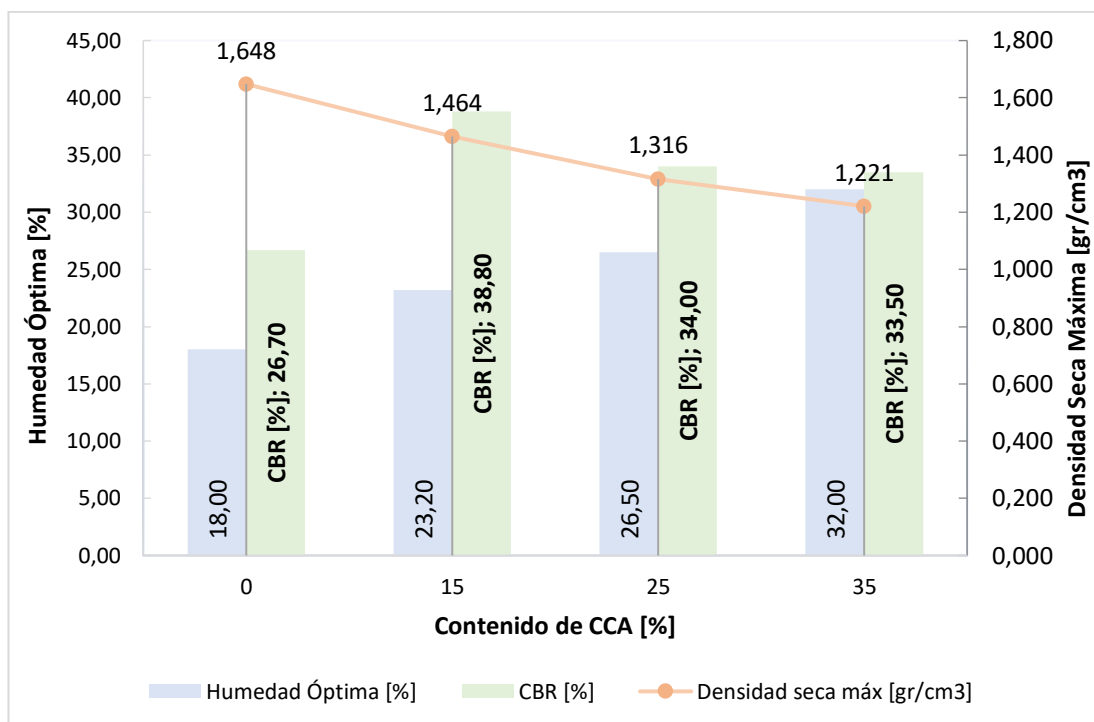
Tabla 23. Incremento del valor de CBR muestra M2

Muestra	CCA [%]	% Óptimo CCA	CBR [%]	Incremento CBR
	0,00	18,00	26,70	---
M2	15,00	23,20	38,80	1,453
	25,00	26,50	34,00	1,273
	35,00	32,00	33,50	1,255

Fuente: Autor

En la Gráfica 19 se puede observar el comportamiento de este tipo de suelo al adicionarse 15 %, 25 % y 35 % de CCA.

Gráfico 19. Resultados ensayo CBR muestra M2



Fuente: Autor

Con la adición de 15 % de CCA el suelo sufre una mejora de 1.453 veces el valor del CBR del suelo en estado natural pasando de 26.70 % a 38.80 %, para una adición de 25 % de CCA la mejora es de 1.273 veces pasando de 26.70 % a 34.00 %, al adicionarse 35 % de CCA el valor de CBR pasa de 26.70 a 33.50 % reflejando un incremento de 1.255 veces.

Al incorporar 15 % de CCA y 23.20 % de humedad se obtiene una densidad seca máxima de 1.464 gr/cm³ y un CBR de 38.80 % el cual es 1.141 veces mayor al CBR del suelo con el 25 % de CCA y 1.158 veces mayor al suelo con el 35 % de CCA.

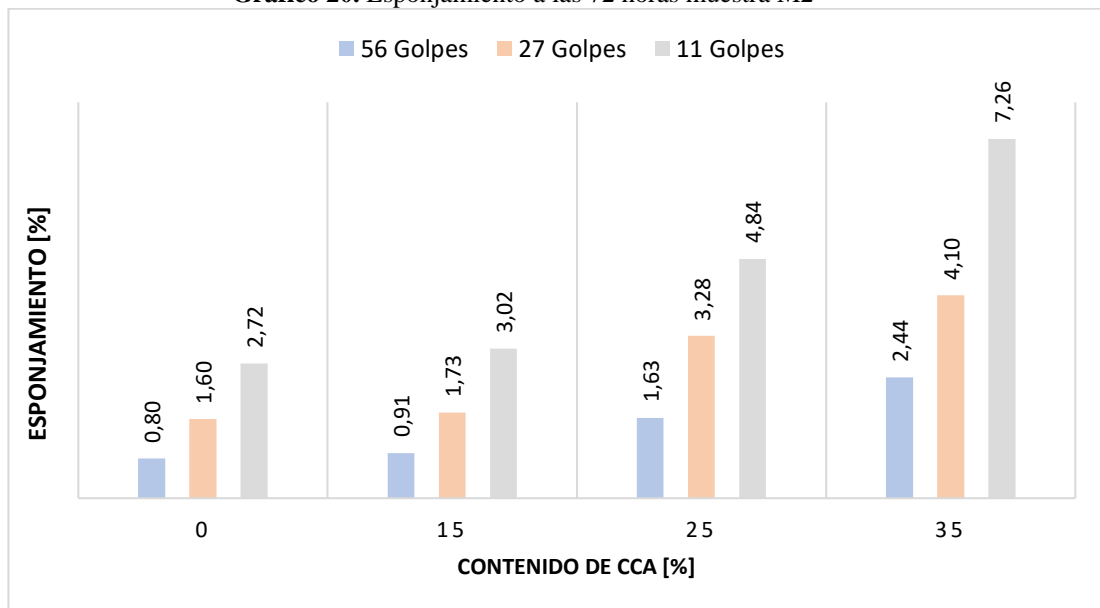
K. Brahmachary *et al* [9] y D. Condo [18] coinciden en que, el incremento en el CBR al adicionarse CCA en diferentes porcentajes es debido a la formación agentes aglomerantes u cementantes producto de las reacciones puzolánicas que se produce con la adición de sílice, el cual está presente en la CCA. A su vez la disminución en el valor de CBR es consecuencia de un exceso de CCA, la cual no pudo movilizarse y reaccionar químicamente con el suelo, en consecuencia, solo ocupa espacios dentro de la muestra de suelo.

3.4.2.3 Análisis Esponjamiento

En la Gráfica 20 se muestra el comportamiento del esponjamiento después de 72 para

56, 27 y 11 golpes y los diferentes contenidos de CCA.

Gráfico 20. Esponjamiento a las 72 horas muestra M2



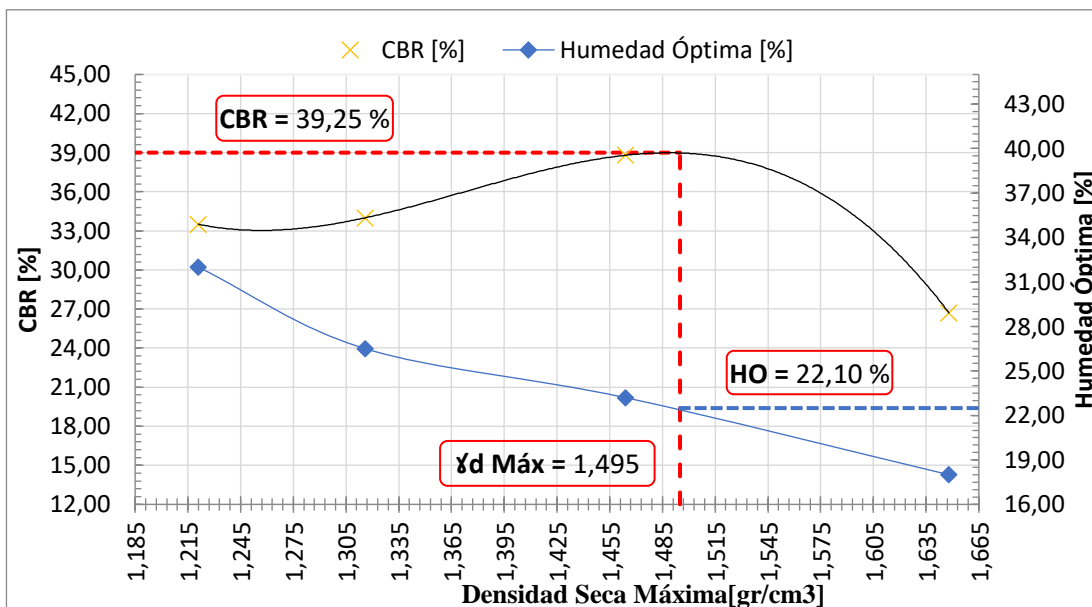
Fuente: Autor

El comportamiento es similar al del esponjamiento en la muestra M1, pues a medida que el contenido de CCA aumenta, también lo hace el esponjamiento. Este comportamiento es explicado por [18] quien señala que esto es producto del incremento a la CCA, pues como se mencionó anteriormente, la ceniza posee un gran potencial de absorción.

3.4.2.4 Análisis CBR con CCA óptimo

La siguiente gráfica está compuesta por un eje horizontal en el cual se representa la densidad seca máxima al 100 % mientras que en el eje vertical están representados los valores de CBR y humedad óptima. La gráfica permite encontrar los valores de densidad seca máxima y humedad óptima necesarios para llegar a un valor de CBR óptimo.

Gráfico 21. Relación óptima CCA= 12.30 % y CBR=39.25 % muestra M2



Fuente: Autor

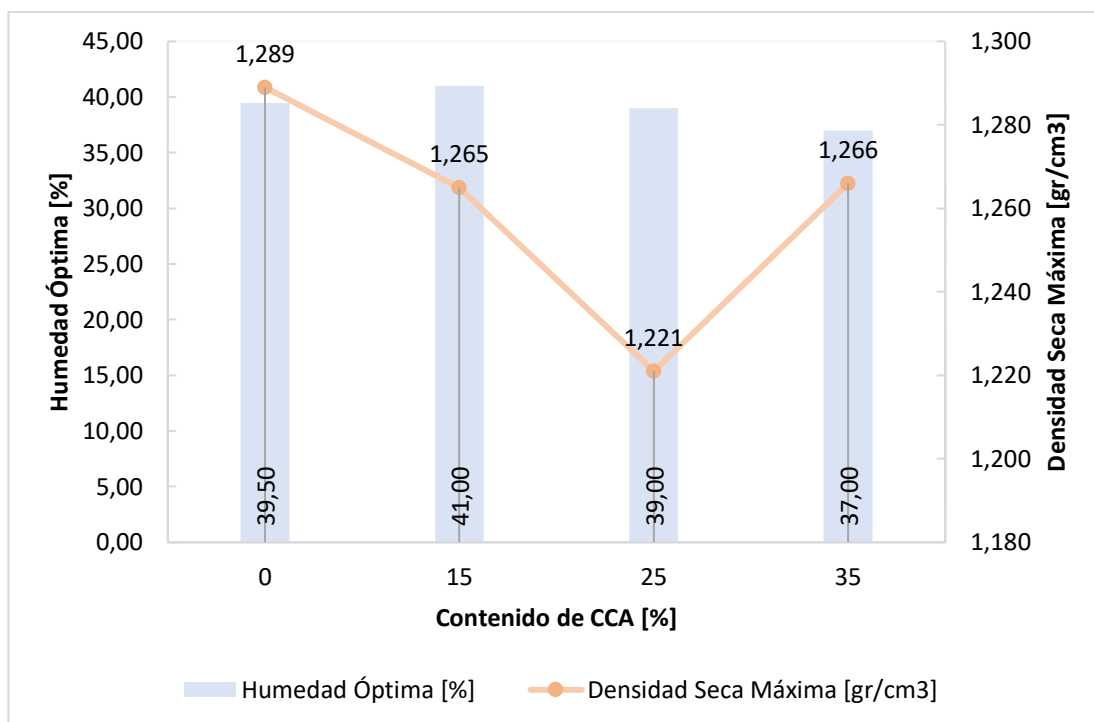
Para un tipo de suelo ML, al trazar una horizontal en el valor de CBR obtenido con la adición de 12.30 % de CCA se aprecia que para alcanzar un valor de CBR de 39.25 % se debe agregar a la compactación una humedad de alrededor de 22.10 % y con ello alcanzar una densidad seca máxima de 1.495 gr/cm³.

3.4.3 Análisis Proctor modificado y CBR muestra de suelo M3

3.4.3.1 Análisis Proctor modificado

De la misma forma que en las muestras M1 y M2, para conocer el comportamiento del suelo de la muestra M3 al adicionarse CCA se representaron los resultados del ensayo Proctor modificado en la Gráfico 22, el cual está compuesto por un eje horizontal donde se muestra el contenido de CCA en porcentaje y un eje vertical donde se muestra el contenido de humedad óptima y el valor de densidad seca máxima.

Gráfico 22. Proctor modificado muestra M3



Fuente: Autor

La muestra de suelo M3 corresponde a un suelo arcilloso CH, el cual fue extraído del cantón Puyo y presenta un comportamiento diferente en comparación con los suelos de las muestras M1 y M2. En la Gráfica 22 se aprecia un incremento en cuanto al contenido de humedad óptima al adicionarse 15 % de CCA pasando de 39.50 % a 41.00 %, sin embargo al adicionarse 25 % de CCA el contenido de humedad óptima disminuye, siendo un valor similar al contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural siendo estos de 39.50 % y 39 % respectivamente, por último, al incrementarse el contenido de CCA a 35 % el contenido de humedad óptimo vuelve a disminuir, siendo un valor inferior al contenido de humedad óptimo inicial pasando de 39.50 % a 37.00 %.

La disminución en el contenido de humedad óptima para la adición de 25 % y 35 % de CCA puede ser debido al reemplazo del suelo por CCA, el suelo que corresponde a un suelo arcilloso de alta plasticidad, el cual absorbe más agua que la CCA, por ende, al añadirse CCA en mayor proporción, se va disminuyendo la cantidad de suelo, con ello la humedad.

Con relación al valor de densidad seca máxima, este sigue un patrón diferente a los tipos de suelo de las muestras M1 y M2, el valor de densidad seca máxima decrece al incrementarse el contenido de CCA, sin embargo al contrario que con las muestras M1

y M2, la tendencia no es constante, pues al adicionarse 15 % de CCA la densidad seca máxima disminuye en 1.86 % pasando de 1.289 kg/cm³ a 1.265 gr/cm³, al adicionarse 25 % de CCA el valor disminuye un 3.60 % pasando de 1.265 gr/cm³ a 1.221 gr/cm³ y finalmente al adicionarse 35 % de CCA el valor de densidad seca máxima asciende en 3.69 % pasando de 1.221 gr/cm³ a 1.266 gr/cm³.

El comportamiento del contenido de humedad óptimo (CHO) y la densidad seca máxima (DSM) van conforme con [3]-[7],[8]-[10]-[17]-[29] en los cuales se apreció un aumento del CHO y posteriormente un decrecimiento en el mismo, de igual manera la DSM presentó una disminución significativa y posteriormente volvió a subir. Los investigadores coinciden en que hay un aumento en el CHO debido a una sustitución de la fracción fina del suelo con la adición de CCA, lo cual provoca que se formen materiales más gruesos con áreas superficiales más grandes que necesitan mayor cantidad de agua para poder compactarse. En contraste, la disminución en la DSM se debe a que la CCA es un material de relleno con gravedad específica más baja que el suelo.

3.4.3.2 Análisis CBR

En la Tabla 24 se presenta el incremento en el valor de CBR, con la adición de CCA en diferentes porcentajes (15 %, 25 % y 35 %) para un suelo de tipo arcilloso CH.

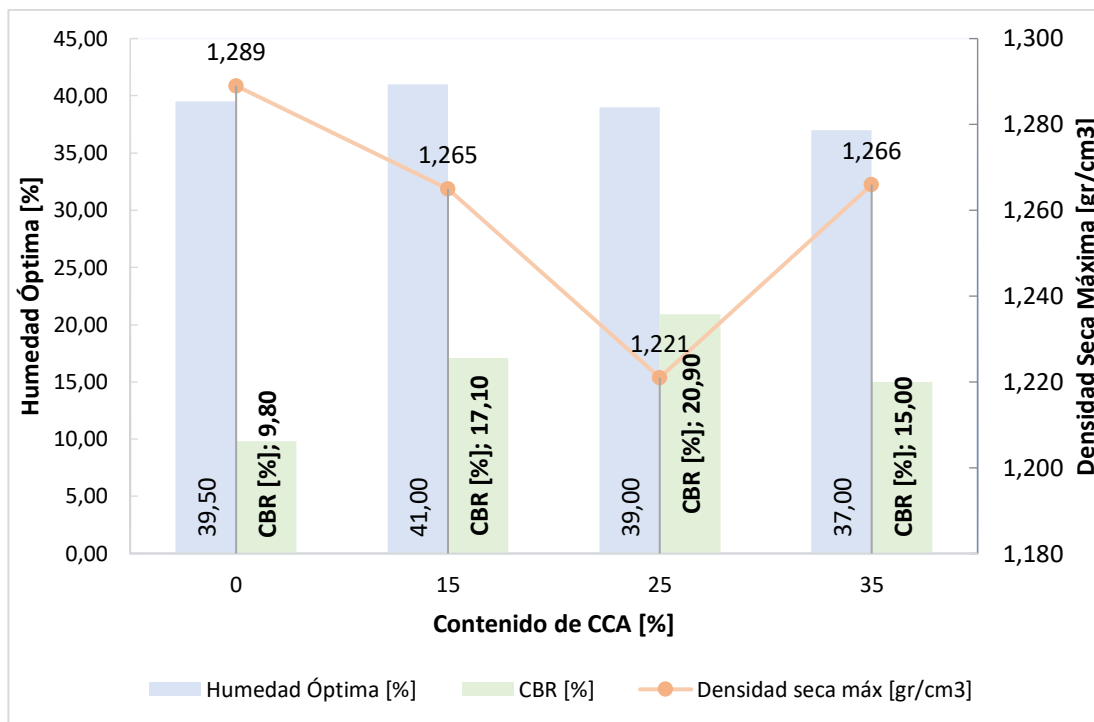
Tabla 24. Incremento del valor de CBR muestra M3

Muestra	CCA [%]	% Óptimo CCA	CBR [%]	Incremento CBR
	0,00	39,50	9,80	---
M3	15,00	41,00	17,10	1,745
	25,00	39,00	20,90	2,133
	35,00	37,00	15,00	1,531

Fuente: Autor

El comportamiento de este suelo con la adición de CCA se evidencia en la Gráfica 23.

Gráfico 23. Resultados ensayo CBR muestra M3



Fuente: Autor

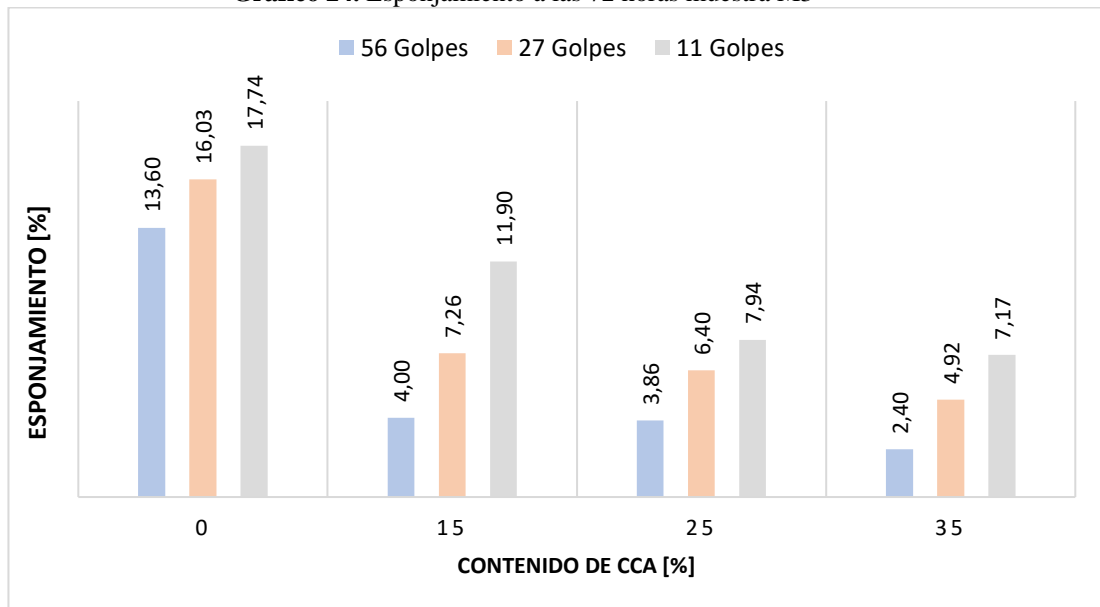
La adición de CCA muestra una mejora significativa en el valor de CBR; con la adición de 15 % de CCA el CBR incrementa en 1.745 veces pasando de 9.80 % a 17.10 % mientras que con la adición de 25 % de CCA el incremento es de 2.133 veces pasando de 9.80 % a 20.90 %, por último, al adicionarse un 35 % de CCA el valor de CBR pasa de 9.80 % a 15.00 % siendo este un incremento de 1.531 veces. La mayor mejora en el suelo se da al adicionarse 25 % de CCA y un 39 % de humedad óptima, con estos valores se logra una densidad seca máxima de 1.221 gr/cm³ y un valor de CBR de 20.90 % el cual es 1.222 veces mayor que el CBR con 15 % de CCA y 1.393 veces mayor al valor de CBR con 35 % de CCA.

A. Roy [29] dedica el incremento del CBR a la formación gradual de compuestos cementantes en el suelo debido a la interacción de la sílice contenida en la CCA y el hidróxido de calcio Ca (OH)₂ presente en el suelo. No obstante, la disminución del valor de CBR pudo ser producto del exceso de CCA, la cual no pudo movilizarse y formar una reacción, en consecuencia, sólo ocupando un espacio en la muestra reduciendo la unión en la mezcla de suelo-CCA.

3.4.3.3 Análisis Esponjamiento

A diferencia que en las muestras de suelo M1 y M2, en la Gráfica 24 se aprecia una disminución gradual en el esponjamiento al adicionarse CCA.

Gráfico 24. Esponjamiento a las 72 horas muestra M3



Fuente: Autor

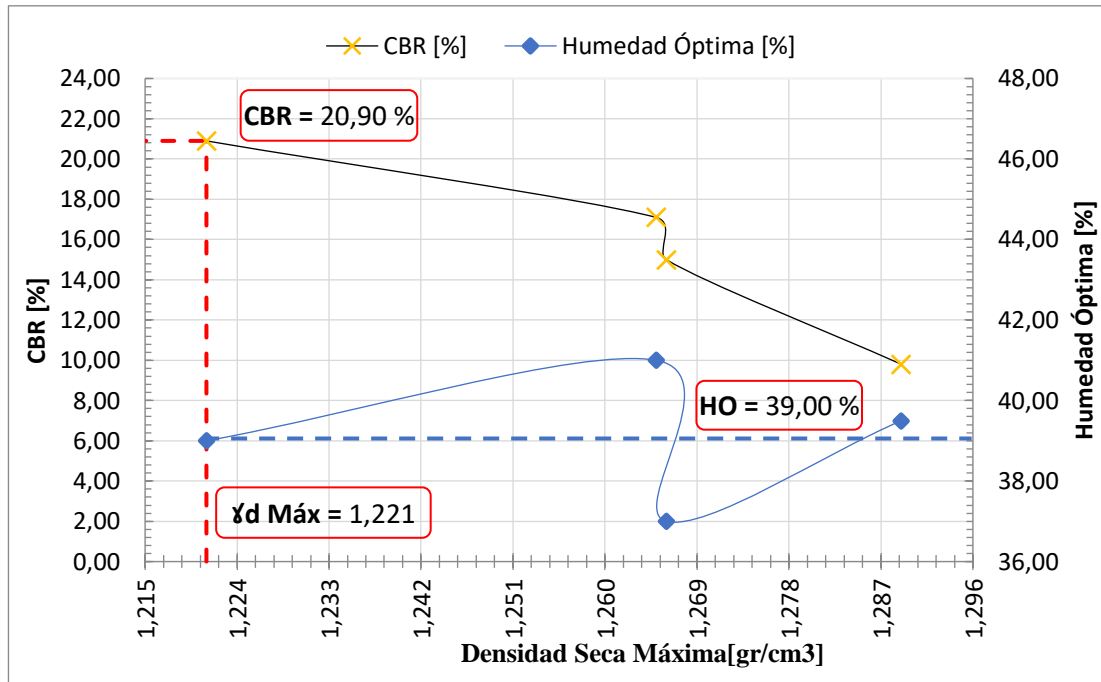
Con la adición de 15 % de CCA para los 56 golpes se evidencia una diferencia de 9.60 % con respecto al esponjamiento del suelo en estado natural, para los 27 y 11 golpes la diferencia es de 8.77 % y 5.84 % respectivamente. Con la adición de 25 % de CCA se tiene una diferencia de 9.74 % para los 56 golpes, una de 9.63 % para los 27 golpes y una diferencia de 9.80 % para los 11 golpes. De la misma manera, al adicionarse 35 % de CCA el esponjamiento disminuye siendo esta una diferencia de 11.20 % para los 56 golpes, 11.11 % para los 27 golpes y 10.57 % para los 11 golpes.

