

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DEL LÁTEX RECICLADO MOLIDO Y LAS CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE LIMA - NORTE 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Henry Luis Gabriel Mamani

Asesor:

Mg.Ing. Aldo Juan Poma Zumaran

Lima - Perú

2020



DEDICATORIA

Dedico el trabajo de investigación de mi Gabriel Palomino que desde el cielo me está guiando y protegiendo a toda su familia tesis, especialmente a mi padre Raúl que en vida con sus enseñanzas nos ayudó a formarnos como personas de bien en la sociedad, a mi madre soledad Mamani Quispe

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a mi asesor de tesis el ingeniero Aldo Juan Poma Zuma que con su docencia de enseñanza, me guio en el mejoramiento del desarrollo de mi tesis de investigación.

A mi familia en especial que con su presencia me acompañaron en toda la etapa universitaria logrando un objetivo personal

Agradecer también al ingeniero Ruperto y su hija Susana Escobar por sus enseñanzas personales me permitió ser un mejor profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	73
1.3. Objetivos	73
1.4. Hipótesis	74
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	76
CAPÍTULO III: RESULTADOS	92
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSION	100
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	103
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países Productores y Consumidores de Arroz Cáscara a Nivel Mundial	13
Tabla 2. Propiedades índice en suelo natural y suelo polímero (valores promedio)	17
Tabla 3. Parque Automotor Nacional estimado según departamento al 2018	25
Tabla 4. Categoría de subrasante	42
Tabla 5. Composición química de la cáscara de arroz	52
Tabla 6. Propiedades de la ceniza de cáscara de arroz	53
Tabla 7: Composición química de ceniza de cáscara de arroz	54
Tabla 8. Matriz Operacional	77
Tabla 9. Características del látex reciclado.	83
Tabla 10. Características de la cascara de arroz.	84
Tabla 11. Comparación % humedad óptima entre M-1 y M-2.	97
Tabla 12. Comparación densidad seca máxima entre M-1 y M-2.	98
Tabla 13. Resumen de propiedades mecánicas analizadas.	99
Tabla 14. Costo de M-01 suelo natural arcilloso.	100
Tabla 15. Costo de M-02 suelo arcilloso con adición de látex reciclado molido y cenizas de cascara de arroz	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de Arroz Cáscara a Nivel Mundial	14
Figura 2. Muestra de las fibras utilizadas	15
Figura 3. Efecto de la inclusión de la fibra en la resistencia a la compresión no confinada y resistencia a la fractura del suelo estabilizado	16
Figura 4. Expansión del suelo natural y suelo – polímero	18
Figura 5. Clasificación del suelo natural y suelo – polímero	18
Figura 6. Producción de Arroz Cáscara – Mayo 2020	21
Figura 7. Asentamiento de la vía a causa de arcillas expansivas	22
Figura 8. Mal estado de la carretera a Combayo	23
Figura 9. Falla del pavimento de la carretera de San Ignacio	23
Figura 10. Top 10 items recolectados en Perú	26
Figura 11. Tipos de estabilizaciones de Suelos	44
Figura 12. Característica de la ceniza de arroz en ignición	46
Figura 13. Relación índice de actividad puzolánica y el tamaño de partícula	47
Figura 14. Flujo grama del proceso de pilado de arroz	51
Figura 15. Cáscara de arroz y Ceniza de cáscara de arroz	54
Figura 16. Disposición tetraédrica y hexagonal	55
Figura 17. Disposición de una lámina a lumínica	56
Figura 18. Curva de compactación Proctor Estándar y Modificado y curva de saturación	64

Figura 19. Curva de Saturación	64
Figura 20. Curva de Compactación	66
Figura 21. Asumido mecanismo de falla del suelo generado por un pistón de 19.4 cm ² en el ensayo CBR	66
Figura 22. Quemado y molienda para obtener la ceniza	82
Figura 23. Ceniza de cascara de arroz	82
Figura 24. Látex reciclado molido	83
Figura 25. Corte manual del látex	84
Figura 26. Peso obtenido ceniza de cascara de arroz	85
Figura 27. Granulometría	86
Figura 28. Cuarteo del material	87
Figura 29. Colocación de ceniza de cascara de arroz, látex reciclado molido y agua	88
Figura 30. Ensayo de Proctor	88
Figura 31. Pesos de muestras del ensayo de proctor	89
Figura 32. Ensayo CBR	90
Figura 33. Toma de datos del ensayo CBR	90
Figura 34. Ensayo de corte directo	91
Figura 35. Registro de datos corte directo	92
Figura 36. Ensayo de corte directo bajo condiciones consolidadas drenadas del M- 1.	93
Figura 37. Ensayo de corte directo bajo condiciones consolidadas drenadas	

del M-2.	94
Figura 38. Comparativo muestra vs ángulo de fricción	94
Figura 39. Ensayo de compactación – Proctor modificado para CBR de M-1 (suelo natural)	95
Figura 40. Ensayo de compactación – Proctor modificado para CBR de M-1 (suelo natural)	96
Figura 41. Ensayo de compactación – Proctor modificado para CBR de M-2 con adición de 2% de ceniza de arroz reciclado y 1% de látex reciclado molido	96
Figura 42. Relación Humedad – Densidad Seca de M-2 con adición de 2% de ceniza de arroz reciclado y 1% de látex triturado.	97
Figura 43. Comparación % humedad óptima entre M-1 y M-2.	97
Figura 44. Comparación densidad seca máxima entre M-1 y M-2	98
Figura 45. Curva de compactación - ASTM D1557 para M-1 muestra natural	99
Figura 46. Curva de compactación - ASTM D1557 para M-2 con adición de 2% de ceniza de arroz y 1% de látex reciclado molido	100
Figura 47. Material afirmado	110
Figura 48. Preparación del material	112
Figura 49. Cuarteo de afirmado	113
Figura 50. Preparación ensayo de proctor natural M-01	114
Figura 51. Colocación del afirmado en el molde	115
Figura 52. Proceso de golpeo ensayo proctor	116

Figura 53. Nivelación del molde	117
Figura 54. Peso de muestra ensayo proctor	118
Figura 55. Colocación de muestra en horno	119
Figura 56. Colocación de muestra ensayo CBR	120
Figura 57. Registro de deformación ensayo CBR	121
Figura 58. Toma de datos de CBR	122
Figura 59. Colocación de moldes en equipo CBR	123
Figura 60. Registro de penetración	124
Figura 61. Reconocimiento del equipo de corte directo	125
Figura 62. Lectura de deformaciones	126
Figura 63. Anotaciones de datos obtenidos	127

RESUMEN

El objetivo de la tesis de investigación es determinar la influencia que produce el látex reciclado molido y cenizas de cascara de arroz en las propiedades de la resistencia esfuerzo cortante, humedad optima y densidad seca máxima a nivel de sub rasante, para ello se realizó un análisis comparativo con el suelo arcilloso en estado natural y mediante tablas, gráficos se determinara los resultados de la investigación.

La metodología que se empleo fue aplicada porque propone una nueva técnica para el desarrollo y elaboración de suelos arcillosos utilizando materiales reciclados. El diseño es experimental porque se establece una situación del control de la variable independiente y los efectos que produce en la variable dependiente.

Los resultados del esfuerzo cortante en el suelo arcilloso en estado natural obtuvo una cohesión 0.00kg/cm² y un ángulo de fricción 35°, agregando el 2% de cenizas de cascara de arroz y 1% de látex reciclado molido se obtuvo una cohesión 0.00kg/cm² y un ángulo de fricción 36,10°,

Los resultados que se obtuvieron del óptimo contenido de humedad del suelo arcilloso en estado natural fue el 7.20% de humedad optima y agregando el agregando el 2% de cenizas de cascara de arroz y 1% de látex reciclado molido 7.30 % de humedad óptima.

Los resultados de la densidad seca máxima del suelo arcilloso en estado natural produjo 2.290gr/cm³ y agregando el 2% de cenizas de cascara de arroz y 1% de látex reciclado molido se obtuvo 2.303gr/cm³.

Concluimos que agregando el 2% de cenizas de cascara de arroz y 1% de látex reciclado molido incrementa favorablemente la resistencia, la estabilidad volumétrica del suelo arcilloso mejorando la capacidad de la sub rasante.

Palabras Claves, Esfuerzo Cortante, Humedad Óptima y Densidad Seca Máxima.

ABSTRACT

The objective of the research thesis is to determine the influence that the milled recycled latex and rice husk ash produces on the properties of shear strength, optimal humidity and maximum dry density at the subgrade level, for which an analysis was carried out. comparative with clay soil in its natural state and using tables, graphs, the results of the investigation will be determined.

The results of the shear stress in the clay soil in the natural state obtained a cohesion $0.00\text{kg} / \text{cm}^2$ and a friction angle 35° , adding 2% of rice husk ashes and 1% of ground recycled latex, a cohesion of 0.00kg was obtained $/ \text{cm}^2$ and a friction angle 36.10° .

The results obtained from the optimum moisture content of the clayey soil in its natural state was 7.20% humidity and adding the addition of 2% rice husk ashes and 1% recycled ground latex 7.30% humidity.

The results of the maximum dry density of the clay soil in its natural state produced $2.290\text{gr} / \text{cm}^3$ and adding 2% of rice husk ashes and 1% of ground recycled latex, $2.303\text{gr} / \text{cm}^3$ were obtained.

We conclude that adding 2% of rice husk ashes and 1% of ground recycled latex favorably increases the resistance, the volumetric stability of the clay soil, improving the capacity of the subgrade.

Key Words, Shear Force, Optimal Moisture and Maximum Dry Density.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

✧ *Enfoque Internacional*

En la mayoría de países del mundo, existen problemas relacionados con los suelos usados como material de construcción. Dichos suelos, al tener un comportamiento inestable (baja capacidad portante, susceptibles a cambios volumétricos, baja resistencia mecánica) afectan las estructuras de las obras civiles que sobre él se construyen, como pavimentos, edificios y puentes, produciendo fisuras, fallas y posibles colapsos. Por esta razón, los países afectados han realizado investigaciones estudiando el comportamiento de diferentes muestras de suelo frente a la adición y/o reutilización de materiales como agente estabilizador, tal es el caso de las cenizas de cáscara de arroz y el látex reciclado molido, todo esto, con el fin de buscar una nueva alternativa de estabilización de suelos eficaz, viable y distinta a las tradicionales, reduciendo a la vez el impacto ambiental. (Aguilar, 2015).

Tabla 1

Países Productores y Consumidores de Arroz Cáscara a Nivel Mundial

#	País	Producción (millones de toneladas)	Consumo (millones de toneladas)
Asia			
1	China	128.9	126.1
2	India	96.4	96.4
3	Indonesia	36.1	36.5
4	Bangladesh	29.2	29.7
5	Vietnam	24.4	20
6	Tailandia	20.6	11.6
7	Myanmar	19.5	18.6
8	Filipinas	10.7	12.5
9	Japón	7.9	8.4
10	Pakistán	6	8.4
11	Sri Lanka	2.3	2.3
12	Iran	1.6	2.8
13	Malasia	1.5	2.4
Africa			
14	Egipto	4.8	3.8
15	Madagascar	2.5	2.6
16	Nigeria	2.3	4.2
América del sur			
17	Brasil	7.8	8.5
18	Perú	1.7	1.8
19	Ecuador	1.2	0.5
América del norte			
20	Estados unidos	6.2	3.9
Europa			
21	Unión Europeo	1.9	2.9

Fuente: Salazar, 2016.

