

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Mejoramiento del suelo arcilloso por adición de ceniza de
cáscara arroz, aplicación Urbanización Enapu, Talara – Piura**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

César Anibal Francisco Aquize Palacios

 [0000-0002-8936-446X](https://orcid.org/0000-0002-8936-446X)

Asesor

M.Sc. Carlos Alberto Rojas León

 [0009-0004-0770-4104](https://orcid.org/0009-0004-0770-4104)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Aquize Palacios [1]
Referencia/Reference	[1] C. Aquize Palacios, <i>“Mejoramiento del suelo arcilloso por adición de ceniza de cáscara arroz, aplicación Urbanización Enapu, Talara – Piura”</i> [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Aquize, 2025)
Referencia/Reference	Aquize, C. (2025). <i>Mejoramiento del suelo arcilloso por adición de ceniza de cáscara arroz, aplicación Urbanización Enapu, Talara – Piura</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios porque todos mis logros son gracias a su voluntad.

*A mis padres, por su apoyo incondicional, los valores que
me inculcaron y el amor que me brindaron.*

Agradecimientos

Al M.Sc. Carlos Alberto Rojas León por haber asumido la revisión del presente trabajo y a todas las personas que me brindaron su apoyo a fin de lograr la culminación del presente trabajo de suficiencia profesional.

Resumen

La presente investigación fue elaborada teniendo en cuenta los problemas que presentan los pobladores al construir sus viviendas en la urbanización Enapu provincia de Talara del departamento de Piura. Dentro del área de estudio se evidencia la presencia de suelos arcillosos de baja calidad en contacto con las cimentaciones. También, que debido al cambio de humedad según sea la estación del año, el suelo cambia de comportamiento haciendo que las estructuras resulten fisuradas.

Esta investigación se desarrolló tomando como experiencia un área específica de un terreno de 452 m², ubicado en la urbanización Enapu, donde se ejecutaron calicatas para obtener muestras de suelo y usando parámetros de análisis específicos se realizaron ensayos de corte triaxiales (UU), para la determinación del ángulo de fricción y cohesión, del suelo natural y la mezcla de suelo natural con ceniza de cáscara de arroz en proporciones de: 0%, 10%, 15% y 20%. Para el cálculo de la capacidad de carga, se utilizó la metodología de Alexander Vesic (1973).

Luego de analizar la mezcla del suelo con ceniza de cascara de arroz se ha determinado que entre 10% y 13% de aditivo de ceniza, el ángulo de fricción aumenta, por lo tanto, la capacidad portante también aumenta entre 8.34% y 8.93%.

A partir del aumento de 12.5% de ceniza se llegó a mejorar la capacidad portante del suelo blando, por lo que se obtiene la capacidad admisible óptimo de 1.79 kg/cm², cuya variación es de 9.23 % respecto al suelo natural.

Palabras clave — Estabilización, capacidad portante, cenizas, cascara de arroz, suelo arcilloso.

Abstract

The present investigation was prepared taking into account the problems that residents present when building their homes in the Enapu urbanization, province of Talara, department of Piura. Within the study area, the presence of low-quality clay soils in contact with the foundations is evident. Also, due to the change in humidity depending on the season of the year, the soil changes its behavior causing the structures to appear cracked. This research was developed taking as experience a specific area of a 452 m² plot of land, located in the Enapu urbanization, where pit pits were executed to obtain soil samples and using specific analysis parameters, triaxial cutting tests (UU) were carried out, for the determination of the angle of friction and cohesion, of the natural soil and the mixture of natural soil with rice husk ash in proportions of: 0%, 10%, 15% and 20%. To calculate the load capacity, the methodology of Alexander Vesic (1973) was used.

After analyzing the mixture of soil with rice husk ash, it was determined that between 10% and 13% of ash additive, the friction angle increases, therefore, the load-bearing capacity also increases between 8.34% and 8.93%.

From the 12.5% increase in ash, the load-bearing capacity of the soft soil was improved, thus obtaining the optimal admissible capacity of 1.79 kg/cm², whose variation is 9.23% with respect to the natural soil.

Keywords — Stabilization, bearing capacity, ashes, rice husk, clay soil.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xvi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 Formulación de hipótesis.....	2
1.5.1 Hipótesis principal	2
1.5.2 Hipótesis específicas.....	2
1.6 Antecedentes	3
1.6.1 Antecedentes internacionales.....	3
1.6.2 Antecedentes nacionales	3
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	5
2.1 Marco teórico.....	5
2.1.1 Suelos	5
2.1.2 Cenizas	5
2.1.3 Esfuerzos en una masa de suelo.....	6
2.1.4 Principio de esfuerzo efectivo	6
2.1.5 Resistencia al corte en los suelos.....	7
2.1.6 Capacidad resistente del suelo.....	8
2.1.7 Mejoramiento de suelo por adiciones	10
2.1.8 Adiciones para mejoramiento de capacidad	10

2.1.9	Cimentaciones.....	12
2.1.10	Cimentaciones superficiales	12
2.2	Marco conceptual	12
2.2.1	Cenizas de cáscara de arroz	12
2.2.2	Estabilización de suelos	13
2.2.3	Suelo como estructura de cimentación	13
2.2.4	Capacidad portante	13
2.2.5	Capacidad admisible	14
2.2.6	Capacidad de carga última.....	14
2.2.7	Ángulo de fricción	15
2.2.8	Angulo de fricción efectivo (Φ').....	15
2.2.9	Cohesión	16
2.2.10	Factor de seguridad.....	16
	Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	17
3.1	Características del área en estudio	17
3.1.1	Caso de estudio	17
3.1.2	Ubicación	17
3.1.3	Clima.....	19
3.2	Materiales y métodos	19
3.2.1	Materiales.....	19
3.2.2	Metodología de ensayos de laboratorio	21
3.2.3	Mezcla de suelo - ceniza	24
3.2.4	Ensayos de campo.....	29
3.2.5	Ensayos de laboratorio	33
	Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	34
4.1	Resultados de ensayos de caracterización física	34
4.1.1	Análisis granulométrico	34
4.1.2	Ensayo límite de consistencia	35

4.2	Resultados ensayos de caracterización mecánica.....	37
4.2.1	Ensayo proctor estándar	37
4.2.2	Ensayo triaxial	40
4.2.3	Capacidad de carga última y capacidad admisible	46
	Conclusiones	49
	Recomendaciones	50
	Referencias bibliográficas.....	51
	Anexos	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Componente químico de la ceniza de arroz	12
Tabla 2 : Proporción de mezcla y símbolos a cada mineral.....	25
Tabla 3 : Ubicación de las calicatas	30
Tabla 4 : Ensayos a realizar.....	33
Tabla 5 : Parámetros índices del material	34
Tabla 6 : Clasificación y humedad del suelo de la calicata C-1	34
Tabla 7 : Calicata C-2	35
Tabla 8 : Resultados de límites de consistencia.....	36
Tabla 9 : Valores de la humedad y densidad	37
Tabla 10: Valores de Ángulo de Fricción y Cohesión	40
Tabla 11: Valores de la capacidad de resistencia y la capacidad admisible para Df=1.0m	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Falla corte general	9
Figura 2 : Falla por punzonamiento.....	9
Figura 3 : Falla por corte local.....	10
Figura 4 : Grieta en diagonal.....	17
Figura 5 : Ciudad de Talara y la urbanización Enapu.....	18
Figura 6 : Ubicación del área de estudio en la urbanización Enapu-Talara	18
Figura 7 : Terreno libre donde se realizó el estudio.....	19
Figura 8 : Suelo arcilloso	20
Figura 9 : (a) Cáscara de arroz en el Molino La Cruz. (b) Ceniza de cáscara de arroz en el Molino La Cruz, ubicado en el distrito de Corrales – Tumbes.....	20
Figura 10: Muestra de suelo realizando el cuarteo de la M-1, C-1	21
Figura 11: Muestra de suelo tamizado y realizando el ensayo de límite líquido.....	22
Figura 12: Taras utilizadas en los ensayos de límites de consistencia	24
Figura 13: Determinando la cantidad del suelo con ceniza de la cáscara de arroz	25
Figura 14: Realizando el ensayo de Proctor	26
Figura 15: Mezcla del suelo de la calicata M-1, C-1 con 10% y 20% de ceniza de cáscara de arroz	28
Figura 16: Realizando el ensayo triaxial.....	28
Figura 17: Muestras del ensayo triaxial.....	28
Figura 18: Ubicación del área de estudio	29
Figura 19: Ubicación de las calicatas en la Urbanización Enapu Talara - Piura	30
Figura 20: Calicata C-1 de dimensiones 0.80x0.80m ² a una profundidad de 1.10m constituido por limo arcilloso color beige con pequeños bloques de roca angulosa	30

Figura 21: Calicata C-2 de dimensiones 0.80x0.80m ² a una profundidad de 1.05m constituido por limo arcilloso color beige con bloques pequeños de roca angulosa.....	31
Figura 22: Calicata C-3 de dimensiones 0.80x0.80m ² a una profundidad de 1.15m constituido por limo arcilloso color beige con bloques pequeños de roca angulosa.....	31
Figura 23: Mapa geológico de Talara (Fuente:INGEMED-2023),mapa sin digitalización .	32
Figura 24: Curva granulométrica de suelo por tamizado de la C-1.....	34
Figura 25: Curva granulométrica de suelo por tamizado de la C-2.....	35
Figura 26: Diagrama de fluidez de la M-1 +10% de Ceniza	36
Figura 27: Diagrama de fluidez de la M-1 +15% de Ceniza	36
Figura 28: Diagrama de fluidez de la M-1 +20% de Ceniza	37
Figura 29: Curva optimo contenido de humedad VS máxima densidad seca en (M-1) + 0% de ceniza	38
Figura 30: Curva optimo contenido de humedad Vs máxima densidad seca en (M-1) + 10% de ceniza.....	38
Figura 31: Curva optimo contenido de humedad Vs máxima densidad seca en (M-1) + 15% de ceniza.....	39
Figura 32: Curva optimo contenido de humedad Vs máxima densidad seca en (M-1) + 20% de ceniza.....	39
Figura 33: Relación del 15.3% óptimo de ceniza con la fricción de 23.63° óptimo	41
Figura 34: Relación del % de ceniza con la Cohesión.....	41
Figura 35: Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1)	42
Figura 36: Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1).....	43
Figura 37: Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1) +10% de ceniza.....	43

Figura 38: Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1) +10% de ceniza.....	44
Figura 39: Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1) +15% de ceniza	44
Figura 40: Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1) +15% de ceniza.....	45
Figura 41: Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1) +20% de ceniza	45
Figura 42: Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1) +20% de ceniza	46
Figura 43: Relación del 12.5% de ceniza óptimo con la capacidad admisible de 1.79 kg/cm2 óptimo	48

Lista de símbolos y siglas

N°	: Número
%	: Porcentaje
cm	: Centímetro
gr	: Gramos
gr/cm²	: Gramos sobre centímetro cuadrado
Kg	: Kilogramo
m	: Metro
m²	: Metro cuadrado
m³	: Metro cúbico
ppm	: Partes por millón
CCA	: Ceniza de cáscara de arroz
s	: Suelo natural
SUCS	: Sistema unificado de clasificación de suelos
Q_{adm}	: Capacidad admisible
q_u	: Capacidad de carga última (kg/cm ²)
c	: Componente cohesiva del suelo (kg/cm ²)
F_s	: Factor de seguridad
γ₁	: Peso unitario del suelo por encima del nivel de cimentación (ton/m ³)
B	: Ancho de la zapata (m)
L	: Longitud de la zapata (m)
q	: Sobrecarga ton/m ² ($q = \gamma_1 D_f$)
γ₂	: Peso unitario del suelo por debajo del nivel de cimentación (ton/m ³)
D_f	: Profundidad de cimentación (m)
N_c, N_q, N_γ	: Factores de capacidad de carga, que están en función de ϕ
S_c, S_q, S_γ	: Factores de forma

C	: Arcillas
CL	: Arcilla de baja plasticidad
M-1	: Muestra de suelo 1
c-1	: Calicata de suelo 1
L.L	: Limite líquido
L.P	: Limite plástico
I.P	: Índice de plasticidad
σ	: Esfuerzo normal
$\Delta\sigma$	: Esfuerzo desviador
σ_3	: Presión de confinamiento o esfuerzo principal menor
σ_2	: Esfuerzo principal intermedio
σ_1	: Esfuerzo principal máximo
σ'_1	: Esfuerzo efectivo principal mayor en el momento de la rotura
σ'_3	: Esfuerzo efectivo principal menor en el momento de la rotura
ϕ	: Ángulo de fricción interna
ϕ'	: Ángulo de fricción (parámetro efectivo)
τ	: Esfuerzo cortante
μ	: Presión intersticial
U	: Factor de Poisson
γ	: Peso específico del suelo
E	: Módulo de elasticidad
RHA	: Rice Husk Ash (ceniza de cascara de arroz)

Introducción

Los suelos ubicados en la región Norte de nuestro país específicamente en la urbanización Enapu de la ciudad de Talara, donde se realizará la exploración de campo en materia de investigación, son suelos que generalmente presentan baja capacidad de soporte para sostener estructuras como el cimiento y las cargas que transmiten las viviendas. El crecimiento económico, urbano y poblacional hace necesario la construcción de obras de infraestructura para vivienda en la ciudad de Talara. Durante la construcción de obras de cimentación sobre suelos blandos o poco consolidados (baja capacidad portante) se debe asegurar la estabilidad del suelo o de la fundación hasta que esta ofrezca la suficiente resistencia a los esfuerzos y deformaciones del terreno producido por el peso propio del cimiento y de la infraestructura de la vivienda.

El objetivo del presente trabajo es proponer el uso de un residuo agrícola como la ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento a nivel de cimiento en suelo de baja capacidad de soporte. Para el desarrollo de nuestra investigación se tomó como referencia un terreno de 452 m² como plan piloto experimental

En el Capítulo I, Parte introductoria del trabajo, están las generalidades, se presentan en primer lugar los antecedentes en segundo lugar, el planteamiento del problema. Luego, se formula la hipótesis de la investigación después, se plantea la justificación del tema; finalmente se presentan los objetivos generales y específicos.

En el Capítulo II: Marco teórico y conceptual, se desarrolla la fundamentación teórica concerniente a la tesis; cenizas, cenizas de cáscara de arroz, cenizas volantes, cenizas volcánicas o puzolana natural, suelo, esfuerzos en una masa de suelo, principio de esfuerzo efectivo, resistencia al corte en los suelos, capacidad resistente del suelo, estabilización de suelos, mejoramiento de suelos, mejoramiento de suelo por adición, adiciones para mejoramiento de capacidad, cimentaciones, cimentaciones superficiales, suelo como estructura de cimentación capacidad portante, capacidad admisible, capacidad de carga última, ángulo de fricción, cohesión, factor de seguridad, esfuerzo desviador.

En el Capítulo III, llamado Desarrollo del trabajo de investigación, están las características del área en estudio, caso de estudio, ubicación, clima, geomorfología, geología, cenozoico, eoceno medio y superior, grupo Talara, formación lutitas Talara, formación areniscas Talara, formación Pozo, formación Verdúm, depósitos cuaternarios y tablazo. Así como también los materiales y métodos, suelo limo arcilloso, cáscara de arroz, ceniza de cáscara de arroz, metodología, metodología de ensayo de laboratorio, granulometría, límites de consistencia, mezcla de suelo ceniza, proctor estándar y ensayo triaxial.

En el Capítulo IV llamado Análisis e interpretación de resultados, vemos los resultados de ensayos de caracterización física y mecánica.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Los suelos de baja capacidad portante tienen baja resistencia, estos pueden causar asentamientos en estructuras como en los cimientos de una vivienda. Para mejorar estos suelos, existen diferentes técnicas de estabilización, como el uso de cáscara de arroz, como una buena alternativa sostenible y económico.

La cáscara de arroz, también denominado puzolana artificial de composición principalmente de sílice, alúmina, óxidos y álcalis, al mezclarlo con un suelo de baja capacidad portante, presenta efectos convenientes en la compactación, ya que reduce la plasticidad y aumenta la resistencia.

La mezcla del suelo con la cascara de arroz en una cantidad óptima incrementa la capacidad portante. Por lo que, los resultados de la mezcla mejoran las propiedades mecánicas, aumentan la resistencia y garantizan un suelo que soporte mayores cargas y mejore su desempeño en construcción.

1.2 Descripción del problema de investigación

La zona Norte de nuestro país se caracteriza por presentar generalmente suelos blandos o poco consolidados en áreas urbanas de suelos blandos con baja capacidad de soporte.

¿En qué medida la utilización de la ceniza de cáscara de arroz como aditivo estabilizará el suelo limo arcilloso para la mejora de la baja capacidad de soporte del suelo? en la cimentación de viviendas en la urbanización Enapu de la ciudad de Talara en el departamento de Piura.

La producción agrícola arroceras en la región Norte de nuestro país, genera una gran cantidad de cáscara de arroz que luego son incinerados en hornos o al aire libre generando cenizas, humo y polvo de ceniza, al no haber lugares de almacenamiento o de acopio de estos desechos se almacenan al aire libre generando una contaminación ambiental debido a sus impactos sobre el agua, suelo, flora y fauna.

1.3 Justificación

Esta investigación contribuirá con un planteamiento conceptual que aporte a mejorar el estado del arte de la evaluación experimental para la estabilización de suelos limo arcillosos con el uso de aditivos como la cascará de arroz debido a la baja capacidad de soporte.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Proponer el uso de la ceniza de cascara de arroz como aditivo para la estabilización de los suelos limo arcillosos por baja capacidad de soporte para su aplicación en los cimientos de las viviendas en la urbanización Enapu-Talara.

1.4.2 Objetivos específicos

OE1 = Determinar la cantidad optima de ceniza de cáscara de arroz para mejorar la resistencia del suelo a través de ensayos mecánicos y físicos.

OE2 = Establecer y especificar el comportamiento mecánico del suelo con adición de diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz (0%, 10%, 15% y 20%), mediante la realización del ensayo de corte tipo triaxial (UU) para obtener parámetros de resistencia al corte " ϕ y c ".

OE3 = Analizar los cambios en el comportamiento de la capacidad portante del suelo con adición de ceniza, utilizando la metodología de Vesic.

1.5 Formulación de hipótesis

1.5.1 Hipótesis principal

Es posible estabilizar el suelo cohesivo por adición de 10, 15 y 20% de ceniza de cáscara de arroz en la urbanización Enapu, Talara - Piura.

1.5.2 Hipótesis específicas

El suelo mejorado por adición de ceniza de cáscara de arroz posee una mejor capacidad portante a medida que aumenta su concentración en la Urbanización Enapu, Talara - Piura.