La disminución en el esponjamiento pudo ser debido a la sustitución de suelo por CCA, la cual, al ser un material de relleno con capacidad de absorción menor al de este tipo de suelo generó una mejor compactación, dejando menos espacios vacíos en comparación con el suelo en estado natural.

3.4.3.4 Análisis CBR con CCA óptimo

La siguiente gráfica está compuesta por un eje horizontal en el cual se representa la densidad seca máxima al 100 % mientras que en el eje vertical están representados los valores de CBR y humedad óptima. La misma, permite encontrar los valores de densidad seca máxima y humedad óptima necesarios para llegar a un valor de CBR óptimo.

Gráfico 25. Relación óptima CCA= 26.00 % y CBR=20.90 % muestra M3



Fuente: Autor

Para un tipo de suelo CH, al trazar una horizontal en el valor de CBR obtenido con la adición de 26.00 % de CCA se aprecia que para alcanzar un valor de CBR de 20.90 % se debe agregar a la compactación una humedad de alrededor de 39.00 % y con ello alcanzar una densidad seca máxima de 1.221 gr/cm³.

3.5 Análisis económico

Los valores de estabilización que se presentan en la Tabla 25 son valores aproximados, que permitieron establecer una tendencia en cuanto a la estabilización con CCA, cemento y cal (Gráfico 26), para lo cual, los porcentajes de cemento y cal fueron tomados de investigaciones realizadas con materiales que presentan características similares a los de los suelos estudiados en este trabajo.

Se observa que la estabilización con CCA en comparación con la estabilización con Cemento y Cal es más costosa, esto debido al porcentaje de ceniza en comparación con los porcentajes de cemento y cal, la estabilización con ceniza varía en torno al 15 % y 25 % mientras que la estabilización con Cemento y cal se encuentra entre el 2 % y 10 %, lo que representa una diferencia significativa, sin embargo en términos ecológicos la ceniza es más viable debido a que es un residuo agroindustrial que no es aprovechado y que quemado en un ambiente controlado no produce contaminación, además, para la elaboración de cemento y cal se necesitan grandes cantidades de

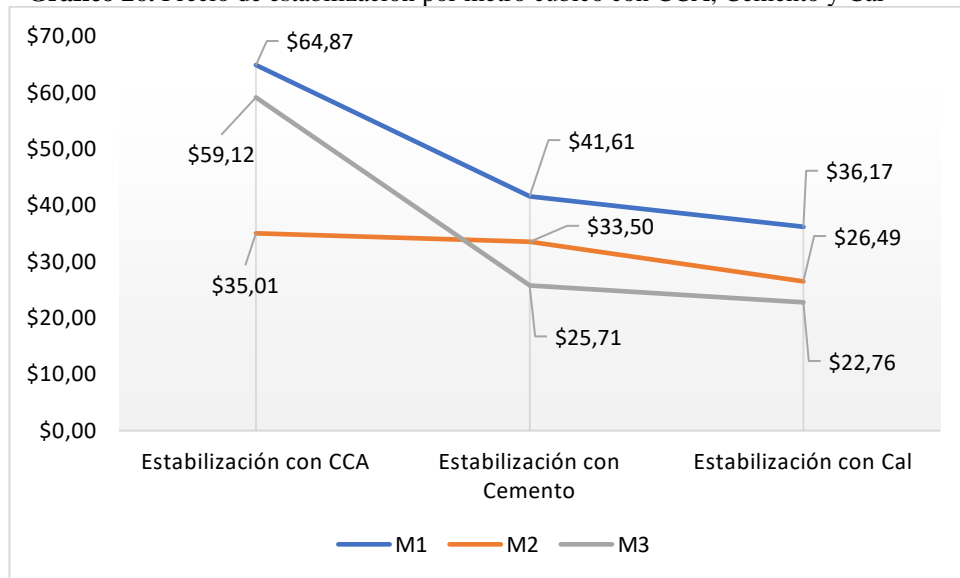
energía, mientras que para la ceniza la energía utilizada es menor.

Tabla 25. Precio de estabilización por metro cúbico

Precio por m³			
ID Muestra	Estabilización con CCA	Estabilización con Cemento	Estabilización con Cal
M1	\$64,87	\$41,61	\$36,17
M2	\$35,01	\$33,50	\$26,49
M3	\$59,12	\$25,71	\$22,76

Fuente: Autor

Gráfico 26. Precio de estabilización por metro cúbico con CCA, Cemento y Cal



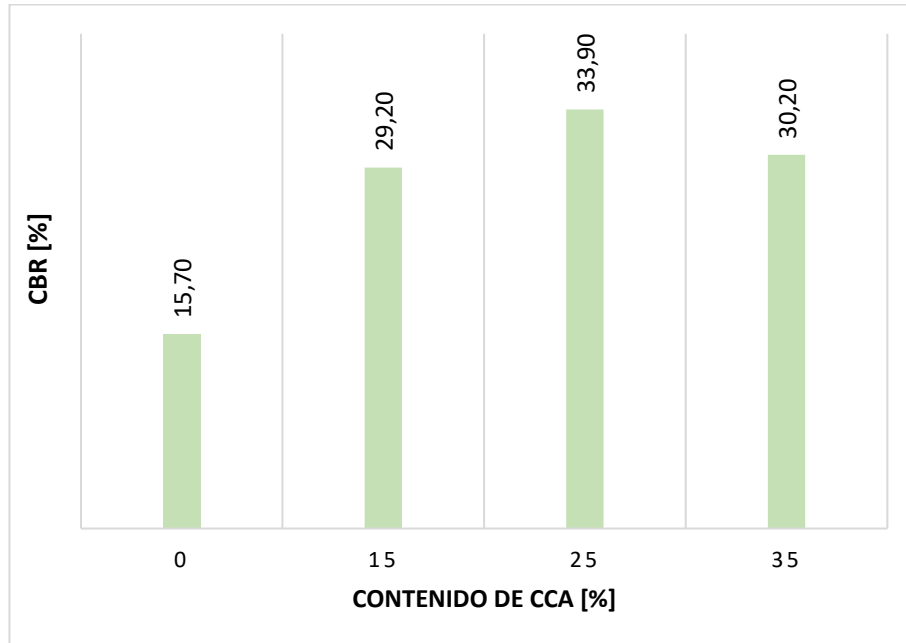
Fuente: Autor

En consecuencia, la ceniza al igual que el cemento y la cal ayudan en gran medida a estabilizar los suelos, sin embargo se necesita un mayor porcentaje de ceniza en comparación con la cal y el cemento, por lo cual la ceniza económicamente no es tan viable y lo ideal sería hacer combinaciones de ceniza - cemento o ceniza - cal para abaratar costos y disminuir la contaminación que genera la producción de cal y cemento, debido a que en ese aspecto la ceniza produce menos contaminación en comparación con la otras.

3.6 Verificación de hipótesis

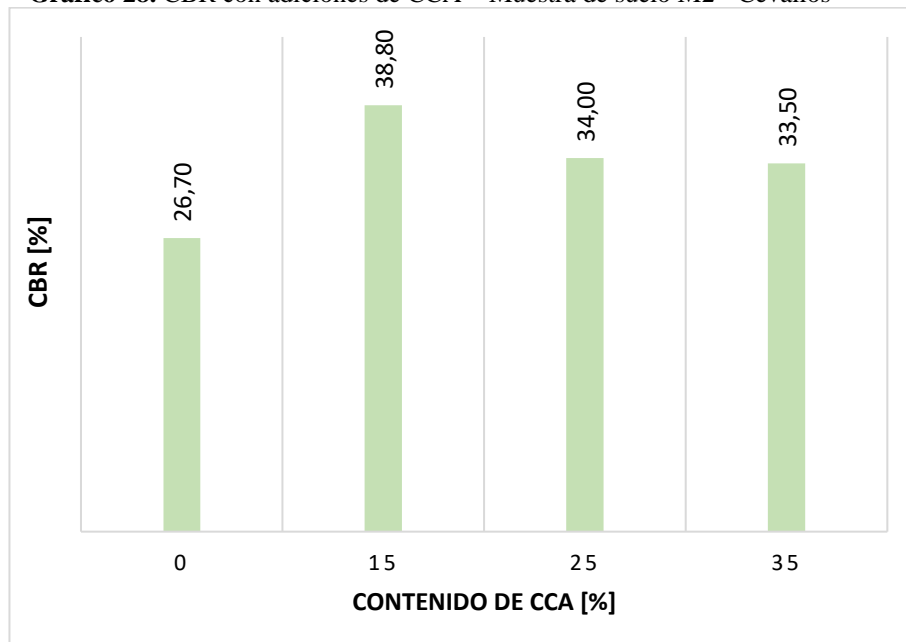
Después de haber determinado los valores de CBR para las diferentes muestras de suelo con y sin la adición de CCA, se indican los resultados obtenidos en base a gráficas que representan el valor de CBR de las muestras con las diferentes adiciones de CCA como lo indican las gráficas 27, 28 y 29.

Gráfico 27. CBR con adiciones de CCA – Muestra de suelo M1 - Tisaleo



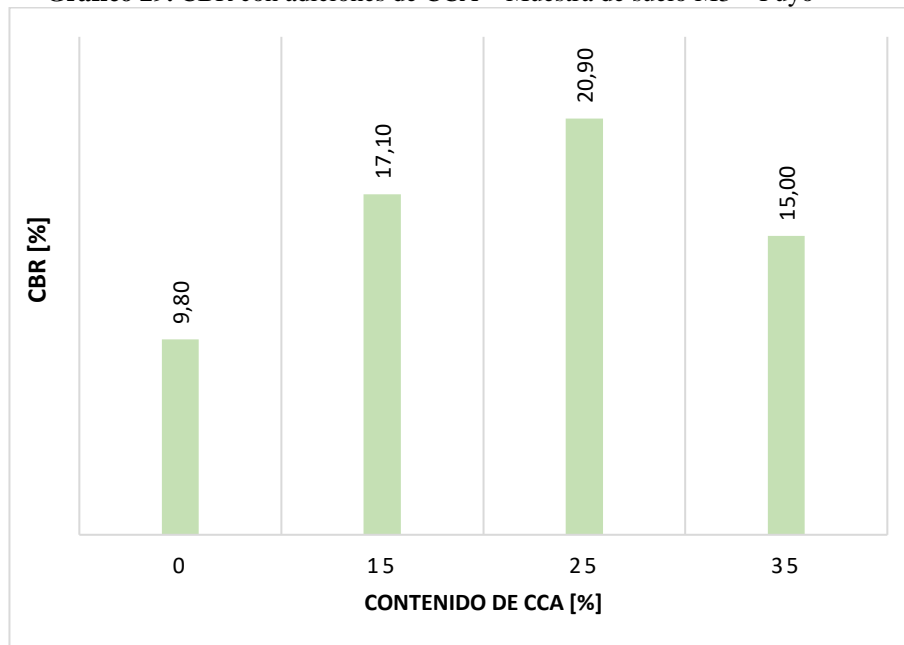
Fuente: Autor

Gráfico 28. CBR con adiciones de CCA – Muestra de suelo M2 - Cevallos



Fuente: Autor

Gráfico 29. CBR con adiciones de CCA – Muestra de suelo M3 – Puyo



Fuente: Autor

Hipótesis nula (H0): El uso de ceniza de la cascarilla de arroz en el proceso de estabilización del suelo no permite mejorar las propiedades mecánicas del mismo.

Hipótesis alternativa (Hi): El uso de ceniza de la cascarilla de arroz en el proceso de estabilización del suelo permite mejorar las propiedades mecánicas del mismo.

La hipótesis se basa en la relación que existe entre la ceniza de la cascarilla de arroz y las propiedades mecánicas del suelo. En base a los resultados obtenidos se toma como falsa la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, pues los resultados arrojaron mejoras positivas en cuanto a la capacidad portante del suelo, siendo así que:

Al adicionarse 25 % de CCA en la muestra de suelo M1 que corresponde a un suelo arenoso, la capacidad portante del suelo incrementa en un 18.20 % pasando de 15.70 % a 33.90 %, en cuanto a la muestra de suelo M2 correspondiente a un suelo areno limoso, se aprecia un incremento de 12.10 %, pasando de 26.70 % para el suelo sin estabilizar a 38.80 % para el suelo con la adición de 15 % de CCA, de igual manera el valor de CBR para la muestra de suelo M3 correspondiente a una arcilla de alta plasticidad incrementa en 11.10 % pasando de 9.80 % a 20.90 % con la adición de 25 % de CCA.

Además, en cuanto a la clasificación del uso del suelo en relación al valor de CBR se tiene que la primera muestra de suelo pasa de ser una subrasante de calidad regular, a

un material de subbase de buena calidad, bajo el mismo análisis, la segunda muestra de suelo pasa de ser una subrasante de muy buena calidad a un material de sub base de buena calidad, en cuando a la tercera muestra de suelo cambia de una clasificación de subrasante de mala calidad a una subrasante de muy buena calidad.

Como se a demostrado en base a los datos resultado de los ensayos realizados demuestran que efectivamente la adición de ceniza de la cascarilla del suelo ayuda a mejorar la capacidad portante de los tres tipos de suelo estudiados en la presente investigación.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Los suelos en estado natural presentan características importantes y la adición de CCA ha llevado a un impacto significativo en la estabilidad del suelo. Basado en los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados durante la presente investigación se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- La muestra de suelo M1 extraída del cantón Cevallos dio como resultado un tipo de suelo SM (arena pobremente graduada) de acuerdo con la clasificación SUCS y un suelo tipo A-2-4 conforme a la clasificación AASHTO, por otro lado, la muestra de suelo M2 proveniente del cantón Tisaleo corresponde a un suelo ML (limo inorgánico) mediante clasificación SUCS y mediante clasificación AASHTO corresponde a un tipo de suelo A-2-4, en cambio la muestra de suelo M3 extraída del cantón Puyo dio como resultado un suelo CH (arcilla de alta plasticidad) conforme a la clasificación SUCS o su equivalente en clasificación AASHTO a un suelo A-7-6 (8).
- El contenido de humedad óptimo (CHO) para las muestras de suelo M1, M2 y M3 son de 15 %, 18 % y 39.50 %, lo que representa para la muestra M1 un aumento de 4.134 veces la humedad natural mientras que para las muestras de suelo M2 y M3 se observa una reducción de 1.299 y 1.471 veces la humedad natural, por otro lado, la densidad seca máxima (DSM) para la muestra M1 corresponde a 1.638 gr/cm³, para la muestra M2 es de 1.648 gr/cm³ y para la muestra M3 es 1.289 gr/cm³.
- De los suelos estudiados, el que mejor capacidad portante presenta es el suelo correspondiente a la muestra M2 con un valor de CBR de 26.70 % lo que lo clasifica como una subrasante de muy buena calidad, en segundo lugar la muestra de suelo M1 con un CBR de 15.70 % siendo esta una subrasante de una calidad regular, por otro lado, el suelo de peor calidad es el suelo correspondiente a la muestra de suelo M3 con una capacidad portante de 9.80 % lo que la clasifica como una subrasante de mala calidad.
- Con la adición de diferentes porcentajes de CCA (15 a 35) % la DSM

disminuye gradualmente mientras que el CHO aumenta, este comportamiento se observa para las muestras de suelo M1 y M2. En el caso de la muestra M1, con la adición del 35 % de CCA la DSM pasa de 1.638 gr/cm³ a 1.212 gr/cm³, lo que representa una disminución alrededor de 35.14 %, para el caso de la muestra de suelo M2 la reducción es de 34.97 % pasando de 1.648 gr/cm³ a 1.221 gr/cm³. El valor de CHO incrementa en 2.135 veces para el suelo de la muestra M1 pasando de 15 % a 32 % mientras que la muestra de suelo M2 el valor incrementa de 18 % a 32 % para la muestra tratada con 35 % de CCA lo que es alrededor de un 1.78 veces más alto que la humedad óptima para el suelo en estado natural.

- La inclusión de 15 % y 25 % de CCA en la muestra de suelo M3 que corresponde a una arcilla de alta plasticidad provoca una disminución en la DSM mientras que con la adición de 35 % de CCA la DSM vuelve a aumentar. Al adicionarse 15 % de CCA la DSM disminuye en 1.86 % pasando de 1.289 gr/cm³ a 1.265 gr/cm³, al adicionarse 25 % de CCA el valor disminuye un 3.60 % pasando de 1.265 gr/cm³ a 1.221 gr/cm³ y finalmente al adicionarse 35 % de CCA el valor de DSM asciende en 3.69 % pasando de 1.221 gr/cm³ a 1.266 gr/cm³. En cuanto al CHO, al adicionarse 15 % de CCA aumenta, pasando de 39.50 % a 41.00 %, con el 25 % de CCA el CHO disminuye, pasando de 39.50 % y 39 % respectivamente, por último, al incrementarse el contenido de CCA a 35 % el CHO vuelve a disminuir, siendo un valor inferior al contenido de humedad óptimo inicial pasando de 39.50 % a 37.00 %.
- La adición de diferentes porcentajes de CCA en las muestras de suelo M1, M2 y M3 incremento los valores de CBR. Los mejores resultados se dieron en la muestra de suelo M1 y M3 con la adición de 25 % de CCA siendo de 18.30 % y 11.10 % respectivamente, en cambio para la muestra de suelo M2 con una adición del 15 % de CCA el incremento es de 12.10 %.
- La adición óptima de CCA para un suelo de tipo SM es de 26.80 % y alcanza un valor de CBR de 34.00 %, para un suelo tipo ML la adición óptima de CCA es de 12.30 % con la cual se alcanza un valor de CBR de 39.25 %, mientras que para un suelo tipo CH la adición óptima de CCA es de 26.00 % con la cual se alcanza un valor de CBR de 20.90 %.

4.2 Recomendaciones

Una vez concluido el proyecto experimental en el cual se han realizado ensayos y se han analizado los resultados de estos, se pueden presentar una serie de recomendaciones fundamentadas en la experiencia y los hallazgos generados en la presente investigación con el objetivo de contribuir a un desarrollo continuo del conocimiento.

- Para un suelo arenoso SM el contenido óptimo de CCA se encuentra entre 25 % y 35 %, por lo cual se recomienda realizar una investigación en la cual se planteen valores de CCA intermedios y con ellos encontrar el porcentaje óptimo real.
- Para un suelo areno limoso ML la capacidad portante del suelo es buena, por lo cual no se recomienda realizar una estabilización del suelo, puesto que esto sólo incrementaría los costos de construcción.
- La ceniza al igual que el cemento y la cal ayudan en gran medida a estabilizar los suelos, sin embargo se necesita un mayor porcentaje de ceniza en comparación con la cal y el cemento, por lo cual se recomienda realizar combinaciones de ceniza - cemento o ceniza – cal.
- Para tener una comprensión más profunda del comportamiento de la CCA en el suelo, se debería ampliar el campo de estudio a la realización de nuevos ensayos como índice de expansión, permeabilidad, corte directo, análisis mineralógico del suelo, además de evaluar el comportamiento del suelo estabilizado a través del tiempo y se debían evaluar parámetros adicionales cómo la disponibilidad y economía.
- La ceniza presenta un gran contenido sílice en su composición, el cual depende de diversos factores como el tipo de arroz, las condiciones climatológicas, tipo de suelo y las condiciones de incineración, por lo cual se recomienda realizar investigaciones con ceniza de cascarilla de arroz obtenida de diferentes condiciones de incineración pudiendo ser, por ejemplo: incineración con quema controlada, o incineración con quema a intemperie y temperatura no controlada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Arteaga, 'Caracterización de la cascarilla de arroz como biomasa residual para combustible térmico', Universidad Internacional SEK, Quito, 2020.
- [2] J. Urquiza, H. Acero, and J. Rodríguez, 'Reemplazar el uso de diésel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor. Aspectos técnicos y económicos', *Revista Tecnológica ESPOL*.
- [3] S. P. K. Kodicherla and D. K. Nandyala, 'Influence of randomly mixed coir fibres and fly ash on stabilization of clayey subgrade', *International Journal of Geo-Engineering*, vol. 10, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1186/s40703-019-0099-1.
- [4] T. Karatai, 'Technical and Economic Evaluation of Soil Stabilization using Rice Husk Ash (RHA) and Natural Lime (NL) as an Alternative to Cutting and Filling in Road Construction', Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, 2018.
- [5] G. Kodaz, H. Demirci, and H. Pulat, 'Improvement of Strength Characteristics of a Highly Plastic Expansive Soil with Fly Ash', *Sakarya University Journal of Science*, vol. 26, no. 3, pp. 448–458, Jun. 2022, doi: 10.16984/saufenbilder.1028003.
- [6] D. E. Wibowo, D. A. Ramadhan, Endaryanta, and H. Prayuda, 'Soil stabilization using rice husk ash and cement for pavement subgrade materials', *Revista de la Construcción*, vol. 22, no. 1, pp. 192–202, 2023, doi: 10.7764/RDLC.22.1.192.
- [7] D. Ewa, G. A. Akeke, and D. Okoi, 'Influence of rice husk ash source variability on road subgrade properties', *Nigerian Journal of Technology*, vol. 37, no. 3, p. 582, Jul. 2018, doi: 10.4314/njt.v37i3.4.
- [8] T. H. Tuhin, A. Julfikar, M. Hassan, M. Hasan, and S. Farooq, 'Stabilization of soil by rice husk ash', in *2nd International Conference On Research and Innovation in Civil Engineering*, Nov. 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/345876339>
- [9] T. K. Brahmachary, M. K. Ahsan, and M. Rokonzaman, 'Impact of rice husk ash (RHA) and nylon fiber on the bearing capacity of organic soil', *SN Appl Sci*, vol. 1, no. 3, Mar. 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0275-0.
- [10] A. Castro, 'Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz

- para el mejoramiento de subrasante’, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2017.
- [11] W. Núñez and L. Behak, ‘Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación’, *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 23 N°1, pp. 34–41, Apr. 2008.
- [12] R. Montejo, J. Raymundo, and J. Chávez, ‘Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de la cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura’, *TZHOECOEN*, vol. 12, no. 1, pp. 131–140, Jan. 2020, doi: 10.26495/tzh.v12i1.1251.
- [13] A. González, ‘Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal - ceniza volante’, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2014.
- [14] I. Llauce and D. Perez, ‘Análisis comparativo del uso de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de bagazo de caña de azúcar en el mejoramiento de suelos arenosos, Chichlayo - 2021’, Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Perú, 2022. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003-0849-3607>
- [15] I. Murillo, ‘Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente’, UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá, 2016.
- [16] E. Estévez and F. Oña, ‘Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz’, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [17] C. Ordóñez and K. Solórzano, ‘Estudio de la estabilización de arcillas expansivas utilizando el 10, 20 y 30 % en peso, de puzolanas de ceniza del volcán Tungurahua y ceniza de la cascarilla de arroz en composiciones iguales’, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.
- [18] D. Condo, ‘Estabilización del suelo mediante adiciones de ceniza de la cascarilla de arroz’, Universidad de los Andes, Ambato, 2013.
- [19] J. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*, Segunda. México: McGraw-Hill, 1981.
- [20] J. Badillo and R. Rodríguez, *Mecánica de suelos*, vol. 1. México, 2005.
- [21] W. Lambe and R. Whitman, *Mecánica de suelos*. México, 2012.