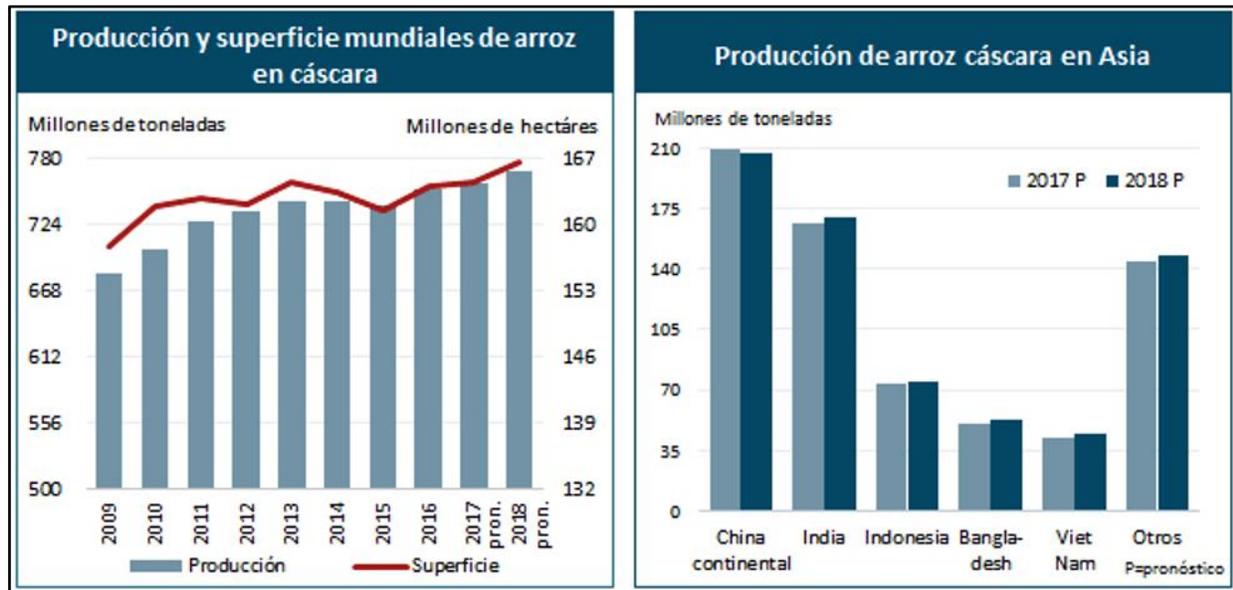


Figura 1. Producción de Arroz Cáscara a Nivel Mundial

Fuente: FAO, 2018

Por otro lado, el látex desecado o caucho, puede ser natural o sintético. El caucho natural se extrae del árbol hevea brasiliensis y los sintéticos son derivados del petróleo, obtenidos en plantas químicas. El método más común para el reciclaje de residuos de caucho sintético es la trituración mecánica. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de caucho. Se logra mediante el corte y el desgarro del residuo a reciclar, usando trituradoras equipadas con cuchillas rotativas de varios tamaños. Mediante este proceso se logra la mayor variedad de productos finales para los potenciales mercados. Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de látex, una vez separados los restos aprovechables en la industria, pueden ser usados como parte de los componentes de las capas asfálticas que se utilizan en la construcción de carreteras, entre otros. (Caucho, s.f.).

A continuación, presentamos métodos de estabilización de suelos usados en algunos países:

➤ INDONESIA

Debido a la gran cantidad de desechos plásticos que se generan en Indonesia se ha planteado como una alternativa de reutilización, hacer uso de éstos como un agente estabilizador de suelos.

Muntohar *et al* (2003), usaron un material puzolánico potencial ceniza de cascarilla de arroz (RHA) mezclado con cal y fibra de polipropileno como una alternativa para mejorar las propiedades de los suelos limo arcilloso, este método aumenta la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, la resistencia al corte y CBR. Las muestras fueron tomadas de la zona de Sentolo, Yogyakarta, Indonesia, según la clasificación de los suelos, la muestra usada fue limo de alta plasticidad (grano fino). Se usaron cenizas de color gris, recogidas y secadas al sol para reducir la humedad. Para producir fineza aceptable, las cenizas fueron molidas en una máquina de abrasión de Los Ángeles. Los residuos plásticos fueron utilizados como el refuerzo de fibra de polipropileno. Las fibras se obtuvieron por el corte de que la bolsa de plástico disponible de residuos a una longitud de 20-30 mm. (Aguilar, 2015).

Un ancho aproximado de 2 – 2,5 mm, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Muestra de las Fibras Utilizadas.

Fuente: Muntohar et al (2003)

De acuerdo a lo investigado se obtuvieron los siguientes resultados:

- El suelo estabilizado aumentó la fuerza compresiva (q_u) y resistencia a la tracción (T_u).
- Las mezclas RHA, cal/suelo reforzado con fibra de polipropileno mejoró la resistencia a la compresión no confinada y la resistencia a la fractura del suelo. Como se muestra en la Figura 03.

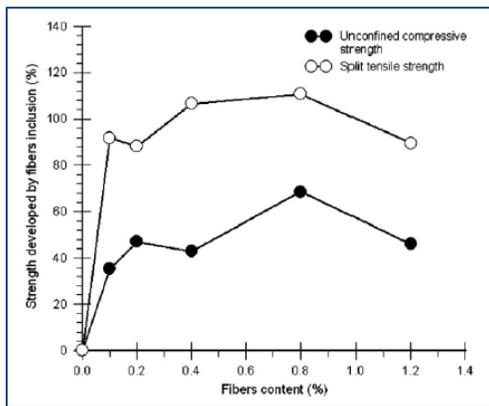


Figura 3. Efecto de la Inclusión de la Fibra en la Resistencia a la Compresión no Confinada y Resistencia a la Fractura del Suelo Estabilizado

Fuente: Muntohar, et al (2003)

- El aumento en el contenido de polipropileno aumenta el área de contacto entre fibras y partículas del suelo, incrementando la fricción entre estas contribuyendo así al aumento de la resistencia del suelo estabilizado.

➤ MEXICO - Querétaro

Las arcillas expansivas al tener un efecto de expansión al contacto con el agua o una fuerte contracción al secarse, las convierte en un suelo inestable para la construcción, ya que este tipo de asentamientos que el suelo experimenta es el causante de agrietamientos y fisuras a las estructuras que se construyen sobre él, por esto López *et al* (2010) realizaron esta investigación, para estudiar el comportamiento del suelo expansivo frente a la adición de un

polímero y así determinar su efectividad en la disminución del cambio volumétrico. El suelo que utilizaron es del estado de Querétaro, México, zona con suelo altamente expansivo, el polímero utilizado es un poliuretano que se usa comúnmente en la industria de la construcción para el sellado de grietas y en el refuerzo de suelos granulares. Su humedad y viscosidad son bajas y su color es ámbar. La mezcla de suelo-polímero es del 5%. (Aguilar, 2015).

El suelo natural presenta un límite líquido promedio de 89,7%. El suelo natural con polímero presenta, reducción del límite líquido en casi 50%. (Tabla 2).

Tabla 2

Propiedades índice en suelo natural y suelo polímero (valores promedio)

Material	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Límite de contracción %	Índice plástico %
Suelo natural	89,7	36	12,5	53,7
Suelo- polímero 4%	49,3	28,2	17,9	21,1
Suelo- polímero 6%	48,8	36	17,7	12,8
Suelo- polímero 8%	44	38,8	20,7	0,2
Suelo- polímero 10%	45,3	37	19,5	8,2

Fuente: López et al (2010)

Como señalan López *et al* (2010), la resistencia del suelo modificado, aunque disminuye, sigue siendo suficiente para construcciones ligeras. La mezcla al alcanzar su deformación máxima en las primeras 24 horas ya no se expande aun cuando se sigue saturando. (Ver Figura 4).

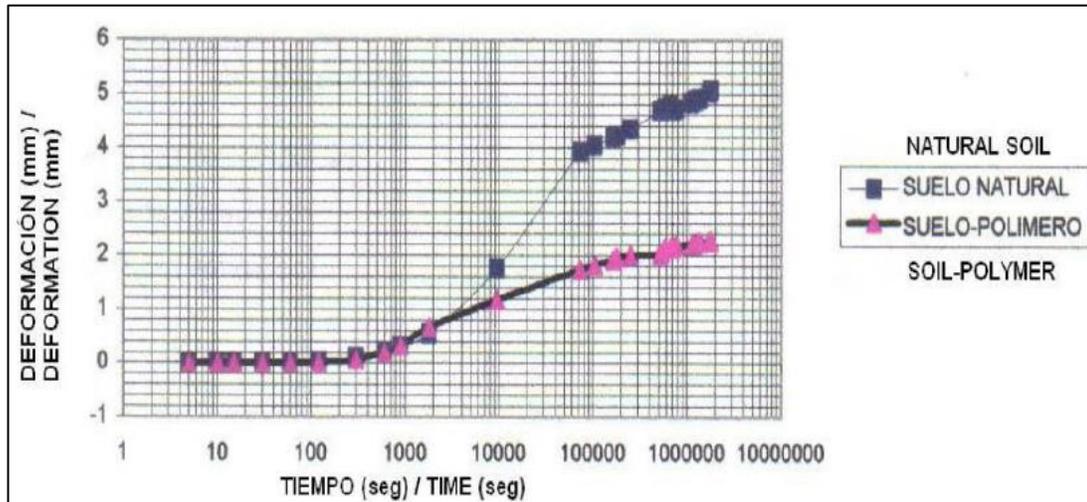


Figura 4. Expansión del Suelo Natural y Suelo – Polímero

Fuente: López et al (2010)

El suelo natural después de adicionar el polímero cambia de CH (suelo arcilloso de alta compresibilidad) a ML (limo de baja compresibilidad), de acuerdo a la clasificación del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), es decir, la mezcla reduce su potencial de expansión de alto a bajo.

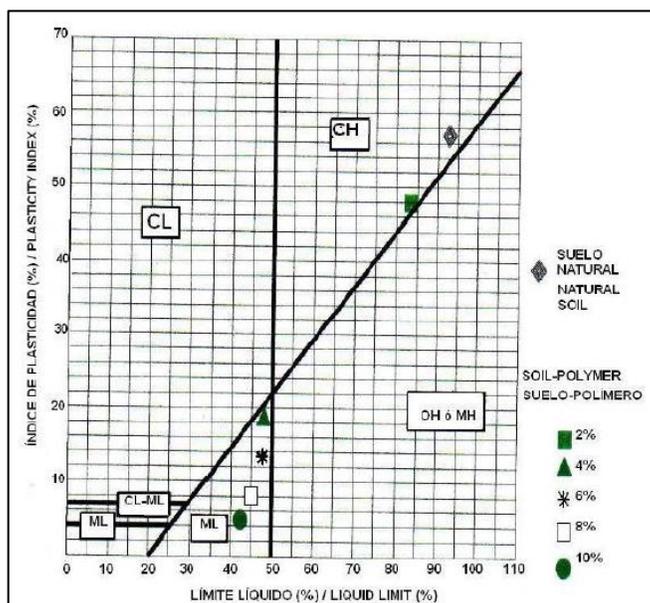


Figura 5. Clasificación del Suelo Natural y Suelo – Polímero

Fuente: López et al (2010)

Uno de los resultados más significativos a los que llegaron López *et al* (2010), es el relacionado con la expansión, los ensayos muestran que la mezcla suelo-polímero tiene una reducción en la expansión de alrededor del 40% respecto a la expansión del suelo natural. De estos también se obtuvo que el coeficiente de permeabilidad se reduce con polímero; lo que impide la entrada de agua, disminuyendo los cambios volumétricos del suelo expansivo. Por otro lado, el suelo con polímero es menos compresible que el natural, reduciendo significativamente posibles asentamientos. (Aguilar, 2015).

✧ *Enfoque Nacional y local*

En los últimos años se ha venido incrementando la construcción de carreteras ya que es un factor importante que permite el desarrollo del país. Sin embargo, se presentan algunos problemas debido a que no todos los suelos de fundación poseen una adecuada resistencia como el caso de suelos arcillosos. Actualmente se vienen desarrollando muchas técnicas para darle una mayor capacidad de soporte de resistencia. Con el pasar de los años se han adquirido diversas experiencias de estabilización de suelos usando residuos agrícolas o industriales, con la finalidad de reusarlos como agentes estabilizadores (Castro, 2017).