El suelo mejorado por adición de ceniza de cáscara de arroz es económicamente viable para poder mejorar la capacidad portante del suelo limo arcilloso en la Urbanización Enapu, Talara - Piura.

1.6 Antecedentes

1.6.1 Antecedentes internacionales

La revista internacional de investigación en ciencias aplicadas de la Universidad de Filadelfia EE.UU. Ha publicado la investigación titulado “Estabilización del suelo con ceniza volante y ceniza de cáscara de arroz” (Brooks, 2009). El objetivo del estudio es mejorar el suelo expansivo utilizando ceniza de cáscara de arroz y ceniza volante para emplearlo como material de construcción. De acuerdo a la investigación la combinación óptima para obtener el mayor valor de CBR debe tener un 12% de ceniza de cáscara de arroz con 25% de ceniza volante, incrementándose el CBR de 1.5 a 10 y la resistencia no confinada incrementó en un 97%.

El instituto tecnológico de la Universidad de Burdwan-India se ha realizado el trabajo de investigación titulado “Estabilización del suelo utilizando ceniza de cáscara de arroz y cemento” (Aparna, 2014). El presente trabajo experimental resalta el uso de la ceniza de cáscara de arroz en la industria de la construcción. En base a los resultados, el suelo presenta un límite líquido de 50.4, un límite plástico de 27.6 y un Índice de plasticidad de 22.8 y se observó que el máximo mejoramiento en resistencia resultaba de mezclar un 10% de ceniza de cáscara de arroz con 6% de cemento como aditivo, mejorando el valor de CBR.

1.6.2 Antecedentes nacionales

Gómez D. & Gonzáles Y. (2020), en el trabajo de investigación titulado “Mejoramiento del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación AA. HH. Tahuantinsuyo, Nuevo Chimbote-Ancash 2020”, tuvo como objetivo determinar la influencia del uso de la ceniza de cascara de arroz en la resistencia mecánica de la subrasante del suelo. Los resultados muestran que el uso de la ceniza de cascara de arroz permite el aumento de la resistencia de la subrasante del suelo. Esto es, se obtuvo un

resultado favorable en el valor de CBR al adicionar 10% de cenizas de cascara de arroz en comparación a otros valores a diferentes porcentajes de cenizas.

Espinoza C. (2021), en el trabajo de investigación titulado “Reducción de la peligrosidad del suelo blando por adición de cáscara de arroz-Aplicación Urbanización Sudamérica, Talara-Piura”, donde el objetivo principal fue reducir la peligrosidad del suelo por baja capacidad portante utilizando cenizas de cáscara de arroz en porcentajes de 10, 15 y 20 %, se llegó a las siguientes conclusiones: los ángulos de fricción se incrementaron hasta un 15% de aditivo, la cohesión efectiva disminuyó según aumentaba el porcentaje de ceniza. La capacidad admisible según Terzaghi y Peck con los parámetros de Vesic, se incrementan adicionando diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz, mejorando la capacidad admisible de 1.601 kg cm^2 para el suelo natural a 1.627 y 1.640 kg/ cm^2 , para 10 y 15 % de aditivo respectivamente, llegando al óptimo de 1.655 kg/ cm^2 para 13.9% de aditivo, es decir hubo un incremento máximo de un 5.089% de la capacidad admisible1

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Suelos

La palabra suelo representa todo tipo de material terroso, que puede ser desde un relleno de desperdicios, areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas dentro de la definición las rocas sanas, ígneas, o metamórfica y los depósitos sedimentarios altamente cementados que no se ablandan o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel tan importante en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

2.1.2 Cenizas

2.1.2.1 Cenizas de cáscara de arroz. La ceniza de cáscara de arroz es un producto secundario del proceso de incineración de la cáscara de arroz también denominado puzolana artificial de composición principalmente de sílice, alúmina, óxidos y álcalis puede reaccionar con la cal hidratada para producir productos cementantes. Las grandes cantidades de producción arroceras en el Norte del Perú generan cáscara de arroz que representa el 20% del peso del grano de arroz. (Revalo, 2011).

Cemento Pacasmayo S.A (2000), en el año 1999 entre enero - marzo la producción de arroz en cáscara fue de aproximadamente 558 mil toneladas el cual es un subproducto voluminoso y contaminante. La ceniza de cáscara de arroz es considerada como una puzolana artificial que tiene un origen, estructura, composición química y mineralogía que puede ser utilizada como una adición mineral a los cementos portland.

2.1.2.2 Cenizas volantes. Producido en la combustión del carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las plantas térmicas de generación eléctrica. Arcillas calcinadas artificialmente: por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800°C (Díaz & Ramírez, 2009)

2.1.2.3 Cenizas volcánicas o puzolana natural. La puzolana natural es el nombre que recibe la ceniza volcánica que proviene de las erupciones volcánicas y también proceden de fragmentos volcánicos piroclásticos como tufos o tobas volcánicas. Son sustancia que contienen minerales silíceos y aluminio (Díaz & Ramírez, 2009)

2.1.3 Esfuerzos en una masa de suelo

Los esfuerzos en una masa de suelo se desarrollan dentro del esqueleto del suelo y se relaciona con el fluido intersticial. Los esfuerzos que actúan en un punto de la masa de suelo debido a su propio peso y el cambio de esfuerzos que se inducen en el suelo debido a la acción de carga (o descarga) externa producto de la construcción de obras de ingeniería. El estudio de la capacidad portante de cimentaciones depende principalmente de los esfuerzos que actúan en la dirección vertical y las presiones de tierras sobre muros de contención requieren un conocimiento de los esfuerzos horizontales en la masa de suelo (Berry & Reid, 1993).

Las presiones que actúan en las masas de suelos saturados se dividen en dos tipos: a) las presiones que se transmiten directamente de grano a grano del suelo, y b) las que actúan contra el fluido que llena los poros del mismo. Las primeras son conocidas como presiones intergranulares o presiones efectivas, y las segundas como, presiones neutras, presiones de poros o presiones intersticiales. Esta separación de los estados de esfuerzos en las masas de suelos es un aspecto muy importante en la mecánica de suelos, pues únicamente las presiones intergranulares producen cambios en el volumen de la masa del suelo (Crespo, 2005).

2.1.4 Principio de esfuerzo efectivo

En una masa de suelo existen esfuerzos dentro de cada grano o entre los granos que resultan de las fuerzas que actúan sobre los puntos de contacto entre partículas individuales, y existen esfuerzos dentro del fluido intersticial que ocupa los vacíos del suelo. Para estudiar el comportamiento ingenieril de los suelos es necesario tener la capacidad de distinguir estas dos clases de esfuerzos y también entender la relación entre ellos. Esta relación se conoce como principio de esfuerzo efectivo y fue postulado por primera vez por

Karl Terzaghi, en 1923. Este simplemente propone que en cualquier punto de una masa de suelo saturado el esfuerzo total en cualquier dirección es igual a la suma algebraica del esfuerzo efectivo en esa dirección y la presión intersticial (Berry & Reid, 1993).

El esfuerzo efectivo está relacionado con el comportamiento del suelo y puede plantearse de la forma siguiente:

- El esfuerzo efectivo es igual al esfuerzo total menos la presión intersticial.
- El esfuerzo efectivo controla el comportamiento del suelo, principalmente en la consolidación y la resistencia (Lambe, 2002)

$$\sigma' = \sigma_t - \mu$$

σ' : esfuerzo efectivo

σ_t : esfuerzo total

μ : presión intersticial

2.1.5 Resistencia al corte en los suelos

Los suelos se comportan bajo la acción de las cargas como los materiales elásticos y cuando es sometido a un esfuerzo de corte tiende a producir un desplazamiento de las partículas. La resistencia al corte de un suelo es el resultado de la acción de fuerzas friccionantes desarrolladas en los contactos granulares, combinada con el efecto de rodamiento de los granos. La deformación es proporcional al incremento de esfuerzo aplicado a la masa. La falla ocurre cuando la resistencia friccionante se anula (Crespo, 2005).

Los suelos disminuyen de volumen cuando se aplica una presión que los rodea completamente. Cuando se someten a esfuerzos cortantes, se distorsionan; si la distorsión es suficientemente grande, las partículas se resbalan entre sí, y se dice que el suelo falla al corte. Como la mayor parte de los suelos pueden soportar solamente esfuerzos de tensión pequeños, o no pueden soportarlos en absoluto, rara vez se producen esfuerzos de tensión en las masas de suelos y, consecuentemente, la mayor parte de las fallas se producen bajo esfuerzo cortante. Por lo tanto, conocer las características del esfuerzo

cortante de los suelos es un prerequisite para la solución de muchos problemas en el campo de las cimentaciones (Peck, 2002)

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

τ : esfuerzo cortante
 c : cohesión
 σ : esfuerzo normal
 ϕ : ángulo de fricción interna

2.1.6 Capacidad resistente del suelo

El problema fundamental en el diseño de una construcción es el poder determinar la capacidad portante del suelo, para asegurar su estabilidad frente a las cargas que le impondrá la superestructura. El suelo de fundación es capaz de soportar limitadas compresiones y esfuerzos cortantes. Si la magnitud de las compresiones aumenta considerablemente, ocurre la falla por corte en alguna superficie interna del suelo. Por ello la capacidad resistente de un suelo está íntimamente asociado a su capacidad para soportar corte, la cual se evidencia por su resistencia al deslizamiento en algún plano dentro de la masa del suelo (Fratelli, 1993).

Los suelos invariablemente fallan bajo una combinación de esfuerzo normal de compresión y esfuerzo cortante en plano de falla, en donde el esfuerzo normal presenta una gran parte y casi toda la fricción o resistencia al corte (Bowles, 1982)

Los modos de falla en suelos no reforzados son divididos en tres categorías: una falla por corte general, una falla por corte local y una falla por punzonamiento. La carga para producir una falla en un suelo está ligada a diversos factores, en general estos modos de falla dependen de la densidad relativa del suelo, de la geometría de la cimentación y de las condiciones de carga aplicadas (Vesic, 1973).

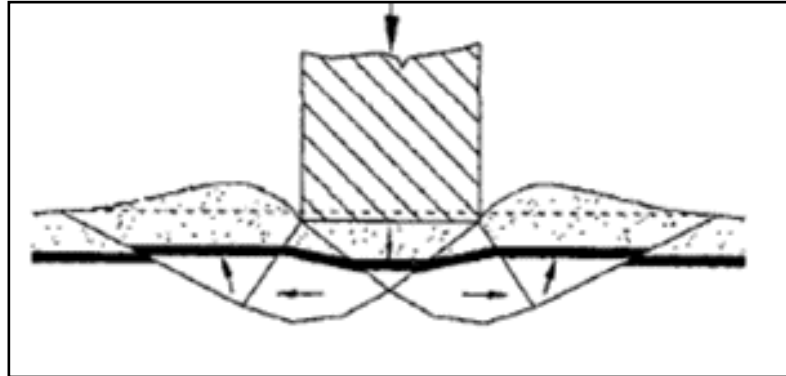
- **Falla por corte general:**

Se caracteriza por la presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno, que se inicia en el borde de la cimentación y avanza hasta la superficie del terreno (levantamiento). La falla general se produce en arcillas de consistencia

dura a rígida y arenas duras o densas que puede rotar, inclinándose (Terzaghi, 1943)

Figura 1

Falla corte general



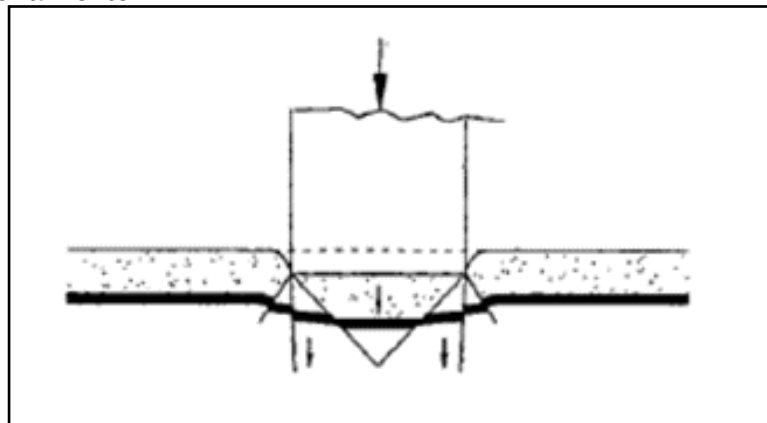
Fuente: Elaboración propia.

- **Falla por punzonamiento:**

Se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella. Al incremento de carga se comprime el suelo, se da en arenas sueltas o suelos cohesivos blandos.

Figura 2

Falla por punzonamiento



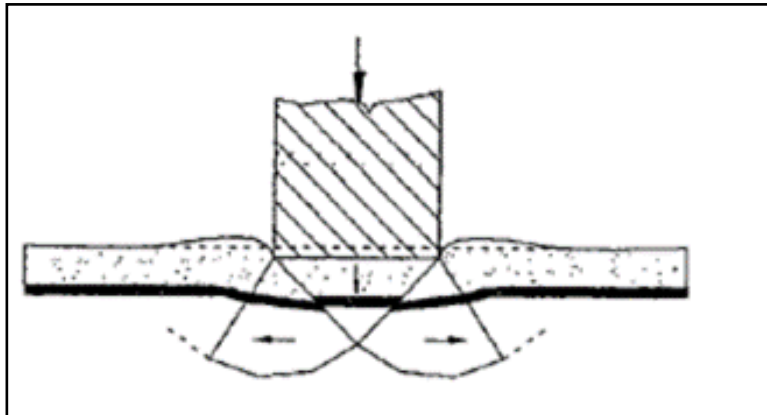
Fuente: Elaboración propia

- **Falla por corte local:**

Se caracteriza por tendencia al hinchamiento del suelo a los lados de la cimentación. Constituye un modo transicional entre falla general y falla por punzonamiento. El corte local se produce en arcillas sensibles o blandas y arenas sueltas (Terzaghi, 1943)

Figura 3

Falla por corte local



Fuente: Elaboración propia

2.1.7 Mejoramiento de suelo por adiciones

Cuando el terreno carece de buena capacidad de soporte en sus capas superficiales, y sólo existen estratos profundos resistentes, la solución más segura y efectiva consiste en recurrir a fundaciones indirectas, tales como los pilotes trabajando por punta. No obstante, en ciertas construcciones, como las residencias unifamiliares, esto resulta extremadamente costoso, por lo cual en estos casos es recurrir a la solución del mejoramiento y estabilización de los suelos. Estabilizar un suelo es el resultado de la aplicación de procesos que alteran sus propiedades iniciales y mejoran desde el punto de vista resistente incrementando o protegiendo sus características mecánicas, la estabilidad de volumen, capacidad de drenaje (Fratelli, 1993).

2.1.8 Adiciones para mejoramiento de capacidad

La ceniza volante de naturaleza puzolánica y la cal reaccionan para producir productos cementantes, utilizándose como material para estabilizar bases y subbases de carreteras. Las mezclas efectivas se pueden preparar con 10 a 35% de ceniza y de 2 a 10% de cal. Las mezclas de suelo- cal- ceniza se compactan en condiciones controladas, con cantidades apropiadas de humedad para obtener capas de suelo estabilizadas. Con adición de entre 3% a 5% de cal, la resistencia a la compresión simple puede aumentar en 700 kN/m² (Das, 2001).

Cabo (2011), en su trabajo de investigación, desarrolló el tema: Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible para la Construcción. Donde propuso la realización de un nuevo material constructivo, denominado ecoladrillo inspirado en el tradicional adobe y que sustituya al ladrillo convencional cocido. Para ello se emplea un suelo natural para la fabricación de ladrillos. Como aditivo resistente se utilizan las cenizas de cáscaras de arroz, cal y cemento, para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, es decir, aumentar la resistencia del ladrillo. La resistencia a la compresión simple, con un 4% de adición de ceniza mejora en un 60% su resistencia y con un 8% de adición de ceniza mejora en un 70% su resistencia.

Pérez (2012), en su tesis de maestría, desarrolló el tema: Estabilización de Suelos Arcillosos con Cenizas de Carbón Para su Uso como Subrasante Mejorada y/o Sub Base de Pavimentos. En algunos suelos arcillosos, debido a su baja capacidad de soporte y mala calidad no siempre cumplen con los requerimientos necesarios para ser empleados en proyectos de pavimentación. Una alternativa de solución es mejorar las características mecánicas del material, estabilizándolo con productos adicionados. Plantea la mezcla de la ceniza volante con el suelo arcilloso para su empleo como sub base y sub rasante en pavimentos. Se determinó que el valor de CBR se incrementa desde 7.7% correspondiente a un suelo arcillosos natural hasta un valor de CBR de 16.9% para una combinación de suelo arcilloso en un 80% y ceniza volante en un 20%. Presentando un mejor comportamiento y resistencia que el suelo arcilloso natural.

Chicaiza & Oña (2018), analizo la influencia de la cohesión en suelos arcillosos con la adición de ceniza de cáscara de arroz realizado en ensayos de corte directo, con la adición de 10% ceniza de cáscara de arroz la cohesión es 2.30kg/cm², con la adición de 20% ceniza de cáscara de arroz la cohesión es 2.95kg/cm² y con la adición de 30% ceniza de cáscara de arroz la cohesión es 1.90kg/cm². Comprobándose una tendencia a la disminución de la cohesión debido a la adición de la ceniza de cáscara de arroz.

2.1.9 Cimentaciones

Las cimentaciones son sub-estructuras que están en contacto directo con el suelo y cuya función es transmitir las cargas de la estructura al subsuelo en una forma estable y segura, evitando grandes esfuerzos y deformaciones en el suelo de cimentación. Es la base de soporte de una estructura y se considera dos casos, según que el estrato resistente del terreno se encuentre cerca de la superficie o a una cierta profundidad (Iglesias, 1997).