- [22] C. García, J. Saval, F. Brotons, and J. Tenza, ‘Proctor modificado y límites de Atterberg’, 2008.
- [23] C. Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5ta ed. México: Limusa, 2004.
- [24] M. Braja, *Fundamentos de ingeniería Geotécnica*, 4ta ed. México: Cengage Learning, 2008.
- [25] S. Kumar Das, A. Adediran, C. Rodrigue Kaze, S. Mohammed Mustakim, and N. Leklou, ‘Production, characteristics, and utilization of rice husk ash in alkali activated materials: An overview of fresh and hardened state properties’, *Construction and Building Materials*, vol. 345. Elsevier Ltd, Aug. 22, 2022. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128341.
- [26] P. Matthey, R. Robayo, J. Díaz, S. Delvasto, and J. Monzó, ‘Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales’, *Rev. LatinAm. Metal. Mat*, vol. 35, no. 2, pp. 285–294, 2015, [Online]. Available: www.rlmm.org
- [27] M. Alhassan and Mustapha A. M, ‘Effect of Rice Husk Ash on Cement Stabilized Laterite’, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, no. 11, pp. 47–58, 2007.
- [28] M. Alhassan, ‘Potentials of Rice Husk Ash for Soil Stabilization’, *Assumption University Journal of Technology*, vol. 11, pp. 246–250, 2008.
- [29] A. Roy, ‘Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement’, 2014. [Online]. Available: <http://www.ripublication.com/ijcer.htm>

ANEXOS

5.1. ANEXO A: Fotografías ensayos

- Pozo a cielo abierto

Calicata Cantón Cevallos



Calicata Cantón Tisaleo




Calicata Cantón Puyo






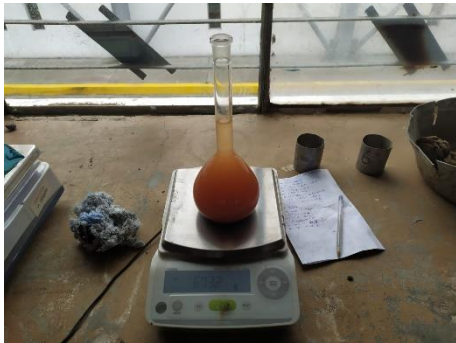


- **Contenido de Humedad Natural**

Peso del recipiente	Secado en el horno
	

- **Granulometría**

Tamizado	Peso retenido en cada tamiz
	



- Gravedad específica

Incorporación del suelo	Agua hasta la marca de aforo
	
Temperatura	Pesaje
	
Pesado recipiente	Anotación resultados
	



- **Límite Líquido**

<p>Pesaje de la muestra</p>	<p>Preparación de la muestra</p>
	
<p>Muestra en Copa Casa Grande</p>	<p>Muestra para contenido de humedad</p>
	

- **Límite Plástico**



Preparación espécimen	Elaboración cilindros
	

- **Proctor Modificado**

Materiales ensayo Proctor	Pesaje muestra
	

Compactación muestra	Enrasado de muestra
	

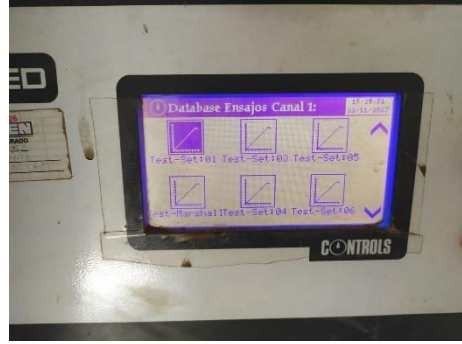
- **California Bearing Ratio (CBR)**

Mezcla suelo + CCA	Compactación especímenes
	

Especímenes en inmersión



Pantalla máquina Multispeed



Ensayo CBR



- **Ceniza de la cascarilla de arroz**

Incineración de la cascarilla de arroz	Control de temperatura
	
Ceniza después de la incineración	
	

5.2.ANEXO B: Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para diferentes temperaturas





TABLE 2 Density of Water and Temperature Coefficient (K) for Various Temperatures^a

Temperature (°C)	Density (g/mL) [#]	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) [#]	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) [#]	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) [#]	Temperature Coefficient (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

^aReference: CRC Handbook of Chemistry and Physics, David R. Lide, Editor-in-Chief, 74th Edition, 1993-1994.
[#]mL = cm³.

5.3.ANEXO C: Ensayos de laboratorio

- Muestra de suelo M1- Cantón Cevallos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: AASHTO T 191 2014 			
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	Fecha:	2/10/2023
Contenido de humedad (W%)			
N° Recipiente	P1	P3	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	70,392	76,91	
Masa de suelo seco + recipiente (gr)	68,198	74,54	
Masa recipiente (gr)	7,32	9,65	
Masa de agua Ww (gr)	2,194	2,37	
Masa suelo seco Ws (gr)	60,878	64,89	
Contenido de humedad (W%)	3,60	3,65	
W Promedio (%)	3,63		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO-T-88-2013



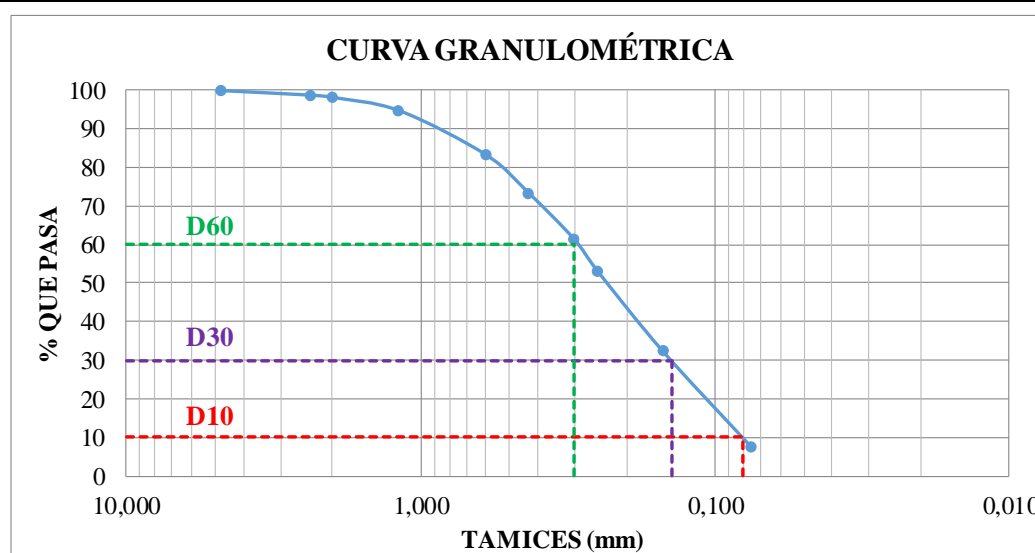
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	Fecha:	3/10/2023

ENSAYO GRANULOMÉTRICO

1. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL SUELO

Tamiz #	Abertura(mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Peso Retenido	% Que Pasa
#4	4,760	2,40	2,40	0,24	99,76
#8	2,360	11,80	14,20	1,42	98,58
#10	2,000	5,60	19,80	1,98	98,02
#16	1,180	34,50	54,30	5,43	94,57
#30	0,600	113,50	167,80	16,79	83,21
#40	0,430	98,10	265,90	26,60	73,40
#50	0,300	120,50	386,40	38,66	61,34
#60	0,250	82,20	468,60	46,88	53,12
#100	0,150	207,20	675,80	67,61	32,39
#200	0,075	247,70	923,50	92,39	7,61
Fuente	-	76,10	76,10	7,61	-

2. GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



3. PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

Tamaño Nominal Máximo (TNM)=	1,18	Cu=	3,75	Error Permitido=	1,00%
Diámetro Dimensional (D60)=	0,3				
Diámetro EQUIPARABLE (D30)=	0,14	Cc=	0,82	Error Calculado=	0,04%
Diámetro Efectivo (D10)=	0,08				

4. PORCENTAJE DE MATERIAL

	Grava (% G)	Arena (% S)	Limo y arcilla (% Finos)
SUCS	0,24	92,15	7,61
AASHTO	1,98	90,41	7,61

Por el método SUCS el suelo se clasifica como una Arenalimosa **SM**. Mediante el método AASHTO se determinó que se trata de un suelo tipo A-2-4 de buena calidad, que está compuesto de grava y arena limosa.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T 100 2015

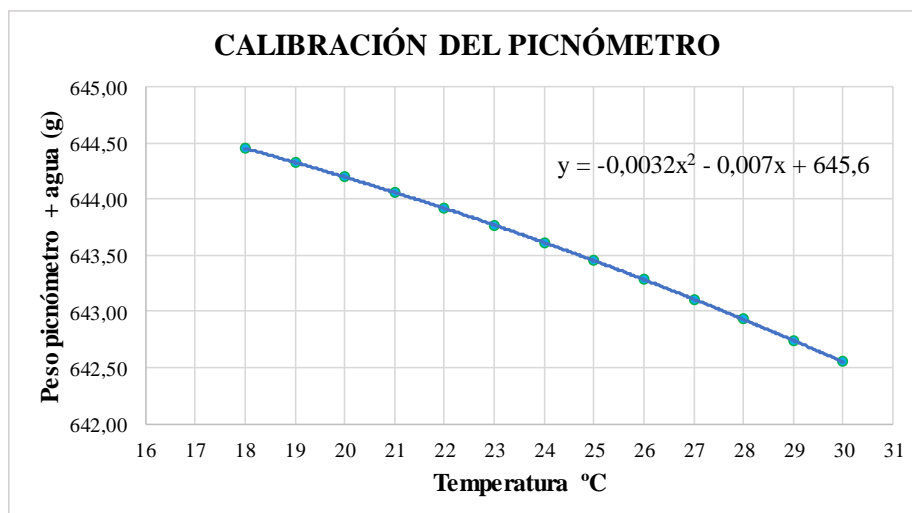


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	Fecha:	10/10/2023

Gravedad Específica

Temperatura del agua + suelo	°C	19,00
Peso del recipiente + suelo seco	g	117,80
Peso del recipiente (Wr)	g	68,80
Peso del suelo seco (Ws)	g	49,00
Peso picnómetro + agua (Wbw)	g	644,20
Peso del suelo seco (Ws) + picnómetro + agua (Wbw)	g	693,20
Peso del picnómetro + agua + suelo (Wbws)	g	674,80
Desplazamiento de agua (Dw)	g	18,40
Factor de corrección por temperatura (K)	--	1,0002
Gravedad específica (Gs)	--	2,664

Calibración del Picnómetro	
Temperatura °C	Masa (g)
18	644,45
19	644,33
20	644,20
21	644,06
22	643,92
23	643,77
24	643,61
25	643,45
26	643,29
27	643,11
28	642,93
29	642,74
30	642,55





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



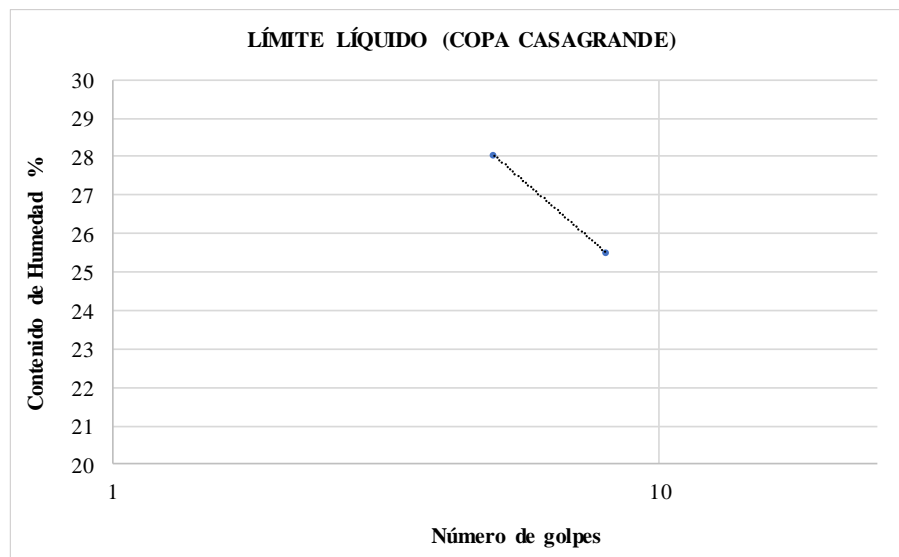
NORMA: (LL) AASHTO-T-89-2013; (LP) AASHTO-T-90-2016

Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	Fecha:	31/10/2023

ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO COPA CASAGRANDE

Nº Golpes	# Caps	Wcaps (gr)	Whum (gr)	Wseco (gr)	% Wnat	% W prom
5	74	11,524	27,744	24,126	28,71	28,017
	61	11,395	30,919	26,729	27,32	
8	12I	10,9	29,499	25,731	25,41	25,495
	37	11,34	28,619	25,099	25,58	

Número de golpes	25
Límite Líquido LI%	-



ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO LP

# Caps	Wcaps (gr)	Whum (gr)	Wseco (gr)	% Wnat	LP
M1	1,878	2,528	2,395	25,73	25,67
CP21	1,817	2,908	2,685	25,69	
CP12	1,811	2,382	2,266	25,49	
CP11	1,835	2,885	2,669	25,90	
M5	1,893	2,591	2,449	25,54	

LÍMITE LÍQUIDO LI%	-
LÍMITE PLÁSTICO Lp%	25,67
ÍNDICE DE PLASTICIDAD Ip%	NP



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9880896,44 m S
ID Muestra	Muestra de suelo M1	Fecha:	12/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15600 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	8	12	16	20
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	19442	19670	19922	19865
Masa Molde (gr)	15600	15600	15600	15600
Masa suelo húmedo (gr)	3842	4070	4322	4265
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,689	1,790	1,900	1,875

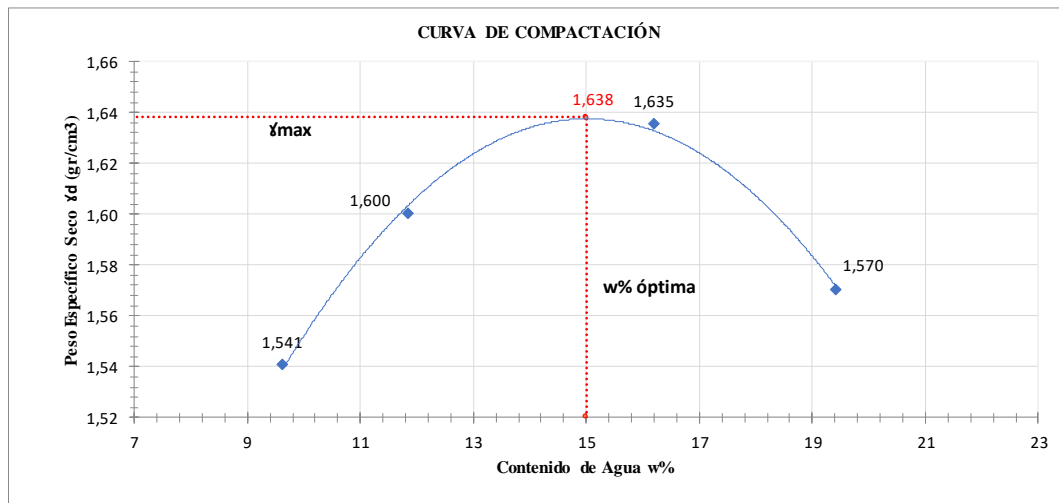
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	P2	P7	P5	P8	F4	F3	P3	F6
Masa del recipiente	7,622	9,67	9,64	9,5	7,63	9,127	9,651	9,583
Masa suelo hum+recipiente (gr)	58,014	71,251	77,495	71,286	66,827	92,516	67,88	84,557
Masa suelo seco+recipiente (gr)	53,899	65,466	70,336	64,719	58,073	81,607	57,346	73,79
Masa del agua (gr)	4,12	5,79	7,16	6,57	8,75	10,91	10,53	10,77
Masa suelo seco (gr)	46,277	55,796	60,696	55,219	50,443	72,48	47,695	64,207
Contenido de agua en (%)	8,89	10,37	11,79	11,89	17,35	15,05	22,09	16,77
w (%) Promedio	9,63		11,84		16,20		19,43	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,541		1,600		1,635		1,570	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,638 gr/cm³

Humedad Óptima 15 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.638 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 15%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9880896,44 m S
ID Muestra	M1 + 15% CCA	Fecha:	12/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15596 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	9	14	19	24
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18897	19185	19498	19605
Masa Molde (gr)	15596	15596	15596	15596
Masa suelo húmedo (gr)	3301	3589	3902	4009
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,451	1,578	1,716	1,763

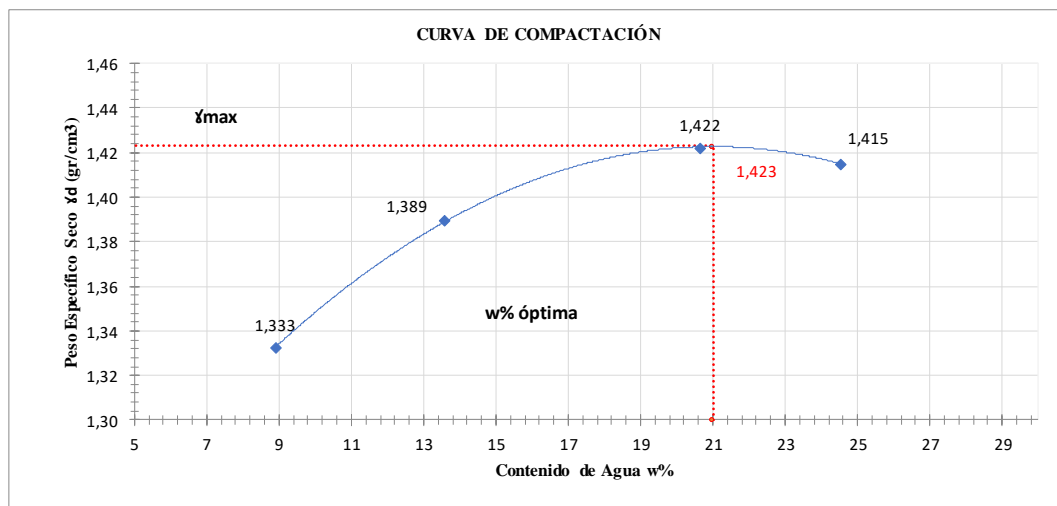
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	P2	P7	P5	P8	F4	F3	P3	F6
Masa del recipiente	1,834	1,837	1,833	1,806	1,817	1,823	7,696	7,748
Masa suelo hum+recipiente (gr)	50,136	61,166	60,296	60,945	62,953	66,219	111,969	130,7
Masa suelo seco+recipiente (gr)	46,246	56,235	53,204	53,982	52,373	55,321	89,446	108,895
Masa del agua (gr)	3,89	4,93	7,09	6,96	10,58	10,90	22,52	21,81
Masa suelo seco (gr)	44,412	54,398	51,371	52,176	50,556	53,498	81,75	101,147
Contenido de agua en (%)	8,76	9,06	13,81	13,35	20,93	20,37	27,55	21,56
w (%) Promedio	8,91		13,58		20,65		24,55	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,333		1,389		1,422		1,415	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,423 gr/cm³

Humedad Óptima 21 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.423 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo (w% óptima) de 21%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9880896,44 m S
ID Muestra	M1 + 25% CCA	Fecha:	12/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15394 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	14	19	24	29
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18511	18807	19110	19275
Masa Molde (gr)	15394	15394	15394	15394
Masa suelo húmedo (gr)	3117	3413	3716	3881
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,371	1,501	1,634	1,706

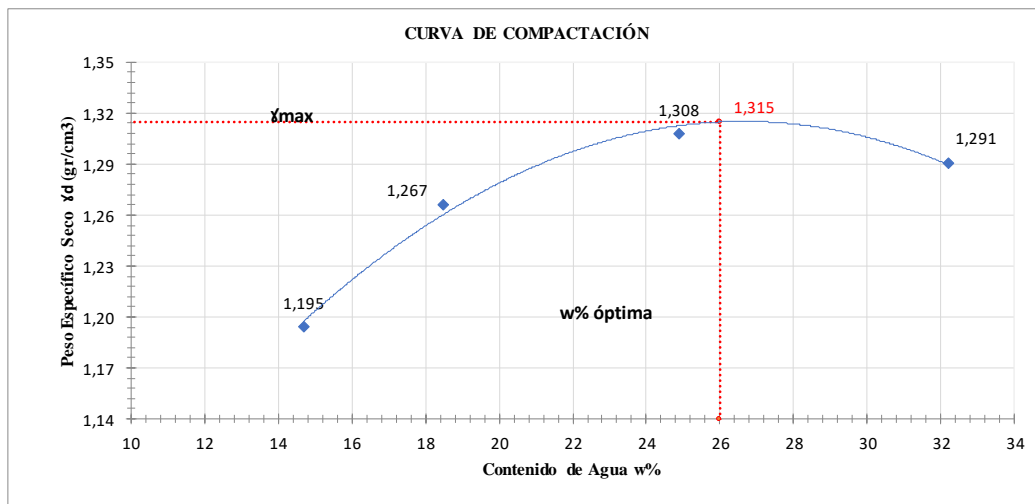
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP6	CP7	CP9	CP8	CP3	CP4	CP2	P10
Masa del recipiente	9,589	9,327	9,456	9,395	9,656	9,638	7,525	7,688
Masa suelo hum+recipiente (gr)	60,58	60,686	55,99	67,548	73,795	81,566	75,461	71,522
Masa suelo seco+recipiente (gr)	54,239	53,9	48,774	58,423	60,697	67,585	57,301	57,574
Masa del agua (gr)	6,34	6,79	7,22	9,13	13,10	13,98	18,16	13,95
Masa suelo seco (gr)	44,65	44,573	39,318	49,028	51,041	57,947	49,776	49,886
Contenido de agua en (%)	14,20	15,22	18,35	18,61	25,66	24,13	36,48	27,96
w (%) Promedio	14,71		18,48		24,89		32,22	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,195		1,267		1,308		1,291	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,315 gr/cm³

Humedad Óptima 26 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.315 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 26%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9880896,44 m S
ID Muestra	M1 + 35% CCA	Fecha:	12/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15394 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	11	22	33	44
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18035	18597	19050	19101
Masa Molde (gr)	15394	15394	15394	15394
Masa suelo húmedo (gr)	2641	3203	3656	3707
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,161	1,408	1,608	1,630

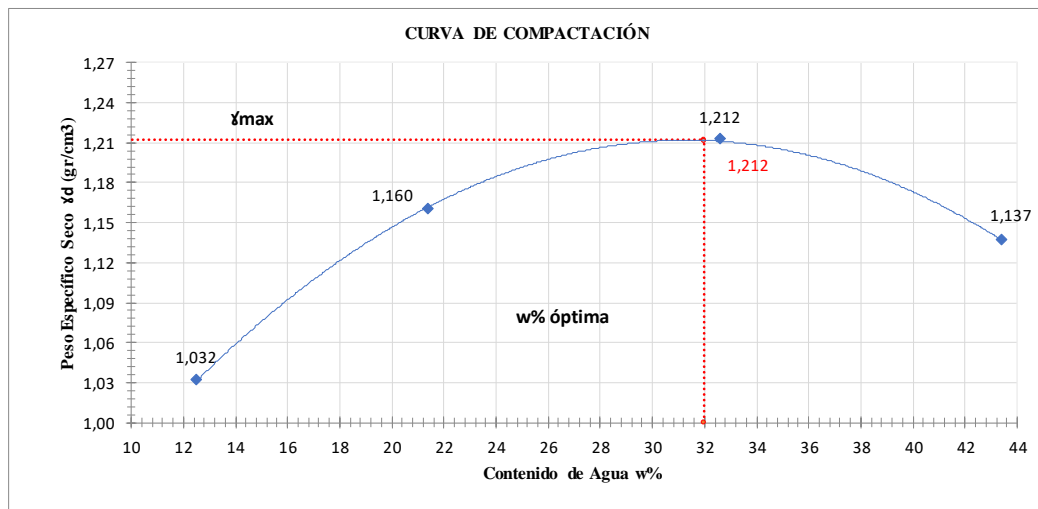
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP1	CP10	P5	CP5	CP13	CP15	CP17	CP20
Masa del recipiente	7,542	9,115	9,642	9,655	1,875	1,817	1,834	1,806
Masa suelo hum+recipiente (gr)	39,443	68,521	62,958	64,21	61,191	53,802	94,215	88,188
Masa suelo seco+recipiente (gr)	35,962	61,788	53,784	54,375	46,537	41,089	66,297	62,024
Masa del agua (gr)	3,48	6,73	9,17	9,83	14,65	12,71	27,92	26,16
Masa suelo seco (gr)	28,42	52,673	44,142	44,72	44,662	39,272	64,463	60,218
Contenido de agua en (%)	12,25	12,78	20,78	21,99	32,81	32,37	43,31	43,45
w (%) Promedio	12,52		21,39		32,59		43,38	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,032		1,160		1,212		1,137	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,212 gr/cm³

Humedad Óptima 32 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.212 gr/cm³ y el contenido de humedad óptima ($w\%$ óptima) de 32%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.