La producción agrícola del arroz ha tenido un crecimiento notable en los últimos años, crecimiento visible en las principales extensiones de nuestro territorio que se encuentran en los valles del Norte y ceja de selva. De acuerdo al anuario estadístico de la producción agrícola y ganadería en mayo de 2020, la producción de arroz cáscara registró 639 mil 303 toneladas y fue superior en 47,0% respecto a similar mes del 2019, como resultado del incremento de las cosechas y mejores rendimientos obtenidos. A nivel departamental, se incrementó en La Libertad (194,3%), Lambayeque (86,4%), Amazonas (19,0%) y San Martín (14,8%), los que en conjunto aportaron con el 83,7% al total de la producción

nacional de dicho cereal. Asimismo, aumentó en los departamentos de Áncash (102,0%), Loreto (90,0%), Pasco (69,4%) y Cajamarca (0,6%). No obstante, se redujo en Piura (-90,0%), Junín (-76,5%), Ucayali (-63,0%), Madre de Dios (-39,6%), Cusco (-36,5%), Puno (-36,5%), Arequipa (-29,8%) y Huánuco (-25,7%). Sin embargo, este crecimiento trae consigo el incremento de residuos como la cáscara de arroz, las cuales representan el 20% de la producción de arroz. La disposición final de las cáscaras de arroz es un problema sin solución definitiva. Para reducir el volumen del residuo a depositar, la cáscara de arroz es quemada, intentando darle una utilidad económica, como energético en calderas de secado del propio arroz, combustible para la producción de cemento Portland, para la generación de energía eléctrica, etc. Las diferentes alternativas de quema de cáscara de arroz traen nuevamente otro problema, el cual es la disposición final de la ceniza de cáscara de arroz producida. (INEI, 2020).

Las cenizas de cáscara se vuelven en un problema ambiental, ya que muchas son arrojados a los ríos o llevados a rellenos sanitario para poder almacenarlos demandando un mayor gasto de un producto que no genera valor en la producción del arroz. (Castro, 2017).

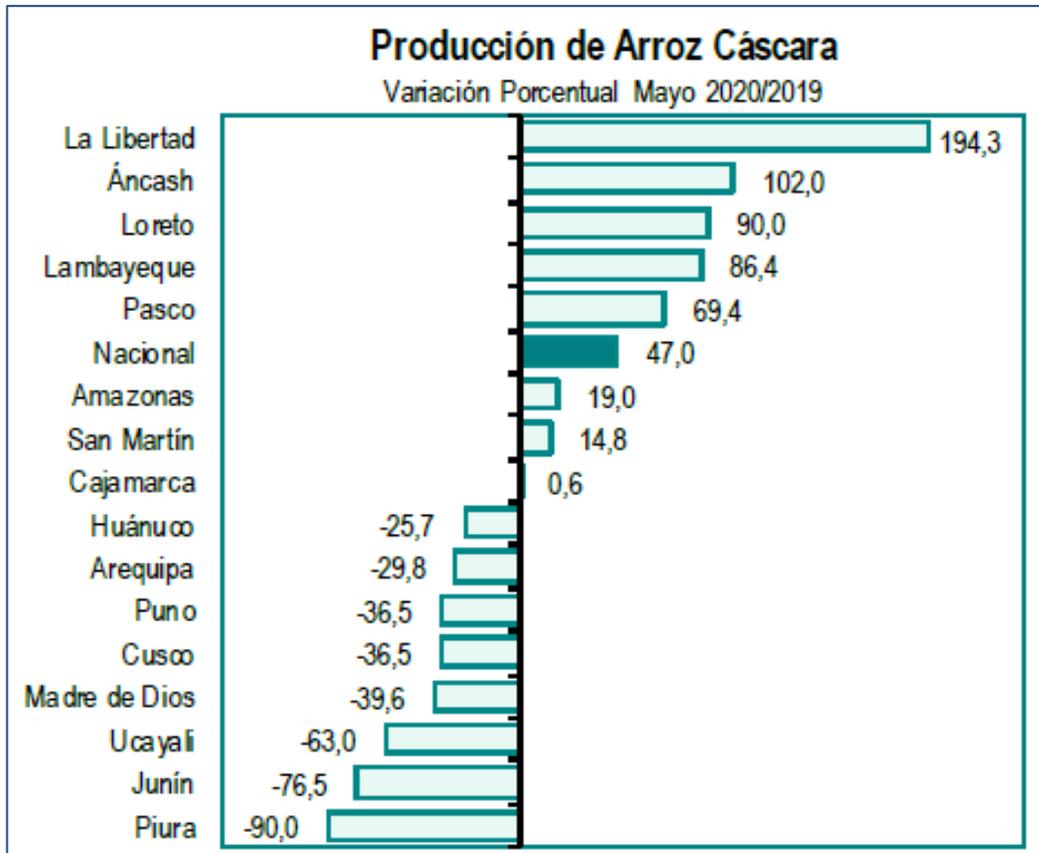


Figura 6. Producción de Arroz Cáscara – Mayo 2020

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego

En el Perú existe una variedad de suelos, entre ellos, arcillosos que en su estado natural no son adecuados para su uso en la construcción. Muchas veces su granulometría, plasticidad o capacidad portante no cumplen las condiciones óptimas de uso por lo que el material es desechado al no presentar las características adecuadas que lo hacen utilizable como material firme para la construcción. A través de los años la presencia de suelos arcillosos ha sido una problemática relevante para la construcción, su incidencia es negativa en las obras civiles pues como nos indica Fonseca (2002) “sus efectos están asociados principalmente a sus características resistentes, cambios de estado y cambios volumétricos que sufre la arcilla cuando está en contacto con el agua” (p. 68). (Llamoga, 2017).

Lo que contribuye a que estos los suelos sean inestables y causen problemas de asentamientos afectando así a las estructuras de las obras tal como lo podemos apreciar en la figura 7.



Figura 7. Asentamiento de la Vía a Causa de Arcillas Expansivas

Fuente: Llamoga, 2017

Los problemas de hundimientos y de inestabilidad que se presentan en las obras, son debidos principalmente al cambio morfológico que sufre la arcilla cuando está en contacto con el agua, pues como bien menciona Crespo (2004) “los suelos arcillosos tienen gran capacidad de mutar sus prestaciones en función de la cantidad de agua que llevan” (p.26). Teniendo en cuenta estas características analizamos entonces que cuando las arcillas están en condiciones saturadas se presentan de formas totalmente plásticas maleables y hasta deformables, no presentando rigidez ni retorno elástico; lo que contribuye a que en época lluviosa los caminos se tornen resbaladizos e intransitables, no pudiéndose acceder con los vehículos hasta los sectores más alejados de la ciudad impidiendo cualquier tipo de comunicación tal como lo observamos en la figura 7. (Llamoga, 2017).



Figura 8. Mal Estado de la Carretera a Combayo

Fuente: RPP, 2015

Por otro lado, en condiciones secas las arcillas tienen elevada rigidez presentando deformaciones elásticas cuando se aplican cargas muy elevadas; y si a estos problemas le sumamos el hecho de que en nuestro país los caminos son el resultado de hacer cortes al suelo, sin darle ningún tipo de mejoramiento, ello contribuye a que el suelo no tratado, con la presencia del agua se licúe perdiendo su capacidad portante y mostrando grandes deformaciones sobre la superficie tal como se aprecia en la figura 8. (Llamoga, 2017).



Figura 9. Falla del Pavimento de la Carretera de San Ignacio

Fuente: RPP, 2017

Para revertir esta problemática se usan variadas técnicas para mejorar el suelo; ya sea utilizando residuos industriales como el látex reciclado molido y agrícolas como las cenizas de cáscara de arroz, que dotan a éstos suelos de un mejor comportamiento en el servicio. La cascarilla de arroz se está imponiendo como material de construcción de pavimentos, ya que “la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), ha demostrado poseer grandes propiedades puzolánicas; pues su gran comportamiento mecánico como estabilizante influye en la capacidad de los suelos para resistir las cargas transmitidas por los vehículos” (Morales, 2015, p.53).

Las carreteras que se emplazan en suelo arcilloso de baja resistencia, no pueden soportar las cargas del tráfico vehicular presentando problemas como asentamientos que van generando un deterioro en la vía reduciendo su vida útil. El estado de muchas carreteras en las regiones presentan serios problemas como asentamientos lo que hace intransitable las carreteras, afectando el confort de las personas que se trasladan en sus vehículo, inclusive el estado en el cual se encuentran las carreteras son a veces la causa de accidentes vehiculares. (Castro, 2017).

Tabla 3*Parque Automotor Nacional estimado según departamento al 2018*

Departamento	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Total												
Amazonas	2168	2218	2292	2390	2407	2400	2351	2314	2275	2273	2227	2182
Ancash	20354	21001	21309	22086	23322	25418	27542	29573	31213	33542	34923	36190
Apurímac	3916	3934	3973	3969	3966	4039	4083	4139	4192	4216	4177	4120
Arequipa	84829	91674	98270	106521	118985	134533	149892	164302	176315	187929	200560	211735
Ayacucho	4153	5404	5572	5716	5784	5941	5968	6021	6022	6041	6015	5918
Cajamarca	11255	12383	13563	15107	17320	19673	21461	22664	23740	24943	26224	27674
Cusco	37592	39688	42175	45090	48491	53675	59459	64820	69213	73997	79874	84942
Huancavelica	1103	1216	1291	1319	1317	1323	1300	1315	1286	1286	1259	1235
Huánuco	10892	11255	11382	11864	12576	13476	14261	14911	15648	16382	16915	17367
Ica	23170	25498	25691	26135	26419	26551	26398	26439	26715	27092	27423	27558
Junín	46091	47769	49404	51094	53118	56237	59019	61933	64576	67049	69760	72316
La libertad	153251	155411	156646	158672	162026	167325	172968	178433	183931	190073	196040	202558
Lambayeque	39930	41920	43689	45881	49440	53902	58142	61896	65160	68261	71328	74092
Lima y Callao	357368	1036850	1106444	1195353	1287454	1395576	1498037	1590755	1674145	1752919	1837347	1908672
Loreto	5154	5132	5089	5086	5211	5313	5443	5533	5501	5501	5489	5477
Madre de Dios	870	913	941	986	1027	1062	1123	1136	1161	1223	1308	1383
Moquegua	11418	12202	12692	13348	14003	14608	14944	14979	14931	14931	14887	14810
Pasco	6075	6807	7187	7351	7292	4238	7108	6956	6804	6804	6660	6545
Piura	32314	33497	34650	36367	39099	42404	46029	46576	52390	55060	57740	60006
Puno	28062	29889	31645	34169	37074	40543	43477	45056	46200	47696	49387	54041
San Martín	9969	9917	9977	10151	10418	10926	11271	11648	12047	12358	12669	13052
Tacna	33944	35911	38457	40465	42318	44430	45960	47180	48201	49382	50858	52161
Tumbes	3042	3040	3054	3086	3119	3257	3320	3372	3415	3451	3423	3375
Ucayali	7383	7441	7441	7481	7679	7987	8319	8745	9052	9310	9608	9918

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .

Por otro lado, en la actualidad es difícil prescindir de los plásticos, no sólo por su utilidad sino también por la importancia económica que tienen. Esto se refleja en los índices de crecimiento de este sector que desde principios del siglo pasado supera a casi todas las actividades industriales. En Perú, casi 950 mil toneladas de plástico se consumen al año. De ellas, el 75 % se convierte en residuos municipales urbanos y solo el 25 % corresponde a productos con una vida útil mayor a un año. Solo el 56 % de los residuos plásticos que se generan en Perú terminan en un relleno sanitario, mientras que el 43 % llega a botaderos y termina en ríos y en el océano. Solo el 0.3 % es reinsertado en la cadena productiva a través del reciclaje. “Esta situación explica por qué más del 50 % de la basura marina recogida en campañas de limpieza de playas en los últimos 20 años está conformada por plásticos”. (Ministerio del Ambiente).