2.1.10 Cimentaciones superficiales

La cimentación superficial es un elemento estructural cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades relativamente cortas, que se utiliza para cimentar cuando el estrato resistente del terreno se encuentra en las proximidades de la superficie (roca, grava, arena) menores de 4 metros aproximadamente con respecto al nivel de la superficie natural de un terreno. En un edificio se materializa mediante zapatas que pueden ser aisladas o corridas y mediante losas de cimentación (Iglesias, 1997).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Cenizas de cáscara de arroz

La ceniza de cascara de arroz por su carácter puzolánico al estar en presencia de agua genera compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos, dando propiedades cementantes (Alzate & Hernández, 2012). En la Tabla 2.1 muestra la composición química de la ceniza de cáscara de arroz

Tabla 1

Componente químico de la ceniza de arroz

CENIZA CÁSCARA DE ARROZ	
Componente Químico	%
SiO ₂	91.2
Al ₃ O ₂	0.94
Fe ₃ O ₂	0.37
CaO	2.15
MgO	0.88
K ₂ O	1.42

Fuente: Alzate & Hernández (2012)

2.2.2 Estabilización de suelos

La estabilización de suelos se define como mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y la incorporación de productos naturales, químicos o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos inadecuados o pobres, en este caso son conocidas como estabilización de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto y otros productos diversos. Cuando se estabiliza el cimiento, para obtener un material de mejor calidad se denomina cimiento tratado (Das, 2012)

La estabilización de un suelo es un proceso que tiene por objeto mejorar su resistencia a la deformación bajo cargas estáticas, su durabilidad y su sensibilidad al agua. La estabilización puede ser mecánica, por mezcla de dos o más suelos de diferentes características, de forma que se obtengan un suelo de mejor granulometría, plasticidad permeabilidad o impermeabilidad. La estabilización se realiza mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo. Se emplean cemento, cal, cenizas volantes, cloruro sódico y cloruro cálcico (Iglesias, 1997).

2.2.3 Suelo como estructura de cimentación

Las cargas que transmite la cimentación dan lugar a desplazamientos totales y diferenciales en la interface de la estructura de cimentación y el suelo. La estructura de la cimentación con las cargas que actúan sobre ella y las reacciones que ocurren en el suelo están comprendidas en un equilibrio. La configuración de esfuerzos y deformaciones en la superficie de contacto depende de la rigidez de la estructura, de la rigidez de la cimentación, la deformabilidad del suelo y la distribución de cargas aplicadas sobre la estructura de la cimentación (Wood, 1990).

2.2.4 Capacidad portante

La capacidad portante es la fuerza máxima de compresión que puede soportar o admitir el suelo, In situ; sin causar asentamientos excesivos o el peligro de falla del suelo al corte. Los suelos con capacidades portantes por debajo de 1.3 Kg/cm², son suelos de poca resistencia (INADUR&PNUD, 1999).

2.2.5 Capacidad admisible

La capacidad de carga admisible por corte para cimentaciones superficiales es igual a la capacidad de carga ultima dividido entre el factor de seguridad. La capacidad admisible también es denominada capacidad portante

$$Q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

Q_{ad} = Capacidad de carga admisible (capacidad portante)

q_u = Capacidad de carga última (kg/cm²)

F_s = Factor de seguridad $F_s = 3$

2.2.6 Capacidad de carga última

La capacidad de carga ultima se determinó en base la fórmula de Alexander Vésic (Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)

$$q_u = cN_c S_c + qN_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$$

2.2.6.1 Factores de capacidad de carga

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan 2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$N_\gamma = 2 (1 + N_q) \tan \phi \tan \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{5} \phi \right)$$

2.2.6.2 Factores de forma (Vesic)

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$$

En donde:

q_u = capacidad carga de última (kg/cm²) o capacidad de soporte última

c = componente cohesiva del suelo (kg/cm²)

F_s = factor de seguridad

γ_1 = peso unitario del suelo por encima del nivel de cimentación (ton/m³)

B = ancho de la zapata (m)

L = longitud de la zapata (m)

q = sobrecarga ton/m² ($q = \frac{1}{3} D_f$)

γ_2 = peso unitario del suelo por debajo del nivel de cimentación (ton/m³)

D_f = profundidad de cimentación (m)

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga, que están en función de

S_c, S_q, S_γ = factores de forma.

q_u : Capacidad ultima de resistencia (teóricamente es la capacidad de carga ultima que soportaría el suelo de fundación en su 100%)

Q_{ad} : Capacidad admisible de diseño (es el porcentaje dado 33.33% de q_u . Este valor se le da debido a que el medio no es homogéneo, presencia de sales, humedad etc.)

2.2.7 Ángulo de fricción

El ángulo de fricción es uno de los parámetros geotécnicos de los suelos. Este parámetro hace referencia a la medida de la resistencia cortante debido a la fricción mecánica directa entre las partículas del suelo, depende de forma de los granos, distribución del tamaño de los granos

La resistencia al corte de un suelo es resultado de la resistencia a la fricción que se produce en los puntos de contacto entre partículas.

2.2.8 Ángulo de fricción efectivo (Φ')

La magnitud de la resistencia al corte de un suelo depende sólo de los esfuerzos efectivos que soporta el esqueleto de suelo.

2.2.9 Cohesión

La resistencia por cohesión es definida como la medida de las fuerzas que cementan las partículas del suelo. En los suelos cohesivos está ligada casi exclusivamente a las partículas de menor tamaño como las arcillas. La cohesión es el efecto de la atracción entre partículas, es independiente del esfuerzo normal, pero depende considerablemente del contenido del agua y de la velocidad de la deformación (Bowles, 1982)

2.2.10 Factor de seguridad

El concepto de factor de seguridad es un valor que relaciona la resistencia que posee el suelo (fuerza resistente o resistencia al corte de suelo) con las cargas a las que va a estar sometido (fuerzas desestabilizadoras o esfuerzos de corte que tienden a producir deslizamiento a lo largo de una superficie de falla). El factor de seguridad mínimo frente a una falla por corte es igual a 3.0 para cargas estáticas según la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Características del área en estudio

3.1.1 Caso de estudio

El estudio realizado en la Urbanización Enapu está relacionado con baja calidad del suelo cohesivo, con baja capacidad de soporte, y con un potencial expansivo que impacta sobre las edificaciones que conlleva a daños de agrietamiento, fisuras en paredes y muros de las viviendas.

Figura 4

Grieta en diagonal



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Ubicación

La Urbanización Enapu se encuentra ubicada en la ciudad de Tlara, parte Norte del país, en el distrito de Pariñas, provincia de Tlara, departamento de Piura se encuentra a 118Km. De distancia de la ciudad de Piura.

En la Figura 5 se muestra la ciudad de Tlara y ubicación de la urbanización Enapu.

Figura 5

Ciudad de Talara y la urbanización Enapu



Fuente: Maps Google, 2023

En la Figuras 6 se muestra la ubicación de la urbanización Enapu y el área de estudio.

Figura 6

Ubicación del área de estudio en la urbanización Enapu-Talara



Fuente: Maps Google, 2023

En la Figura 7 se muestra el terreno libre del estudio realizado.

Figura 7

Terreno libre donde se realizó el estudio



Fuente: Maps Google, 2023

3.1.3 Clima

El clima es semicálido árido y se ubica entre los 0 – 100 msnm con deficiencia de precipitación en todas las estaciones del año, con humedad relativa del 65% a 84% calificada como húmeda. En el año las temperaturas oscilan entre 17°C y los 34°C, y la temperatura media anual bordea los 24°C.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Materiales

3.2.1.1 Suelo limo arcilloso. El suelo limo arcilloso, utilizado en este trabajo de investigación fue extraído de la urbanización Enapu, localizado en la ciudad de Talara – Piura, año 2021.

Este suelo posee características de tonalidad color beige, con textura micro granular y con aspecto homogéneo, siendo constituido básicamente por minerales, cuarzo y arcilla.

Figura 8

Suelo limo arcilloso



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Ceniza de cáscara de arroz. La ceniza es proveniente de la incineración de cáscara de arroz, en el molino La Cruz localizado en el distrito de Corrales del departamento de Tumbes. Presenta una homogeneidad y uniformidad de partículas de sílice (SiO_2) en forma de cristobalita y es utilizado como aditivo resistente.

Figura 9

(a) Cáscara de arroz en el Molino La Cruz. (b) Ceniza de cáscara de arroz en el Molino La Cruz, ubicado en el distrito de Corrales – Tumbes.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Metodología de ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio tienen una metodología de ejecutarse mediante normas para determinar las diferentes características y propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos. Que consisten en: análisis de granulometría por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico), ensayo proctor estándar y ensayo corte triaxial.

Las normas para estos ensayos son las siguientes:

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| ▪ Ensayo de análisis Granulométrico | ASTM D442 |
| ▪ Límite Líquido | MTC E111 |
| ▪ Límite Plástico | MTC E111 |
| ▪ Índice plástico | MTC E111 |
| ▪ Ensayo Proctor Estándar | ASTM D696 |
| ▪ Ensayo de corte triaxial (UU) | ASTM D4767 |

3.2.2.1 Granulometría y clasificación SUCS. El análisis granulométrico de suelos por tamizado es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo y representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado. Tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño expresado en porcentajes.

Figura 10

Muestra de suelo realizando el cuarteo de la M-1, C-1



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Límites de consistencia. Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, este puede ser remoldeado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de aguas variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido (Das, 2012)

Por consistencia se entiende al grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura. Los límites de consistencia de un suelo están representados por contenidos de humedad. Los principales se conocen con los nombres de: Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción.

3.2.2.3 Limite líquido. Es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquido y plástico de un suelo. Para la determinación del límite líquido se emplea un aparato denominado Copa de Casagrande.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.

Figura 11

Muestra de suelo tamizado y realizando el ensayo de límite líquido



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 Limite plástico. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Los cálculos requeridos para encontrar el límite plástico, es el promedio de las humedades de ambas determinaciones.

Se expresa como porcentaje de humedad, con una cifra decimal y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Limite plastico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

3.2.2.5 Índice de plasticidad. Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$\text{I.P.} = \text{L.L.} - \text{L.P.}$$

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP.

Por lo tanto, la determinación del índice de Plasticidad indicará la cantidad de agua que requerirá el suelo para estar en el rango plástico.

Así también se demuestra que a mayor porcentaje de agua (mayor I.P) menor será el diámetro de la partícula del suelo, mayor su superficie específica y mayor cantidad de vacíos.

Un ejemplo claro de suelos con un alto IP son los suelos arcillosos

El índice de plasticidad permite clasificar bastante bien un suelo.

Un I.P grande corresponde a un suelo muy arcilloso o de alta plasticidad; por el contrario, un I.P pequeño es característico de un suelo poco arcilloso o de baja a nula plasticidad.

Figura 12

Taras utilizadas en los ensayos de límites de consistencia



Fuente: Elaboración propia

La Plasticidad es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. Se definen los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, es el elemento más peligroso de una cimentación, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

3.2.3 Mezcla de suelo - ceniza

Para este proyecto se realizó tres mezclas del suelo limo arcilloso con cenizas de cáscara de arroz (10%,15% y 20%) con el fin de elegir las combinaciones óptimas y determinar el comportamiento mecánico de la mezcla. Dichos ensayos se realizaron para conocer los parámetros físicos del suelo, cuando son sometidos a los ensayos de compactación, proctor estándar y ensayos triaxiales no consolidados no drenados (CD). Ver la Tabla 2.

Tabla 2

Proporción de mezcla y símbolos a cada mineral

Material / Mezcla	% de Suelo Arcilloso	% de Ceniza Cáscara de Arroz	Símbolos
Suelo	100	0	S
Ceniza Cáscara de Arroz	0	100	CCA
Mezcla 1	90	10	S90/CCA10
Mezcla 2	85	15	S85/CCA15
Mezcla 3	80	20	S80/CCA20

Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Determinando la cantidad del suelo con ceniza de la cáscara de arroz



Fuente: Elaboración propia

3.2.3.1 Ensayo proctor estándar. Son ensayos para determinar el grado de consolidación o compactación de los suelos y con los procedimientos de compactación usados en laboratorio se determina la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos compactados (curva de compactación).

El ensayo de compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos; el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos en tanto se mantiene el contenido de humedad aproximadamente constante. En la práctica, la compactación se realiza con frecuencia para mejoramiento del terreno.

El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material en todos o en algunos de los siguientes aspectos:

- Aumentar la resistencia al corte (mejorar la estabilidad y la capacidad de carga de cimentaciones).
- Disminuir la compresibilidad y por consiguiente reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

Figura 14

Realizando el ensayo de Proctor



Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2 Ensayo triaxial. Ensayo triaxial es el ensayo más extendido en la mecánica de suelos. Este permite determinar la resistencia al corte bajo trayectorias de esfuerzos en compresión; con diferentes condiciones de drenaje (drenado o no drenado) y con diferentes condiciones de carga (monótona o cíclica). Los ensayos triaxiales se pueden realizar con control de deformaciones o con control de cargas (Muelas, 2010).

Los ensayos triaxiales son clasificados de acuerdo con las condiciones de drenado en las fases de consolidación y corte. Son tres tipos de ensayos descritos por Lambe (1951): no consolidado no drenado (UU) con drenajes cerrados durante todo el ensayo, también conocido como un ensayo rápido; el contenido de humedad del cuerpo de prueba permanece constante y las tensiones medidas son tensiones totales; consolidado no drenado (CU) con drenado permitido durante el proceso de consolidación e impedido durante la fase de corte, también conocido como ensayo consolidado rápido; no se altera la humedad del cuerpo de prueba y las tensiones medidas en ese ensayo son totales y se

puede tener las tensiones efectivas si fuese realizado medidas de presión neutra después de la consolidación inicial; y el consolidado drenado (CD) donde las fases de consolidación y corte son realizados en condición drenada, conocido como ensayo lento; se aplica la tensión confinante y se espera que el cuerpo de prueba consolide, luego la tensión axial es aumentada lentamente para que el agua sub presión pueda filtrar para afuera del cuerpo de prueba, hasta la ruptura, de esta forma la presión neutra durante el cargamento permanece prácticamente nula y las tensiones totales medidas son las tensiones efectivas (Crespo, 2005)

Procedimiento del ensayo triaxial UU:

- La muestra de suelo se introduce en una membrana de caucho impermeable, se ensambla la cámara Triaxial y poner en contacto el pistón de carga axial con la tapa del espécimen hasta permitir un correcto asentamiento del pistón con la tapa.
- Se verifica la colocación de la cámara en posición en el dispositivo de carga axial, para luego llenar la cámara con el líquido de confinamiento y realizar el ajuste al dispositivo de mantenimiento y medición de presión a la presión de cámara deseada y aplique la presión al fluido de la celda.
- La presión de la cámara produce una fuerza ascendente en el pistón que reaccionará contra el dispositivo de la carga axial. En este caso, empiece la prueba con el pistón ligeramente sobre la parte superior del espécimen y registre la lectura inicial en el deformímetro.
- Aplique la carga axial para producir una deformación axial hasta alcanzar el máximo esfuerzo desviador. Continúe la carga hasta 15% de deformación axial, a menos que la carga puede ser detenida cuando el esfuerzo desviador alcance un pico y luego caiga 20% o la deformación axial ha alcanzado 5% más que la deformación en la cual el pico del esfuerzo desviador ocurrió. Los valores de carga y deformación deben registrarse y tomar las lecturas suficientes para definir la curva esfuerzo – deformación.

Figura 15

Mezcla del suelo de la calicata M-1, C-1 con 10%, 15% y 20% de ceniza de cáscara de arroz



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Realizando el ensayo triaxial



Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Muestras del ensayo triaxial



Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Ensayos de campo

Se ejecutó la excavación de 03 calicatas a cielo abierto, en un área de terreno libre de 452 m², con el objetivo de identificar los diferentes estratos de suelo y su composición. Cada muestra fue identificada convenientemente y embalada en bolsas de polietileno, las mismas que fueron remitidas, para su análisis al Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos FIC-UNI, y al Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. En las calicatas se realizó los registros de excavación de acuerdo con la norma ASTM D-2488. A continuación, se presenta el área de estudio en la Figura 18.

Figura 18

Ubicación del área de estudio



Fuente: Maps Google, 2023

3.2.4.1 Ubicación de las calicatas. La exploración y reconocimiento de las características superficiales del terreno donde se ubican las viviendas con fallas en las cimentaciones. Este hecho permitió determinar que se trataba de un estrato de suelo. Considerando la extensión y naturaleza del terreno se determinó que el número de excavaciones serían 3 calicatas, a una profundidad media de 2.00 m a partir del nivel del suelo natural, se aprecia en el plano de ubicación las calicatas denominándoles: Calicata C-1, Calicata C-2, Calicata C-3, (anexo A), perfil (anexo B). Ver Tabla 3 y Figuras 19, 20 y 21.

Tabla 3

Ubicación de las calicatas

Calicata	Coordenadas UTM		Profundidad (m)
	Este	Norte	
C-1	470419.50	9492816.50	2.00
C-2	470419.20	9492819.60	2.00
C-3	470420.40	9492819.60	2.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Ubicación de las calicatas en la Urbanización Enapu Talara - Piura



Fuente: Maps Google, 2023

Figura 20

Calicata C-1 de dimensiones 0.80x0.80m² a una profundidad de 1.10m constituido por limo arcilloso color beige con pequeños bloques de roca angulosa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Calicata C-2 de dimensiones 0.80x0.80m² a una profundidad de 1.05m constituido por limo arcilloso color beige con bloques pequeños de roca angulosa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

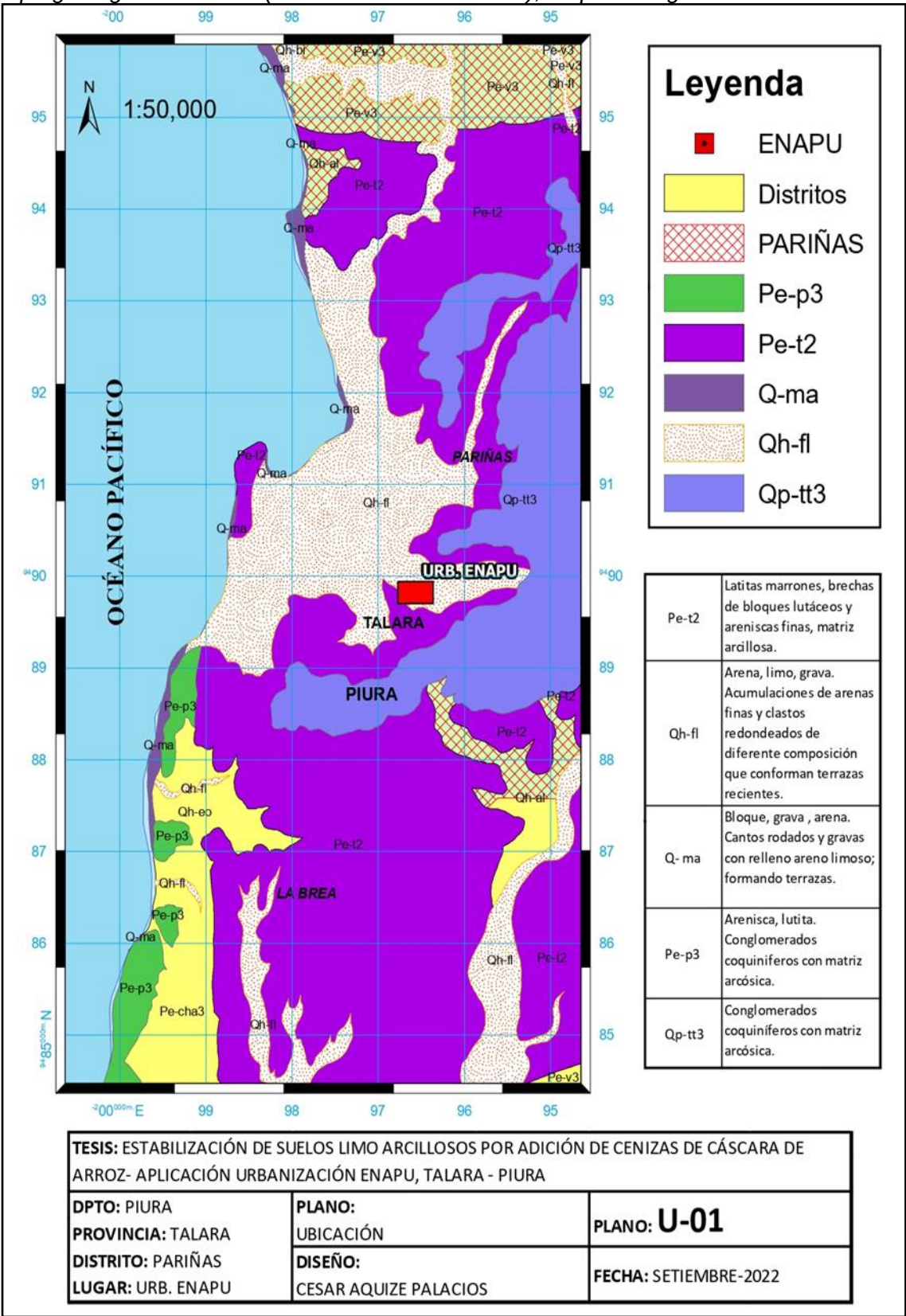
Calicata C-3 de dimensiones 0.80x0.80m² a una profundidad de 1.15m constituido por limo arcilloso color beige con bloques pequeños de roca angulosa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Mapa geológico de Talara (Fuente: INGEMED-2023), mapa sin digitalización.