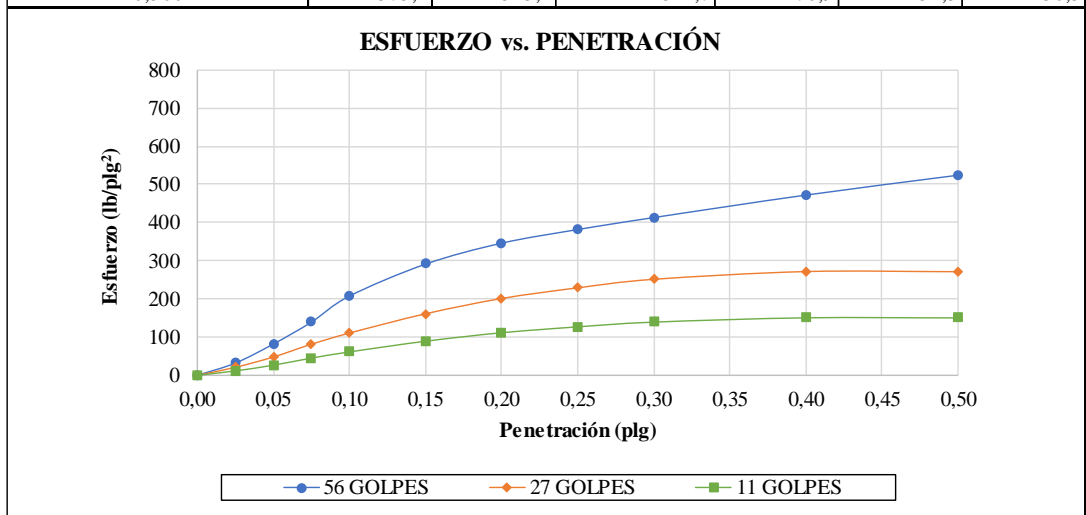


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883



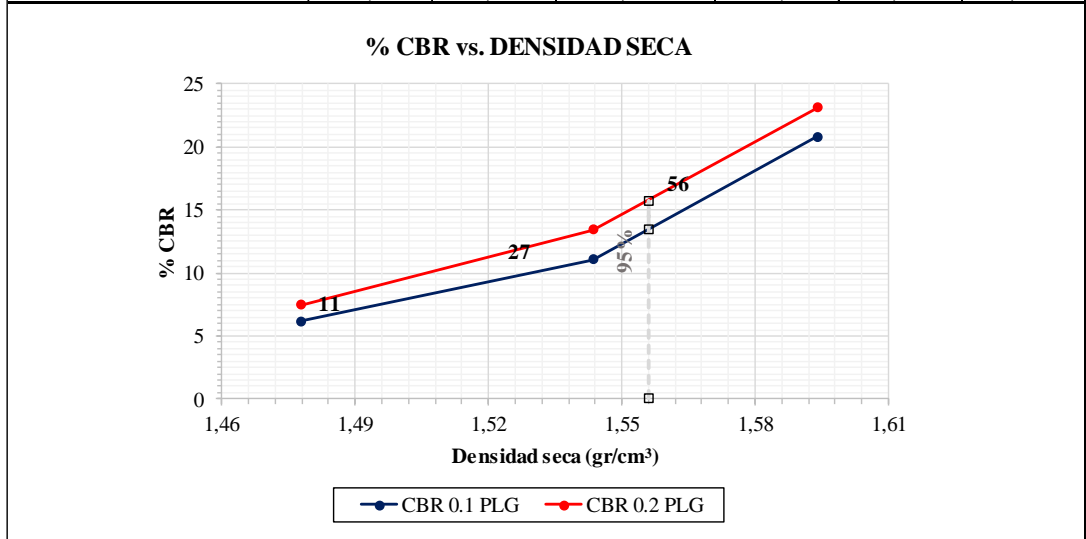
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17: 765050,63 m E;		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas			9880896,44 m S		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1		Fecha:	6/11/2023		
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			15,00			
MOLDE N°	2		9		8	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Muestra húmeda + molde (gr)	10354		12228		12348	
Masa Molde (gr)	6368		8266		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	3986		3962		3870	
Volumen Muestra (cm ³)	2184,76		2238,48		2279,79	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,824		1,770		1,698	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P11	P18	P15	P20	P19	P22
P. Hum. + Recipiente	55,29	53,80	56,18	58,74	75,09	72,65
P. Seco + Recipiente	48,54	47,23	49,34	51,35	65,57	63,51
Peso Recipiente	1,83	1,81	1,82	1,84	1,81	1,85
Peso Agua	6,75	6,57	6,85	7,39	9,52	9,14
Peso de Sólidos	46,71	45,41	47,52	49,51	63,76	61,66
Contenido Humedad %	14,46	14,47	14,40	14,93	14,93	14,82
Con. Hum. Prom. %	14,46		14,67		14,88	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,594		1,544		1,478	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10780		12675		12879	
Masa Molde (gr)	6368		8266		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	4412		4409		4401	
Masa Agua Absorbida	426		447		531	
% Agua Absorbida	10,69%		11,28%		13,72%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	2,019		1,970		1,930	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P22	P16	P21	P19	P15	P20
P. Hum. + Recipiente	35,73	43,52	54,64	51,56	46,57	39,07
P. Seco + Recipiente	30,17	36,89	45,19	42,70	38,00	32,01
Peso Recipiente	1,85	1,81	1,84	1,81	1,82	1,84
Peso Agua	5,57	6,63	9,45	8,87	8,57	7,06
Peso de Sólidos	28,32	35,08	43,35	40,88	36,18	30,17
Contenido Humedad %	19,66	18,89	21,81	21,69	23,68	23,41
Con. Hum. Prom. %	19,27		21,75		23,54	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
6-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
7-nov-23	11:15	1	24	0,5	1,0	1,5
8-nov-23	11:00	2	48	0,6	1,1	2,0
9-nov-23	12:00	3	72	0,6	1,1	2,3
Altura de la muestra (plg)				4,8	4,9	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				0,6	1,1	2,3
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,12	0,22	0,47

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	2		9		8	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	96,4	32,1	62,8	20,9	34,9	11,6
0,050	246,5	82,2	143,7	47,9	79,8	26,6
0,075	419,0	139,7	243,9	81,3	135,5	45,2
0,100	623,8	207,9	331,4	110,5	184,1	61,4
0,150	875,2	291,7	482,6	160,9	268,1	89,4
0,200	1040,2	346,7	602,6	200,9	334,8	111,6
0,250	1147,3	382,4	686,0	228,7	381,1	127,0
0,300	1241,8	413,9	752,9	251,0	418,3	139,4
0,400	1418,7	472,9	813,7	271,2	452,1	150,7
0,500	1575,2	525,1	812,7	270,9	451,5	150,5



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)

MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	207,94	20,79	1,594	346,73	23,12	1,594
2	110,46	11,05	1,544	200,86	13,39	1,544
3	61,37	6,14	1,478	111,59	7,44	1,478



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,638	1,556	15,70	13,40
% CBR Mayor		15,70	

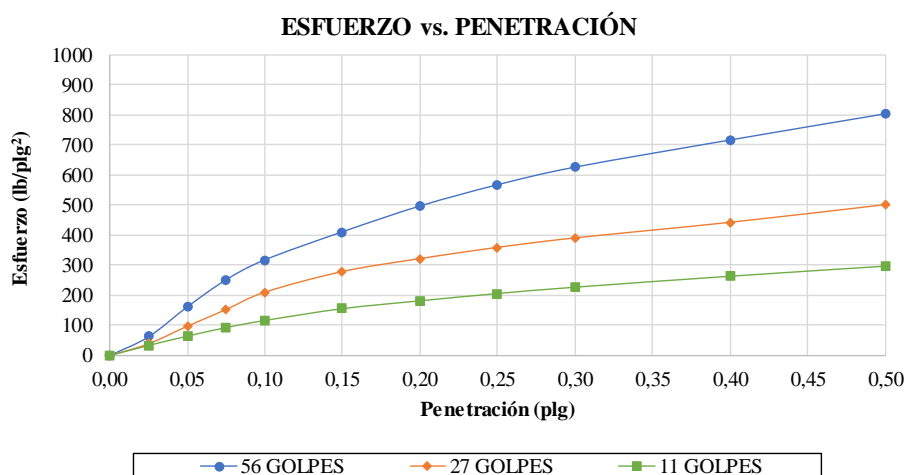


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

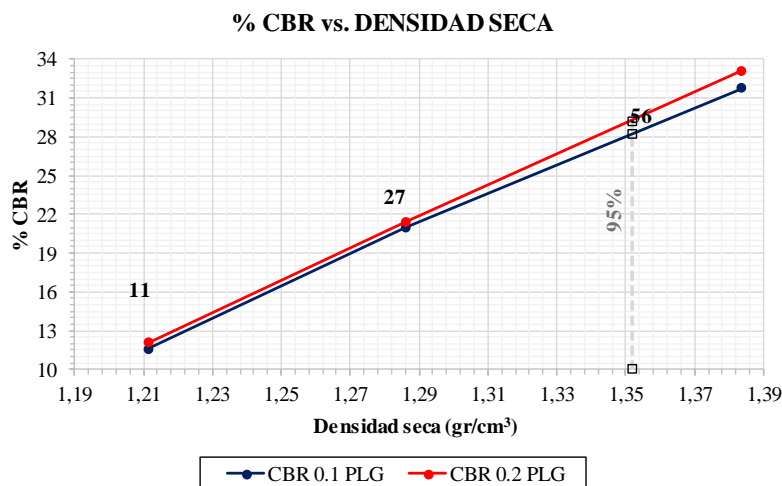


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	6/11/2023		
ID Muestra:	M1 + 15% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			21,00			
MOLDE N°	6	16	4			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	13465	11335	12846			
Masa Molde (gr)	9628	7864	9429			
Masa Muestra Humeda (gr)	3837	3471	3417			
Volumen Muestra (cm ³)	2286,38	2238,48	2328,31			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,678	1,551	1,468			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P16	P21	CP1	P5	CP5	P8
P. Hum. + Recipiente	47,06	53,97	56,65	57,63	58,97	57,18
P. Seco + Recipiente	38,98	44,98	48,30	49,42	50,32	48,89
Peso Recipiente	1,81	1,84	7,54	9,64	9,66	9,50
Peso Agua	8,08	8,99	8,35	8,21	8,65	8,29
Peso de Sólidos	37,18	43,14	40,76	39,78	40,66	39,39
Contenido Humedad %	21,72	20,84	20,49	20,64	21,27	21,04
Con. Hum. Prom. %	21,28		20,57		21,15	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,384		1,286		1,211	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13690		11769		13351	
Masa Molde (gr)	9628		7864		9429	
Masa Muestra Humeda (gr)	4062		3905		3922	
Masa Agua Absorbida	225		434		505	
% Agua Absorbida	5,86%		12,50%		14,78%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,777		1,744		1,684	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P18	P11	CP5	P8	P5	CP1
P. Hum. + Recipiente	30,00	42,09	59,92	50,42	51,97	42,81
P. Seco + Recipiente	22,05	31,36	46,77	39,66	40,50	32,87
Peso Recipiente	1,81	1,83	9,66	9,50	9,64	7,54
Peso Agua	7,95	10,73	13,15	10,77	11,48	9,94
Peso de Sólidos	20,23	29,53	37,11	30,16	30,86	25,33
Contenido Humedad %	39,31	36,34	35,45	35,71	37,20	39,25
Con. Hum. Prom. %	37,82		35,58		38,23	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DIA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
6-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
7-nov-23	11:15	1	24	1,8	2,0	6,0
8-nov-23	11:00	2	48	2,0	3,0	6,5
9-nov-23	12:00	3	72	2,3	3,5	7,0
Altura de la muestra (plg)				5,0	4,9	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				2,3	3,5	7,0
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,46	0,71	1,42

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	6		16		4	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	186,1	62,0	117,2	39,1	100,1	33,4
0,050	484,7	161,6	291,8	97,3	192,5	64,2
0,075	753,8	251,3	458,1	152,7	277,1	92,4
0,100	952,5	317,5	630,3	210,1	347,8	115,9
0,150	1231,7	410,6	836,1	278,7	464,9	155,0
0,200	1488,4	496,1	964,4	321,5	542,7	180,9
0,250	1699,7	566,6	1076,2	358,7	614,7	204,9
0,300	1875,2	625,1	1170,2	390,1	677,7	225,9
0,400	2145,2	715,1	1325,5	441,8	786,2	262,1
0,500	2405,9	802,0	1501,0	500,3	886,4	295,5



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	317,49	31,75	1,384	496,14	33,08	1,384
2	210,11	21,01	1,286	321,48	21,43	1,286
3	115,93	11,59	1,211	180,90	12,06	1,211



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,423	1,352	28,20	29,20
% CBR Mayor		29,20	

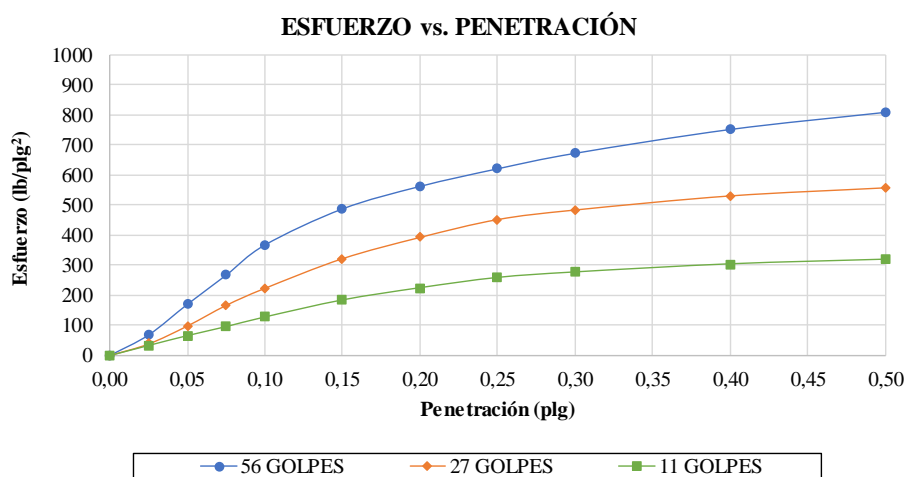


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

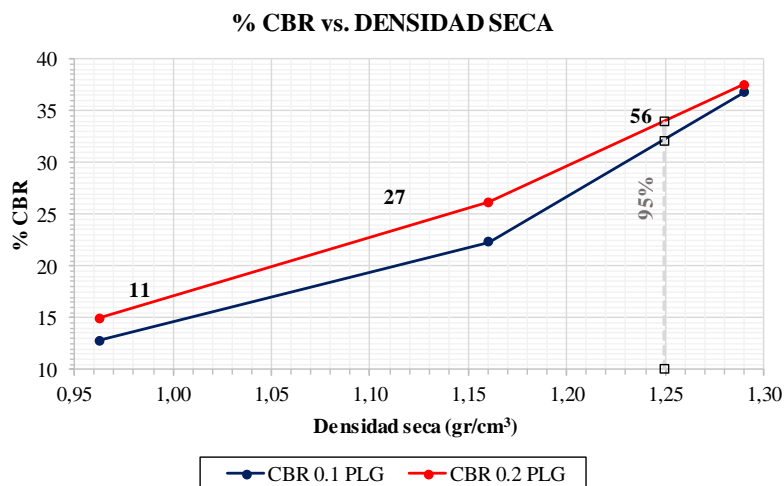


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 765050,63 m E; 9880896,44 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	10/11/2023		
ID Muestra:	M1 + 25% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDE						
Contenido de Humedad Óptima (%):			26,00			
MOLDE N°	9	2	8			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11854	9551	11279			
Masa Molde (gr)	8266	6368	8478			
Masa Muestra Humeda (gr)	3588	3183	2801			
Volumen Muestra (cm ³)	2202,67	2184,76	2279,79			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,629	1,457	1,229			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	2	5	3	6	1	4
P. Hum. + Recipiente	51,66	37,29	37,30	41,20	48,90	49,30
P. Seco + Recipiente	42,50	31,13	31,13	34,42	40,10	40,18
Peso Recipiente	7,45	7,79	7,45	7,45	7,79	7,70
Peso Agua	9,16	6,17	6,17	6,78	8,80	9,12
Peso de Sólidos	35,05	23,34	23,69	26,97	32,31	32,49
Contenido Humedad %	26,13	26,42	26,04	25,13	27,23	28,07
Con. Hum. Prom. %	26,27		25,58		27,65	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,290		1,160		0,962	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12365		10139		12058	
Masa Molde (gr)	8266		6368		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	4099		3771		3580	
Masa Agua Absorbida	511		588		779	
% Agua Absorbida	14,24%		18,47%		27,81%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,861		1,726		1,570	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	6	5	2	3	1	4
P. Hum. + Recipiente	43,65	40,17	44,61	37,37	40,92	55,45
P. Seco + Recipiente	33,23	30,41	32,87	28,20	28,94	38,15
Peso Recipiente	7,45	7,45	7,45	7,45	7,79	7,79
Peso Agua	10,42	9,77	11,75	9,17	11,97	17,30
Peso de Sólidos	25,78	22,96	25,42	20,75	21,16	30,36
Contenido Humedad %	40,44	42,53	46,20	44,19	56,59	57,00
Con. Hum. Prom. %	41,48		45,20		56,79	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
10-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
11-nov-23	11:15	1	24	2,0	3,5	11,0
12-nov-23	11:00	2	48	3,1	4,5	12,0
13-nov-23	12:00	3	72	3,1	5,0	12,0
Altura de la muestra (plg)				4,8	4,8	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				3,1	5,0	12,0
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,64	1,04	2,46

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	9		2		8	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	205,1	68,4	115,1	38,4	99,9	33,3
0,050	510,7	170,2	294,1	98,0	197,8	65,9
0,075	801,7	267,2	499,8	166,6	287,1	95,7
0,100	1103,1	367,7	670,2	223,4	383,0	127,7
0,150	1463,1	487,7	966,0	322,0	552,0	184,0
0,200	1687,8	562,6	1178,1	392,7	673,2	224,4
0,250	1863,3	621,1	1355,9	452,0	774,8	258,3
0,300	2017,9	672,6	1451,5	483,8	829,4	276,5
0,400	2255,6	751,9	1591,9	530,6	909,7	303,2
0,500	2426,7	808,9	1672,7	557,6	955,8	318,6





PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	367,68	36,77	1,290	562,59	37,51	1,290
2	223,39	22,34	1,160	392,69	26,18	1,160
3	127,65	12,77	0,962	224,39	14,96	0,962



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,315	1,249	33,90	32,10
% CBR Mayor		33,90	

- Muestra de suelo M2- Cantón Tisaleo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: AASHTO T 191 2014 			
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	Fecha:	2/10/2023
Contenido de humedad (W%)			
Nº Recipiente	P2	P4	
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	56,01	91,28	
Masa de suelo seco + recipiente (gr)	46,87	75,68	
Masa recipiente (gr)	7,62	9,26	
Masa de agua Ww (gr)	9,145	15,6	
Masa suelo seco Ws (gr)	39,245	66,42	
Contenido de humedad (W%)	23,30	23,49	
W Promedio (%)	23,39		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO-T-88-2013



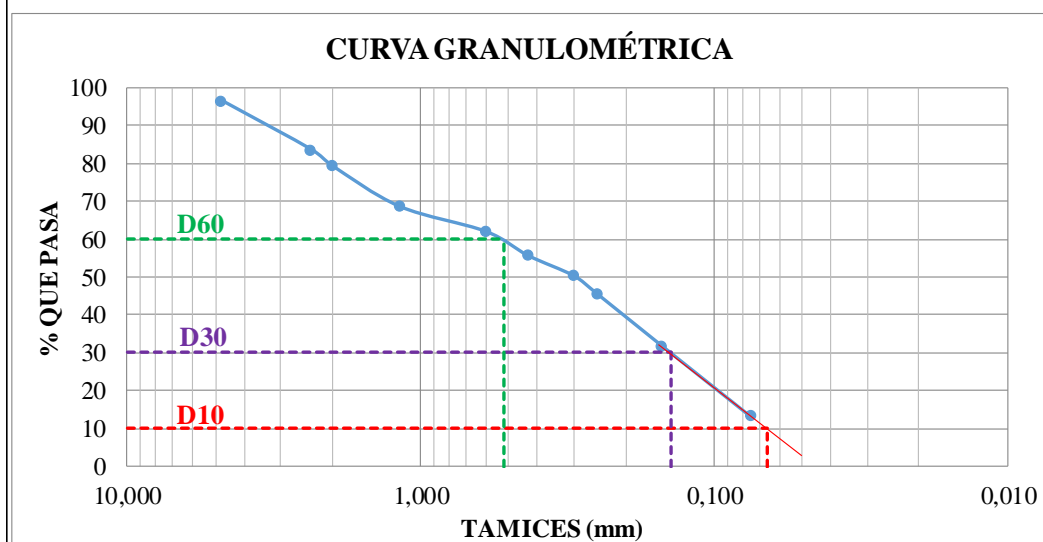
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	Fecha:	3/10/2023

ENSAYO GRANULOMÉTRICO

1. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL SUELO

Tamiz #	Abertura(mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Peso Retenido	% Que Pasa
#4	4,760	34,50	34,50	3,45	96,55
#8	2,360	128,71	163,21	16,33	83,67
#10	2,000	42,92	206,13	20,62	79,38
#16	1,180	107,12	313,25	31,34	68,66
#30	0,600	65,80	379,05	37,92	62,08
#40	0,430	63,70	442,75	44,29	55,71
#50	0,300	53,50	496,25	49,64	50,36
#60	0,250	47,30	543,55	54,37	45,63
#100	0,150	137,82	681,37	68,16	31,84
#200	0,075	185,10	866,47	86,68	13,32
Fuente	-	133,20	133,20	13,32	-

2. GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



3. PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

Tamaño Nominal Máximo (TNM)=	2,36	Cu=	7,88	Error Permitido=	1,00%
Diámetro Dimensional (D60)=	0,52				
Diámetro EQUIPARABLE (D30)=	0,14	Cc=	0,57	Error Calculado=	0,03%
Diámetro Efectivo (D10)=	0,066				

4. PORCENTAJE DE MATERIAL

	Grava (% G)	Arena (% S)	Limo y arcilla (% Finos)
SUCS	3,45	83,22	13,32
AASHTO	20,62	66,06	13,32

Por el método SUCS el suelo se clasifica como un Limo Inorgánico ML. Mediante el método AASHTO se determinó que se trata de un suelo tipo A-2-4 de buena calidad, que está compuesto de Gravas y arenas limosas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T 100 2015

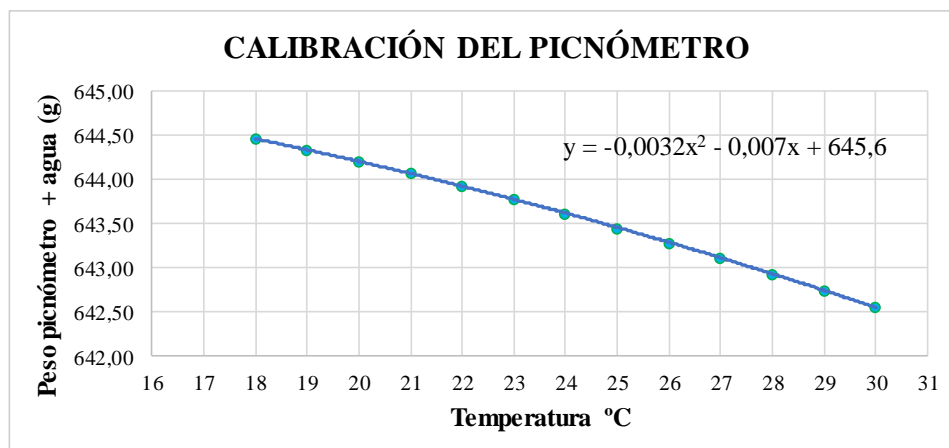


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	Fecha:	10/10/2023

Gravedad Específica

Temperatura del agua + suelo	°C	19,00
Peso del recipiente + suelo seco	g	193,21
Peso del recipiente (Wr)	g	146,89
Peso del suelo seco (Ws)	g	46,32
Peso picnómetro + agua (Wbw)	g	644,20
Peso del suelo seco (Ws) + picnómetro + agua (Wbw)	g	690,52
Peso del picnómetro + agua + suelo (Wbws)	g	673,30
Desplazamiento de agua (Dw)	g	17,22
Factor de corrección por temperatura (K)	--	1,0002
Gravedad específica (Gs)	--	2,690

Calibración del Picnómetro	
Temperatura °C	Masa (g)
18	644,45
19	644,33
20	644,20
21	644,06
22	643,92
23	643,77
24	643,61
25	643,45
26	643,29
27	643,11
28	642,93
29	642,74
30	642,55