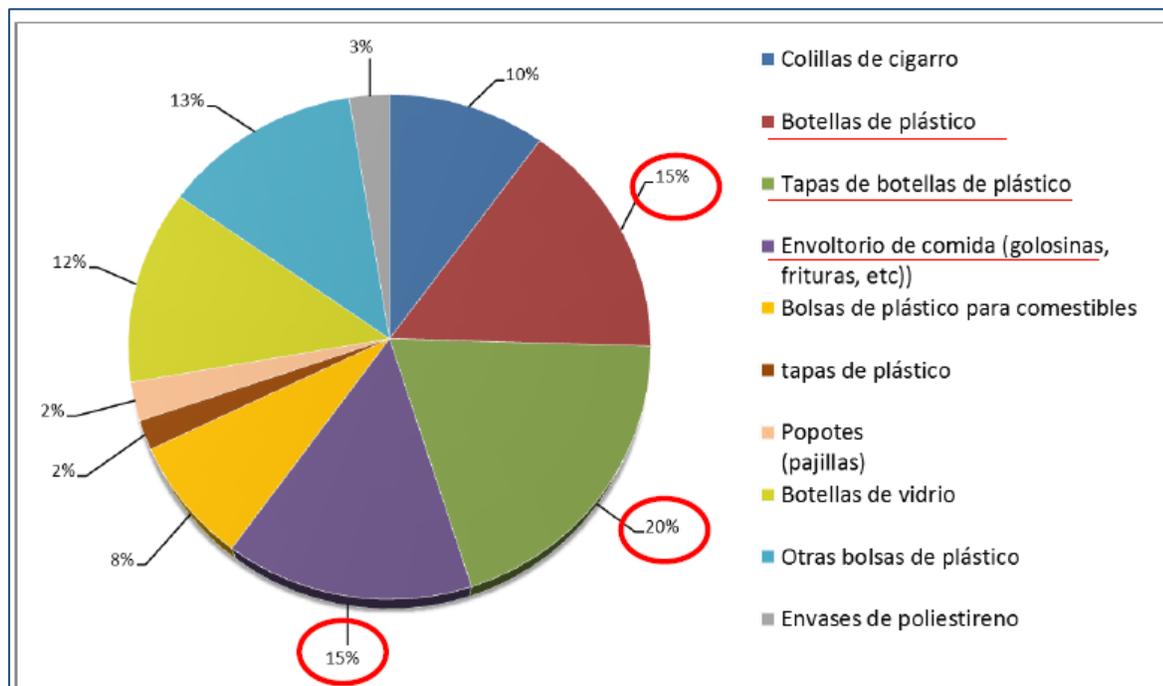


Figura 10. Top 10 Items Recolectados en Perú

Fuente: Ocean Conservancy

Que el porcentaje de reciclaje sea tan pequeño es un grave problema nacional pues el uso excesivo y acumulación de plásticos es una de las mayores fuentes de contaminación ambiental, deterioro de ecosistemas y polución del mar.

La producción de un nuevo producto a partir de materiales reciclados genera 20% menos emisiones que producirlo de materiales nuevos. Además, el reciclaje de plástico se muestra como una excelente alternativa que permite reducir la extracción de nuevas materias primas y su posterior transporte. De esta manera se consigue un ahorro importante de consumo energético y emisión de gases de efecto invernadero. (Carbonel, 2018).

Sumado a los beneficios ambientales, el reciclaje también aporta, desde lo económico, en la sustitución de la importación de plástico, mejorando así la balanza comercial del país, y, desde lo social, generando un importante impacto a través de la formalización y estabilidad laboral de miles de recicladores y sus familias. (Carbonel, 2018).

Es por esto que, debido al actual contexto nacional, se hace imperativo la necesidad de investigar nuevos métodos de reciclaje y reutilización a gran escala de plásticos, a través de una de sus diversas formas de reciclaje como lo es su conversión a látex reciclado molido; el cual tienen un importante valor de uso como insumo para el reforzamiento de suelos en obras viales. En nuestro país, enfocando nuestra atención en la ciudad de Lima Norte donde se encuentran también suelos arcillosos en diversas zonas, suelos que como ya hemos visto dada su composición química y mineralógica presentan problemas geotécnicos para su empleo en construcción, la estabilización de suelos con ceniza de cáscara de arroz y látex molido reciclado se presenta como una alternativa más (con beneficios medioambientales), ciertamente poco difundida, pues generalmente se opta por otras opciones de mejoramiento de los suelos de baja calidad que conforman las subrasantes y bases, tales como el reemplazo

del suelo o el uso de productos geo sintéticos, por esa razón proponemos en esta investigación estudiar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad optima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel subrasante Lima 2020, siguiendo estándares normativos, de manera que puedan dar mayor eficiencia a dicha estabilización, tanto técnica como económicamente. Como antecedentes internacionales es importante tener en cuenta que:

Según Caamaño (2016), en la tesis “ MEJORAMIENTO DE UN SUELO BLANDO DE SUBRASANTE MEDIANTE LA ADICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ Y SU EFECTO EN EL MÓDULO RESILIENTE ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, en la Universidad Militar de Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, y cuyo objetivo principal es Mejorar las propiedades físicas y Geo mecánicas de un suelo blando de subrasante con ceniza de cascarilla de arroz, traducido en la optimización de su comportamiento mecánico, y cuyas conclusiones fueron que la ceniza de cascarilla de arroz contribuye a la reducción de la plasticidad, reflejado en la mejora de consistencia y comportamiento físico del material de subrasante. Por otro lado, no se ve una variación en el pH del suelo, lo cual demuestra que la ceniza de cascarilla de arroz no genera un aporte en esta propiedad del suelo. El residuo agroindustrial, genera un gran aporte en la resistencia inconfiada del material, aumentando esta variable en más de un 100% para el 4% de adición de ceniza de cascarilla de arroz en comparación con el obtenido en condiciones iniciales. Esto indica que la CCA provoca un efecto cementante en el suelo de subrasante debido sus propiedades puzolánicas, lo que induce a un incremento de la resistencia del material. El efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en el módulo resiliente del material, refleja que este

parámetro incrementa con la adición del residuo agroindustrial hasta un 4% para ciertas condiciones que reflejan el estado de esfuerzo de la subrasante bajo la estructura de pavimento (36,8kPa de esfuerzo vertical y 13,8kPa de confinamiento lateral); por arriba de 4% de CCA, el módulo resiliente del material decrece. De los resultados obtenidos, se determina que el porcentaje de adición óptimo de CCA para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante analizado, corresponde al 4% valor en el cual se obtuvo el mayor aporte a las propiedades del suelo, y finalmente, el uso de la CCA para la estabilización y mejoramiento de suelos de blandos de subrasante puede resultar una alternativa económica, sustentable y de impacto positivo para el medio ambiente, de la cual se puede obtener resultados que muestran un beneficio en las condiciones físicas y geomecánicas del suelo.

De acuerdo a Almanza (2015), en la tesis “ ESTUDIO DEL USO DE POLIETILENO TEREFALATO COMO MATERIAL DE REFUERZO DE ESTRUCTURAS TÉRREAS CONFORMADAS POR SUELOS COHESIVOS ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título de Maestro en Ingeniería, en la Universidad Nacional Autónoma de México , Facultad de Ingeniería Civil, y cuyo objetivo principal es Investigar el uso de materiales alternativos para el refuerzo y mejoramiento de suelos arcillosos y limosos, y cuyas conclusiones fueron que el reforzamiento de suelos con fibras de PET recicladas presenta una mejora bastante considerable ya que se tiene una mejor resistencia y el suelo presenta una mayor capacidad de deformación. Uno de los posibles usos de las fibras de PET en estructuras terreas son bordos para lagos, ríos, presas de tierra y muros de contención, es común que este tipo de estructuras presentan fallas de agrietamiento. Con el uso de fibras de PET podría reducirse este problema ya que le daría mayor ductilidad a la estructura. En las

pruebas ensayadas solo se presenta el efecto de abarrilamiento. En los círculos de Mohr se observa que existe una menor cohesión, esto se debe a que las fibras de PET no permiten el contacto de las partículas de suelo entre si. Aun así, las probetas tienen mucha rigidez.

Por su lado Aparna Roy (2014), en la tesis “ SOIL STABILIZATION USING RICE HUSK ASH AND CEMENT ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título de Ingeniería Civil, en la Universidad de Burdwan , Departamento de Ingeniería Civil , y cuyo objetivo principal es aumentar la resistencia o estabilidad del suelo y reducir el costo de construcción haciendo el mejor uso de los materiales disponibles localmente, y cuyas conclusiones fueron que el suelo blando se identifica como arcilla de alta plasticidad (CH) según IS Soil Sistema de clasificación. Tiene un valor CBR muy bajo (1,46) y no confinado esfuerzo de compresión (70 KN / m²). Se requiere estabilizar el suelo antes haciendo cualquier obra de construcción. El tratamiento con RHA y un pequeño porcentaje de cemento muestra una disminución de MDD y aumento de OMC con aumento del contenido de RHA. También hay una mejora en el CBR no empapado (106% al 10% de RHA contenido) en comparación con el CBR del suelo natural. Se obtiene una tendencia similar para UCS. El valor UCS está en su punto máximo al 10% de RHA (90,6% mejoró). Para una máxima mejora en la resistencia, estabilización del suelo con 10% de RHA .Se recomienda un contenido con un 6% de cemento como cantidad óptima para propósitos.

Por su parte Rosales (2014), en la tesis “ MEJORAMIENTO DE SUELOS COHESIVOS MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE FIBRAS ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título de Ingeniería Civil, en la Universidad Nacional Autónoma de México , Departamento de Ingeniería Civil , y cuyo objetivo principal es utilizar fibras de polipropileno para el mejoramiento de suelos arcillosos expansivos. En su

metodología se realizó la caracterización geotécnica del suelo arcilloso expansivo obtenido de una zona de riesgo en México, para luego encontrar el mezclado óptimo a diferentes porcentajes de adición entre el suelo y las fibras de polipropileno de 4.75, 9.50 y 19 mm. A continuación, se hicieron los ensayos de resistencia y ensayos de cambio volumétrico, para finalmente, realizarse una comparación entre los suelos con y sin refuerzo. Se obtuvo como resultado que la dosificación de la fibra desempeñó un papel importante en la resistencia a la compresión no confinada del composite, obteniéndose un mejor desempeño en general con mayores dosificaciones de fibra y que a pesar de que la longitud de la fibra no es una variable estadísticamente significativa en la obtención de mejores resultados, si lo es en el proceso de mezclado, teniéndose un mejor mezclado al ir disminuyendo la longitud de la fibra. Además, la inclusión de las fibras generó un comportamiento más dúctil ante pruebas de tensión en comparación al suelo sin refuerzo, el cual presentó una falla frágil. Se concluyó que la inclusión de fibras en el suelo presentó mejoras en varios parámetros de resistencia mecánica, por lo cual se consideró al fibro reforzamiento como una técnica competente. El aporte para la presente investigación es el análisis de resultados, pues verifica que las adiciones de fibras sintéticas a base de polímeros mejoran las propiedades de los suelos de bajas prestaciones ingenieriles, teniendo como parámetros de control: el tamaño de la fibra a utilizar (20 mm) y la cantidad de adición (no mayor a 2%, según recomendación de la tesis señalada).