Elaboración: digitalización propia

3.2.5 Ensayos de laboratorio

Con las muestras de suelo que se obtuvieron de las excavaciones, se realizaron ensayos de caracterización físico-química del suelo. Los ensayos experimentales de esta investigación se realizaron en el laboratorio N°2 de mecánica de suelos FIC- UNI y en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En la Tabla 4 se muestra los ensayos realizados de los suelos analizados

Tabla 4

Ensayos a realizar

ENSAYOS	
PROPIEDADES FÍSICAS	CANT.
Análisis granulométrico por tamizado	3
Límite Líquido	4
Límite Plástico	4
Contenido de Humedad	4
Gravedad específica de sólidos	4
Próctor estándar	4
Compresión triaxial NO consolidado NO drenado (UU)	4

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Resultados de ensayos de caracterización física

Los resultados de los ensayos de laboratorio se encuentran en el anexo.

4.1.1 Análisis granulométrico

En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos de los parámetros índices de los suelos analizados.

Tabla 5

Parámetros índices del material

Material	Granulometría			L.L.	L.P.	I.P.	SUCS
	Grava	Arena	Finos				
C-1 / M-1	---	24.0	76.0	39.00	22.00	17.00	CL
C-2 / M-1	---	28.0	72.0	39.00	22.00	17.00	CL
C-3 / M-1	---	23.0	77.0	39.00	22.00	17.00	CL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6

Clasificación y humedad del suelo de la calicata C-1

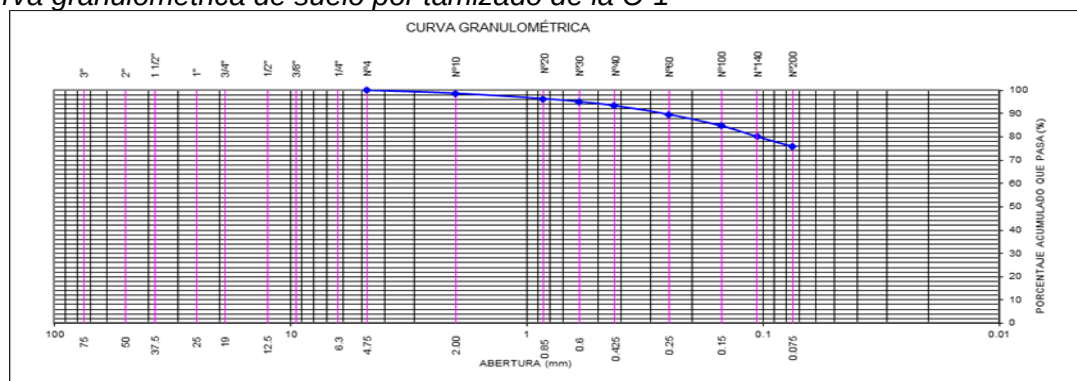
CALICATA C-1 (Prof.: 2.0 m)			
Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Humedad (%)
M-1	0.01 – 2.00	CL	17.20

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 se presenta la gráfica de la curva granulométrica correspondiente al suelo de la calicata C-1

Figura 24

Curva granulométrica de suelo por tamizado de la C-1



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 presenta la clasificación y humedad del suelo de la calicata C-2

Tabla 7

Clasificación y humedad del suelo de la calicata C-2

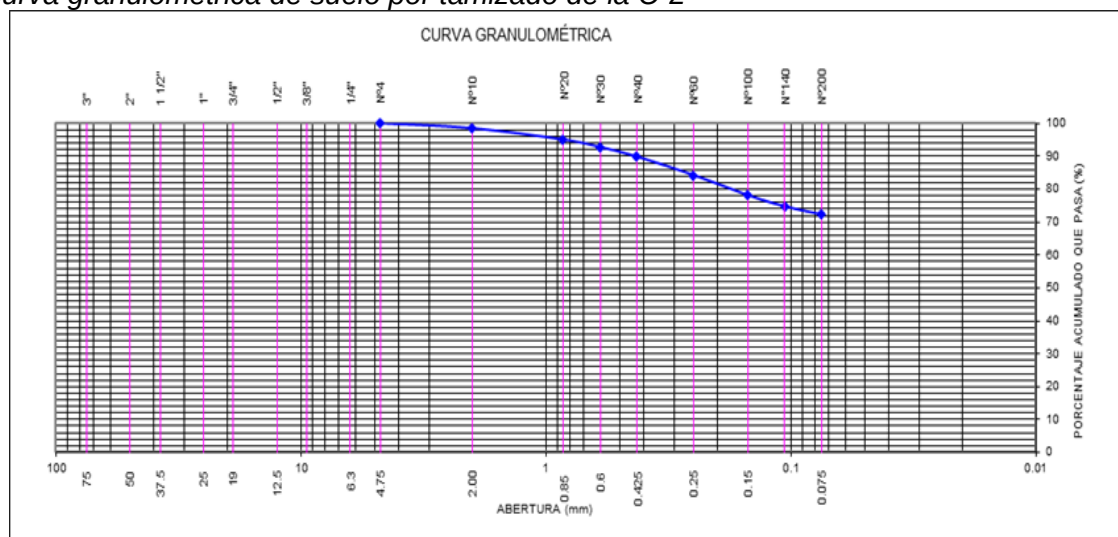
CALICATA C-2 (Prof.: 2.0 m)			
Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Humedad (%)
M-1	0.01- 2.00	CL	6.48

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25 se presenta la gráfica de la curva granulométrica correspondiente al suelo de la calicata C-2

Figura 25

Curva granulométrica de suelo por tamizado de la C-2



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los análisis de mecánica de suelos los resultados del laboratorio en la calicata C-1, C-2 y C-3 se obtiene una clasificación (SUCS) CL de las tres calicatas de suelo arcilloso de baja plasticidad.

4.1.2 Ensayo límite de consistencia

En la Tabla 8 se presenta los valores de los límites de consistencia: límite líquido (L.L), límite plástico (L.P) y el índice de plasticidad (I.P) que disminuye los valores según se adiciona la ceniza de cáscara de arroz, debido al material fino del suelo (arcilla) que disminuye en proporción al aumento de la ceniza.

Tabla 8

Resultados de límites de consistencia

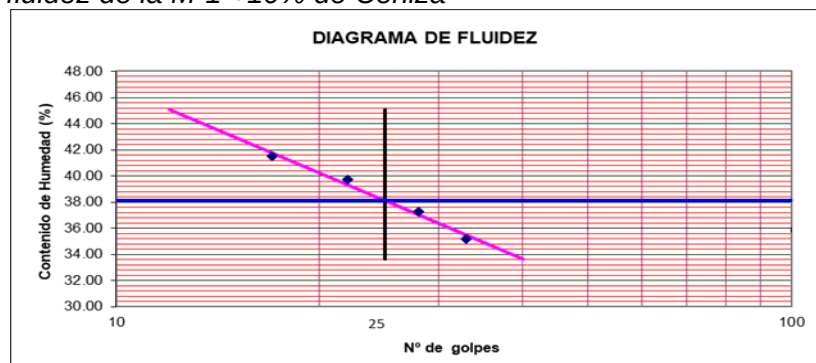
Material + ceniza	L.L.	L.P.	I.P
M-1 +0%C	39.0	22.0	17.0
M-1 +10%C	38.0	23.0	15.0
M-1 +15%C	38.0	24.0	14.0
M-1 +20%C	37.0	24.0	13.0

Fuente: Elaboración propia

La Figura 26 muestra el diagrama de fluidez de la M-1 + 10% de ceniza que tiene un límite líquido de 38.0%, un límite plástico de 23.0%; por lo tanto, un índice de plasticidad de 15.0%. Se concluye que es un suelo de alta plasticidad inorgánica.

Figura 26

Diagrama de fluidez de la M-1 +10% de Ceniza

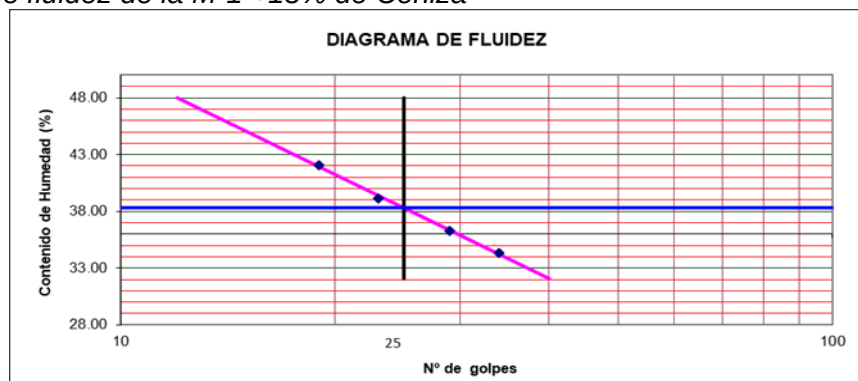


Fuente: Elaboración propia

La Figura 27 muestra el diagrama de fluidez de la M-1 + 15% de ceniza que tiene un límite líquido de 38.0%, un límite plástico de 24.0%; por lo tanto, un índice de plasticidad de 14.0%. Se concluye que es un suelo de alta plasticidad inorgánica.

Figura 27

Diagrama de fluidez de la M-1 +15% de Ceniza

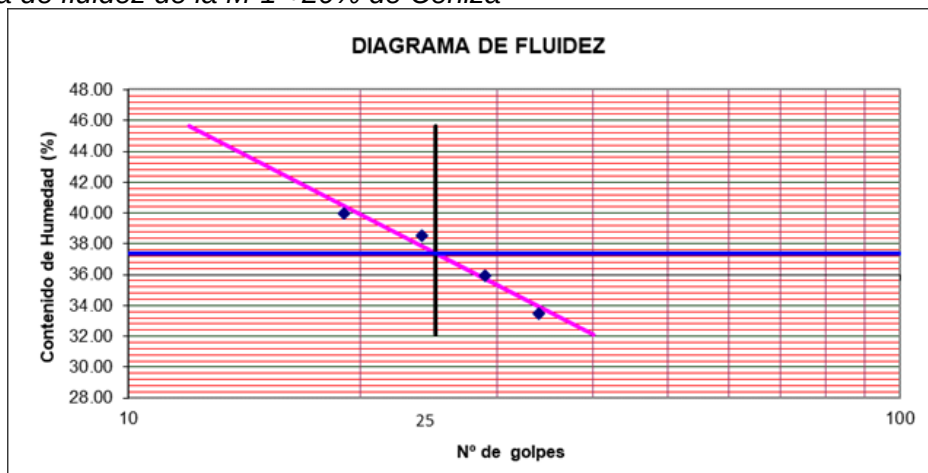


Fuente: Elaboración propia

La Figura 28 muestra el diagrama de fluidez de la M-1 + 20% de ceniza que tiene un límite líquido de 37.0%, un límite plástico de 24.0%; por lo tanto, un índice de plasticidad de 13.0%. Se concluye que es un suelo de alta plasticidad inorgánica.

Figura 28

Diagrama de fluidez de la M-1 +20% de Ceniza



Fuente: Elaboración propia

4.2 Resultados ensayos de caracterización mecánica

4.2.1 Ensayo proctor estándar

En la Tabla 9 se muestra el resumen de los valores de máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, obtenidos de los ensayos realizados en suelo + ceniza. La máxima densidad seca disminuye de 1.885 gr/cm² a 1.740gr/cm², debido a la adición de 15% de ceniza de cáscara de arroz y el óptimo contenido de humedad aumenta de 14.20% a 16.2%. Sin embargo, con una adición de 20% de ceniza se obtiene la máxima densidad seca disminuye a 1.692 y el óptimo contenido de humedad aumenta hasta 15.7%.

Tabla 9

Valores de la humedad y densidad

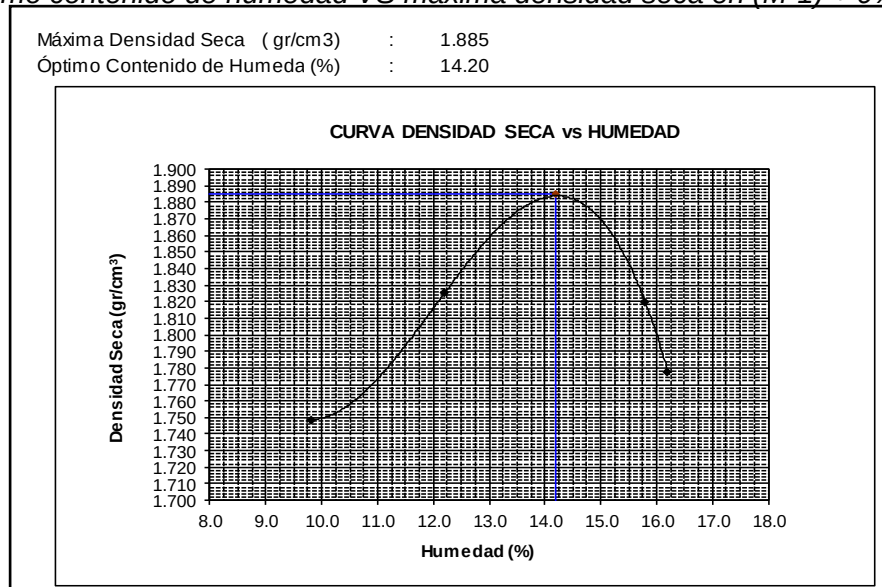
Material	Óptimo contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm ³)
M-1 +0%C	14.20	1.885
M-1 +10%C	14.50	1.761
M-1 +15%C	16.20	1.740
M-1 +20%C	15.70	1.692

Nota: C= ceniza de cáscara de arroz. Fuente: Elaboración propia

La Figura 29 presenta la curva de compactación del ensayo proctor estándar, con la interpretación que la muestra logra su máxima densidad seca con MDS = 1.885gr/cm² y optimo contenido de humedad OCH= 14.2% del suelo natural (M-1)

Figura 29

Curva optimo contenido de humedad VS máxima densidad seca en (M-1) + 0% de ceniza

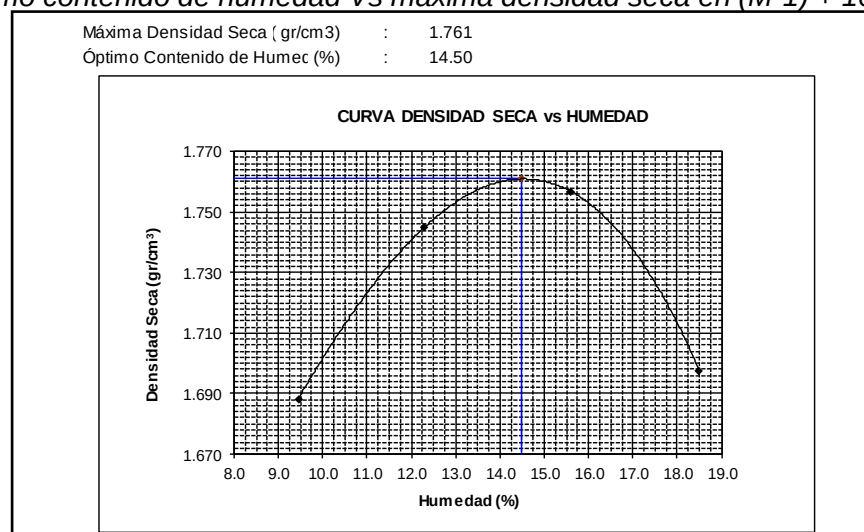


Fuente: Elaboración propia

La Figura 30 presenta la curva de compactación del ensayo proctor estándar, con la interpretación que la muestra logra su máxima densidad seca con MDS = 1.761gr/cm² y optimo contenido de humedad OCH= 14.5% en suelo natural (M-1) +10% de ceniza.