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



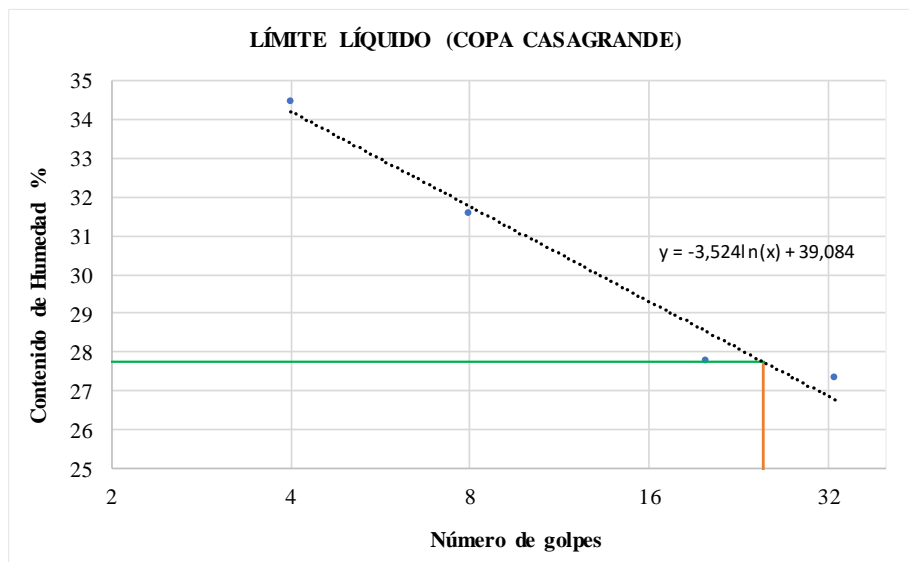
NORMA: (LL) AASHTO-T-89-2013; (LP) AASHTO-T-90-2016

Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	Fecha:	31/10/2023

ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO COPA CASAGRANDE

N° Golpes	# Caps	Wcaps (gr)	Whum (gr)	Wseco (gr)	% Wnat	% W prom
4	P1	7,32	16,90	14,44	34,61	34,48
	P2	7,62	14,34	12,62	34,36	
8	P5	9,64	21,35	18,53	31,73	31,59
	P6	7,68	21,17	17,94	31,45	
20	P7	9,47	22,12	19,37	27,76	27,80
	P8	9,50	17,85	16,03	27,84	
33	P9	7,64	21,03	18,15	27,38	27,37
	P10	7,68	19,28	16,79	27,37	

Número de golpes	25
Límite Líquido LI%	27,74



ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO LP

# Caps	Wcaps (gr)	Whum (gr)	Wseco (gr)	% Wnat	LP
54	6,015	6,678	6,546	24,86	24,46
115	6,141	6,760	6,633	25,81	
A-2	6,136	6,855	6,714	24,39	
17	6,075	6,580	6,485	23,17	
66	6,085	6,900	6,742	24,05	

LÍMITE LÍQUIDO LI%	27,74
LÍMITE PLÁSTICO Lp%	24,46
ÍNDICE DE PLASTICIDAD Ip%	3,28



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9851632,00 m S
ID Muestra	Muestra de suelo M2	Fecha:	13/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15596 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	13	16	19	22
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	19689	19919	20058	20009
Masa Molde (gr)	15596	15596	15596	15596
Masa suelo húmedo (gr)	4093	4323	4462	4413
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,800	1,901	1,962	1,940

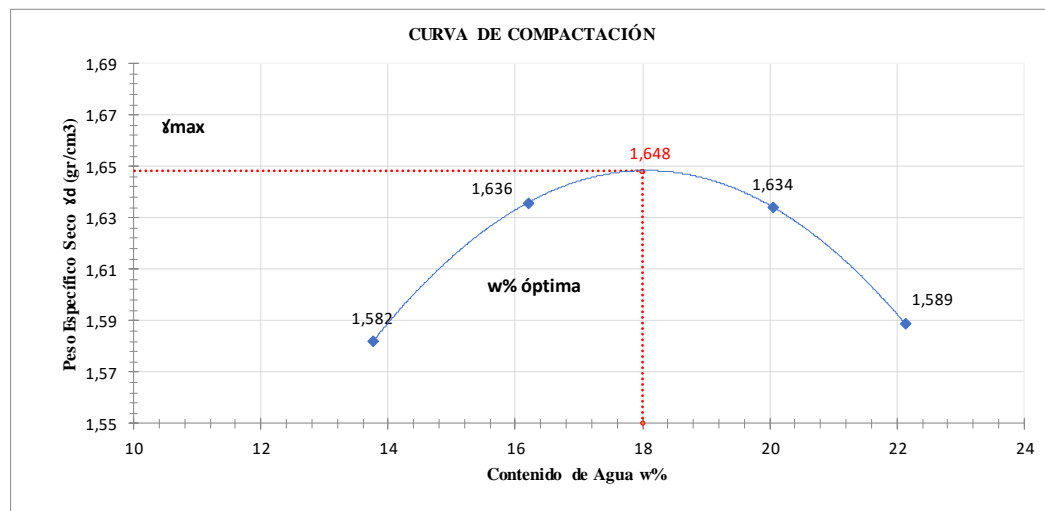
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP1	P5	P10	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Masa del recipiente	7,542	9,642	7,688	7,525	9,656	9,638	9,655	9,589
Masa suelo hum+recipiente (gr)	52,892	73,804	62,492	72,436	87,338	104,791	101,528	91,274
Masa suelo seco+recipiente (gr)	47,414	66,032	54,968	63,25	74,249	89,041	84,9	76,457
Masa del agua (gr)	5,48	7,77	7,52	9,19	13,09	15,75	16,63	14,82
Masa suelo seco (gr)	39,872	56,39	47,28	55,725	64,593	79,403	75,245	66,868
Contenido de agua en (%)	13,74	13,78	15,91	16,48	20,26	19,84	22,10	22,16
w (%) Promedio	13,76		16,20		20,05		22,13	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,582		1,636		1,634		1,589	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,648 gr/cm³

Humedad Óptima 18 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.648 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 18%. Este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas	Fecha:	13/10/2023
ID Muestra	M2 + 15% CCA		

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15394 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15.10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

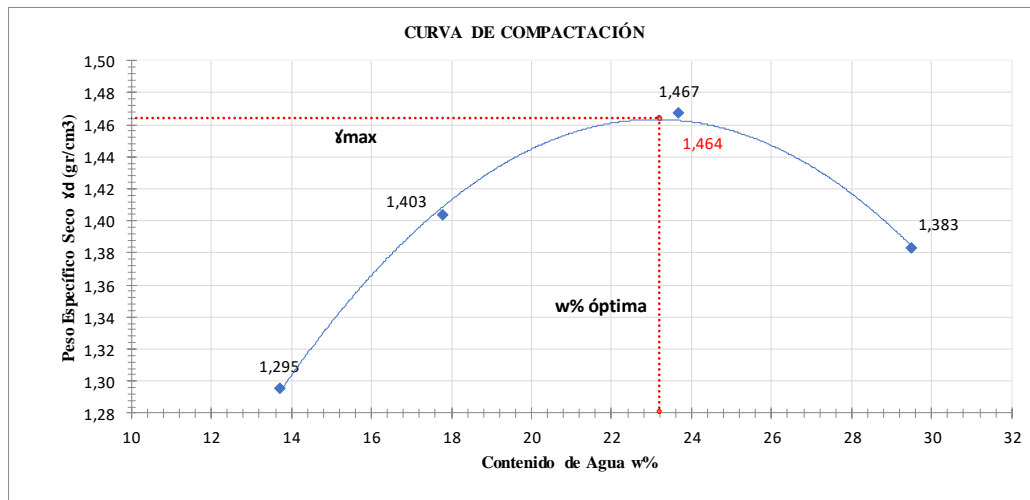
Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	13	18	23	28
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18744	19153	19520	19467
Masa Molde (gr)	15394	15394	15394	15394
Masa suelo húmedo (gr)	3350	3759	4126	4073
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,473	1,653	1,814	1,791

2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP21	CP22	CP16	CP18	CP11	CP12	P1	F3
Masa del recipiente	1,817	1,823	1,873	1,837	1,835	1,811	7,32	9,127
Masa suelo hum+recipiente (gr)	54,474	49,863	55,034	56,834	74,616	71,413	76,792	75,117
Masa suelo seco+recipiente (gr)	48,352	43,865	46,505	49,075	60,719	58,044	60,898	60,15
Masa del agua (gr)	6,12	6,00	8,53	7,76	13,90	13,37	15,89	14,97
Masa suelo seco (gr)	46,535	42,042	44,632	47,238	58,884	56,233	53,578	51,023
Contenido de agua en (%)	13,16	14,27	19,11	16,43	23,60	23,77	29,67	29,33
w (%) Promedio	13,71		17,77		23,69		29,50	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,295		1,403		1,467		1,383	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima	1,464 gr/cm³	Humedad Óptima	23,2 %
-----------------------------	--------------------------------	-----------------------	---------------



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.464 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 23,2%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9851632,00 m S
ID Muestra	M2 + 25% CCA	Fecha:	13/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15353 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	14	20	26	32
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18510	18859	19190	19251
Masa Molde (gr)	15353	15353	15353	15353
Masa suelo húmedo (gr)	3157	3506	3837	3898
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,388	1,542	1,687	1,714

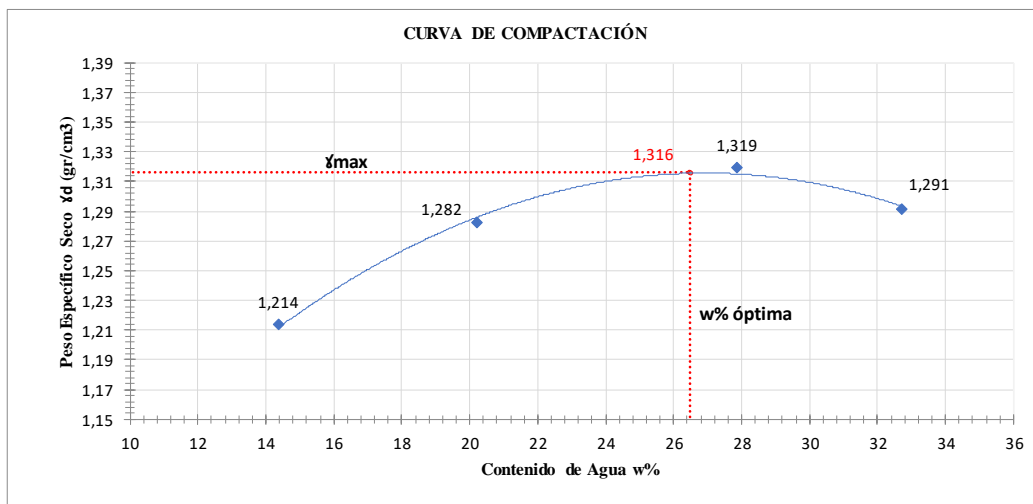
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	P7	CP3	CP2	CP10	P10	P5	CP8	CP5
Masa del recipiente	9,67	9,956	7,525	9,115	7,688	9,642	9,395	7,688
Masa suelo hum+recipiente (gr)	53,318	56,425	47,865	84,788	59,436	71,23	56,86	58,931
Masa suelo seco+recipiente (gr)	47,748	50,665	40,843	72,501	48,3	57,636	44,915	46,557
Masa del agua (gr)	5,57	5,76	7,02	12,29	11,14	13,59	11,95	12,37
Masa suelo seco (gr)	38,078	40,709	33,318	63,386	40,612	47,994	35,52	38,869
Contenido de agua en (%)	14,63	14,15	21,08	19,38	27,42	28,32	33,63	31,84
w (%) Promedio	14,39		20,23		27,87		32,73	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,214		1,282		1,319		1,291	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,316 gr/cm³

Humedad Óptima 26,5 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.316 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 26,50%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9851632,00 m S
ID Muestra	M2 + 35% CCA	Fecha:	13/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15353 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	12	20	28	36
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18008	18505	18909	19098
Masa Molde (gr)	15353	15353	15353	15353
Masa suelo húmedo (gr)	2655	3152	3556	3745
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,167	1,386	1,564	1,647

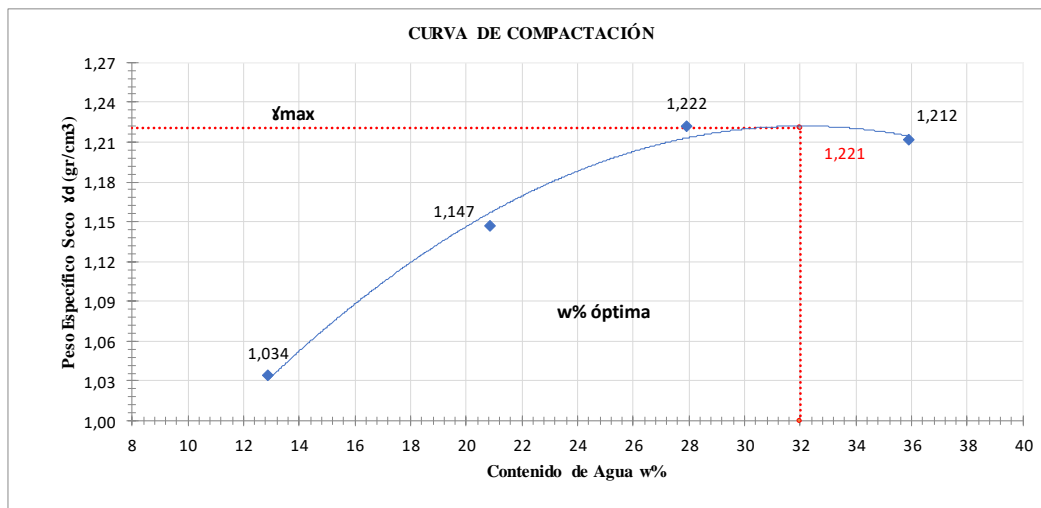
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	P8	CP4	CP7	CP9	P9	P2	CP20	CP15
Masa del recipiente	9,5	9,638	9,327	9,456	7,64	7,62	1,806	1,817
Masa suelo hum+recipiente (gr)	59,112	46,511	57,387	66,859	51,89	56,92	60,599	70,752
Masa suelo seco-recipiente (gr)	53,248	42,449	48,972	57,115	42,39	45,992	44,812	52,84
Masa del agua (gr)	5,86	4,06	8,42	9,74	9,50	10,93	15,79	17,91
Masa suelo seco (gr)	43,748	32,811	39,645	47,659	34,75	38,372	43,006	51,023
Contenido de agua en (%)	13,40	12,38	21,23	20,45	27,34	28,48	36,71	35,11
w (%) Promedio	12,89		20,84		27,91		35,91	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,034		1,147		1,222		1,212	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,221 gr/cm³

Humedad Óptima 32 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.221 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 32%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.

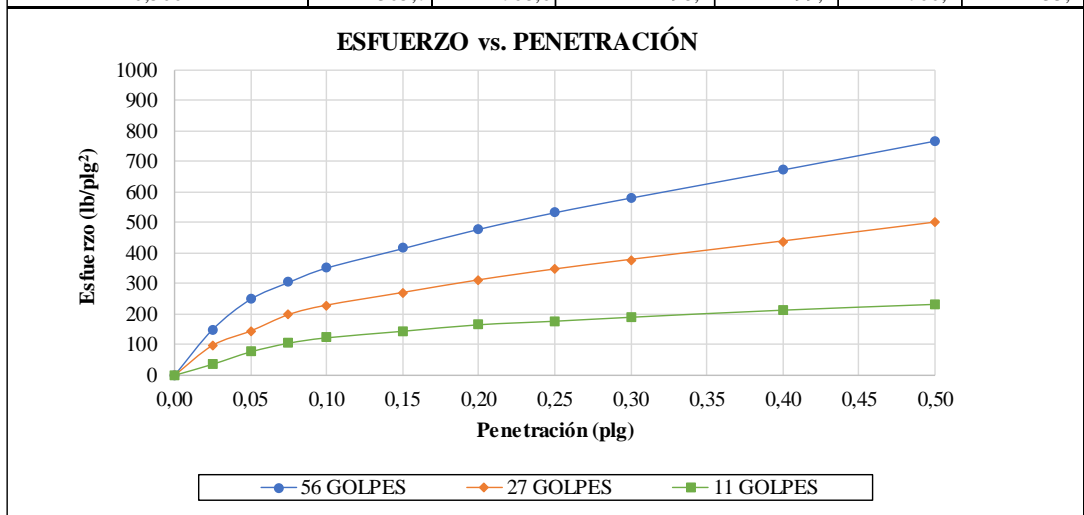


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

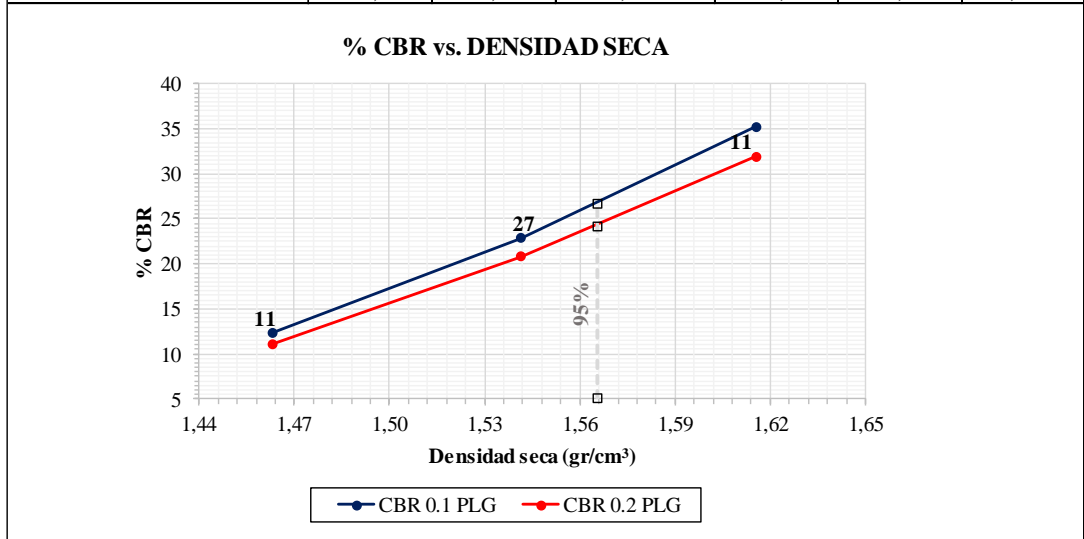


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Asayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17: 760076,00 m E;		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas			9851632,00 m S		
ID Muestra:	Muestro de suelo M2		Fecha:	13/11/2023		
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			18,00			
MOLDE N°	16		4		6	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
Muestra húmeda + molde (gr)	12102		13651		13561	
Masa Molde (gr)	7864		9429		9628	
Masa Muestra Humeda (gr)	4238		4222		3933	
Volumen Muestra (cm ³)	2238,48		2328,31		2286,38	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,893		1,813		1,720	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	CP4	CP6	F1	CP7	CP9	P16
P. Hum. + Recipiente	62,61	83,86	79,57	83,31	78,57	61,11
P. Seco + Recipiente	54,92	72,85	68,90	72,08	68,19	52,31
Peso Recipiente	9,64	9,59	7,63	9,33	9,46	1,87
Peso Agua	7,69	11,01	10,68	11,23	10,38	8,80
Peso de Sólidos	45,29	63,26	61,27	62,75	58,73	50,43
Contenido Humedad %	16,98	17,41	17,43	17,89	17,67	17,45
Con. Hum. Prom. %	17,19		17,66		17,56	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,615		1,541		1,463	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12445		13849		13896	
Masa Molde (gr)	7864		9429		9628	
Masa Muestra Humeda (gr)	4581		4420		4268	
Masa Agua Absorbida	343		198		335	
% Agua Absorbida	8,09%		4,69%		8,52%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	2,046		1,898		1,867	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	F4	P6	F5	F6	P4	P5
P. Hum. + Recipiente	57,41	48,00	68,50	72,64	67,28	86,39
P. Seco + Recipiente	48,36	40,45	56,19	59,29	53,91	69,75
Peso Recipiente	7,63	7,68	9,15	9,58	9,26	9,64
Peso Agua	9,05	7,55	12,31	13,35	13,37	16,64
Peso de Sólidos	40,73	32,77	47,04	49,71	44,65	60,11
Contenido Humedad %	22,22	23,03	26,18	26,86	29,94	27,68
Con. Hum. Prom. %	22,63		26,52		28,81	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DIA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
13-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
14-nov-23	11:15	1	24	3,9	0,0	10,0
15-nov-23	11:00	2	48	3,9	7,9	11,8
16-nov-23	12:00	3	72	3,9	7,9	13,5
Altura de la muestra (plg)				4,9	4,9	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				3,9	7,9	13,5
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,80	1,60	2,72

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	16		4		6	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	449,8	149,9	292,3	97,4	108,8	36,3
0,050	747,8	249,3	433,3	144,4	230,8	76,9
0,075	913,9	304,6	593,8	197,9	316,7	105,6
0,100	1055,8	351,9	686,0	228,7	369,8	123,3
0,150	1246,6	415,5	810,0	270,0	434,3	144,8
0,200	1436,8	478,9	933,6	311,2	498,6	166,2
0,250	1600,3	533,4	1039,8	346,6	533,6	177,9
0,300	1744,9	581,6	1133,8	377,9	572,9	191,0
0,400	2021,9	674,0	1313,8	437,9	642,9	214,3
0,500	2305,7	768,6	1498,2	499,4	700,2	233,4



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	351,92	35,19	1,615	478,94	31,93	1,615
2	228,67	22,87	1,541	311,20	20,75	1,541
3	123,27	12,33	1,463	166,20	11,08	1,463



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,648	1,566	24,10	26,70
% CBR Mayor		26,70	

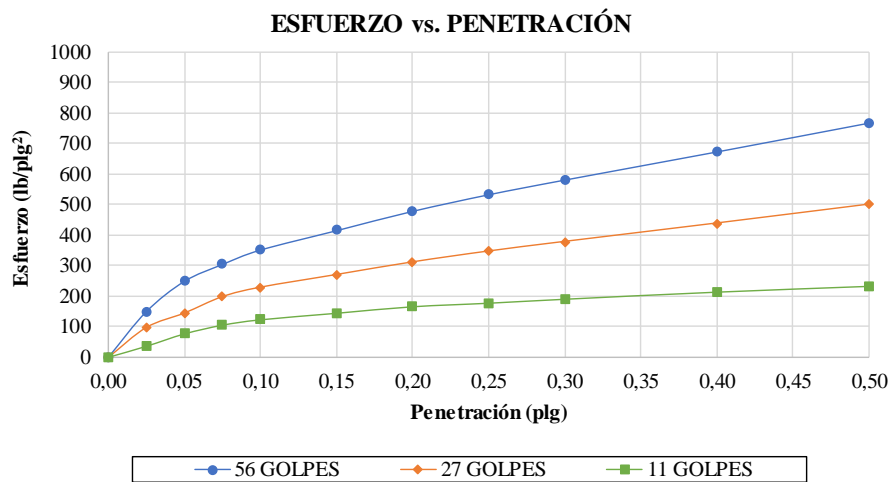


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

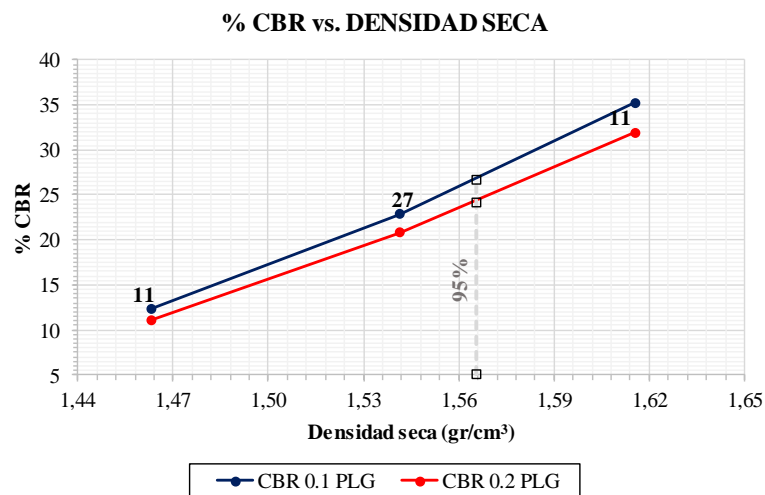


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	13/11/2023		
ID Muestra:	M2 + 15% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			23,20			
MOLDE N°	16	4	6			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11725	13013	12880			
Masa Molde (gr)	7864	9429	9628			
Masa Muestra Humeda (gr)	3861	3584	3252			
Volumen Muestra (cm ³)	2238,48	2328,31	2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,725	1,539	1,422			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	M1	M3	M2	M5	M4	M6
P. Hum. + Recipiente	40,81	48,73	28,43	52,89	30,83	43,70
P. Seco + Recipiente	33,34	40,03	23,49	43,65	25,59	36,09
Peso Recipiente	1,84	1,88	1,89	1,88	1,88	1,89
Peso Agua	7,47	8,70	4,94	9,23	5,24	7,60
Peso de Sólidos	31,50	38,15	21,60	41,77	23,72	34,20
Contenido Humedad %	23,71	22,81	22,87	22,10	22,08	22,23
Con. Hum. Prom. %	23,26		22,49		22,15	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,399		1,257		1,164	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11917		13365		13362	
Masa Molde (gr)	7864		9429		9628	
Masa Muestra Humeda (gr)	4053		3936		3734	
Masa Agua Absorbida	192		352		482	
% Agua Absorbida	4,97%		9,82%		14,82%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,811		1,690		1,633	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	F6	F8	CP1	F3	CP8	P5
P. Hum. + Recipiente	49,43	51,02	38,21	56,72	44,78	62,28
P. Seco + Recipiente	40,36	41,82	30,75	45,27	35,13	47,98
Peso Recipiente	9,58	9,64	7,54	9,13	9,40	9,64
Peso Agua	9,07	9,20	7,46	11,45	9,64	14,29
Peso de Sólidos	30,77	32,19	23,21	36,14	25,74	38,34
Contenido Humedad %	29,48	28,58	32,13	31,68	37,47	37,28
Con. Hum. Prom. %	29,03		31,91		37,37	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
13-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
14-nov-23	11:15	1	24	4,5	3,9	9,0
15-nov-23	11:00	2	48	4,5	8,5	13,0
16-nov-23	12:00	3	72	4,5	8,5	15,0
Altura de la muestra (plg)				4,9	4,9	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				4,5	8,5	15,0
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,91	1,73	3,02