De acuerdo a Fresneda, C., Cano, K., García, Y., Echeverry, O. & Valencia, Y. (2014), en el artículo científico “EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO MEDIANTE EL USO DE FIBRAS ARTIFICIALES” realizado en Colombia, tuvo como objetivo utilizar las fibras de polipropileno como técnica de reforzamiento para un suelo

superficial arcilloso. En su metodología se realizaron apiques de 80 cm de profundidad y se recolectaron muestras alteradas en bolsas y muestras inalteradas en tubo shelby. Se realizaron ensayos de caracterización física y mecánica del suelo en estado natural; así como ensayos que permitieran determinar el aporte de las fibras en el comportamiento del suelo ante diferentes eventos de distribución de esfuerzos. Para el suelo reforzado con fibras se analizó el comportamiento ante la aplicación de esfuerzos axiales en condición confinada e inconfineda mediante el índice de CBR y el ensayo de compresión simple respectivamente. Los resultados mostraron una mayor capacidad de deformación al contener las fibras sintéticas, en estas condiciones el suelo alcanzó aproximadamente un aumento del 45% con respecto al suelo sin reforzar. Los resultados obtenidos en los ensayos para la determinación del Índice de CBR mostraron que las fibras no aportaron resistencias adicionales al ser incorporadas al suelo, situación que se atribuye a la poca adherencia entre las fibras laminares de textura lisa y el suelo. Se concluyó que la adición de fibras mejora la capacidad de deformación del suelo y que la implementación de fibras de forma ondulada o que tengan una textura corrugada pueden favorecer la adherencia del material con el suelo, aumentando así la resistencia a la tracción del material. El aporte para la presente investigación es que se verifica la importancia de la adherencia entre el suelo y las fibras para poder generar un aumento significativo en la resistencia al corte. Por lo cual, se tiene que utilizar un sistema de mezclado eficiente y fibras de sección circular homogéneas, las cuales se distribuirán proporcionalmente en el suelo, mejorando sus propiedades mecánicas.

En base a los antecedentes nacionales tenemos que:

Por su parte Castro (2017) , en la tesis “ ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO

DE SUBRASANTE ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Ingeniería, y cuyo principal objetivo es determinar si la ceniza de cáscara de arroz puede ser usada como material estabilizante de los suelos arcillosos empleándolos a nivel de subrasante de un pavimento, y cuyas conclusiones a las que arribaron fueron que la Difracción de Rayos X demuestra que la ceniza de cáscara de arroz presenta aproximadamente 95.1% de sílice cristalina, la cristobalita, por lo que se deduce que el material de ceniza de cáscara de arroz ha sido combustionado a altas temperaturas. El alto contenido de sílice en las cenizas de cáscara de arroz es potencialmente un material puzolánico. Sin embargo el suelo posee 44.42 % de sílice amorfa, el cuarzo. Las características de compactación mostraron una disminución de la densidad seca máxima y un aumento del contenido óptimo de humedad con el aumento del porcentaje de contenido de cenizas de cáscara de arroz debido a la influencia de la ceniza de cáscara de arroz. Los resultados de materia orgánica demuestran que los materiales poseen menos del 3% por lo que son factibles para usarlos en el proceso de estabilización. Las cenizas de cáscara de arroz inhiben el carácter expansivo del suelo a medida que se incrementa el contenido de ceniza de cáscara de arroz llegando hasta valores de 0% de expansión. El valor CBR aumenta para las dos combinaciones planteadas, no obstante las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal nos permite obtener valores más altos de capacidad de soporte de resistencia, incrementando el valor de CBR al 100% de la máxima densidad seca del Proctor modificado de 5% hasta 38.5%, es decir, aumenta 6 veces. Esto aumento se logró con un contenido del 20% de ceniza de cáscara de arroz. La resistencia a la compresión no confinada aumenta para las dos combinaciones planteadas. Para un contenido del 10% cuando el suelo arcilloso es mezclado con ceniza de

cáscara de arroz y cal aumenta de 6.91 kg/cm² hasta 9.96 kg/cm² y para el caso de las combinaciones del suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz permite un aumento de 6.91 kg/cm² hasta 8.77 kg/cm². Los resultados obtenidos durante esta investigación mostraron que el suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz trae cambios favorables que hacen posible usar el material a nivel de subrasante. Sin embargo, los cambios más significativos se producen cuando se combina el suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz y cal. Debido a que las combinaciones de suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz son limitadas para formar productos cementosos por la presencia de sílice reactiva con baja cantidad de contenido de calcio presente en el suelo. Por lo tanto, la ceniza de cáscara de arroz tiene mayores ventajas cuando son agentes estabilizadores secundarios. Este método de estabilización del suelo puede promover toda su ventaja en el área donde el suelo carece de sílice activa en su componente y sólo el tratamiento con cal no es suficiente.

De acuerdo a Gil, E. (2018), en la tesis “INFLUENCIA DE LA ADICION DE FIBRAS PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA, COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ENTRE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO A LA ESTABILIDAD TALUDES”, trabajo de investigación presentado para la obtención del Título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Trujillo, y cuyo principal objetivo es determinar la influencia de la adición de fibras PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilidad de taludes , y cuyas conclusiones a las que arribaron fueron que se determinó que la adición de fibras de PET reciclado hasta un porcentaje de 0.6% influye positivamente en el incremento progresivo de los valores de resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos; lo cual, como aplicación teórica, puede aumentar en hasta 24.64% la estabilidad

de terraplenes viales. Se logró obtener las fibras de PET reciclado de 0.5 mm de diámetro y 20 mm de longitud de la empresa ILKO PERU S.A.C. (VIRUTEX ILKO). Además, se logró extraer 120 kg de suelos cohesivos del talud lateral derecho ubicado a la altura del kilómetro 172 de la carretera Trujillo – Huamachuco, Sánchez Carrión, La Libertad. Se logró caracterizar geotécnicamente el suelo en estado natural, resultando ser una arcilla de alta plasticidad (CH). El material es de naturaleza cohesiva, con 90.83% de finos, de los cuales un 40.17% corresponden a limos y 50.66% son arcillas, por lo que en su curva de compactación se obtiene un alto valor de máxima densidad seca (1.641 g/cm³), es decir, que las partículas de suelo, con la óptima cantidad de agua, logran una distribución eficiente durante la compactación, generando una buena adherencia interna y baja permeabilidad. Se logró conformar probetas cilíndricas de 7 cm de diámetro y 14 cm de altura bajo los parámetros de compactación del suelo y a partir de mezclas de suelo arcilloso con fibras de PET reciclado variando el porcentaje de adición al 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2% y 1.5% del peso seco del suelo. La máxima densidad seca del suelo varía mínimamente conforme aumenta la dosificación de la fibra, sin embargo, debe aclararse que entre mayor es la dosificación de la fibra, el proceso de mezclado y la obtención de una mezcla homogénea se vuelve más difícil. Se logró determinar la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna del suelo arcilloso con y sin adición de fibras de PET reciclado, realizando ensayos de compresión triaxial estática no consolidada - no drenada UU, con confinamientos de 30 kPa, 60 kPa y 120 kPa. La resistencia máxima del suelo arcilloso experimenta un incremento gradual y proporcional al porcentaje de adición de fibras de PET reciclado. Los intervalos de mejora van desde 27.84% hasta un 49.45%, siendo el porcentaje de adición de 0.6% el que mejor desempeño global ha presentado para los tres confinamientos utilizados en los ensayos de compresión

triaxial estática no consolidada no drenada UU. La cohesión del suelo arcilloso presenta un aumento gradual hasta un máximo al 0.6% de adición de fibras de PET, alcanzando una mejora del 22.28% en comparación con el suelo arcilloso natural. A partir de este pico, la cohesión disminuye a valores menores al de la cohesión del suelo natural. El ángulo de fricción interna del suelo arcilloso presenta un aumento continuo y ascendente proporcional al porcentaje de adición de fibras de PET. Los intervalos de mejora van desde 45.35% hasta 72.73% con respecto al suelo natural. El mejor desempeño a nivel de cohesión y ángulo de fricción se obtiene con un 0.6% de adición de fibras de PET, representando un máximo aumento de cohesión y un 46.93% de aumento en el ángulo de fricción interna. Mientras que, con adiciones de 0.9%, 1.2% y 1.5%, el aumento del ángulo de fricción interna se vuelve inversamente proporcional a los valores resultantes de cohesión. En base a la evaluación de la estabilidad de taludes de terraplenes viales teóricos, mediante el Método de Bishop, se verificó que todos los porcentajes de adición de fibras de PET representan un aumento del Factor de Seguridad respecto al del suelo arcilloso natural, con intervalos de mejora que van desde 3.27% hasta 24.64%. Se determinó que el 0.6% es el porcentaje óptimo de fibras de PET reciclado que se debe adicionar a suelos arcillosos para mejorar la estabilidad de taludes de terraplenes viales conformados por dicho tipo de suelo. A partir del análisis experimental y teórico, se verifica que las fibras de PET reciclado tienen el potencial suficiente para lograr mejorar la estabilidad de taludes de terraplenes viales, presentando así una nueva alternativa ecológica para el rehúso a gran escala de materiales de desecho en obras geotécnicas, a partir del reciclaje del PET para su reutilización en forma de fibras, disminuyendo así el impacto ambiental asociado a su consumo excesivo y acumulación.

Según Alvarado (2018) , en la tesis “ INFLUENCIA DE LA ADICION DE CENIZA DE CASCARA DE ARROZ ACTIVADA ALCALINAMENTE SOBRE LA ESTABILIZACION ECOLOGICA DE LA MEZCLA SUELO – SEDIMENTO EN LA PROVINCIA DE VIRÚ ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Trujillo, y cuyo principal objetivo es determinar la influencia de la adición de ceniza de cáscara de arroz activada alcalinamente sobre la estabilización ecológica de la mezcla suelo-sedimento en la provincia de Virú, y cuyas conclusiones a las que arribaron fueron que de los ensayos físicos se determinó que el suelo natural es una arena pobremente graduada, mientras que el sedimento es un limo inorgánico con índice plástico igual a 12. Además, se estableció que la ceniza de cáscara de arroz contiene un 94% de sílice y el residuo de conchas de abanico presentó un elevado contenido de óxido de calcio al ser calcinado. Se determinó que la mejor proporción suelo-sedimento fue 65%-35% en peso respectivamente, evidenciándose que la mezcla adquirió una adecuada gradación que se vio reflejada en un considerable aumento en el índice de CBR (31) respecto al suelo natural (5.1), un IP de 5, una cohesión no drenada de 300 kPa y un ángulo de fricción de 59°. Se determinó que adicionando, 8% ceniza de cáscara de arroz activada alcalinamente con 2% de residuo de cochas de abanico, a la mezcla suelo-sedimento 65%-35% presenta un máximo índice CBR (145) para el diseño experimental evaluado, este significativo incremento en la capacidad de soporte demuestra que se produjeron reacciones puzolánicas entre la sílice amorfa de la CCA y los iones calcio del RCCA, además de acuerdo al ensayo Triaxial se obtuvo un ángulo de fricción interna de 68° y una cohesión no drenada de 385 kPa.

Aplicando la ecuación del método NAASRA se logró estimar el espesor de la capa de rodadura de 10 cm, un mejoramiento de subrasante con la mejor mezcla suelo sedimento de 25 cm para vías con bajos volumen de tránsito como son los accesos a las áreas de cultivo habilitadas por el proyecto Chavimochic en la provincia de Virú.