Figura 30

Curva optimo contenido de humedad Vs máxima densidad seca en (M-1) + 10% de ceniza

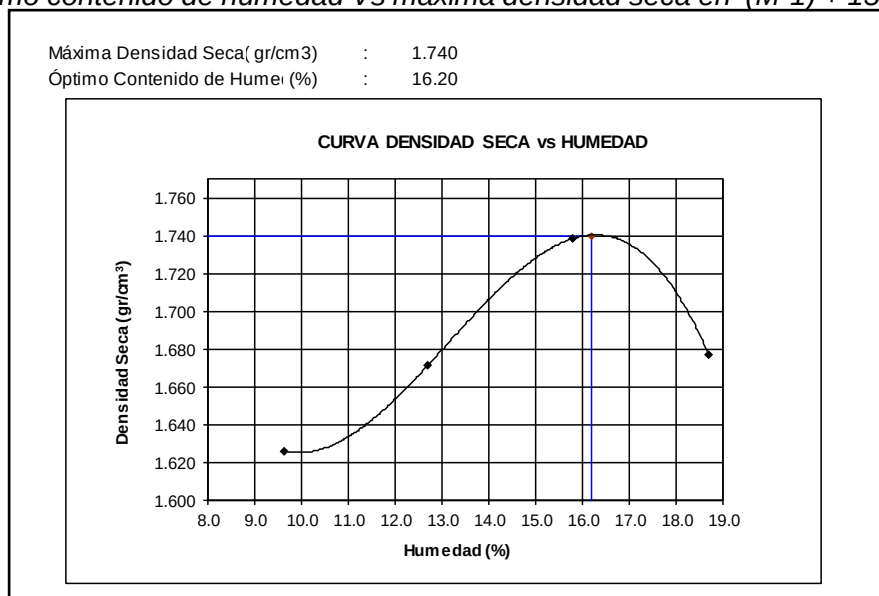


Fuente: Elaboración propia

La Figura 31 presenta la curva de compactación del ensayo proctor estándar, con la interpretación que la muestra logra su máxima densidad seca con MDS = 1.74 gr/cm² y optimo contenido de humedad OCH= 16.20 % en suelo natural (M-1) +15% de ceniza.

Figura 31

Curva optimo contenido de humedad Vs máxima densidad seca en (M-1) + 15% de ceniza

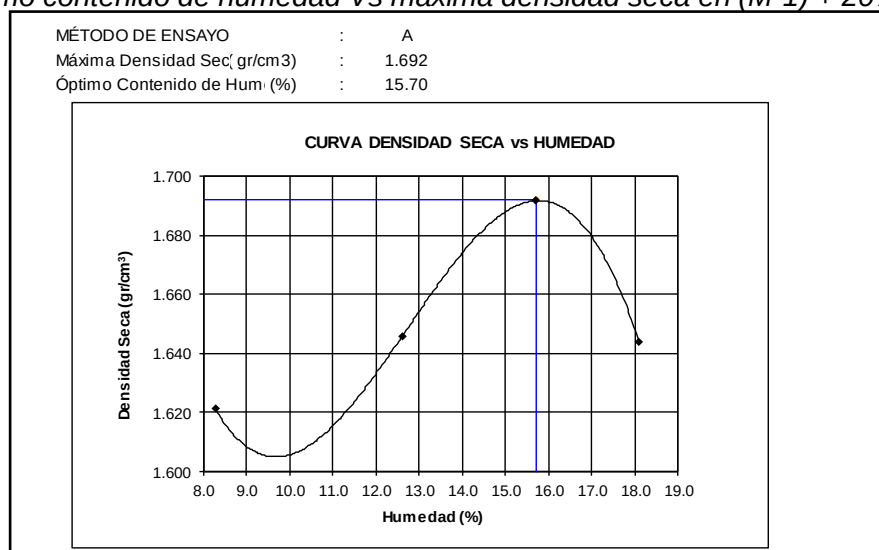


Fuente: Elaboración propia

La Figura 32 presenta la curva de compactación del ensayo proctor estándar, con la interpretación que la muestra logra su máxima densidad seca con MDS = 1.71gr/cm² y optimo contenido de humedad OCH=14.0% en suelo natural (M-1) +20% de ceniza.

Figura 32

Curva optimo contenido de humedad Vs máxima densidad seca en (M-1) + 20% de ceniza



Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Ensayo triaxial

4.2.2.1 Parámetros geotécnicos del suelo- ceniza. Se determinaron los parámetros geotécnicos de resistencia (ángulo de fricción y cohesión) al corte a esfuerzos efectivos mediante ensayos triaxiales no consolidados no drenados (UU), en probetas de 6 pulgadas de diámetro en materiales finos (suelo) con adición de cenizas de cáscara de arroz con 0%, 10%, 15% y 20%. Se obtuvieron valores de ángulo de fricción efectiva que aumenta hasta el 15% de ceniza y luego disminuye. La cohesión efectiva disminuye según aumenta el porcentaje de ceniza. A continuación, se muestra en la Tabla 10, donde se ejecutaron:

01 Ensayo triaxial (UU), para la muestra C-2, con adición 0% de ceniza

01 Ensayo triaxial (UU), para la muestra C-2, con adición 5% de ceniza

01 Ensayo triaxial (UU), para la muestra C-2, con adición 10% de ceniza

01 Ensayo triaxial (UU), para la muestra C-2, con adición 20% de ceniza

Realizándose un total de 04 ensayos triaxiales.

Tabla 10

Valores de Ángulo de Fricción y Cohesión

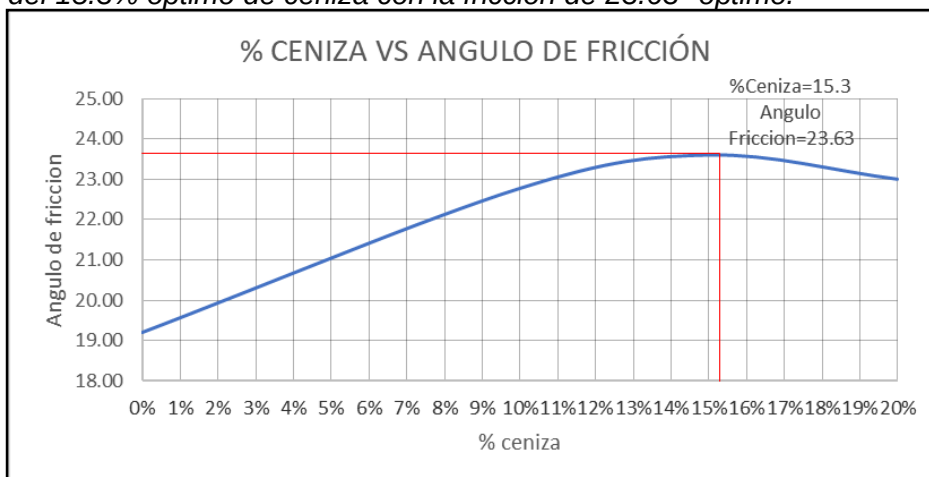
Muestra + Ceniza	Ángulo de fricción ϕ	Cohesión	Nc	Nq	Ny (Vesic)	Nq/Nc	Tan ϕ
		c (kg/cm ²)					
M-1 +0%C	19.20	0.1400	14.108	5.913	4.815	0.419	0.348
M-1 +10%C	22.78	0.0800	17.783	8.468	7.952	0.476	0.420
M-1 +15%C	23.61	0.0600	18.813	9.223	8.937	0.490	0.437
M-1 +20%C	23.01	0.0400	18.061	8.670	8.213	0.480	0.425

Nota: C= ceniza de cáscara de arroz. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 33, se muestra que para una adición en concentración de 15.3% ceniza de cáscara de arroz, es favorable el incremento del ángulo de fricción del suelo, hasta alcanzar un óptimo de 23.63°, este aumento del ángulo de fricción es debido a que la ceniza en su composición química contiene sílice (90%), que es un material friccionante.

Figura 33

Relación del 15.3% óptimo de ceniza con la fricción de 23.63° óptimo.



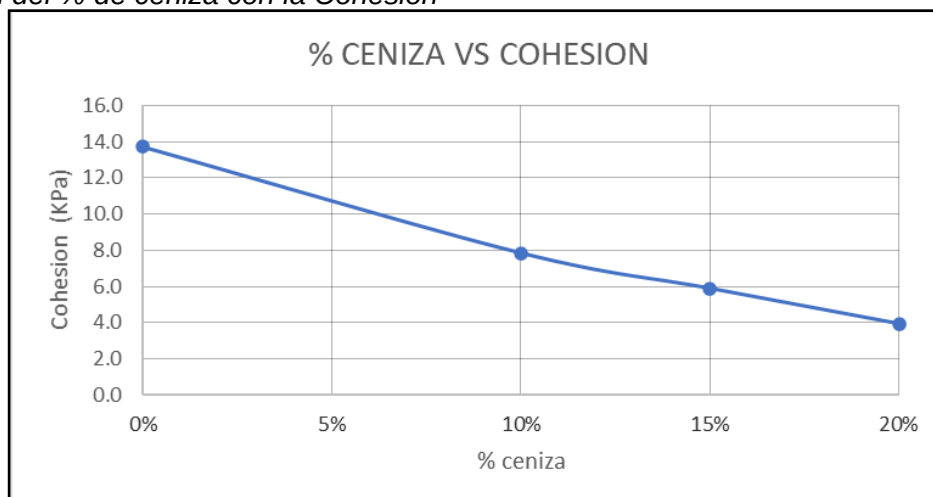
Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar utilizando mayor concentración de 15.3% ceniza de cáscara de arroz, la curva del ángulo de fricción cae drásticamente, debido a la baja compacidad que el suelo adquiere, según se incrementa la mayor concentración de ceniza de cáscara de arroz, es decir por la insuficiencia o falta de material fino (ligante).

En la Figura 34 el uso de la ceniza de cáscara de arroz no es favorable para el incremento de la cohesión, debido a que el ligante disminuye en proporción al aumento de la ceniza de cáscara de arroz. Además, la cohesión del suelo disminuye por la baja compacidad que el suelo adquiere según se incrementa la ceniza de cáscara de arroz, esto se manifiesta por bajo contenido de material fino del suelo (arcilla).

Figura 34

Relación del % de ceniza con la Cohesión



Fuente: Elaboración propia

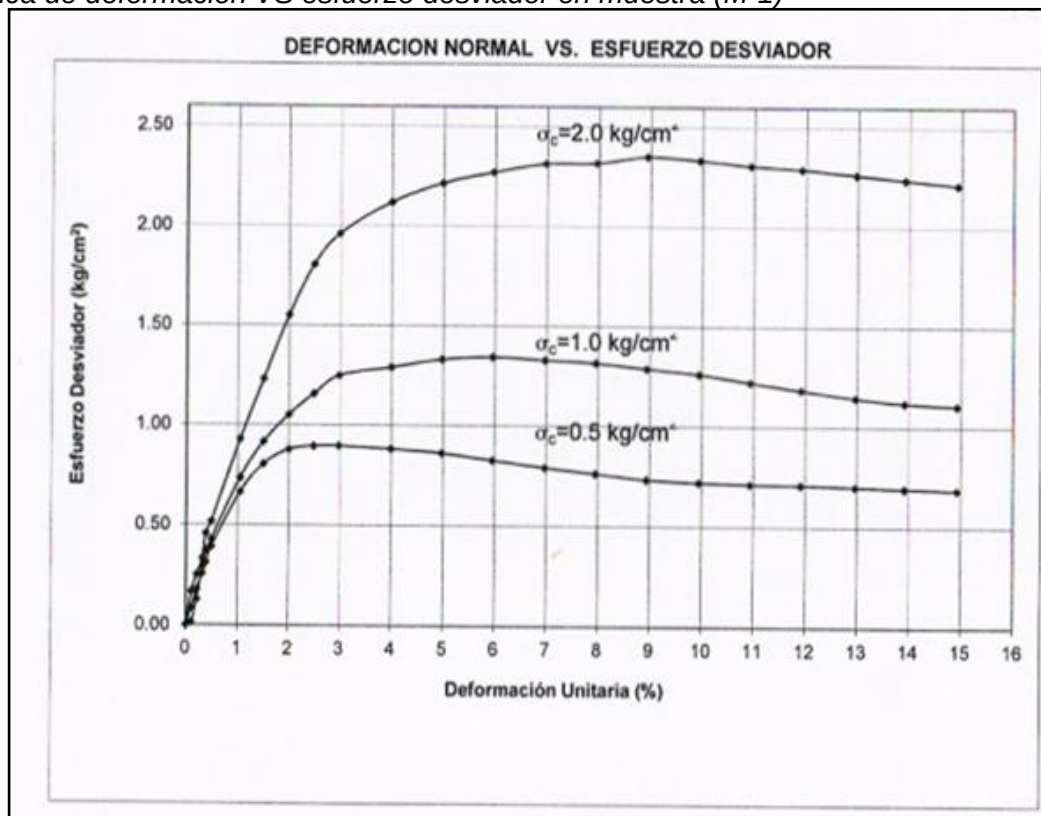
Chicaiza & Oña (2018), La influencia de la cohesión en suelos arcillosos con adición de ceniza de cáscara de arroz con 10%, 20% y 30% la cohesión disminuye en: 2.30kg/cm², 2.95kg/cm² y 1.90kg/cm² respectivamente.

Comparando con nuestra investigación la adición de ceniza de cáscara de arroz con 10% y 15% la cohesión disminuye en 0.078kg/cm² y 0.059kg/cm² respectivamente. En ambos casos se muestra la tendencia a la disminución de la cohesión.

La Figura 35, presenta los resultados experimentales de compresión triaxial no drenada en muestra de suelo arcilloso (M-1).

Figura 35

Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1)

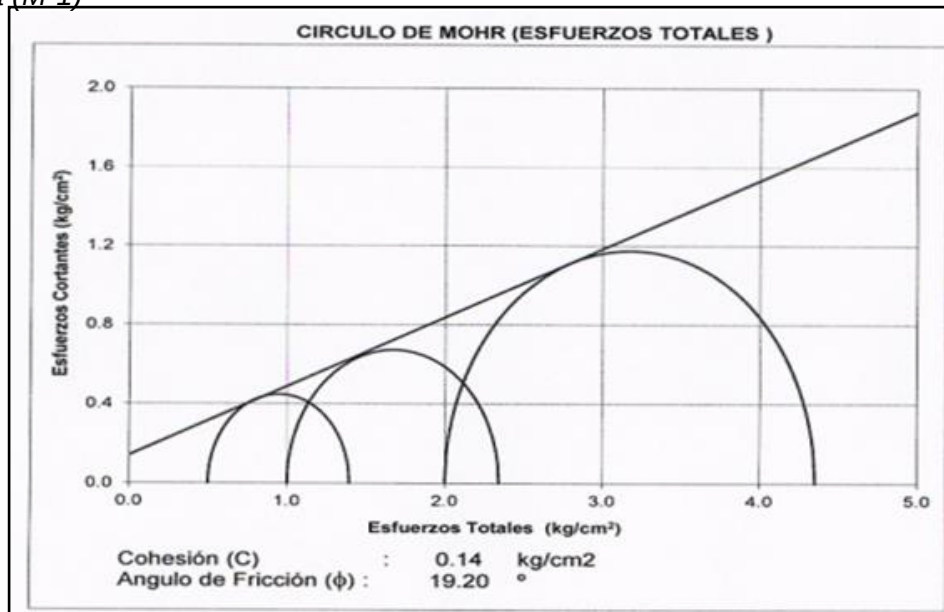


Fuente: Elaboración propia

La figura 36, presenta la envolvente de resistencia (línea de falla) de 19.2° y la Cohesión de 0.14 kg/cm² en la muestra (M-1) suelo natural.

Figura 36

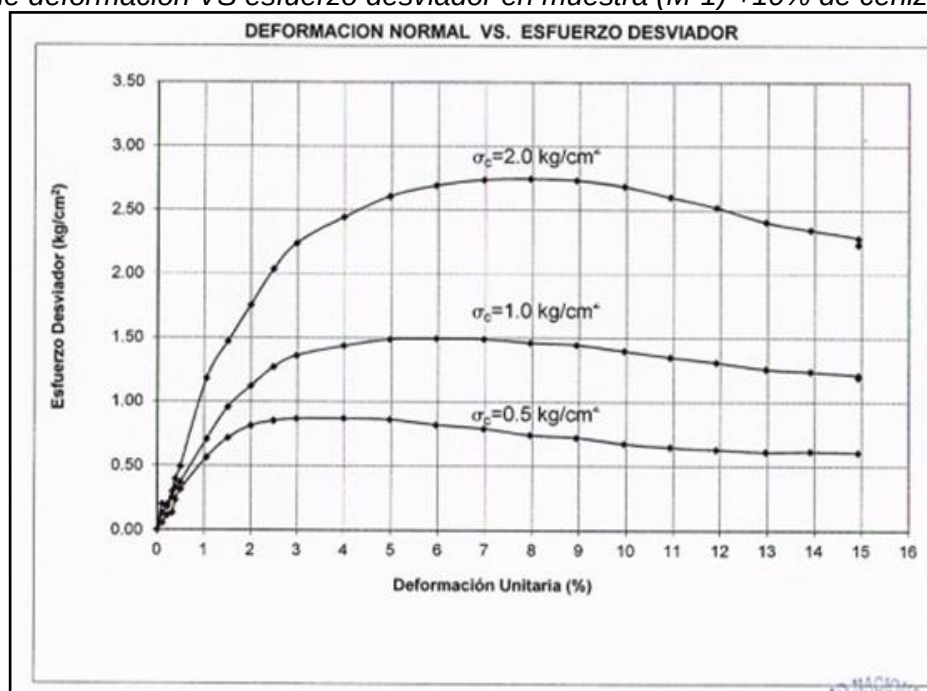
Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1) +10% de ceniza

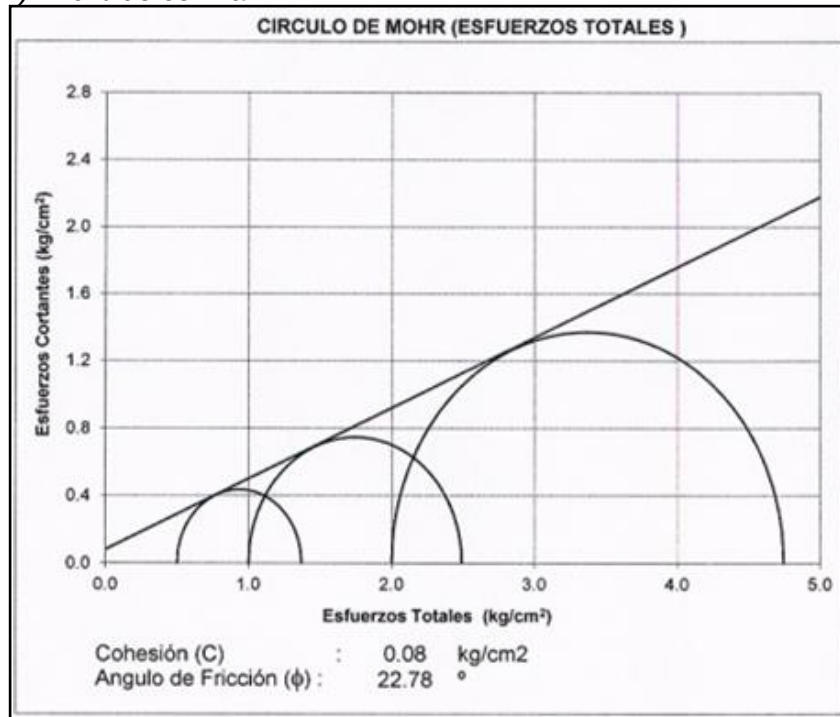


Fuente: Elaboración propia

La Figura 38, presenta una envolvente de resistencia (línea de falla) de 22.78° y la Cohesión de 0.08 kg/cm² en la muestra (M-1) +10% de ceniza.