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	16		4		6	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	449,8	149,9	292,3	97,4	108,8	36,3
0,050	747,8	249,3	433,3	144,4	230,8	76,9
0,075	913,9	304,6	593,8	197,9	316,7	105,6
0,100	1055,8	351,9	686,0	228,7	369,8	123,3
0,150	1246,6	415,5	810,0	270,0	434,3	144,8
0,200	1436,8	478,9	933,6	311,2	498,6	166,2
0,250	1600,3	533,4	1039,8	346,6	533,6	177,9
0,300	1744,9	581,6	1133,8	377,9	572,9	191,0
0,400	2021,9	674,0	1313,8	437,9	642,9	214,3
0,500	2305,7	768,6	1498,2	499,4	700,2	233,4



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	351,92	35,19	1,615	478,94	31,93	1,615
2	228,67	22,87	1,541	311,20	20,75	1,541
3	123,27	12,33	1,463	166,20	11,08	1,463



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,648	1,566	24,10	26,70
% CBR Mayor		26,70	

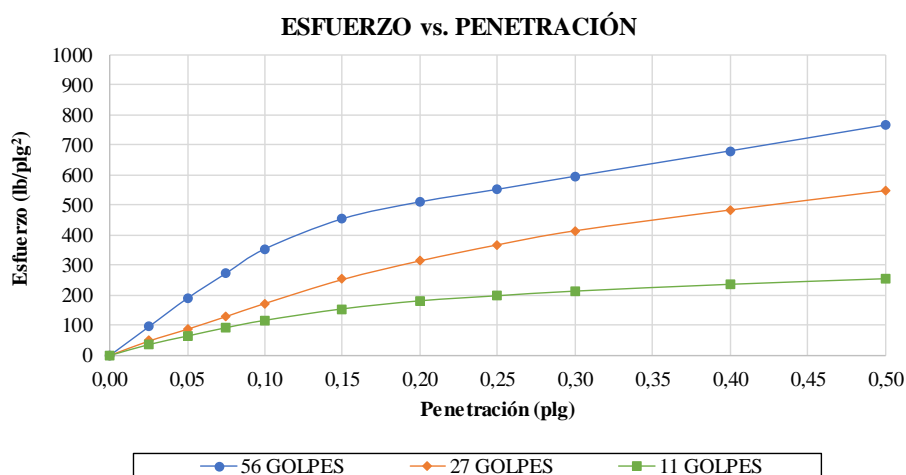


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

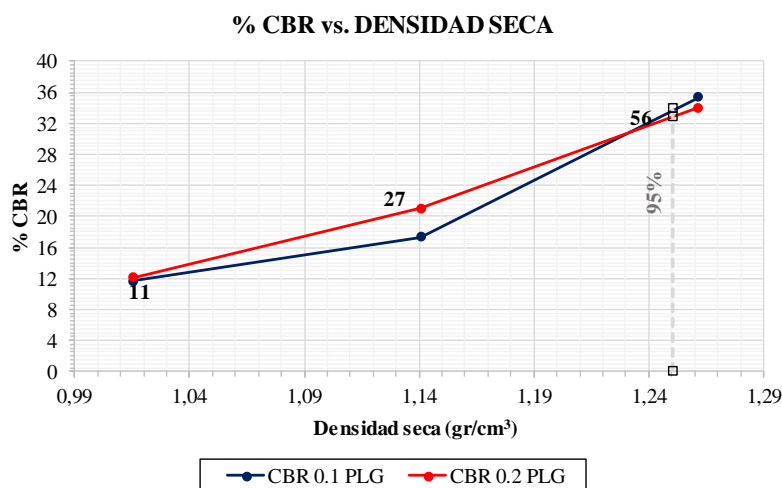


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	17/11/2023		
ID Muestra:	M2 + 25% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			26,50			
MOLDE N°	9	2	8			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11760	9487	11380			
Masa Molde (gr)	8266	6368	8478			
Masa Muestra Humeda (gr)	3494	3119	2902			
Volumen Muestra (cm ³)	2202,67	2184,76	2279,79			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,586	1,428	1,273			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	W1	W7	F2	CP2	W2	W3
P. Hum. + Recipiente	31,26	36,03	39,29	34,58	33,05	26,42
P. Seco + Recipiente	25,30	28,98	33,36	29,10	26,70	21,46
Peso Recipiente	1,88	1,87	9,58	7,53	1,82	1,81
Peso Agua	5,96	7,05	5,93	5,48	6,35	4,96
Peso de Sólidos	23,43	27,10	23,78	21,58	24,89	19,65
Contenido Humedad %	25,43	26,03	24,92	25,39	25,51	25,23
Con. Hum. Prom. %	25,73		25,15		25,37	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,262		1,141		1,015	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11991		9908		11999	
Masa Molde (gr)	8266		6368		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	3725		3540		3521	
Masa Agua Absorbida	231		421		619	
% Agua Absorbida	6,61%		13,50%		21,33%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,691		1,620		1,544	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	CP3	CP10	CP5	CP6	CP4	P7
P. Hum. + Recipiente	45,27	42,54	65,61	56,45	64,51	60,70
P. Seco + Recipiente	35,10	32,74	50,19	43,44	47,88	45,04
Peso Recipiente	9,66	9,12	9,66	9,59	9,64	9,67
Peso Agua	10,17	9,80	15,42	13,00	16,63	15,66
Peso de Sólidos	25,44	23,62	40,53	33,85	38,25	35,37
Contenido Humedad %	39,98	41,51	38,04	38,41	43,47	44,26
Con. Hum. Prom. %	40,74		38,23		43,87	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
17-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
18-nov-23	11:15	1	24	7,9	15,7	7,9
19-nov-23	11:00	2	48	7,9	15,7	19,7
20-nov-23	12:00	3	72	7,9	15,7	23,6
Altura de la muestra (plg)				4,8	4,8	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				7,9	15,7	23,6
Esponjamiento lineal relativo (%)				1,63	3,28	4,84

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	9		2		8	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	283,9	94,6	143,2	47,7	108,4	36,1
0,050	568,9	189,6	261,9	87,3	193,6	64,5
0,075	818,5	272,8	388,5	129,5	276,8	92,3
0,100	1060,6	353,5	518,8	172,9	349,9	116,6
0,150	1360,8	453,6	757,5	252,5	463,5	154,5
0,200	1528,6	509,5	943,8	314,6	543,6	181,2
0,250	1653,8	551,3	1103,4	367,8	593,8	197,9
0,300	1783,8	594,6	1243,6	414,5	639,8	213,3
0,400	2036,1	678,7	1450,8	483,6	707,3	235,8
0,500	2293,8	764,6	1643,5	547,8	762,8	254,3



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	353,53	35,35	1,262	509,53	33,97	1,262
2	172,93	17,29	1,141	314,60	20,97	1,141
3	116,63	11,66	1,015	181,20	12,08	1,015



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,316	1,250	32,80	34,00
% CBR Mayor		34,00	

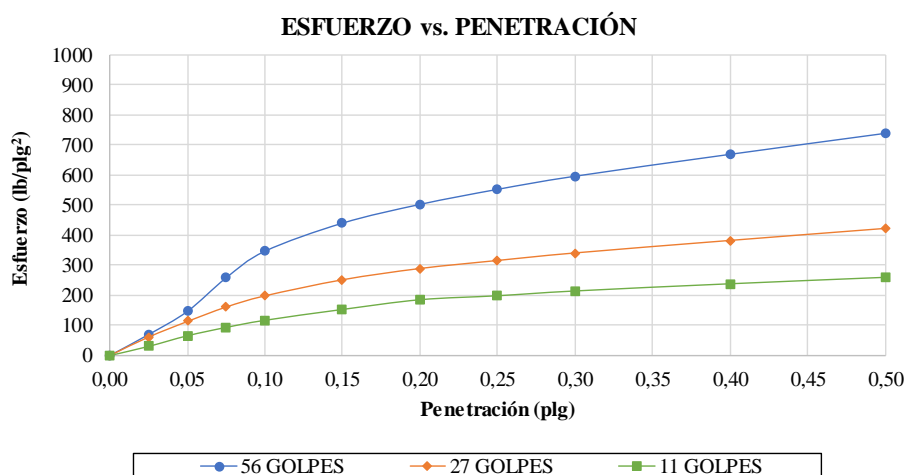


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

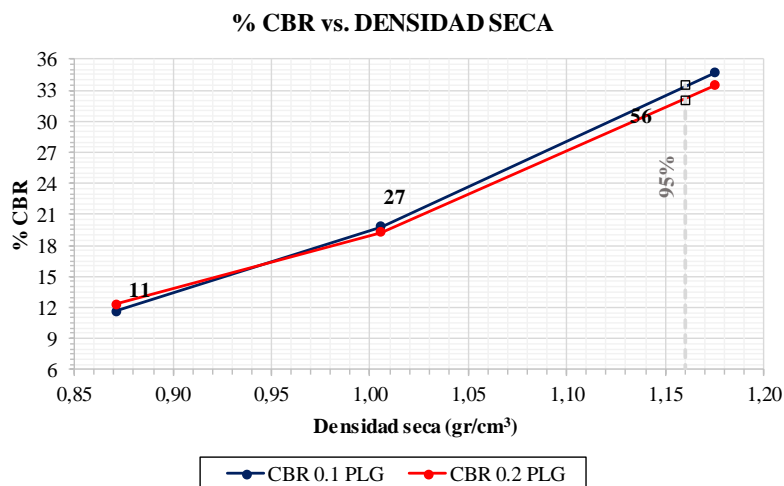


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 760076,00 m E; 9851632,00 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	17/11/2023		
ID Muestra:	M2 + 35% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			32,00			
MOLDE N°	9	2	8			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11683	9280	11081			
Masa Molde (gr)	8266	6368	8478			
Masa Muestra Humeda (gr)	3417	2912	2603			
Volumen Muestra (cm ³)	2202,67	2184,76	2279,79			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,551	1,333	1,142			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P10	P2	CP2	F5	CP9	CP7
P. Hum. + Recipiente	34,24	37,85	28,17	40,05	40,53	36,47
P. Seco + Recipiente	27,68	30,65	21,72	32,06	33,06	30,11
Peso Recipiente	7,69	7,62	1,80	7,63	9,46	9,33
Peso Agua	6,56	7,20	6,46	7,99	7,47	6,36
Peso de Sólidos	19,99	23,03	19,92	24,43	23,60	20,78
Contenido Humedad %	32,79	31,28	32,41	32,71	31,66	30,58
Con. Hum. Prom. %	32,03		32,56		31,12	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,175		1,005		0,871	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12085		9799		11760	
Masa Molde (gr)	8266		6368		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	3819		3431		3282	
Masa Agua Absorbida	402		519		679	
% Agua Absorbida	11,76%		17,82%		26,09%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,734		1,570		1,440	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	CP21	CP16	CP11	CP18	W3	CP22
P. Hum. + Recipiente	42,53	52,83	48,32	35,34	41,24	47,82
P. Seco + Recipiente	30,92	38,42	33,09	24,18	26,49	30,85
Peso Recipiente	1,82	1,87	1,84	1,84	1,86	1,82
Peso Agua	11,61	14,42	15,24	11,16	14,75	16,97
Peso de Sólidos	29,10	36,55	31,25	22,34	24,62	29,03
Contenido Humedad %	39,89	39,45	48,75	49,96	59,91	58,47
Con. Hum. Prom. %	39,67		49,35		59,19	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
17-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
18-nov-23	11:15	1	24	10,0	15,0	19,7
19-nov-23	11:00	2	48	11,8	17,7	21,7
20-nov-23	12:00	3	72	11,8	19,7	35,4
Altura de la muestra (plg)				4,8	4,8	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				11,8	19,7	35,4
Esponjamiento lineal relativo (%)				2,44	4,10	7,26

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	9		2		8	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	208,9	69,6	183,8	61,3	90,6	30,2
0,050	439,4	146,5	338,6	112,9	195,6	65,2
0,075	773,6	257,9	482,3	160,8	278,1	92,7
0,100	1039,0	346,3	593,8	197,9	348,7	116,2
0,150	1318,8	439,6	753,6	251,2	455,8	151,9
0,200	1505,5	501,8	866,0	288,7	552,0	184,0
0,250	1655,3	551,8	945,9	315,3	591,4	197,1
0,300	1786,4	595,5	1020,8	340,3	638,8	212,9
0,400	2004,3	668,1	1145,3	381,8	709,8	236,6
0,500	2213,4	737,8	1264,8	421,6	773,6	257,9





PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	346,33	34,63	1,175	501,83	33,46	1,175
2	197,93	19,79	1,005	288,67	19,24	1,005
3	116,23	11,62	0,871	184,00	12,27	0,871



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,221	1,160	32,00	33,50
% CBR Mayor		33,50	

- Muestra de suelo M3- Cantón Puyo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: AASHTO T 191 2014 			
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M3	Fecha:	2/10/2023
Contenido de humedad (W%)			
N° Recipiente	P7		P8
Masa suelo humedo + recipiente (gr)	64,17		72,24
Masa de suelo seco + recipiente (gr)	44,23		49,08
Masa recipiente (gr)	9,67		9,50
Masa de agua Ww (gr)	19,94		23,16
Masa suelo seco Ws (gr)	34,56		39,58
Contenido de humedad (W%)	57,70		58,51
W Promedio (%)	58,11		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO-T-88-2013



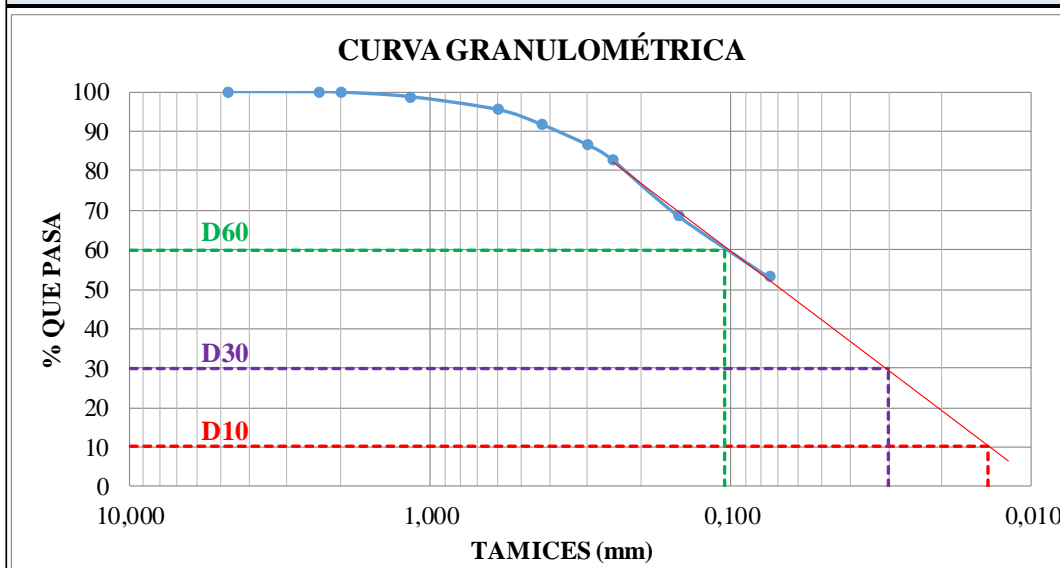
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M3	Fecha:	10/10/2023

ENSAYO GRANULOMÉTRICO

1. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL SUELO

Tamiz #	Abertura(mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Peso Retenido	% Que Pasa
#4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00
#8	2,360	0,33	0,33	0,03	99,97
#10	2,000	1,03	1,36	0,14	99,86
#16	1,180	11,20	12,56	1,26	98,74
#30	0,600	32,44	45,00	4,50	95,50
#40	0,430	37,07	82,07	8,21	91,79
#50	0,300	52,56	134,63	13,48	86,52
#60	0,250	35,78	170,41	17,06	82,94
#100	0,150	143,41	313,82	31,41	68,59
#200	0,075	155,37	469,19	46,96	53,04
Fuente	-	529,90	529,90	53,04	-

2. GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



3. PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

Tamaño Nominal Máximo (TNM)=	0,43	Cu=	7,50	Error Permitido=	1,00%
Diámetro Dimensional (D60)=	0,105				
Diámetro EQUIPARABLE (D30)=	0,03	Cc=	0,61	Error Calculado=	0,09%
Diámetro Efectivo (D10)=	0,014				

4. PORCENTAJE DE MATERIAL

	Grava (% G)	Arena (% S)	Limo y arcilla (% Finos)
SUCS	0,00	46,96	53,04
AASHTO	0,14	46,83	53,04

Por el método SUCS el suelo se clasifica como una arcilla orgánica de alta plasticidad CH. Mediante el método AASHTO se determinó que se trata de un suelo tipo A-7-6 (8) de mala calidad, que está compuesto de suelos arcillosos.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T 100 2015

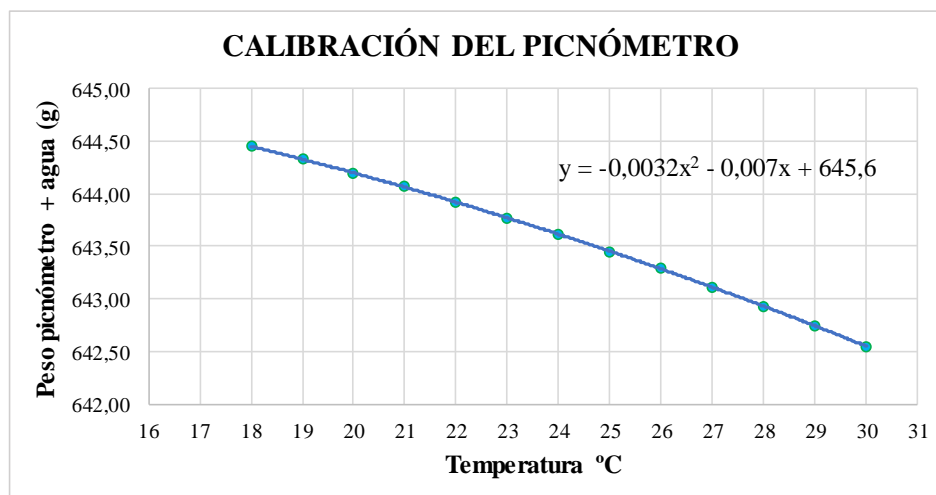


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M3	Fecha:	10/10/2023

Gravedad Específica

Temperatura del agua + suelo	°C	19,00
Peso del recipiente + suelo seco	g	159,86
Peso del recipiente (Wr)	g	110,84
Peso del suelo seco (Ws)	g	49,02
Peso picnómetro + agua (Wbw)	g	644,20
Peso del suelo seco (Ws) + picnómetro + agua (Wbw)	g	693,22
Peso del picnómetro + agua + suelo (Wbws)	g	675,20
Desplazamiento de agua (Dw)	g	18,02
Factor de corrección por temperatura (K)	--	1,0002
Gravedad específica (Gs)	--	2,721

Calibración del Picnómetro	
Temperatura °C	Masa (g)
18	644,45
19	644,33
20	644,20
21	644,06
22	643,92
23	643,77
24	643,61
25	643,45
26	643,29
27	643,11
28	642,93
29	642,74
30	642,55





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



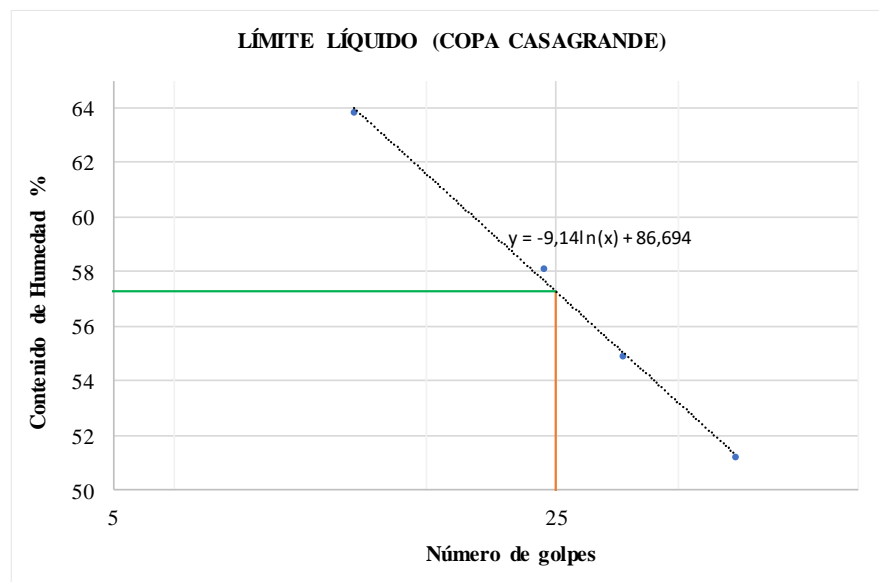
NORMA: (LL) AASHTO-T-89-2013; (LP) AASHTO-T-90-2016

Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Muestra de suelo M3	Fecha:	1/11/2023

ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO COPA CASAGRANDE

N° Golpes	# Caps	Wcaps (gr)	Whum (gr)	Wseco (gr)	% Wnat	% W prom
12	CP1	7,542	12,363	10,500	62,98	63,820
	F3	9,127	14,429	12,347	64,66	
24	CP9	9,456	16,470	13,885	58,37	58,067
	CP3	9,656	16,347	13,897	57,77	
32	CP10	9,115	14,308	12,470	54,78	54,863
	CP6	9,589	17,271	14,547	54,94	
48	CP18	1,837	8,285	6,100	51,25	51,215
	CP22	1,823	7,291	5,440	51,18	

Número de golpes	25
Límite Líquido LI%	57,27



ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO LP

# Caps	Wcaps (gr)	Whum (gr)	Wseco (gr)	% Wnat	LP
M3	1,884	2,220	2,149	26,79	26,58
CP16	1,873	2,316	2,224	26,21	
M4	1,876	2,341	2,243	26,70	
M2	1,892	2,315	2,227	26,27	
M6	1,890	2,574	2,429	26,90	

LÍMITE LÍQUIDO LI%	57,27
LÍMITE PLÁSTICO Lp%	26,58
ÍNDICE DE PLASTICIDAD Ip%	30,70



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9834450,40 m S
ID Muestra	Muestra de suelo M3	Fecha:	16/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15571 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	29	35	41	47
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	19104	19410	19735	19718
Masa Molde (gr)	15571	15571	15571	15571
Masa suelo húmedo (gr)	3533	3839	4164	4147
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,553	1,688	1,831	1,823