Por su lado Apolínarez (2018) , en la tesis “ ESTABILIZACION DE LA SUBRASANTE CON INCORPORACION DE CENIZA VEGETAL , JAUJA ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil, en la Universidad Peruana Los Andes , y cuyo principal objetivo es determinar los efectos en la estabilización de la sub-rasante al incorporar ceniza vegetal para la Av. Huarancayo, Jauja, y cuyas conclusiones a las que arribaron fueron que de las características físicas, se concluye que la muestra 01, es un tipo de suelo de arena limosa con grava, que contiene un alto porcentaje de arena de 52.28%, fino 31.14% y grava 16.58%; en cuanto a los límites de consistencia presenta un límite líquido de 37%, límite plástico de 25% y un índice de plasticidad de 12%. En cuanto a la muestra de la calicata 02 concluimos que es un tipo de suelo arena limosa, presenta 82.49% de arena 17.51% de finos, y 0.00% de grava. De ambas muestras, se concluye que el material tiene un alto porcentaje de arena, esto hace que el material sea inestable para ser utilizado en la sub-rasante. De las características químicas, se concluye que la ceniza vegetal contiene elementos químicos que favorece a la estabilización. Los elementos químicos más influyentes en la estabilización son: El óxido de calcio 29.50%, el óxido de silicio 26.30%, óxido de aluminio 17.00%, óxido de potasio 4.90%, y el óxido de magnesio 4.60 %. Estos elementos, tienen propiedades cementantes, permitiendo obtener altos porcentajes de CBR, además de cumplir con la norma del manual de carreteras de bajo volumen de tránsito. Se logró obtener la dosificación correcta de ceniza vegetal, para

estabilizar la sub-rasante de la vía Av. Huarancayo, cuadra de la 6 a la 11. Siendo para la muestra 01, que es un tipo de suelo arena limosa con grava, se requiere un 35% de ceniza vegetal, para obtener 24.7% de CBR. Y para la muestra 02, que es un tipo de suelo arena limosa, se requiere un 35% de ceniza vegetal, para obtener 23.7% de CBR. En ambos casos, la capacidad de soporte CBR que se obtuvieron es de 24.7% y 23.7%, porcentajes que cumplen con la norma del manual de carreteras de bajo volumen de tránsito, clasificando a la sub-rasante de la vía en estudio, como muy buena. Los elementos químicos presentes en la ceniza vegetal, que producen efectos en la estabilización de suelos son: El óxido de calcio 29.50%, óxido de silicio 26.30%, óxido de aluminio 17.00%, óxido de potasio 4.90%, y el óxido de magnesio 4.50%. Estos elementos, tienen propiedades cementantes y favorecen considerablemente a la estabilización de suelos, permitiendo obtener altos porcentajes de CBR. Además el presente trabajo de investigación concluye que al adicionar 35% de ceniza vegetal, se logra estabilizar el material de sub rasante de la vía en estudio; siendo la muestra 01 un tipo de suelo arena limosa con grava y la muestra 02 un tipo de suelo arena limosa. En ambos casos se logró obtener un CBR mayor a 20% haciendo que el material sea muy bueno, además de cumplir con los parámetros de la norma del manual de carreteras de bajo volumen de tránsito.

Según Álvarez (2017) , en la tesis “ INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE PARTICULAS DE CAUCHO RECICLADO COMO AGREGADOS EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ” , trabajo de investigación presentado para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil, en la Universidad Privada Antenor Orrego , y cuyo principal objetivo es determinar la influencia de la incorporación del triturado de los residuos de llantas, sobre las propiedades físicas de mezclas asfálticas, mediante la metodología

Marshall, para establecer su uso en el diseño y la construcción de pavimentos flexibles, y cuyas conclusiones a las que arribaron fueron que se estableció un procedimiento de diseño con el uso de un 5% de asfalto 20% de agregado pasa 3/4", 35% triturado pasa 1/2", 20% de arena lavada zarandeada, otro 20% en arena triturada y un 1.5 % de GCR, al cumplir con los valores de estabilidad y flujo establecidos por la norma MTC. Se identificó que solo las muestras (briquetas) con el 1.5% y 2.0% de caucho reciclado cumplieron con los valores superiores de 900kg de estabilidad. El valor de la Resistencia a la compresión de las muestras (briquetas) disminuye con respecto al incrementarse el porcentaje de GCR. Solo los flujos de las muestras con % de GCR de 1.5% y de 2% fueron aceptadas al cumplir con los parámetros del MTC. Se observó que el valor de las densidades bulk obtenidas de las muestras (briquetas), fueron disminuyendo a medida que se incrementaba los porcentajes de gramo de caucho reciclado. El porcentaje de vacíos de las muestras (briquetas) se incrementado a medida que fue aumentada el % de GCR.

A continuación, presentamos también los siguientes conceptos y definiciones básicas, relevantes para esta investigación:

- **Subrasante**

De acuerdo al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014) la subrasante se define como la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se colocará la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, donde se asentará el pavimento, y debe estar conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del

tránsito. La capacidad de soporte en condiciones de servicio de la subrasante, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima.

La capacidad de soporte de la subrasante se evalúa a través del ensayo CBR, sin embargo, para el diseño del pavimento, utiliza como parámetros de entrada el Módulo Resiliente. En el Perú se calcula el Módulo Resiliente a través de correlaciones con el CBR debido a la escasez de equipos especiales que permitan el cálculo de Módulo Resiliente, solo el laboratorio de la Oficina de Apoyo Tecnológico (OAT) del MTC cuenta con el equipo especial aunque no se hayan realizado muchas investigaciones. (Gutiérrez Lázares, 2007).

En concordancia con el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014) menciona que puede obtenerse el valor de CBR insitu con el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) valores de CBR in situ, resultando muy útil en suelos de mala calidad, donde se requiere de mayores evaluaciones del suelo y sus estratos. No obstante, el ensayo PDC tiene sus limitaciones de medición como es el caso en zonas donde se presenten suelos con bolonería.

De acuerdo al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014) indica que los suelos que se encuentren ubicados debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad menor de 0.60 m deberán ser suelos adecuado y estables con $CBR > 6$. Cuando el suelo presente $CBR < 6$, se tendrá que realizar una estabilización planteando alternativas de acuerdo a la naturaleza del suelo. Sin embargo, un problema que comúnmente se presenta para determinar el valor de soporte es la profundidad adecuada. Por ello es

conveniente evaluar la transmisión de esfuerzos en una masa de suelo, basado en teoría de Boussinesq y la elaboración del bulbo de presión para la determinación de las Isóbaras.

En la tabla 4 se identifican seis categorías de subrasante de acuerdo al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014):

Tabla 4

Categoría de subrasante

Categoría de subrasante	CBR
Subrasante inadecuada	$CBR < 3$
Subrasante pobre	$3 \leq CBR < 6$
Subrasante regular	$6 \leq CBR < 10$
Subrasante buena	$10 \leq CBR < 20$
Subrasante muy buena	$20 \leq CBR < 30$
Subrasante excelente	$30 \leq CBR$

Fuente: Manual de Suelos, Geotecnia y Pavimentos, 2014

✓ **Estabilización de suelos**

• Concepto de estabilización

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. La estabilización permite mejorar propiedades del suelos tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, la capacidad de soporte de resistencia, entre otros, buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil.

Los criterios que se deben tener para realizar una estabilización es:

□ Suelos a nivel de subrasante calificada como pobre o inadecuada de acuerdo al Manual Carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (aquellos suelos que presente CBR menor o igual a 6).

□ Así mismo, cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa, y cuando se humedezcan puedan penetrar las capas granulares del pavimento.

□ Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Las consecuencias de una estabilización es que nos permite usar el suelo presente en el pavimento, nos permite construir caminos en lugares donde los terrenos son intransitables, obteniendo un emplazamiento estable que trabaje adecuadamente estructuralmente, esto permite evitar el uso de materiales de préstamo que son necesarios de llevar a la zona donde el pavimento estará emplazado. Se trata de una técnica enfocada claramente a lograr una mayor sostenibilidad, a cuyas ventajas medioambientales y técnicas, se suman importantes beneficios económicos.

- Métodos de estabilización de suelos

Existen diferentes alternativas para la estabilización de suelos, en la Figura 11 vemos algunas clasificaciones de estabilización de suelos:

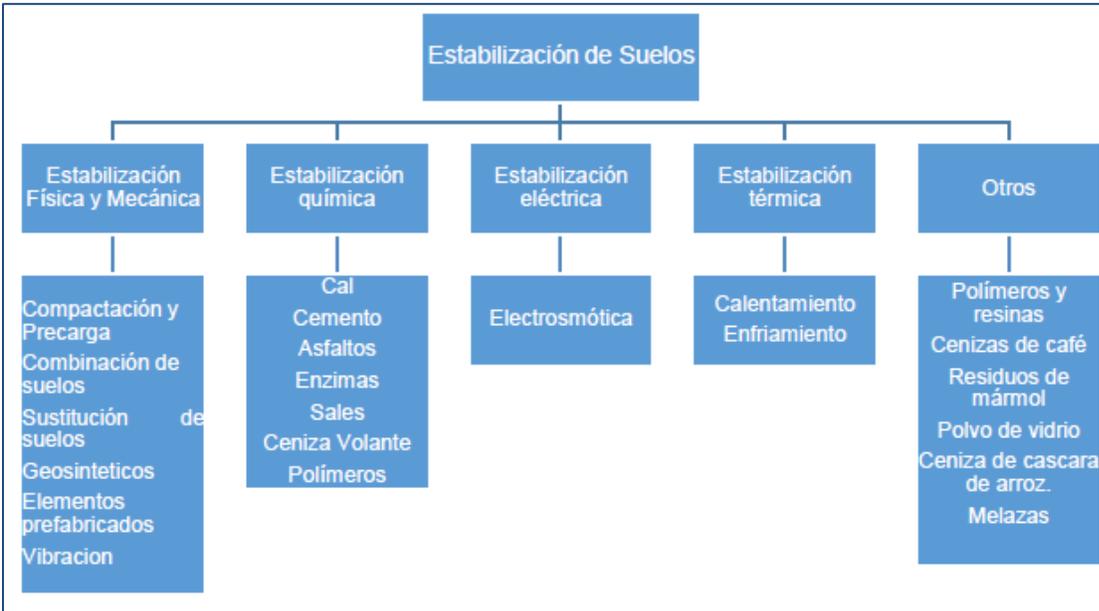


Figura 11. Tipos de Estabilizaciones de Suelos

Fuente: Castro, 2017

A continuación, mencionaremos algunas relevantes para esta investigación:

- **Estabilización con ceniza cáscara de arroz**

Se han realizado diversas investigaciones con fines de estabilización del suelo usando residuos agrícolas, generalmente usados luego de un proceso de combustión, tales como ceniza de cáscara de arroz, el cual se caracteriza por tener propiedades puzolánicas. Las propiedades de las cenizas de cáscara de arroz dependen de si la cáscara ha sufrido una combustión destructiva completa o ha sido quemada parcialmente. Los diferentes factores que influyen en las propiedades de la ceniza son la condición de incineración (temperatura y duración), la velocidad de calentamiento, la ubicación geográfica, la finura, el color y la variedad de cultivos y el año de la producción agrícola.

En el proceso de quemado de la cáscara de arroz, cuando la temperatura llega a los 100 °C se evapora el agua y a los 300 °C empieza a quemarse los componentes orgánicos. Cuando llega a los 500 °C se ha observado en diferentes investigaciones que casi todos los componentes ha sido transferido a su fase gaseosa, causando una fuerte disminución en peso del material antes de alcanzar una más estable (como se puede observar en la figura 12), el residuo en este estado es una ceniza rica en sílice.