Figura 38

Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1) +10% de ceniza

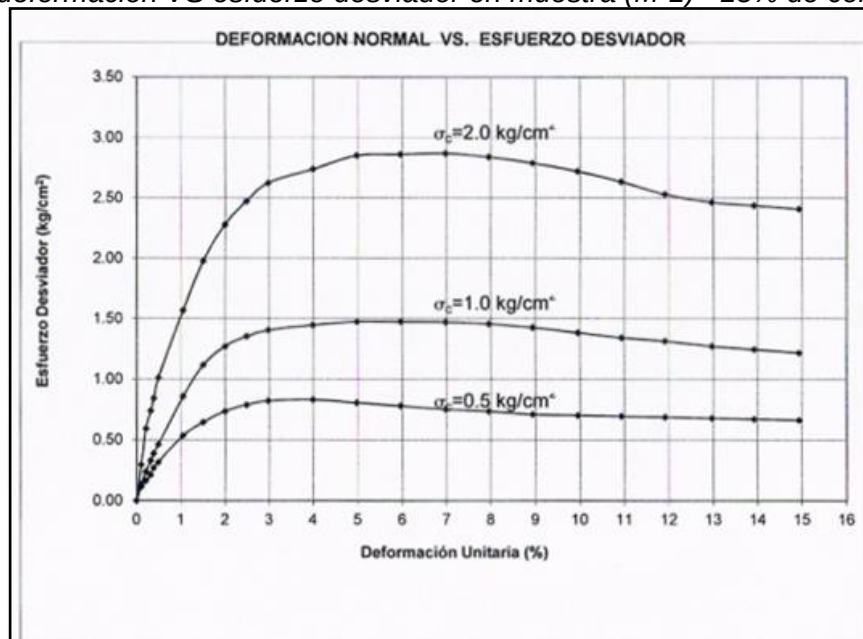


Fuente: Elaboración propia

La Figura 39, presenta los resultados experimentales de compresión triaxial no drenada en muestra de suelo arcilloso (M-1) +15% de ceniza.

Figura 39

Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1) +15% de ceniza

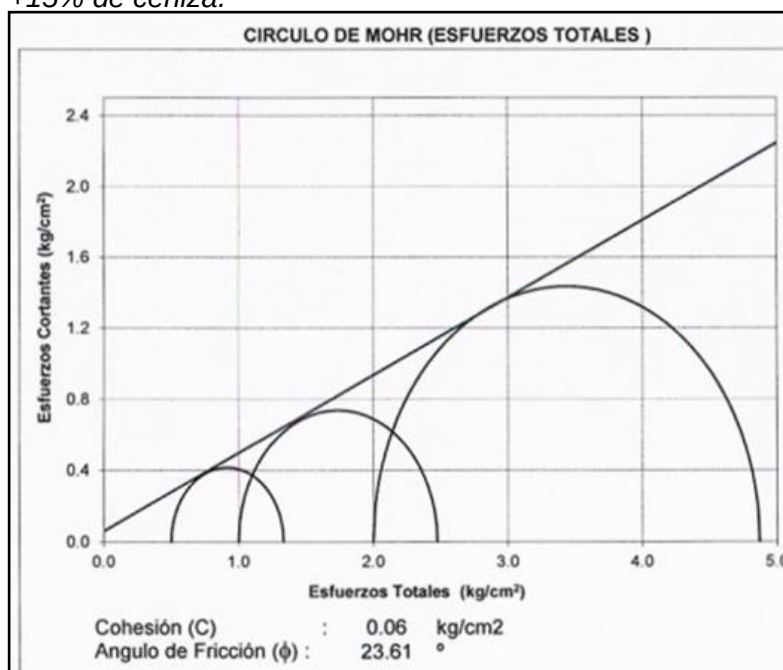


Fuente: Elaboración propia

La Figura 40, presenta una envolvente de resistencia (línea de falla) de 23.61° y la Cohesión de 0.06 kg/cm^2 en la muestra (M-1) +15% de ceniza.

Figura 40

Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1) +15% de ceniza.

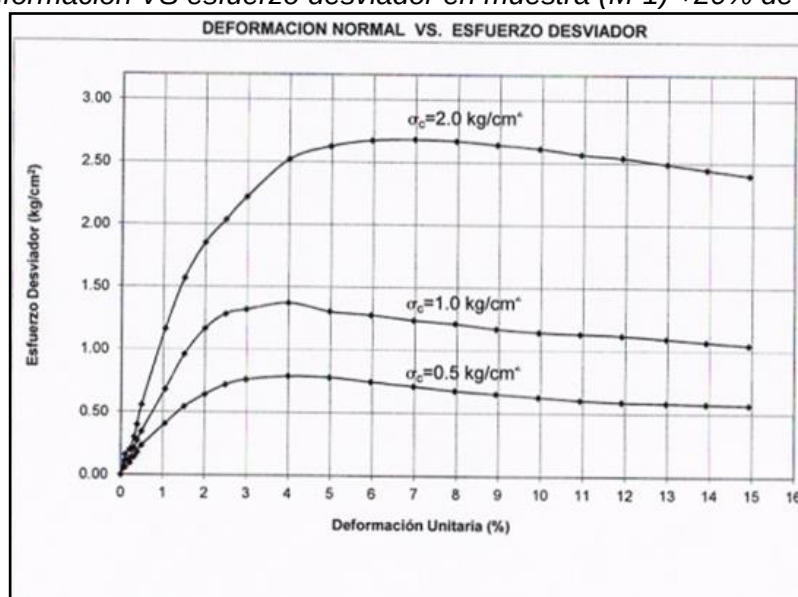


Fuente: Elaboración propia

La Figura 41, presenta los resultados experimentales de compresión triaxial no drenada en muestra de suelo arcilloso (M-1) + 20% de ceniza.

Figura 41

Gráfica de deformación VS esfuerzo desviador en muestra (M-1) +20% de ceniza

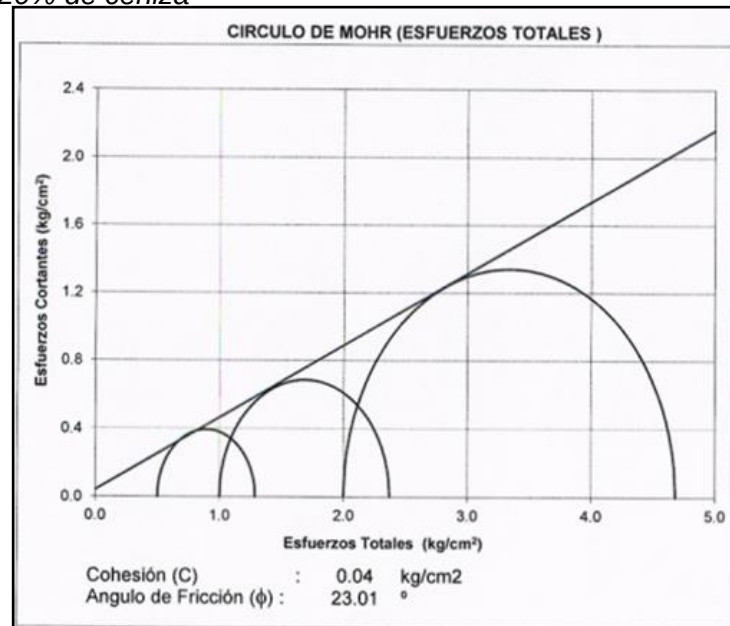


Fuente: Elaboración propia

La Figura 42, presenta una envolvente de resistencia (línea de falla) de 23.01° y la Cohesión de 0.04 kg/cm^2 en la muestra (M-1) +20% de ceniza.

Figura 42

Gráfica de esfuerzos totales VS esfuerzos cortante (criterio de falla de Mohr- Coulomb) en muestra (M-1) +20% de ceniza



Fuente: Elaboración propia

De las Figuras 35 a la 43 se observa que la envolvente de resistencia (línea de falla), aumenta la pendiente de 19.2° , 22.78° y 23.61° (ángulo de fricción) cuando se adiciona en: 0%, 10% y 15% de ceniza, respectivamente, luego en la Figura 42, se muestra la caída drástica de la pendiente (línea de falla) de 23.01° , con la adición de 20% de ceniza. Asimismo, se observa en las Figuras 36, 38, 40 y 42 la disminución de la ordenada (Cohesión) de 0.14, 0.08, 0.06 y $0.04 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ cuando se adiciona en: 0%, 10%, 15% y 20% de ceniza, respectivamente

4.2.3 Capacidad de carga última y capacidad admisible

La capacidad de carga última se determinó utilizando la fórmula de Alexander Vésic (1973). De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales se deduce que la mejora del valor del ángulo de fricción se obtiene con la mezcla de suelo y con una concentración 0% a 12.5% de ceniza de cáscara de arroz, tomando como referencia la Tabla 6.1, se obtiene 1.79 kg/cm^2 de capacidad admisible y 12.5% de adición de ceniza cáscara de arroz.

Se utilizaron los siguientes datos para determinar los valores de la capacidad de resistencia y capacidad admisible por Vesic.

Datos:

$$FS = 3$$

$$\gamma_1 = 1.97 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_2 = 1.96 \text{ ton/m}^3$$

$$B = 1.00\text{m}$$

$$L = 1.00\text{m}$$

$$Df = \text{profundidad de cimentación (m)}$$

En la Tabla 11 se muestra el incremento de la capacidad portante del suelo con la adición de cenizas de cáscara de arroz para un desplante $Df=1.0\text{m}$

Tabla 11

Valores de la capacidad de resistencia y la capacidad admisible para $Df=1 \text{ m}$

Muestra + Ceniza	Cimentación Cuadrada		Sc	Sq	Sg	qu (kg/cm ²)	Qad (kg/cm ²)/Fs
	B (m)	L (m)					
M-1 +0%C	1.00	1.00	1.42	1.35	0.60	4.92	1.64
M-1 +10%C	1.00	1.00	1.48	1.42	0.60	5.33	1.78
M-1 +15%C	1.00	1.00	1.49	1.44	0.60	5.26	1.75
M-1 +20%C	1.00	1.00	1.48	1.42	0.60	4.38	1.46

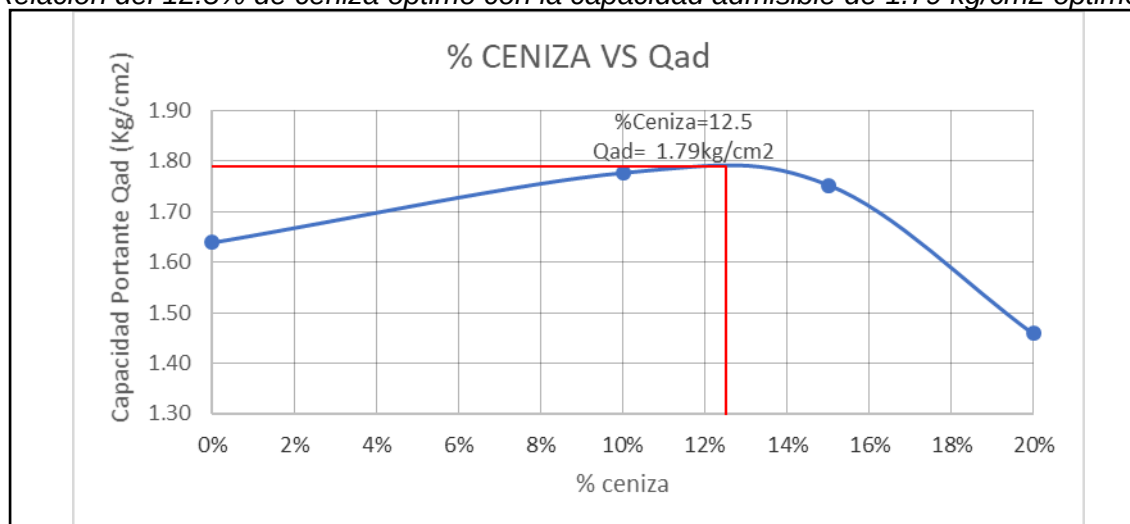
Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la Figura 43, el uso de la ceniza de cáscara de arroz con una concentración de 12.5% favorece al incremento de la capacidad portante, llegando al óptimo ($Qad= 1.79 \text{ kg/cm}^2$).

Sin embargo, es importante citar que para mayores a 12.5% de concentración de ceniza no ayuda al incremento de la capacidad portante del suelo en consecuencia disminuye drásticamente la resistencia del suelo, denominándolo punto de quiebre.

Figura 43

Relación del 12.5% de ceniza óptimo con la capacidad admisible de 1.79 kg/cm² óptimo



Fuente: Elaboración propia

Castro (2018), la adición de ceniza de cáscara de arroz al suelo arcilloso con diferentes porcentajes de ceniza, aumenta la resistencia a la compresión de 6.91 a 8.77Kg/cm² en la mezcla (suelo + ceniza) para un contenido óptimo 20% de ceniza y luego de ello empieza a disminuir su valor de resistencia.

Zhidan y Junyong (2018). Para mejorar la resistencia a la compresión y la flexión de los morteros, con la adición de la ceniza de cáscara de arroz, la resistencia se incrementa con contenido que varía de 10-15% de ceniza de cáscara de arroz.

Los estudios mencionados anteriormente por los diferentes autores concluyen la tendencia del incremento de la capacidad de resistencia del suelo con adición en un porcentaje de ceniza de cáscara de arroz que varía entre 10 - 20%.

En la investigación realizada, la capacidad portante del suelo limo arcilloso, con la adición de ceniza de cáscara de arroz, se incrementó en 9.23% para un óptimo de 12.5% de ceniza de cáscara de arroz.

Conclusiones

Del resultado de ensayo de granulometría se ha determinado que el suelo está compuesto por arcilla de baja plasticidad del tipo CL.

Los valores del ángulo de fricción efectiva incrementan hasta un 15% con aditivo de ceniza y luego disminuye. La cohesión efectiva disminuye según aumenta el porcentaje de ceniza, de acuerdo al cuadro siguiente:

Muestra + Ceniza	Angulo de fricción	cohesión	Nc	Nq	Ny (Vesic)	Nq/Nc	Tan ϕ
	ϕ	c (kg/cm ²)					
M-1 +0%C	19.20	0.140	14.108	5.913	4.815	0.419	0.348
M-1 +10%C	22.78	0.0800	17.783	8.468	7.952	0.476	0.420
M-1 +15%C	23.61	0.0600	18.813	9.223	8.937	0.490	0.437
M-1 +20%C	23.01	0.0400	18.061	8.670	8.213	0.480	0.425

Nota: C= ceniza de cáscara de arroz. Fuente: Elaboración propia

La capacidad de carga ultima y la capacidad portante según los parámetros de Vesic (1973), incrementa adicionando a diferentes valores porcentuales de aditivo de ceniza de cáscara de arroz, donde a un valor de porcentaje óptimo a 12.5% de ceniza, se obtiene una capacidad admisible de 1.79 kg/cm²

Muestra + Ceniza	Cimentación Cuadrada		Sc	Sq	Sg	qu (kg/cm ²)	qad (kg/cm ²)/Fs
	B (m)	L (m)					
M-1 +0%C	1.00	1.00	1.42	1.35	0.60	4.92	1.64
M-1 +10%C	1.00	1.00	1.48	1.42	0.60	5.33	1.78
M-1 +15%C	1.00	1.00	1.49	1.44	0.60	5.26	1.75
M-1 +20%C	1.00	1.00	1.48	1.42	0.60	4.38	1.46

Nota: FS = 3 (Factor de Seguridad). Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones

Los proyectos de vivienda para su construcción deben diseñarse en suelos con buena capacidad portante.

Se recomienda realizar investigación adicionando ceniza cáscara de arroz, cemento y cal para obtener mejores resultados en las propiedades físicas del suelo.

Considerar en futuras investigación otros factores de peligro que afecten la estabilidad del suelo, tales como la porosidad, acción del agua, permeabilidad y cargas sísmicas, otros.

Extender la investigación a otras obras en las que se involucre el estudio de suelos con diferentes propiedades y características.

Proponer llevar a cabo el encauzamiento adecuado del agua de escorrentía superficial (drenaje).

Referencias bibliográficas

- Alva Hurtado, J. (1992), *Diseño de cimentaciones*. Lima – Perú
- Alzate Mario & Hernández Sebastián (2012), *Ceniza de cascarilla de arroz*.
- Aparna Roy, (2014) “*Soil stabilization using rice husk and cement*” University of Burdwan, India.
- Berry Peter & Reid David (1993) *Mecánica de suelos*. University of salford.
- Bowles Joseph E. (1982), “*Propiedades geofísicas de los suelos*” Brodley University.
- Brajas M. Das. (2001) *Principios de ingeniería de cimentaciones*. México.
- Brajas M. Das. (2012) *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México.
- Brooks.R.M. (2009) “*Soil stabilization with flyash and rice husk ash*” University Philadelphia, EE.UU.
- Cabo Laguna, M. (2011) “*Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible para la Construcción*”. trabajo de investigación. Universidad Pública de Navarra-España.
- Castro Cuadra, A. (2018) *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de la subrasante*. Tesis Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chicaiza Estéves, E. Oña Oña, F. (2018). *Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz*. Escuela politécnica nacional, Facultad de ingeniería civil y ambiental.
- Cemento Pacasmayo S.A. (2000). *Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento y concreto*; asocem.org.pe; Piura.
- Crespo Villalaz, C. (2005). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Monterrey - México.
- Graciela Fratelli, M. (1993) *Suelos, Fundaciones y Muros*. Caracas-Venezuela
- Iglesias Pérez. C. (1997). *Mecánica de Suelos*. Madrid – España
- Jiménez Salas J.A & De Justo Alpañes J.L. (1975). *Geotecnia y Cimientos I propiedad de los suelos y las rocas*. Madrid – España.
- Kuroiwa Julio. (2010). *Alto a los desastres*. Lima- Perú
- Lambe, T. (2002). *Mecánica de suelos*, México.

Ministerio de Economía y Finanzas & Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
(2012), *Plan de Incentivos a la Mejora de la Gestión y Modernización Municipal*.

Morales Morales, R. (2006) *Diseño en concreto armado*. Lima – Perú.