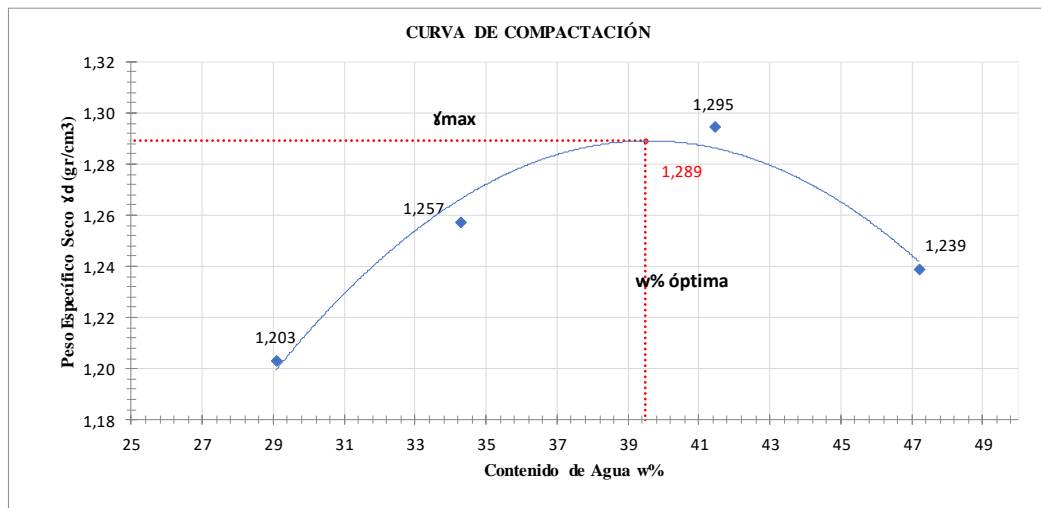
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14
Masa del recipiente	9,327	9,395	9,456	9,115	1,835	1,811	1,875	1,863
Masa suelo hum+recipiente (gr)	66,764	69,268	72,127	54,685	42,408	53,82	71,557	58,335
Masa suelo seco-recipiente (gr)	54,031	55,56	56,077	43,1	30,518	38,595	49,147	40,283
Masa del agua (gr)	12,73	13,71	16,05	11,59	11,89	15,23	22,41	18,05
Masa suelo seco (gr)	44,704	46,165	46,621	33,985	28,683	36,784	47,272	38,42
Contenido de agua en (%)	28,48	29,69	34,43	34,09	41,45	41,39	47,41	46,99
w (%) Promedio	29,09		34,26		41,42		47,20	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,203		1,257		1,295		1,239	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,289 gr/cm³

Humedad Óptima 39,5 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.289 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo (w% óptima) de 39,50%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9834450,40 m S
ID Muestra	M3 + 15% CCA	Fecha:	16/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15595 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	28	34	40	46
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18596	19233	19639	19604
Masa Molde (gr)	15595	15595	15595	15595
Masa suelo húmedo (gr)	3001	3638	4044	4009
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,320	1,600	1,778	1,763

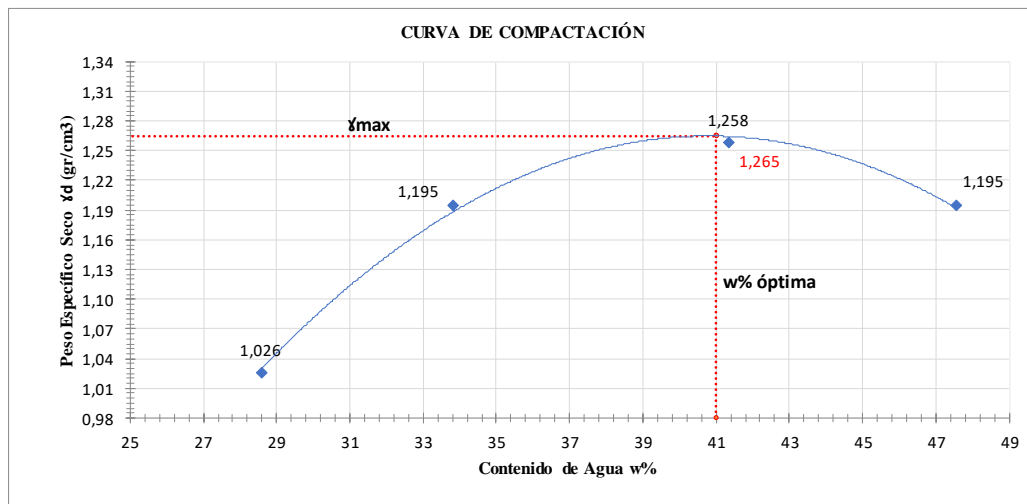
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP3	CP4	CP5	P10	P5	CP10	CP8	CP9
Masa del recipiente	9,656	9,638	9,655	7,68	9,64	9,115	9,395	9,456
Masa suelo hum+recipiente (gr)	45,774	49,409	48,157	34,536	60,11	54,052	69,607	60,577
Masa suelo seco+recipiente (gr)	37,871	40,436	38,5	27,696	45,296	40,96	50,217	44,092
Masa del agua (gr)	7,90	8,97	9,66	6,84	14,81	13,09	19,39	16,49
Masa suelo seco (gr)	28,215	30,798	28,845	20,016	35,656	31,845	40,822	34,636
Contenido de agua en (%)	28,01	29,14	33,48	34,17	41,55	41,11	47,50	47,59
w (%) Promedio	28,57		33,83		41,33		47,55	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,026		1,195		1,258		1,195	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,265 gr/cm³

Humedad Óptima 41 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.265 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo (w% óptima) de 41%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9834450,40 m S
ID Muestra	M3 + 35% CCA	Fecha:	16/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	12835 gr	Vol. Molde:	2274,30 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,70 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	18	25	32	39
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	14355	15742	16595	16775
Masa Molde (gr)	12835	12835	12835	12835
Masa suelo húmedo (gr)	1520	2907	3760	3940
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	0,668	1,278	1,653	1,732

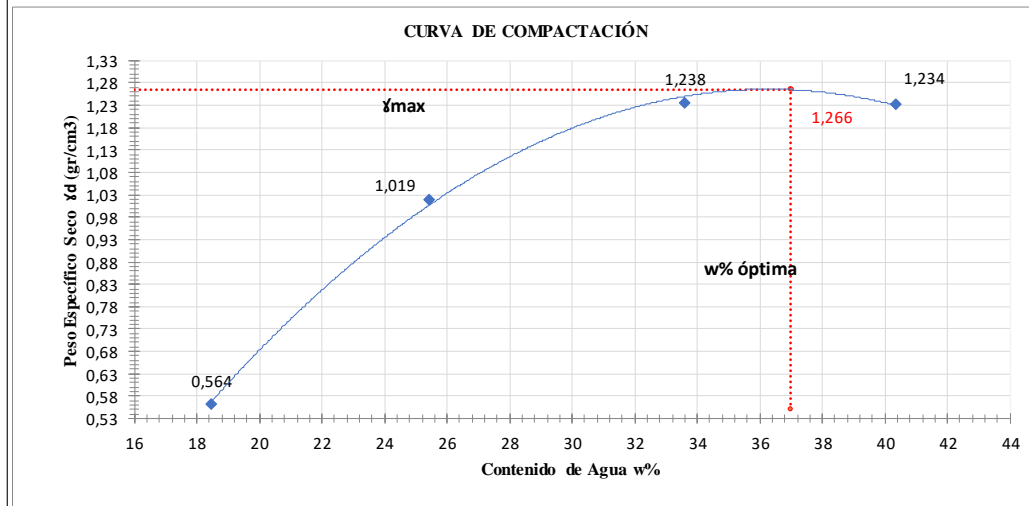
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
Masa del recipiente	1,818	1,807	1,811	1,814	1,813	1,839	1,84	1,85
Masa suelo hum+recipiente (gr)	36,869	35,757	44,907	42,088	73,831	60,187	71,723	87,416
Masa suelo seco-recipiente (gr)	31,945	29,958	36,053	34,035	55,744	45,495	51,78	62,631
Masa del agua (gr)	4,92	5,80	8,85	8,05	18,09	14,69	19,94	24,79
Masa suelo seco (gr)	30,127	28,151	34,242	32,221	53,931	43,656	49,94	60,781
Contenido de agua en (%)	16,34	20,60	25,86	24,99	33,54	33,65	39,93	40,78
w (%) Promedio	18,47		25,43		33,60		40,36	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	0,564		1,019		1,238		1,234	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,266 gr/cm³

Humedad Óptima 37 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.266 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo ($w\%$ óptima) de 37%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T -180 - 18



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E;
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9834450,40 m S
ID Muestra	M3 + 25% CCA	Fecha:	16/10/2023

PROCTOR MODIFICADO TIPO B

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

N° de Golpes:	56	N° capas:	5	P. martillo:	10 lb
Altura de caída:	18" o 1.5 ft	P. molde:	15575 gr	Vol. Molde:	2256,39 cm ³
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,10 cm	Altura:	12,60 cm

1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	22	29	36	43
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Suelo húmedo + molde (gr)	18347	18857	19324	19474
Masa Molde (gr)	15575	15575	15575	15575
Masa suelo húmedo (gr)	2772	3282	3749	3899
Peso Unitario Hum (gr/cm ³)	1,229	1,455	1,662	1,728

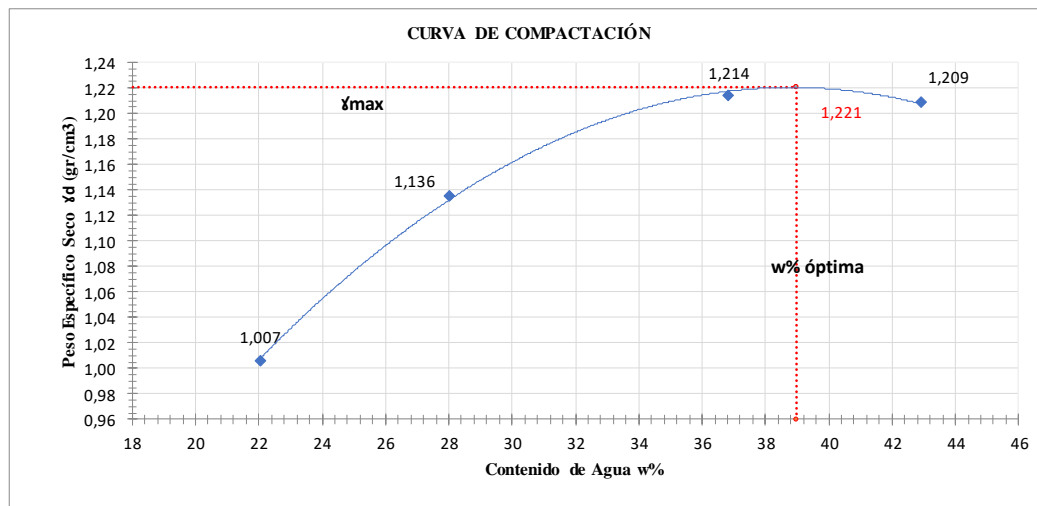
2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente N°	CP3	CP5	CP4	CP10	CP9	P5	CP8	P10
Masa del recipiente	9,656	9,655	9,638	9,115	9,456	9,64	9,395	7,68
Masa suelo hum+recipiente (gr)	47,06	50,061	54,809	44,697	52,921	54,547	67,304	61,208
Masa suelo seco+recipiente (gr)	40,24	42,83	44,686	37,092	41,402	42,274	49,96	45,098
Masa del agua (gr)	6,82	7,23	10,12	7,61	11,52	12,27	17,34	16,11
Masa suelo seco (gr)	30,584	33,175	35,048	27,977	31,946	32,634	40,565	37,418
Contenido de agua en (%)	22,30	21,80	28,88	27,18	36,06	37,61	42,76	43,05
w (%) Promedio	22,05		28,03		36,83		42,91	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,007		1,136		1,214		1,209	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Densidad Seca Máxima 1,221 gr/cm³

Humedad Óptima 39 %



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Mediante el ensayo Proctor modificado tipo B se determinó que la densidad máxima (γ_{max}) alcanzada es de 1.221 gr/cm³ y el contenido de humedad óptimo (w% óptima) de 37,5%, este resultado puede variar ligeramente al apreciar la curva de compactación.

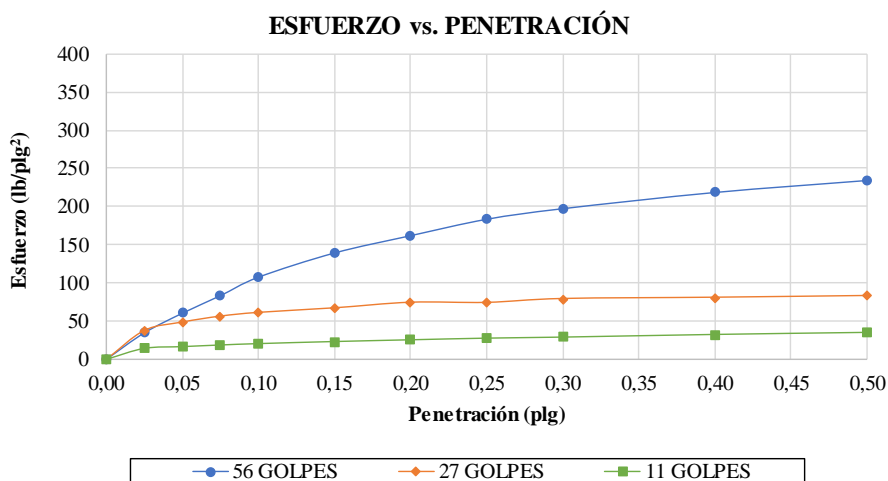


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

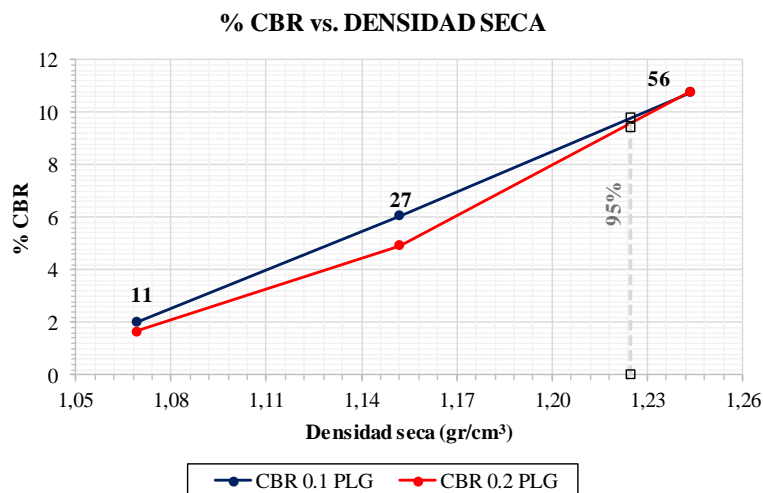


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	Zona 17: 833475,34 m E;			
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		9834450,40 m S			
ID Muestra:	Muestra de suelo M3	Fecha:	20/11/2023			
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			39,50			
MOLDE N°	9	2	8			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	12155	9877	11888			
Masa Molde (gr)	8266	6368	8478			
Masa Muestra Humeda (gr)	3889	3509	3410			
Volumen Muestra (cm ³)	2238,48	2184,76	2279,79			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,737	1,606	1,496			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	CP1	P8	P7	P5	P4	P3
P. Hum. + Recipiente	40,94	56,58	74,57	60,88	78,23	56,49
P. Seco + Recipiente	31,55	43,05	56,33	46,30	58,69	43,02
Peso Recipiente	7,54	9,50	9,67	9,64	9,26	9,64
Peso Agua	9,39	13,52	18,24	14,58	19,54	13,46
Peso de Sólidos	24,01	33,55	46,66	36,66	49,43	33,38
Contenido Humedad %	39,12	40,30	39,09	39,77	39,54	40,33
Con. Hum. Prom. %	39,71		39,43		39,93	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,244		1,152		1,069	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12306		10224		12319	
Masa Molde (gr)	8266		6368		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	4040		3856		3841	
Masa Agua Absorbida	151		347		431	
% Agua Absorbida	3,88%		9,89%		12,64%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,805		1,765		1,685	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	CP6	CP7	CP9	P3	CP4	CP5
P. Hum. + Recipiente	62,26	57,85	54,16	56,38	66,28	54,73
P. Seco + Recipiente	46,50	43,40	38,43	40,15	45,45	37,75
Peso Recipiente	9,59	9,33	9,46	9,64	9,64	9,66
Peso Agua	15,77	14,46	15,74	16,23	20,83	16,99
Peso de Sólidos	36,91	34,07	28,97	30,51	35,81	28,09
Contenido Humedad %	42,72	42,43	54,31	53,19	58,16	60,46
Con. Hum. Prom. %	42,57		53,75		59,31	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DIA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
20-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
21-nov-23	11:15	1	24	63,0	75,0	82,7
22-nov-23	11:00	2	48	66,9	76,5	82,7
23-nov-23	12:00	3	72	66,9	77,0	86,6
Altura de la muestra (plg)				4,9	4,8	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				66,9	77,0	86,6
Esponjamiento lineal relativo (%)				13,60	16,03	17,74

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	9		2		8	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	103,9	34,6	111,9	37,3	41,9	14,0
0,050	181,2	60,4	144,4	48,1	48,6	16,2
0,075	250,0	83,3	167,4	55,8	54,9	18,3
0,100	322,6	107,5	181,9	60,6	60,2	20,1
0,150	417,7	139,2	199,5	66,5	68,1	22,7
0,200	485,6	161,9	221,1	73,7	74,8	24,9
0,250	550,0	183,3	220,5	73,5	81,1	27,0
0,300	591,7	197,2	235,6	78,5	85,1	28,4
0,400	655,3	218,4	240,5	80,2	95,3	31,8
0,500	702,4	234,1	247,2	82,4	103,2	34,4



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	107,53	10,75	1,244	161,86	10,79	1,244
2	60,63	6,06	1,152	73,71	4,91	1,152
3	20,07	2,01	1,069	24,93	1,66	1,069



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,289	1,225	9,45	9,80
% CBR Mayor		9,80	

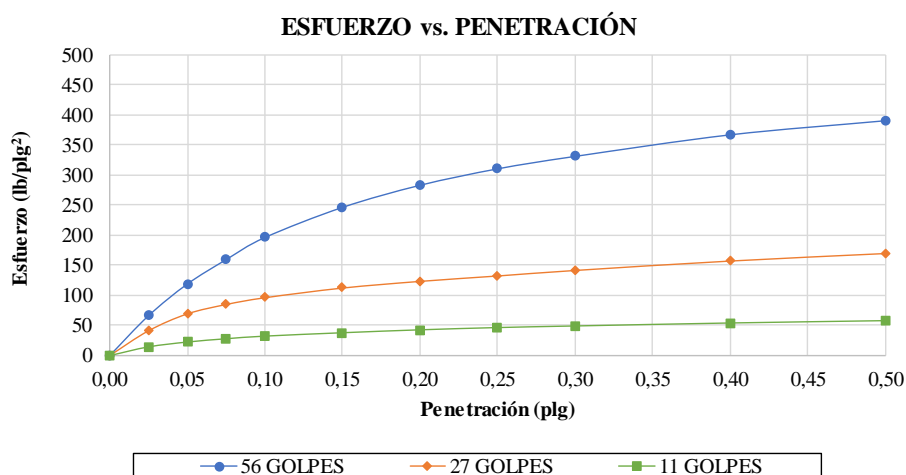


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

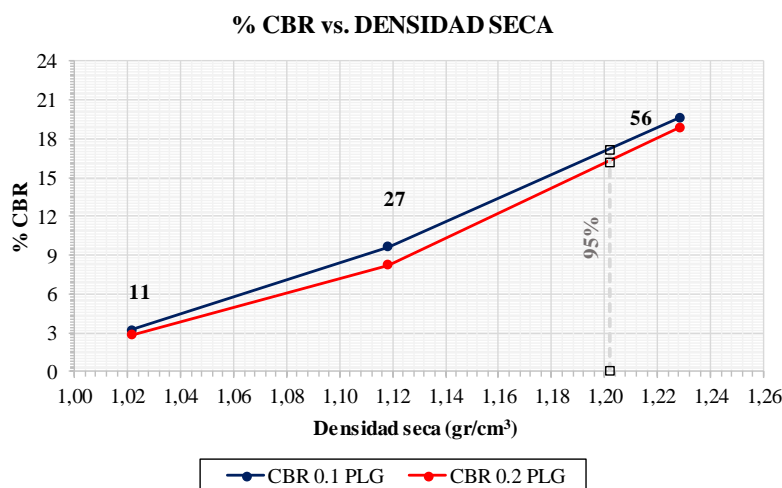


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	20/11/2023		
ID Muestra:	M3 + 15% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			41,00			
MOLDE N°	16	4	6			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11777	13122	12734			
Masa Molde (gr)	7864	9628	9429			
Masa Muestra Humeda (gr)	3913	3494	3305			
Volumen Muestra (cm ³)	2238,48	2220,58	2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,748	1,573	1,446			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P3	F2	P1	F4	1	2
P. Hum. + Recipiente	54,35	50,49	45,59	38,98	37,00	36,14
P. Seco + Recipiente	41,10	38,29	34,35	30,05	28,57	27,58
Peso Recipiente	9,64	9,58	7,32	7,63	7,79	7,45
Peso Agua	13,24	12,20	11,24	8,93	8,43	8,56
Peso de Sólidos	31,46	28,71	27,03	22,42	20,78	20,13
Contenido Humedad %	42,10	42,49	41,60	39,84	40,56	42,53
Con. Hum. Prom. %	42,29		40,72		41,55	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,228		1,118		1,021	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11972		13497		13253	
Masa Molde (gr)	7864		9628		9429	
Masa Muestra Humeda (gr)	4108		3869		3824	
Masa Agua Absorbida	195		375		519	
% Agua Absorbida	4,98%		10,73%		15,70%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,835		1,742		1,673	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P6	F1	P9	P4	W2	PC1
P. Hum. + Recipiente	46,99	60,98	37,13	47,10	54,97	43,83
P. Seco + Recipiente	34,90	45,01	27,42	34,22	35,33	28,04
Peso Recipiente	7,68	9,58	7,64	9,26	1,88	1,81
Peso Agua	12,10	15,98	9,71	12,88	19,64	15,80
Peso de Sólidos	27,22	35,43	19,78	24,96	33,45	26,23
Contenido Humedad %	44,46	45,09	49,10	51,59	58,71	60,22
Con. Hum. Prom. %	44,77		50,34		59,47	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
20-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
21-nov-23	11:15	1	24	19,7	31,5	50,8
22-nov-23	11:00	2	48	19,7	35,4	53,5
23-nov-23	12:00	3	72	19,7	35,4	59,1
Altura de la muestra (plg)				4,9	4,9	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				19,7	35,4	59,1
Esponjamiento lineal relativo (%)				4,00	7,26	11,90

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	16		4		6	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	199,0	66,3	123,9	41,3	42,8	14,3
0,050	357,2	119,1	208,4	69,5	66,7	22,2
0,075	478,9	159,6	255,3	85,1	82,8	27,6
0,100	589,6	196,5	289,2	96,4	95,8	31,9
0,150	740,0	246,7	337,6	112,5	112,4	37,5
0,200	850,4	283,5	371,0	123,7	126,8	42,3
0,250	932,5	310,8	398,0	132,7	137,9	46,0
0,300	994,7	331,6	425,7	141,9	145,8	48,6
0,400	1102,4	367,5	472,8	157,6	160,5	53,5
0,500	1172,9	391,0	510,4	170,1	172,0	57,3



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	196,53	19,65	1,228	283,45	18,90	1,228
2	96,40	9,64	1,118	123,67	8,24	1,118
3	31,93	3,19	1,021	42,27	2,82	1,021



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,265	1,202	16,20	17,10
% CBR Mayor		17,10	