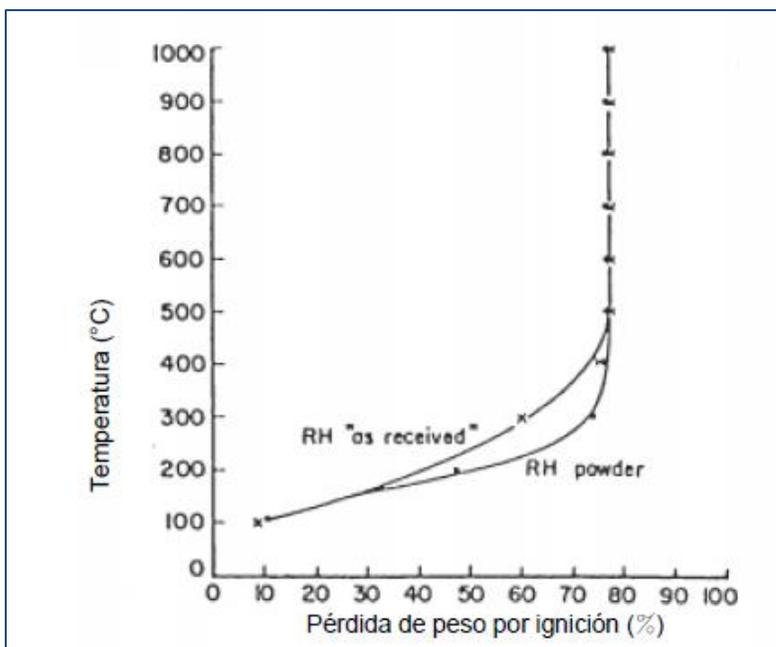


Figura 12. Característica de la Ceniza de Arroz en Ignición

Fuente: Castro 2017

Para la eliminación de los materiales orgánicos de la cáscara de arroz se necesita de un tiempo para ser removidos totalmente. De acuerdo al trabajo de Deepa G. Nair (2008), el proceso de quemado debe tener una temperatura de 500 °C y necesitar de 3 a 12 horas para poder lograr una masa de material estable, es decir, cuando los componentes orgánicos hayan sido eliminados completamente.

Una investigación realizada por Mehta (1977) el periodo prolongado a 500 °C puede mantener la sílice amorfa, pero cuando se encuentra a temperaturas mayores a 680 °C, solo puede mantenerse en el primer minuto. De acuerdo al trabajo de Chopra (1981) cuando el tiempo de quemado tiene una larga duración provoca un incremento de los cristales de sílice, disminuyendo la presencia de sílice amorfa, el cual tiene una mayor reactividad. Investigaciones con técnicas de difracción de rayos X, capturaron la estructura de la sílice el cual a 700 °C estaba en forma amorfa, pero la combustión a mayor duración a la temperatura de 700 °C causaba que la sílice se cristalizará.

La condición que puede producir la ceniza de cáscara de arroz activa se optimizó en la trabajo reciente de A. Muthadhi y S. Kothandaraman (2010). Teniendo en cuenta el equilibrio entre el consumo de energía y la extracción de la cáscara de arroz quemado, la condición óptima que puede producir una ceniza activa con el máximo contenido de sílice amorfo y otros parámetros a buen ritmo pero consumiendo la menor energía posible, es una duración ardiente de 2 horas a 500 °C.

En algunos artículos los investigadores no mencionan sobre la reactividad de los materiales y cómo se había producido, curiosamente en todos los casos, la ceniza de cáscara de arroz ha mostrado un resultado positivo. Debido a que estos investigadores trabajaron independientemente entre sí y con diferentes tipos de suelo en diferentes regiones, es difícil comparar el efecto de la ceniza de cáscara de arroz quemada controlada y no controlada. Sin embargo, en la investigación realizada por G. Biswas (2010) concluyó con resultados positivos la combinación el uso de cal y cenizas quemada incontrolada. Esto expresa la posibilidad de que la inversión de energía en la producción de ceniza de cáscara de arroz se pueda reducir a cierto nivel.

En la investigación de Vinh Pham (2012) menciona que la reactividad de las cenizas de cáscara de arroz se puede evaluar a través de la reacción con el hidróxido de calcio el cual se rige por la solubilidad así como cantidad de sílice que presente. Además el tamaño de partículas y la forma de cristalina son los factores que controlan la solubilidad. Partículas más pequeñas presentan mayor reactividad mientras que partículas más grandes presentan menor reactividad. Esta relación entre actividad puzolánica y tamaño de partículas se muestra en la figura 13.

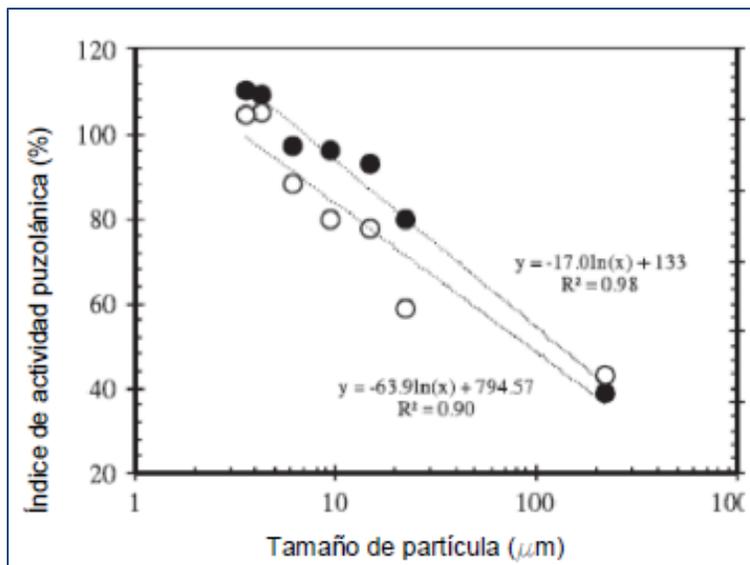
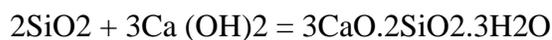


Figura 13. Relación Índice de Actividad Puzolánica y el Tamaño de Partícula

Fuente: Castro, 2017

La estabilización del suelo con ceniza de cáscara de arroz es un método relativamente nuevo. Una gran cantidad de trabajos de investigación que se han llevado a cabo se han aplicado a suelos expansivos, los cuales confirman la oportunidad de este material para la estabilización del suelo junto con otros estabilizadores como la cal y cemento ya que ha demostrado tener resultados favorables, disminuyendo el índice de plasticidad, aumentando el óptimo contenido de humedad y aumentando el valor de CBR. No obstante, se tiene una

experiencia realizada en Uruguay por Leonardo Behak y Washington Peres Núñez (2008), donde se estabilizó un suelo arenoso utilizando como estabilizadores a la cal y ceniza de cascara de arroz, el cual obtuvo resultados favorables. Aún resulta cuestionable si se puede obtener resultados óptimos de la estabilización usando solamente ceniza de cáscara de arroz, es decir, si la ceniza de cáscara de arroz sea un agente estabilizador primario, debido a que no se han realizado muchas investigaciones utilizando solamente este material. La mayoría de investigaciones realizadas indican que pueden ser usadas como agente estabilizador secundario, es decir, reemplazando una cantidad de cementos y puede combinarse con la cal para mejorar el método de estabilización con cal. Esto se debe a que las propiedades físicas y químicas de la ceniza de cáscara de arroz carecen de propiedades cementantes, sin embargo pueden poseer un alto porcentaje de material silícico, lo que cual sería un potencial de propiedades puzolánicas. La ceniza de cáscara de arroz al combinarse con el hidróxido de calcio reacciona a temperatura ambiente para formar componentes cementantes, a través de reacciones puzolánicas obteniéndose así, materiales más resistentes, menos deformables y más durables. Las reacciones puzolánicas se puede esquematizar de la siguiente manera:



Una de las principales ventajas de las reacciones puzolánicas es que continúan por muchos años incrementando la resistencia. La utilización de la ceniza de cáscara de arroz mediante la explotación de sus propiedades puzolánicas inherentes es una manera eficaz de resolver el problema ambiental y de eliminación de la ceniza a través del reciclaje de esta material pudiendo establecer un ambiente más limpio y saludable.

- ✓ CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ
- Origen de la ceniza de cáscara de arroz

La ceniza de cáscara de arroz tiene su origen en el grano de arroz, semilla de la planta denominada *Oryza sativa*, proveniente de la familia de las gramíneas. El arroz cáscara o grano de arroz (arroz con cáscara) se compone de una cubierta protectora exterior, la cáscara y la carióspside o fruto del arroz (arroz integral o pardo, llamado también arroz descascarillado). La cáscara de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice. La cáscara representa el 20% del peso del grano de arroz, aunque sus valores van desde 16% a 28%.

- Proceso de obtención

El proceso de obtención de la ceniza de cáscara de arroz se da en la transformación del arroz cáscara. En este proceso se remueve el grano cosechado y seco, las cáscaras, tegumentos para producir arroz pulido o blanco con un mínimo de grano quebrado y de impureza final.

El proceso pasa por las siguientes etapas:

- Recepción

El arroz cáscara llega de los campos en sacos de yute con 50 kg.

- Inspección

Se procede a realizar el control de humedad y el porcentaje de impurezas.

- Secado

El secado es un proceso importante que requiere de un tiempo. Cuando el secado es lento, provoca la aparición de microorganismo por el contenido de humedad y por el otro lado cuando el secado es muy rápido se corre el riesgo que el grano de arroz sufra daños por el excesivo calor. El secado se puede realizar en el campo, pero no es conveniente ya que los granos sufren resquebraduras o agrietamientos, lo que trae en el proceso de pilado un alto porcentaje de “ñelen” o granos quebrados. Es más conveniente el secado artificial con aire

caliente. Las máquinas secadoras generan calor proveniente de un horno a combustión, la cantidad de calor depende de la humedad del arroz.

Almacenaje

Para el almacenaje del arroz debemos mantenerlo en condiciones de temperatura (17°C a 18°C) y humedad (Humedad relativa entre 65% a 70%) recomendadas. Esto preverá la degradación del grano y lograr un periodo de almacenamiento más largo. (Dirección Regional de Energía y Minas, 2014).

Descascarado

Pasado por un proceso de limpieza previo, el arroz en cáscara sin impurezas es llevado mediante elevadores a la máquina descascaradora. La descascaradora da lugar a: arroz con cáscara, sin cáscara, a medio descascarar, cáscara, granos partidos.

Separación

En este proceso se separa el grano en 3 grupos: paddy (arroz con cáscara), paddy con grano morenos y grano descascarado moreno. El primero regresa al proceso de descascarado y el tercero pasa a la pulidora. (Dirección Regional de Energía y Minas, 2014).

Blanqueado y pulido

En el proceso de pulido se remueve el arroz moreno de los tegumentos (capa fina grasos de color gris plata a veces rojo), el embrión del arroz y partículas de harina que quedan adheridas al grano, para darle un aspecto liso y brillante. (Dirección Regional de Energía y Minas, 2014).

▪ Clasificación de producto terminado

Este proceso sirve para separar y seleccionar los granos quebrados, ñelen y partículas de grano enteros, quedando listo para la siguiente etapa de ensacado.

□ Ensacado y almacenaje

El arroz pilado se comercializa a granel o en envases; se utiliza un saco de 50 kg que se llena, se cose y se lleva al almacén. La capacidad dependerá del productor o comerciante.

En la figura 14 se muestra el Flujo grama del proceso de pilado del arroz y los desechos que se generan.

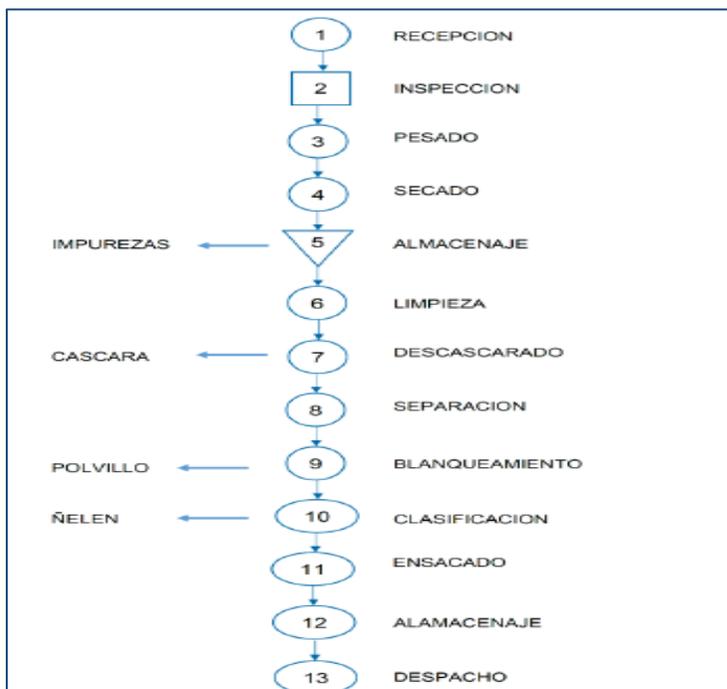


Figura 14. Flujo Grama del Proceso de Pilado de Arroz

Fuente: Castro, 2017

La cáscara de arroz es separado en el proceso de pilado formándose montañas al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de cáscaras de arroz. Normalmente, la cáscara de arroz es quemada en pampa, es decir, a campo abierto o en hornos, produciendo la aparición de ceniza de cáscara de arroz.