Muelas Rodríguez, A. (2010). *Manual de Mecánica de Suelos y Cimentaciones*.

Peck Ralph, B & Hanson Walter, E & Thornburn Thomas, H. (2002) *Ingeniería de cimentaciones*.

Pérez Collantes, R. (2012) “*Estabilización de Suelos Arcillosos con Cenizas de Carbón Para su Uso Como Subrasante Mejorada y/o Sub Base de Pavimentos*”; tesis de maestría Universidad Nacional de Ingeniería; Lima.

Tang Montane, D. (1992). “*Características geotécnicas de la ciudad de Talara*”. Centro peruano japonés de investigación sísmica y mitigación de desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Terzaghi K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. New York.

Universidad Nacional de Ingeniería (2000). *Curso actualización profesional. Mecánica de Suelos y aplicada a Cimentaciones superficiales*.

Wood D. (1990). *Soil behaviour and state soil mechanicc*. Cambridge university press.
EE.UU

Vesic A. (1973) *Analisis of ultimate loads of shallow foundations*.

www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/arroz.(2014).Ministerio de Agricultura y Riego, Perú1

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Informes de Laboratorio de Mecánica de Suelos	1

Anexo 1: Informes de Laboratorio de Mecánica de Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-1

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
 APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU. TALARA - PIURA
 UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
 FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORT DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-1
 Prof. (m.) : 2.00
 Referencia : SUELO NATURAL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M-17
 Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	-
1"	25.000	-	-	-
3/4"	19.000	-	-	-
1/2"	12.500	-	-	-
3/8"	9.500	-	-	-
1/4"	6.300	-	-	-
N°4	4.750	-	-	100
N°10	2.000	1	1	99
N°20	0.850	2	4	96
N°30	0.600	1	5	95
N°40	0.425	2	7	93
N°60	0.250	4	10	90
N°100	0.150	5	15	85
N°140	0.106	5	20	80
N°200	0.075	4	24	76
FONDO		76		

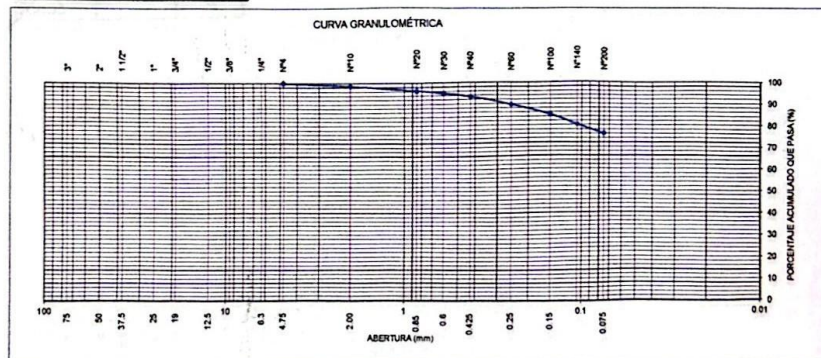
% Grava	:	0
% Arena	:	24
% Finos	:	76

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

Límite Líquido	:	39
Límite Plástico	:	22
Índice Plástico	:	17

Clasificación SUCS ASTM D2487-17e1 : CL



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
 Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.
 Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
 JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
 e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-2

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : SUELO NATURAL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M-17
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

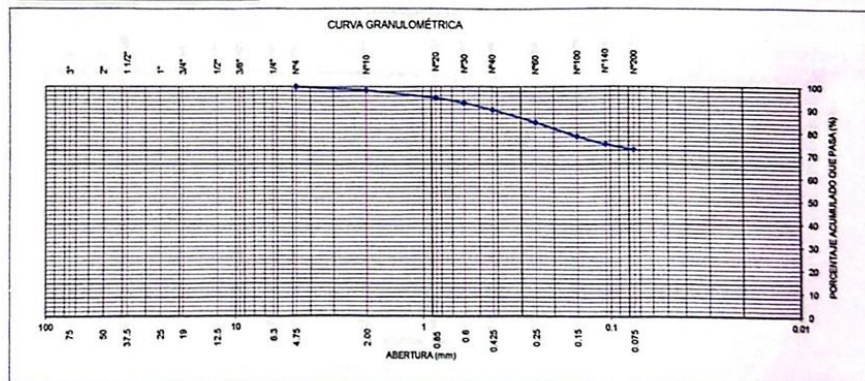
Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	
1/4"	6.300	-	-	
N°4	4.750	-	-	100
N°10	2.000	2	2	98
N°20	0.850	3	5	95
N°30	0.600	2	7	93
N°40	0.425	3	10	90
N°60	0.250	6	16	84
N°100	0.150	6	22	78
N°140	0.106	3	25	75
N°200	0.075	2	28	72
FONDO		72		

% Grava	: ----
% Arena	: 28
% Finos	: 72

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 39
Límite Plástico	: 22
Índice Plástico	: 17

Clasificación SUCS ASTM D2487-17e1 : CL



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (e) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por:

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-3

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
 APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU. TALARA - PIURA.
 UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
 FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-3
 Prof. (m.) : 2.00
 Referencia : SUELO NATURAL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M-17

Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	
1/4"	6.300	-	-	
N°4	4.750	-	-	100
N°10	2.000	0	0	100
N°20	0.850	1	2	98
N°30	0.600	2	4	96
N°40	0.425	3	6	94
N°60	0.250	5	11	89
N°100	0.150	5	17	83
N°140	0.106	4	20	80
N°200	0.075	2	23	77
FONDO		77		

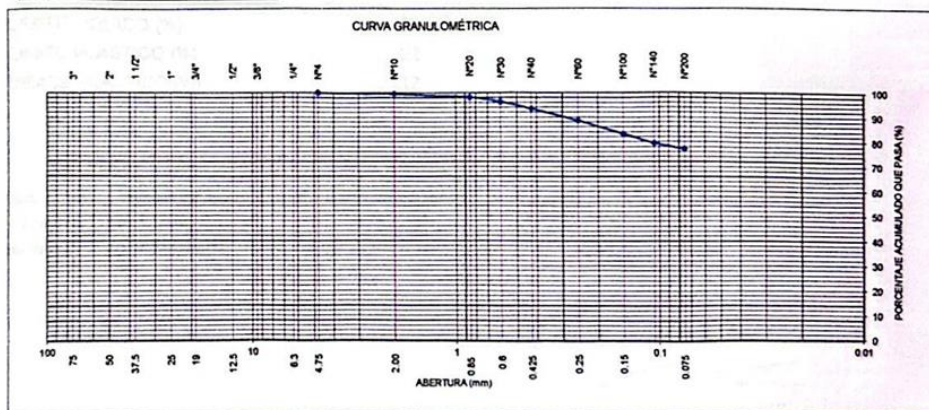
% Grava	---
% Arena	23
% Finos	77

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

Límite Líquido	39
Límite Plástico	22
Índice Plástico	17

Clasificación SUCS ASTM D2487-17e1 : CL



Note:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
 JEFE (e) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI-FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
 e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-4-1

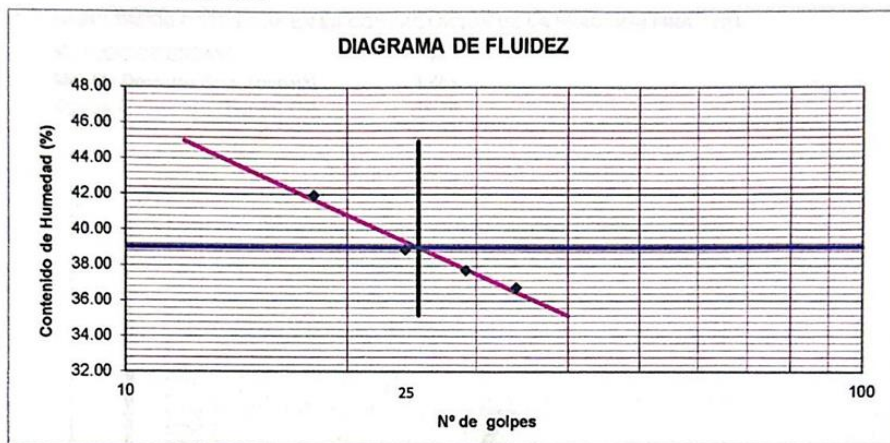
SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : SUELO NATURAL

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5



LIMITE LIQUIDO (%) : 39
LIMITE PLASTICO (%) : 22
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 17

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.
Ejecución : Téc. E. Bellido S.
Revisión : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-4-2

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU. TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

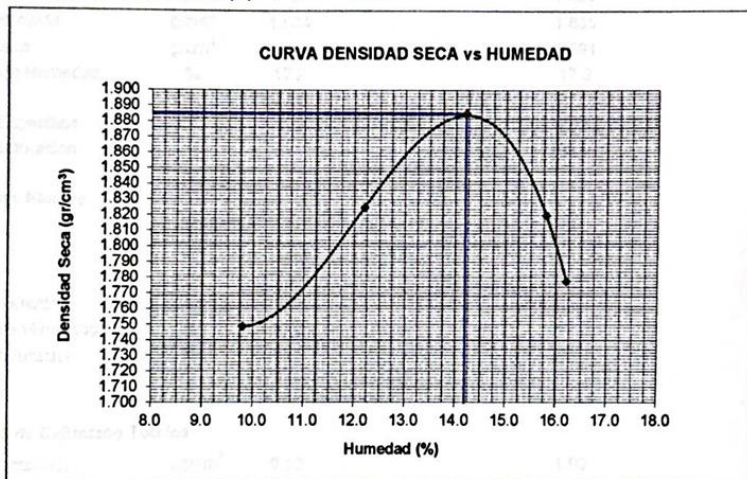
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : SUELO NATURAL

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < N°4

MÉTODO DE ENSAYO : A
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.885
Óptimo Contenido de Humed (%) : 14.20



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (e) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS - UNI - FIC

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-4-3

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
 PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
 APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU. TALARA - PIURA.
 UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
 FECHA : 15 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850
 Procedimiento interno AT-PR.11
 Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra
 Estado : Remoldeado
 Referencia : Suelo natural

		ESPECIMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	N° 1	N° 2	N° 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	1.864	1.865	1.864
Densidad seca	g/cm ³	1.591	1.591	1.591
Contenido de Humedad	%	17.2	17.2	17.2
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.78	2.78	2.78
Grado de Saturación	%	63.8	63.9	63.8
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	1.864	1.865	1.864
Contenido de Humedad	%	17.2	17.2	17.2
Grado de Saturación	%	63.8	63.9	63.8
Parámetros de Esfuerzos Totales				
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.395	2.344	4.245
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.14		
Ángulo de Fricción (ϕ)	(°)	19.20		

Note:

Los especímenes se remoldearon al 90% de la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Belido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
 JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
 e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos



ABET

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO

NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850

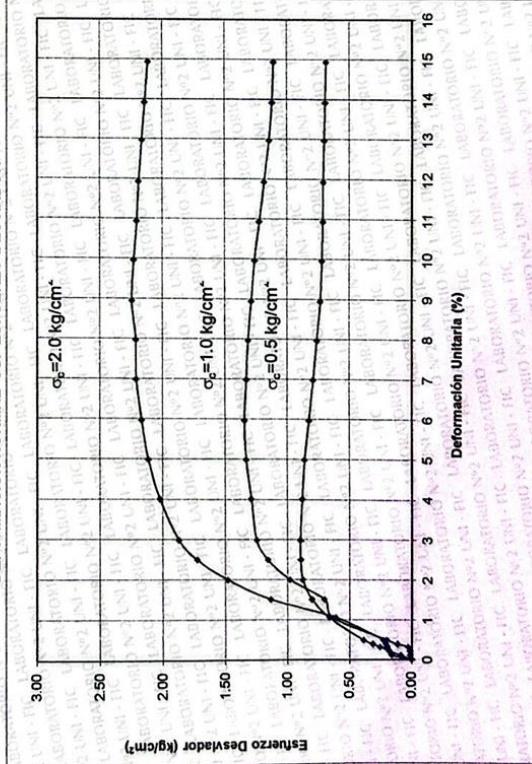
Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado
Referencia : Suelo natural

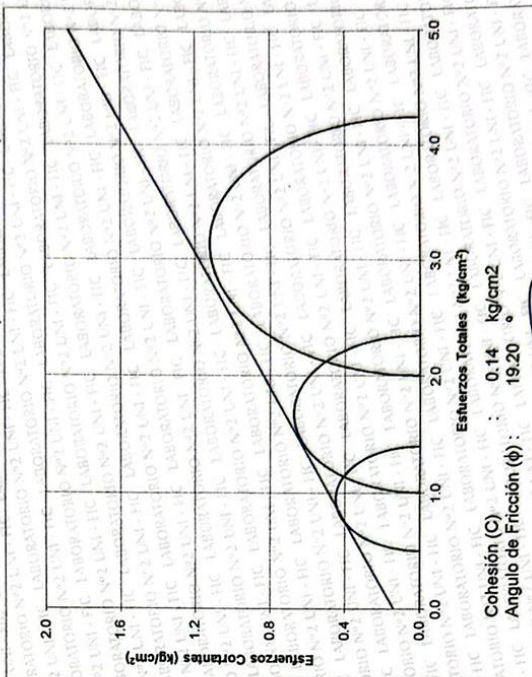
SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
UBICACIÓN : APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA
FECHA : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
15 DE JUNIO 2022

INFORME N° S22 - 021-4-3

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS UN-FC



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

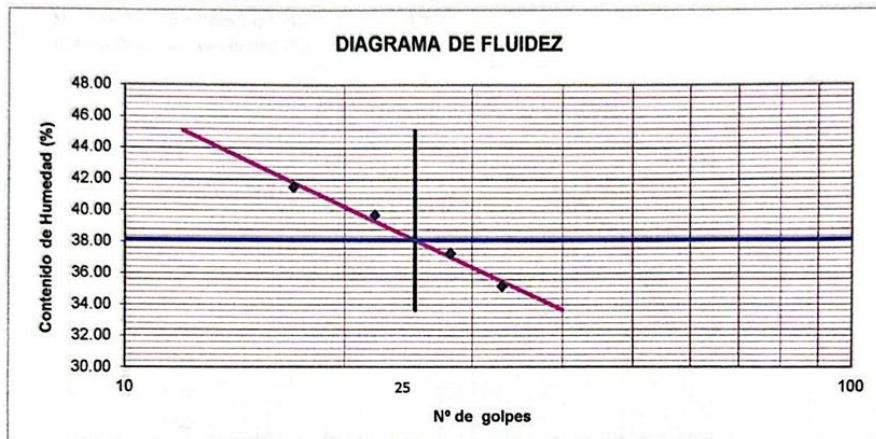
INFORME N° S22 - 021-5-1

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU. TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Con 10% de ceniza cáscara de arroz

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318
Procedimiento interno AT-PR.5



LIMITE LIQUIDO (%) : 38
LIMITE PLASTICO (%) : 23
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 15

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.
Ejecución : Téc. E. Bellido S.
Revisión : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (e) LABORATORIO N° 02 MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-5-2

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

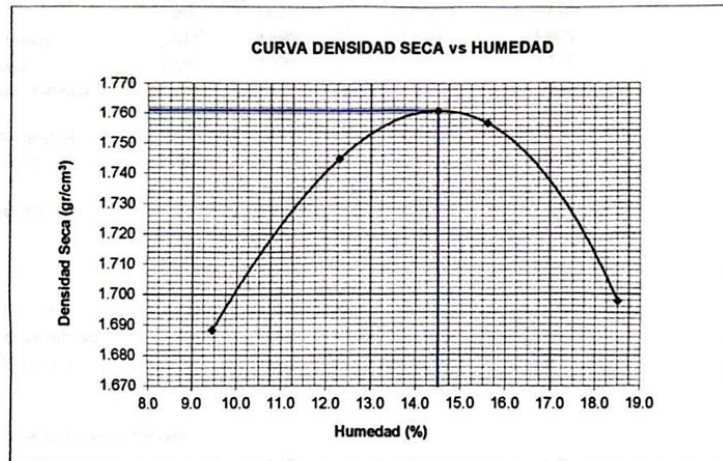
Referencia : Con 10% de ceniza cáscara de arroz

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < N°4

MÉTODO DE ENSAYO : A
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.761
Óptimo Contenido de Humed (%) : 14.50



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (e) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-5-3

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
 APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA.
 UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
 FECHA : 15 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850
 Procedimiento interno AT-PR.11
 Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra
 Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
 Referencia : Con 10% de ceniza cáscara de arroz

		ESPECIMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	N° 1	N° 2	N° 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	1.803	1.803	1.803
Densidad seca	g/cm ³	1.579	1.579	1.579
Contenido de Humedad	%	14.2	14.2	14.2
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.75	2.75	2.75
Grado de Saturacion	%	52.7	52.7	52.7
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	1.803	1.803	1.803
Contenido de Humedad	%	14.2	14.2	14.2
Grado de Saturacion	%	52.7	52.7	52.7
Parámetros de Esfuerzos Totales				
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.370	2.492	4.745
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.08		
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	22.78		

Nota:

Los especímenes se remoldearon al 87 % de la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinojosa G.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
 JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECANICA
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
 e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

ABET

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO

NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850

Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : Con 10% de ceniza cáscara de arroz

SOLICITANTE
PROYECTO

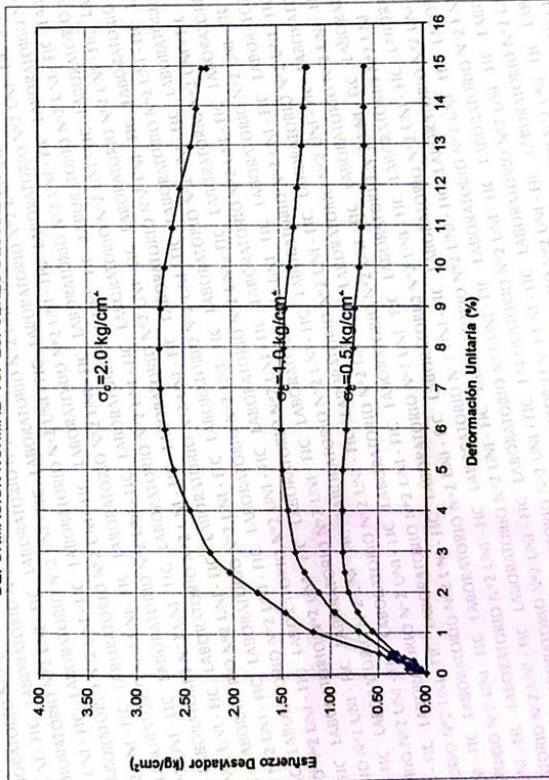
: CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUÍZ PALACION
: MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ