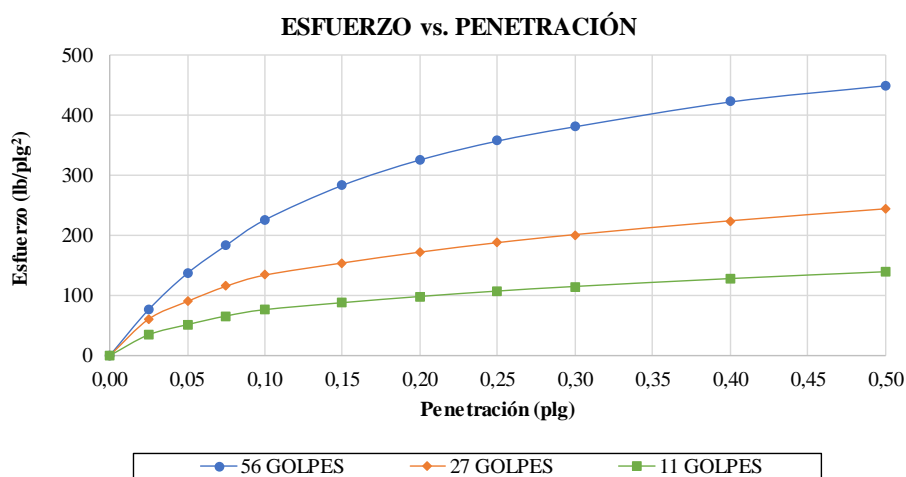


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883

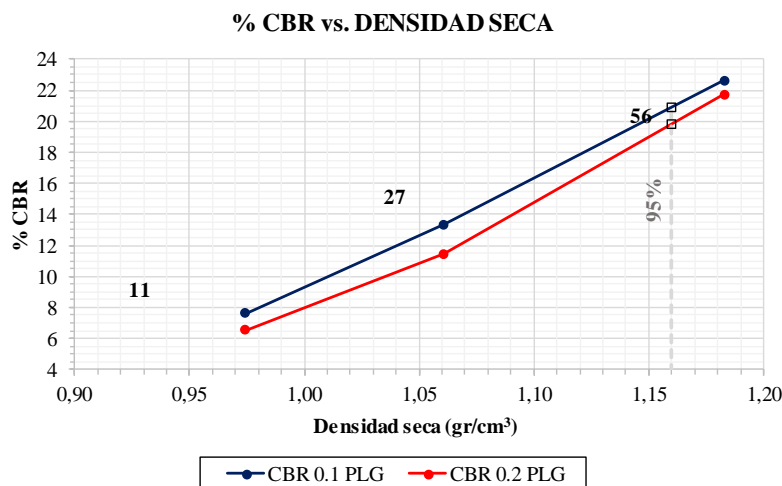


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	24/11/2023		
ID Muestra:	M3 + 25% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			39,00			
MOLDE N°	16	4	6			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11589	12795	12703			
Masa Molde (gr)	7864	9429	9628			
Masa Muestra Humeda (gr)	3725	3366	3075			
Volumen Muestra (cm ³)	2238,48	2328,31	2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,664	1,446	1,345			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P7	F3	CP1	F1	P8	CP13
P. Hum. + Recipiente	45,42	48,46	36,74	46,49	47,14	36,62
P. Seco + Recipiente	35,60	36,54	28,98	36,04	36,57	27,22
Peso Recipiente	9,67	9,13	7,54	7,32	9,50	1,88
Peso Agua	9,82	11,93	7,76	10,45	10,57	9,39
Peso de Sólidos	25,93	27,41	21,44	28,72	27,07	25,35
Contenido Humedad %	37,89	43,51	36,20	36,39	39,02	37,06
Con. Hum. Prom. %	40,70		36,29		38,04	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,183		1,061		0,974	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11871		13251		13284	
Masa Molde (gr)	7864		9429		9628	
Masa Muestra Humeda (gr)	4007		3822		3656	
Masa Agua Absorbida	282		456		581	
% Agua Absorbida	7,57%		13,55%		18,89%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,790		1,642		1,599	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	P1	P2	CP8	CP3	P9	P10
P. Hum. + Recipiente	38,67	36,13	49,31	64,56	50,37	54,64
P. Seco + Recipiente	28,75	26,80	35,68	46,41	33,95	36,07
Peso Recipiente	7,32	7,62	9,40	9,66	7,64	7,69
Peso Agua	9,92	9,33	13,63	18,15	16,42	18,57
Peso de Sólidos	21,43	19,18	26,29	36,75	26,31	28,38
Contenido Humedad %	46,27	48,64	51,84	49,39	62,40	65,42
Con. Hum. Prom. %	47,45		50,61		63,91	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
24-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
25-nov-23	11:15	1	24	19,0	27,6	30,0
26-nov-23	11:00	2	48	19,0	31,5	35,0
27-nov-23	12:00	3	72	19,0	31,5	39,4
Altura de la muestra (plg)				4,9	4,9	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				19,0	31,5	39,4
Esponjamiento lineal relativo (%)				3,86	6,40	7,94

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	16		4		6	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	228,8	76,3	180,6	60,2	103,2	34,4
0,050	410,7	136,9	268,8	89,6	153,6	51,2
0,075	550,7	183,6	344,4	114,8	196,8	65,6
0,100	678,0	226,0	399,7	133,2	228,4	76,1
0,150	850,9	283,6	460,3	153,4	263,0	87,7
0,200	977,9	326,0	514,2	171,4	293,8	97,9
0,250	1072,3	357,4	561,2	187,1	320,7	106,9
0,300	1143,9	381,3	601,3	200,4	343,6	114,5
0,400	1267,7	422,6	669,9	223,3	382,8	127,6
0,500	1348,8	449,6	729,4	243,1	416,8	138,9



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	226,00	22,60	1,183	325,97	21,73	1,183
2	133,23	13,32	1,061	171,38	11,43	1,061
3	76,13	7,61	0,974	97,93	6,53	0,974



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,221	1,160	19,80	20,90
% CBR Mayor		20,90	



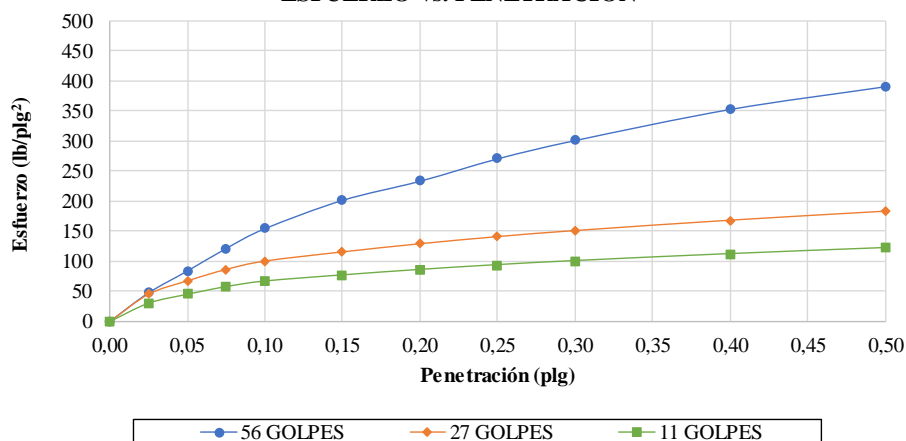
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D-1883



Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO					
Ensayado por:	Christian Javier Portero		Coordenadas:	Zona 17; 833475,34 m E; 9834450,40 m S		
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		Fecha:	24/11/2023		
ID Muestra:	M3 + 35% CCA					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)						
DATOS DE MOLDEO						
Contenido de Humedad Óptima (%):			37,00			
MOLDE N°	9	2	8			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
Muestra húmeda + molde (gr)	11962	9598	11309			
Masa Molde (gr)	8266	6368	8478			
Masa Muestra Humeda (gr)	3696	3230	2831			
Volumen Muestra (cm ³)	2238,48	2184,76	2279,79			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,651	1,478	1,242			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	3	5	4	2	1	6
P. Hum. + Recipiente	37,69	40,46	58,87	45,17	30,11	27,97
P. Seco + Recipiente	29,74	31,70	44,81	35,03	24,03	22,43
Peso Recipiente	7,45	7,79	7,45	7,45	7,79	7,70
Peso Agua	7,95	8,76	14,07	10,15	6,08	5,54
Peso de Sólidos	22,29	23,91	37,36	27,58	16,24	14,73
Contenido Humedad %	35,68	36,64	37,66	36,79	37,45	37,58
Con. Hum. Prom. %	36,16		37,22		37,52	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,213		1,077		0,903	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12166		10046		11946	
Masa Molde (gr)	8266		6368		8478	
Masa Muestra Humeda (gr)	3900		3678		3468	
Masa Agua Absorbida	204		448		637	
% Agua Absorbida	5,52%		13,87%		22,50%	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,742		1,683		1,521	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	CP10	CP11	CP16	CP18	CP21	CP22
P. Hum. + Recipiente	45,99	47,33	44,81	53,39	38,80	29,54
P. Seco + Recipiente	34,05	32,67	28,39	33,32	24,20	18,51
Peso Recipiente	9,12	1,84	1,87	1,84	1,82	1,82
Peso Agua	11,93	14,66	16,42	20,08	14,60	11,04
Peso de Sólidos	24,94	30,83	26,51	31,48	22,39	16,68
Contenido Humedad %	47,86	47,53	61,94	63,78	65,21	66,14
Con. Hum. Prom. %	47,70		62,86		65,67	
DATOS DE ESPONJAMIENTO						
FECHA		TIEMPO		LECTURAS DIAL (plg *10-2)		
DÍA Y MES	HORA	DIAS	HORAS	56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
24-nov-23	11:00	0	0	0,0	0,0	0,0
25-nov-23	11:15	1	24	11,8	23,6	33,8
26-nov-23	11:00	2	48	11,8	23,6	33,8
27-nov-23	12:00	3	72	11,8	23,6	35,0
Altura de la muestra (plg)				4,9	4,8	4,9
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				11,8	23,6	35,0
Esponjamiento lineal relativo (%)				2,40	4,92	7,17

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	9		2		8	
N° de golpes	56		27		11	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	142,9	47,6	135,5	45,2	90,3	30,1
0,050	252,0	84,0	201,6	67,2	134,4	44,8
0,075	364,5	121,5	258,3	86,1	172,2	57,4
0,100	463,4	154,5	299,8	99,9	199,9	66,6
0,150	604,7	201,6	345,2	115,1	230,1	76,7
0,200	700,3	233,4	385,6	128,5	257,1	85,7
0,250	812,0	270,7	420,9	140,3	280,6	93,5
0,300	903,4	301,1	451,0	150,3	300,7	100,2
0,400	1058,6	352,9	502,4	167,5	335,0	111,7
0,500	1172,3	390,8	547,1	182,4	364,7	121,6

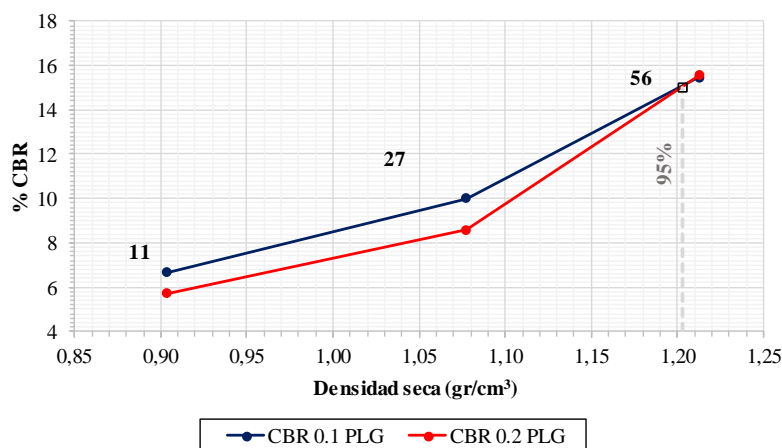
ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)



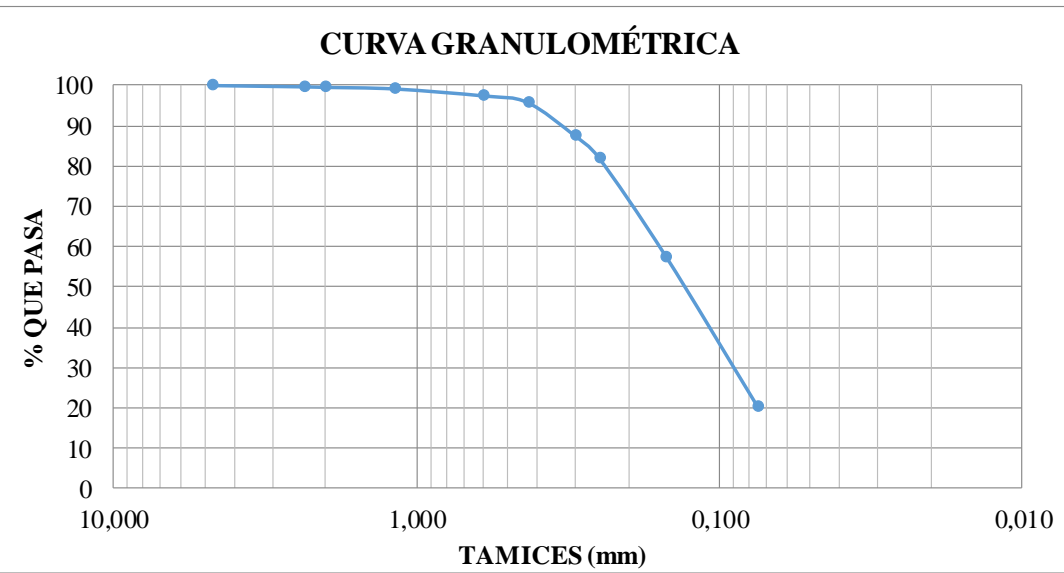
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	154,46	15,45	1,213	233,44	15,56	1,213
2	99,93	9,99	1,077	128,54	8,57	1,077
3	66,62	6,66	0,903	85,69	5,71	0,903

% CBR vs. DENSIDAD SECA



DSM (gr/cm ³)	95% DSM (gr/cm ³)	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,266	1,203	15,00	15,00
% CBR Mayor		15,00	

- Muestra de ceniza cascarilla de arroz

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: AASHTO-T-88-2013			
Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO				
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:			
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas				
ID Muestra:	Ceniza CCA	Fecha:	2/1/2024		
ENSAYO GRANULOMÉTRICO					
1. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL SUELO					
Tamiz #	Abertura(mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Peso Retenido	% Que Pasa
#4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00
#8	2,360	1,63	1,63	0,33	99,67
#10	2,000	0,65	2,28	0,46	99,54
#16	1,180	1,96	4,24	0,85	99,15
#30	0,600	8,66	12,90	2,58	97,42
#40	0,430	8,10	21,00	4,21	95,79
#50	0,300	41,27	62,27	12,47	87,53
#60	0,250	27,03	89,30	17,89	82,11
#100	0,150	122,58	211,88	42,44	57,56
#200	0,075	185,46	397,34	79,58	20,42
Fuente	-	101,93	101,93	20,42	-
2. GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA					
 <p style="text-align: center;">CURVA GRANULOMÉTRICA</p>					



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: AASHTO T 100 2015

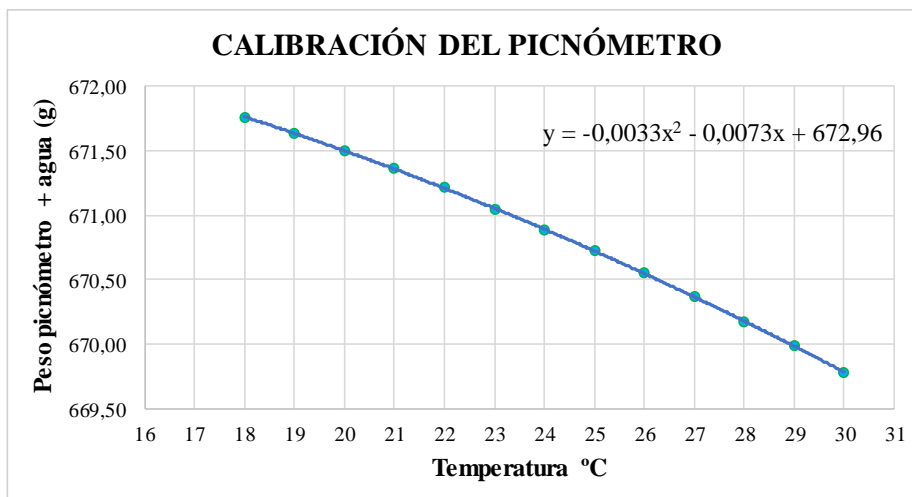


Proyecto:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO		
Ensayado por:	Christian Javier Portero	Coordenadas:	
Revisado por:	Ing. Mg. Marisol Bayas		
ID Muestra:	Ceniza CCA	Fecha:	2/1/2024

Gravedad Específica



Temperatura del agua + suelo	°C	21,00
Peso del recipiente + suelo seco	g	156,70
Peso del recipiente (Wr)	g	109,90
Peso del suelo seco (Ws)	g	46,80
Peso picnómetro + agua (Wbw)	g	671,50
Peso del suelo seco (Ws) + picnómetro + agua (Wbw)	g	718,30
Peso del picnómetro + agua + suelo (Wbws)	g	696,40
Desplazamiento de agua (Dw)	g	21,90
Factor de corrección por temperatura (K)	--	0,9998
Gravedad específica (Gs)	--	2,137

Temperatura °C	Masa (g)
18	671,76
19	671,63
20	671,50
21	671,36
22	671,21
23	671,05
24	670,89
25	670,72
26	670,55
27	670,37
28	670,18
29	669,98
30	669,78



5.3 ANEXO D: Rubros para análisis de costo

- Muestra de suelo M1

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"						HOJA 1 DE 9
RUBRO : Subrasante estabilizada con ceniza de la cascarilla de arroz						UNIDAD: m ³
DESCRIPCIÓN : Suelo arenoso						
EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR	
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010	
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,009	0,315	
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,009	0,225	
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,009	0,180	
SUBTOTAL M					0,730	
MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR	
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405	
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114	
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108	
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114	
SUBTOTAL N					0,741	
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB		
Agua	m ³	0,254	0,500	0,127		
Ceniza cascarilla de arroz	kg	349,740	0,150	52,461		
SUBTOTAL O					52,588	
TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB		
SUBTOTAL P					0,000	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					54,06	
INDIRECTOS (%)					20%	
UTILIDAD (%)					0%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					64,87	
VALOR UNITARIO					64,87	
SON: Sesenta y cuatro dolares, 87/100 centavos ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA						
Christian Javier Portero Panimbosa ELABORADO						



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



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

RUBRO : Subrasante estabilizada con cemento
DESCRIPCIÓN : Suelo arenoso

HOJA 2 DE 9
UNIDAD: m3

EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	HORA	R	D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,013	0,455
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,013	0,325
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,013	0,260
SUBTOTAL M					1,050

MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	HORA	R	D=CxR
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
DESCRIPCION		A	B	C=AxB
Agua	m3	0,094	0,500	0,047
Cemento	kg	199,000	0,165	32,835
SUBTOTAL O				32,882

TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
DESCRIPCION		A	B	C=AxB
SUBTOTAL P				0,000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	34,67
INDIRECTOS (%)	20% 6,93
UTILIDAD (%)	0% 0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	41,61
VALOR UNITARIO	41,61

SON: Cuarenta y un dólares, 61/100 centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Christian Javier Portero Panimbosa
ELABORADO



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



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

HOJA 3 DE 9

RUBRO : Subrasante estabilizada con cal

UNIDAD: m³



DESCRIPCIÓN : Suelo arenoso

EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,013	0,455
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,013	0,325
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,013	0,260
SUBTOTAL M					1,050
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741
MATERIALES		CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Agua		m ³	0,139	0,500	0,070
Cal		kg	202,000	0,140	28,280
SUBTOTAL O					28,350
TRANSPORTE		CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P					0,000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					30,14
INDIRECTOS (%)					20%
UTILIDAD (%)					0%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					36,17
VALOR UNITARIO					36,17

SON: Treinta y seis dolares, 36/100 centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Christian Javier Portero Panimbosa
ELABORADO

• Muestra de suelo M2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"					
RUBRO : Subrasante estabilizada con ceniza de la cascarilla de arroz					HOJA 4 DE 9
DESCRIPCIÓN : Suelo limoso					UNIDAD: m3
EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,009	0,315
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,009	0,225
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,009	0,180
SUBTOTAL M					0,730
MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB	
Agua	m3	0,248	0,500	0,124	
Ceniza cascarilla de arroz	kg	183,885	0,150	27,583	
SUBTOTAL O					27,707
TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB	
SUBTOTAL P					0,000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					29,18
INDIRECTOS (%) 20%					5,84
UTILIDAD (%) 0%					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					35,01
VALOR UNITARIO					35,01
<p>SON: Treinta y cinco dolares, 01/100 centavos ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA</p> <p style="text-align: right;">Christian Javier Portero Panimbosa ELABORADO</p>					



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



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

HOJA 5 DE 9

RUBRO : Subrasante estabilizada con cemento

UNIDAD: m³

DESCRIPCIÓN : Suelo limoso

EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	HORA	R	D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,013	0,455
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,013	0,325
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,013	0,260
SUBTOTAL M					1,050
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	HORA	R	D=CxR
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
DESCRIPCION		A	B	C=AxB	
Agua	m ³	0,222	0,500	0,111	
Cemento	kg	157,680	0,165	26,017	
SUBTOTAL O				26,128	
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
DESCRIPCION		A	B	C=AxB	
SUBTOTAL P				0,000	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					27,92
INDIRECTOS (%)					20% 5,58
UTILIDAD (%)					0% 0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					33,50
VALOR UNITARIO					33,50

SON: Treinta y tres dolares, 50/100 centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Christian Javier Portero Panimbosa
ELABORADO



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



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

HOJA 6 DE 9

RUBRO : Subrasante estabilizada con cal
DESCRIPCIÓN : Suelo limoso

UNIDAD: m³

EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,013	0,455
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,013	0,325
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,013	0,260
SUBTOTAL M					1,050

MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741

MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
Agua	m ³	0,240	0,120
Cal	kg	144,000	20,160
SUBTOTAL O			20,280



TRANSPORTE	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P			0,000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	22,07
INDIRECTOS (%) 20%	4,41
UTILIDAD (%) 0%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	26,49
VALOR UNITARIO	26,49

SON: Veinte y seis dolares, 49/100 centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Christian Javier Portero Panimbosa
ELABORADO

• Muestra de suelo M3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"						
RUBRO : Subrasante estabilizada con ceniza de la cascarilla de arroz						HOJA 7 DE 9
DESCRIPCIÓN : Suelo arcilloso						UNIDAD: m3
EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR	
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010	
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,009	0,315	
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,009	0,225	
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,009	0,180	
SUBTOTAL M					0,730	
MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR	
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405	
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114	
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108	
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114	
SUBTOTAL N					0,741	
MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB		
Agua	m3	0,357	0,500	0,179		
Ceniza cascarilla de arroz	kg	317,460	0,150	47,619		
SUBTOTAL O					47,798	
TRANSPORTE DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB		
SUBTOTAL P					0,000	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					49,27	
INDIRECTOS (%)					20%	
UTILIDAD (%)					0%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					59,12	
VALOR UNITARIO					59,12	
SON: Cincuenta y nueve dólares, 12/100 centavos						
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA						
Christian Javier Portero Panimbosa						
ELABORADO						



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



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

DETALLE : Subrasante estabilizada con cemento

HOJA 8 DE 9

UNIDAD: m³

DESCRIPCIÓN : Suelo arcilloso

EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	HORA	R	D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,013	0,455
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,013	0,325
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,013	0,260
SUBTOTAL M					1,050

MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	HORA	R	D=CxR
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
DESCRIPCIÓN		A	B	C=AxB
Agua	m ³	0,336	0,500	0,168
Cemento	kg	118,000	0,165	19,470
SUBTOTAL O				19,638

TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
DESCRIPCIÓN		A	B	C=AxB
SUBTOTAL P				0,000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	21,43
INDIRECTOS (%) 20%	4,29
UTILIDAD (%) 0%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	25,71
VALOR UNITARIO	25,71

SON: Veinte y cinco dolares, 71/100 centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Christian Javier Portero Panimbosa
ELABORADO



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



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO"

RUBRO : Subrasante estabilizada con cal
DESCRIPCIÓN : Suelo arcilloso

HOJA 9 DE 9
UNIDAD: m³

EQUIPO DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.	1,000	0,010	0,010	1,000	0,010
Motoniveladora 125 HP	1,000	35,000	35,000	0,013	0,455
Rodillo vibratorio 8Tn	1,000	25,000	25,000	0,013	0,325
Tanquero de agua	1,000	20,000	20,000	0,013	0,260
SUBTOTAL M					1,050

MANO DE OBRA DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Peón OP E2	4,000	4,050	16,200	0,025	0,405
Operador motoniveladora EO C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
Operador rodillo vibratorio EO C2	1,000	4,330	4,330	0,025	0,108
Chofer tanquero de agua CH C1	1,000	4,550	4,550	0,025	0,114
SUBTOTAL N					0,741

MATERIALES DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
Agua	m ³	0,216	0,500	0,108
Cal	kg	121,940	0,140	17,072
SUBTOTAL O				17,179

TRANSPORTE	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P			0,000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	18,97
INDIRECTOS (%) 20%	3,79
UTILIDAD (%) 0%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	22,76
VALOR UNITARIO	22,76

SON: Veinte y dos dólares 76/100 centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Christian Javier Portero Panimbosa
ELABORADO