UBICACIÓN
FECHA

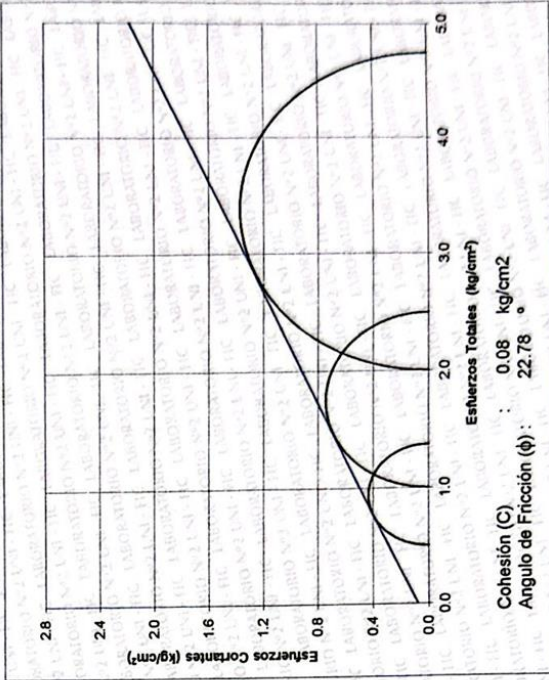
: APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
: URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
: 15 DE JUNIO 2022

INFORME N° S22 - 021-5-3

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Cohesión (C) : 0.08 kg/cm²
Angulo de Fricción (φ) : 22.78 °

ING. HECTOR ESPINOZA GENTE
JEFE (a) LABORATORIO N° 2 MECANICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS UN - PI

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-6-1

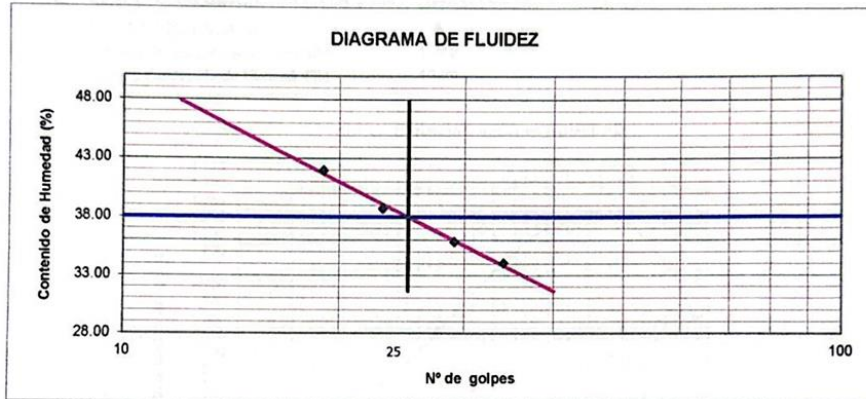
SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Con 15% de cáscara de arroz

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5



LIMITE LIQUIDO (%) : 38
LIMITE PLASTICO (%) : 24
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 14

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.
Ejecución : Téc. E. Bellido S.
Revisión : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS - UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-6-2

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

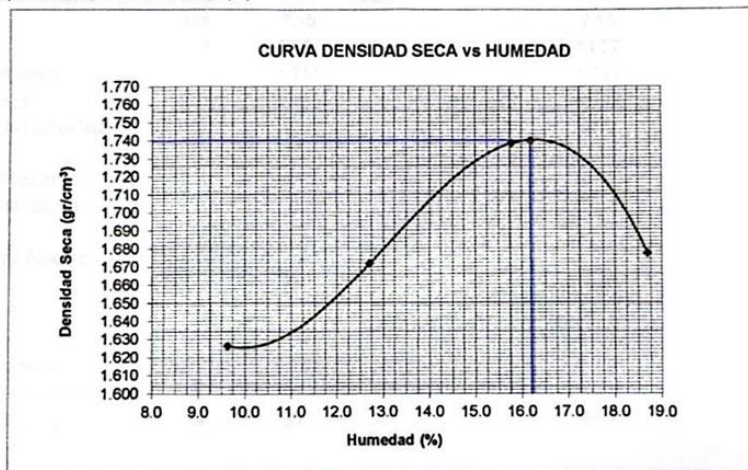
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Con 15% de cáscara de arroz

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < N°4

MÉTODO DE ENSAYO : A
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.740
Óptimo Contenido de Humed: (%) : 16.20



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (H) LABORATORIO N° 02 MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-6-3

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850
Procedimiento interno AT-PR.11

Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra
Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : Con 15% de ceniza cáscara de arroz

		ESPECIMENES			
Condiciones Iniciales	Und.	N° 1	N° 2	N° 3	
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15	
Altura	cm	14.27	14.27	14.27	
Densidad Humeda	g/cm ³	1.781	1.781	1.781	
Densidad seca	g/cm ³	1.533	1.533	1.533	
Contenido de Humedad	%	16.2	16.2	16.2	
L/D		2.00	2.00	2.00	
Gravedad Especifica		2.73	2.73	2.73	
Grado de Saturacion	%	56.7	56.7	56.7	
Condiciones Finales					
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75	
Altura	cm	12.13	12.13	12.13	
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20	
Densidad Humeda	g/cm ³	1.781	1.781	1.781	
Contenido de Humedad	%	16.2	16.2	16.2	
Grado de Saturacion	%	56.7	56.7	56.7	
Parámetros de Esfuerzos Totales					
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00	
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.332	2.474	4.869	
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.06			
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	23.61			

Nota:

Los especímenes se remoldearon al 83 % de la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinostroza G.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (R) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS - UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos



ABET

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850

Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : Con 15% de ceniza cáscara de arroz

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUÍZ PALACIOS

PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ

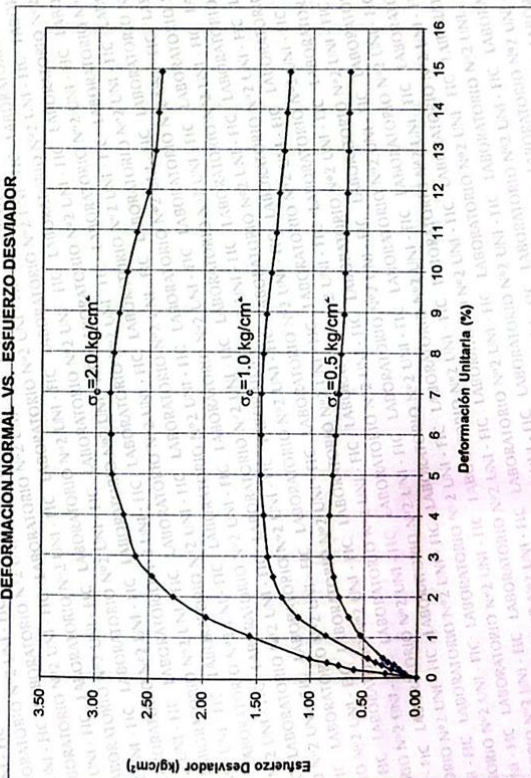
UBICACIÓN : APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA

FECHA : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA

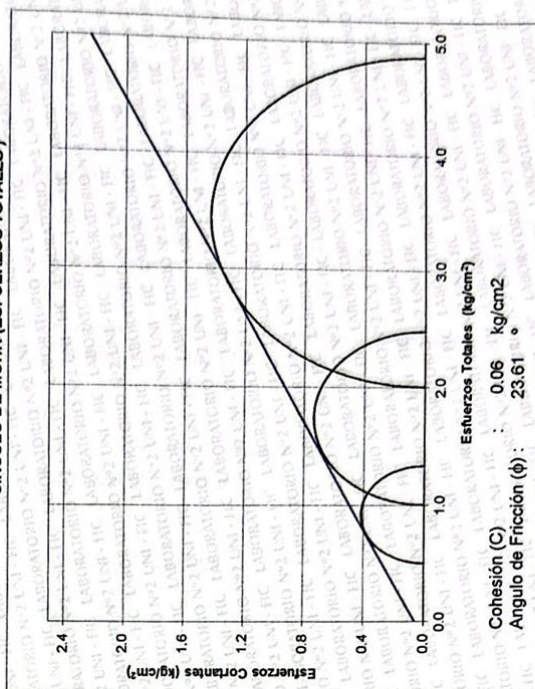
INFORME N° S22 - 021-6-3

15 DE JUNIO 2022

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Cohesión (C) : 0.06 kg/cm²
Angulo de Fricción (φ) : 23.61°

ING. HECTOR ESPINOZA CACENTE
JEFE DEL LABORATORIO N°2 DE MECÁNICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS UN-PI

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fc@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-7-1

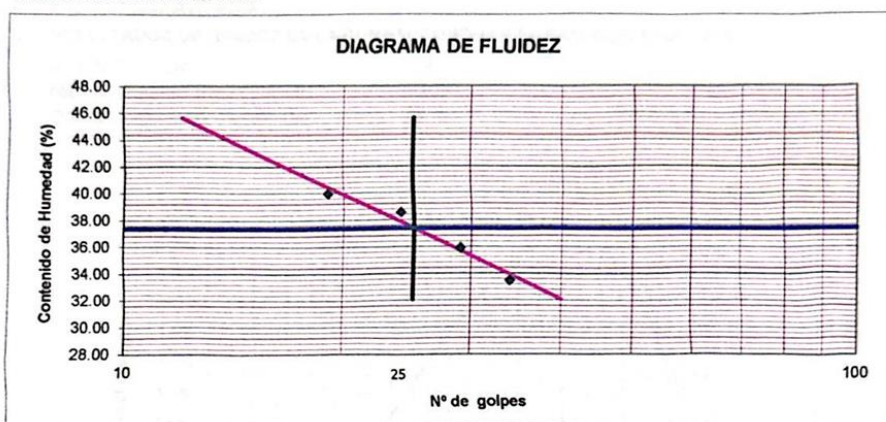
SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA.
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Con 20% de cáscara de arroz

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5



LIMITE LIQUIDO (%) : 37
LIMITE PLASTICO (%) : 24
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 13

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-6-2

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU, TALARA - PIURA,
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : 15 DE JUNIO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

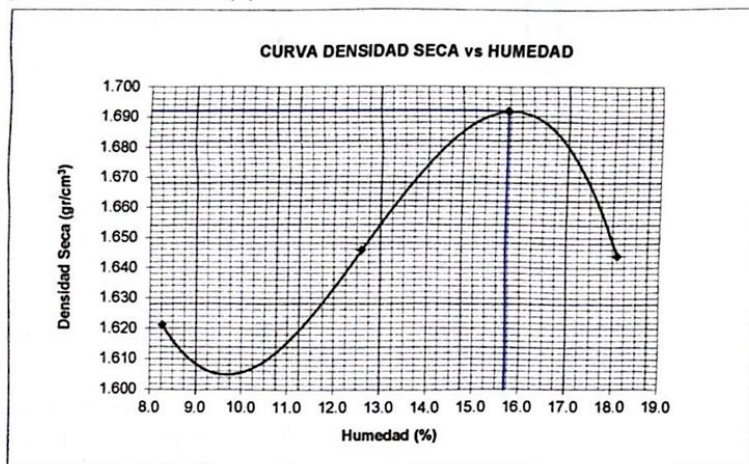
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Con 20% de ceniza cáscara de arroz

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < N°4

MÉTODO DE ENSAYO : A
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.692
Óptimo Contenido de Humed (%) : 15.70



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. E. Bellido S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECÁNICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - PIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S22 - 021-7-3

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
 APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU. TALARA - PIURA.
 UBICACIÓN : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
 FECHA : 15 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850
 Procedimiento interno AT-PR.11
 Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra
 Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
 Referencia : Con 20% de ceniza cáscara de arroz

		ESPECIMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	N° 1	N° 2	N° 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	1.780	1.780	1.780
Densidad seca	g/cm ³	1.546	1.546	1.546
Contenido de Humedad	%	15.2	15.2	15.2
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.70	2.70	2.70
Grado de Saturacion	%	54.9	54.9	54.9
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	1.780	1.780	1.780
Contenido de Humedad	%	15.2	15.2	15.2
Grado de Saturacion	%	54.9	54.9	54.9

Parámetros de Esfuerzos Totales

Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.287	2.372	4.682
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.04		
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	23.01		

Nota:

Los especímenes se remoldearon al 88 % de la densidad del próctor modificado.
 Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.
 Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinostroza G.
 Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ING. HECTOR ESPINOZA CCENTE
 JEFE (a) LABORATORIO N° 02 MECANICA
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS UNI - FIC

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
 e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission



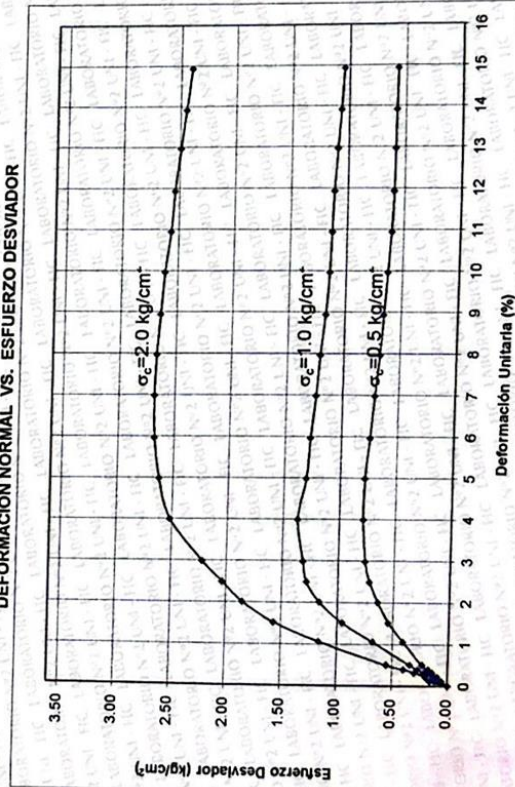
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**
Procedimiento interno AT-PR.11

INFORME N° S22 - 021-7-3

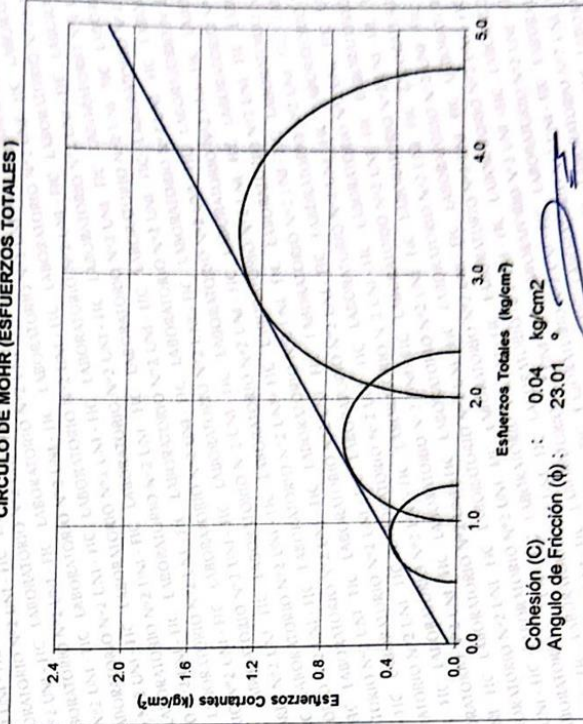
Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : Con 20% de ceniza cáscara de arroz

SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUIZE PALACION
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
UBICACIÓN : APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU - TALARÁ - PIURA
FECHA : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARÁ - PIURA
15 DE JUNIO 2022

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Cohesión (C) : 0.04 kg/cm²
Angulo de Fricción (φ) : 23.01°

ING. HECTOR ESPINOZA CIENTE
JEFE DEL LABORATORIO N°2 MECÁNICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS UN-PI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos



ABET

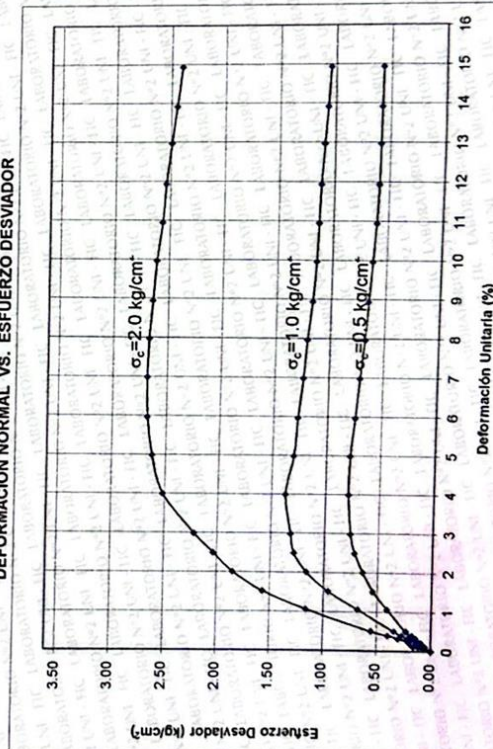
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850
Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : Con 20% de ceniza cáscara de arroz

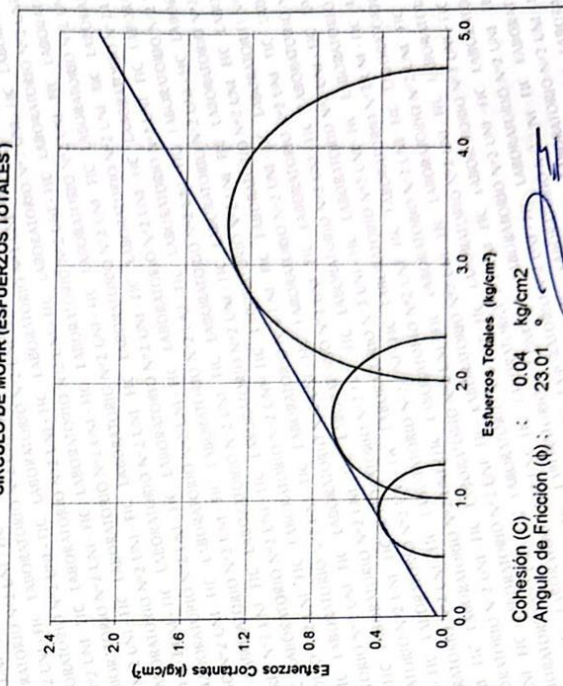
SOLICITANTE : CESAR ANIBAL FRANCISCO AQUÍZ PALACIOS
PROYECTO : MEJORAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO POR ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA ARROZ
UBICACIÓN : APLICACIÓN URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
FECHA : URBANIZACIÓN ENAPU - TALARA - PIURA
15 DE JUNIO 2022

INFORME N° S22 - 021-7-3

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

ING. HECTOR ESPINOZA OCENTE
JEFE LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS UNI - FC