- Características de la cáscara de arroz

Las cáscaras de arroz varían de acuerdo a la especie, su longitud está en un rango de 5 a 11 mm, es una estructura ondulada y apariencia superficial irregular.

La cáscara de arroz es de consistencia quebradiza, abrasiva y su color varía del pardo rojizo al púrpura oscuro. Su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/ m³. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión. Presenta un coeficiente de conductividad térmica (0.0330 W/m k) permitiendo ser usado como aislante térmico. Por el alto contenido de sílice (20%) la ceniza de cáscara de arroz es de muy baja biodegradabilidad en condiciones de ambiente natural. Las propiedades químicas de la cáscara de arroz dependen mucho del tipo de arroz del cual procedan. A continuación se muestra la Tabla 5 donde se muestra los componentes de la cáscara de arroz de un estudio realizado por Varón C. J. (2005).

Tabla 5:

Composición química de la cáscara de arroz

Cáscara de arroz	
Componente	%
Carbono	39.1
Hidrogeno	5.2
Nitrógeno	0.6
Oxígeno	37.2
Azufre	0.7
Cenizas	17.8

Fuente: Castro, 2017

- Características de la ceniza de cáscara de arroz

Aproximadamente la constitución de la ceniza de cáscara de arroz es aproximadamente un 20% en peso de la cáscara de la cual fue quemada (Juliano, 1985) Cuando las cáscaras

son quemadas en hornos las cenizas contienen un gran porcentaje de sílice superior a 90% y cuando son quemadas en pampa o a campo abierto las cenizas estarán compuestas mayormente por sílice cristalina menos reactiva (tales como cristobalita y tridimita) las cuales tienen que ser llevadas a tamaños pequeños para que puedan mejorar su actividad puzolánica. Las cenizas de cáscara de arroz además de tener sílice presentan impurezas las cuales son: calcio, potasio, magnesio, hierro, fósforo, y boro. La producción de las cenizas de cáscara de arroz deberá tratar la cáscara de arroz, ya que este debe ser calcinado a temperaturas adecuadas para poder formar sílices amorfas los cuales son más reactivos.

Las características físicas principales de la ceniza de cáscara de arroz son mostradas en la tabla 6 las cuales fueron tomadas en base a la investigación de Peña S y Zambrano G. (2001).

Tabla 6:

Propiedades de la ceniza de cáscara de arroz

Propiedades	Valor
Densidad(kg/m ³)	2265
Masa unitaria compactada (kg/m ³)	452
Masa unitaria suelta (kg/m ³)	181
Superficie específica (m ² /kg)	2000

Fuente: Castro, 2017

Con respecto a las características químicas de la ceniza de cáscara de arroz contiene un 90 por ciento de sílice, lo que hace que sea una excelente puzolana. La investigación de Juliano (1985) indica que la ceniza está compuesta entre 90 a 96% de sílice. Las composiciones químicas de la ceniza de cáscara de arroz son mostradas en la tabla 7 tomando como base la investigación desarrollada por Jiménez Montero & Eguez Alava (2001).

Tabla 7:

Composición química de ceniza de cáscara de arroz

Ceniza de cascara de arroz	
Componente	%
Ceniza de silice (SiO ₂)	94.1
Oxido de calcio (CaO)	0.55
Oxido de magnesio (MgO)	0.95
Oxido de Potasio (K ₂ O)	2.1
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.11
Sulfato	0.06
Cloro	0.05
Oxido de titanio (TiO ₂)	0.05
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.12
Otros componentes	1.82

Fuente: Castro, 2017

Ceniza de cáscara de arroz (CCA)

La ceniza de cáscara de arroz (CCA) es el subproducto de la combustión de la cascarilla de arroz (CA). Este producto proviene de la producción agrícola de los granos de arroz y es considerado un material de desecho. En la figura 15 se presenta una muestra de la cáscara de arroz y la ceniza de cáscara de arroz producto de la quema del primer subproducto.



Figura 15. Cáscara de Arroz y Ceniza de Cáscara de Arroz

Fuente: Propia

✓ SUELO ARCILLOSO

• Definición

La arcilla se define como aquel sedimento o depósito mineral constituido principalmente de silicato de aluminios hidratados y se caracteriza por adquirir plasticidad cuando es mezclada con el agua. Está compuesto por materiales muy finos, formado por partículas muy pequeñas de un tamaño menor a 0,002 mm.

Los átomos de las arcillas están dispuestos en formas de láminas. Existen dos variedades de dicha disposición: la silícica y la aluminica. La lámina silícica está formada por un átomo de silicio y tres átomos de oxígeno formando un tetraedro (como se aprecia en la figura 16), estos átomos se agrupan en formas hexagonales, repitiéndose indefinidamente constituyendo una retícula laminar (como se aprecia en la figura 16).

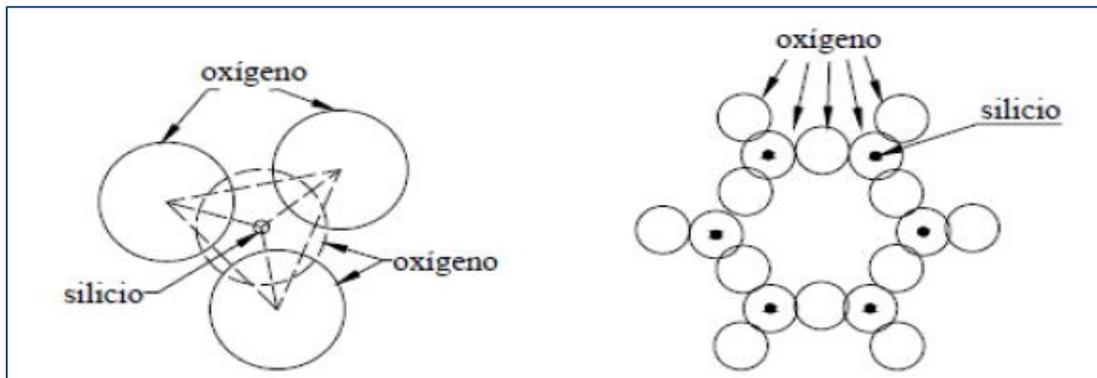


Figura 16. Disposición Tetraédrica y Hexagonal

Fuente: Castro, 2017

Para la lámina aluminita, está formada por un átomo de aluminio, enlazada con seis átomos de oxígeno formando un octaedro (como se aprecia en la figura 17). Estos se agrupan a través de un átomo de oxígeno constituyendo una retícula laminar.

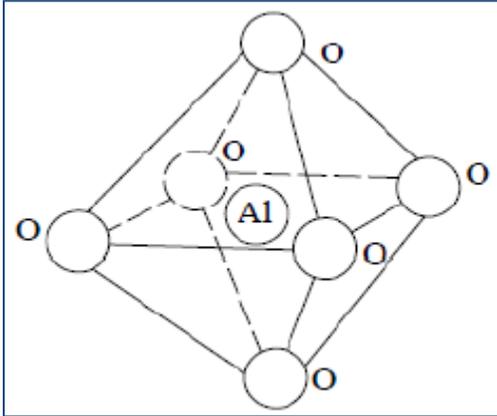


Figura 17. Disposición de una Lámina Aluminita

Fuente: Castro, 2017

- Clasificación de las arcillas

Las características de las formas cristalinas son el factor más influyente sobre las propiedades físicas de una arcilla, los principales minerales son:

- Caolinitas: Estas arcillas son muy estables debido a la estructura inexpandible. Se forman por superposición indefinida de láminas aluminicas y silícicas. La unión entre partículas es muy fuerte de tal modo que se opone al ingreso de moléculas de agua entre ellas. Por ello no presentan gran expansión o hinchamiento cuando se satura.

- Illitas: Esta arcilla presenta cierta fricción interna. Se forman por las superposiciones indefinidas de una lámina aluminica entre dos silícicas. En su constitución interna se forman grupos de material que ocasionan una reducción del área expuesta al agua, lo que limita su

propiedad de expandirse. No obstante el hinchamiento o expansión es mayor que las caolinitas pero menos que las montmorillonitas.

Montmorillonitas: Esta arcilla posee una estructura similar a la de las illitas, sin embargo la unión es mucho más débil, por lo que resulta ser inestable, especialmente ante la presencia de agua. Las moléculas de aguas se insertan con facilidad en la estructura de la arcilla, lo que ocasiona un aumento en el volumen de los cristales que se traduce en una expansión del suelo.

- Características físicas y químicas.

Las características importantes de las arcillas radica en sus propiedades físico-químicas y las propiedades de las arcillas dependen principalmente de:

- Su tamaño de partículas.
- Su morfología laminar.
- Sustituciones isomórficas, el cual origina la aparición de cargas en las láminas y presencia de cationes ligados en el espacio interlaminar.

A continuación se explicará algunas propiedades principales que poseen las arcillas:

a. Plasticidad

La plasticidad es la principal característica de los suelos arcillosos. Esta propiedad es a causa que el agua forma una envoltura sobre las partículas laminares generando un efecto lubricante, esto puede causar un deslizamiento cuando haya esfuerzos generados por una carga. Esta propiedad depende de la morfología laminar y tamaño de partícula. La plasticidad puede ser cuantificada mediante los límites de Atterberg.

b. Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las montmorillonitas. El grado de hidratación está relacionado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina. El hinchamiento es originado por la absorción del agua, el cual ingresa en los espacios interlaminares separando las láminas. Cuando el agua penetra y las láminas se separan, se originan fuerzas electrostáticas de repulsión entre las láminas, lo que contribuye al proceso de hinchamiento llegando a separar completamente unas láminas de otras.

c. Superficie específica

Las arcillas poseen una elevada superficie específica. Esta se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna de las partículas por unidad de masa.

d. Tixotropía

Es el fenómeno que consiste en la pérdida de resistencia al ser amasado y su recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas llegan a convertirse en líquido cuando son amasadas. No obstante, cuando se les deja en reposo recuperará su cohesión. Este fenómeno se da cuando el contenido de agua del suelo arcilloso está cerca de su límite líquido y en el caso que el contenido de agua se encuentre en su límite plástico no existirá posibilidad de comportamiento tixotrópico.

e. Capacidad de absorción

Esta propiedad de algunas arcillas está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad), la absorción de moléculas se almacenan en los espacios interlaminares de las arcillas.

La absorción (se trata de procesos físicos como la retención por capilaridad) difícilmente se da en forma aislada con la adsorción (se da por la interacción del tipo químico entre el adsorbente, como la arcilla, y el líquido adsorbido, denominado adsorbato).

f. Capacidad de intercambio catiónico

Es un fenómeno reversible y se define como la capacidad de cambiar iones fijados en la superficie exterior de los cristales, en los espacios interlaminares u otros espacios interiores de las arcillas por otros que se encuentran en soluciones acuosas envolventes. Debido a esta característica, las propiedades mecánicas pueden variar al modificar la cantidad de cationes ligados, generando una variación en espesores de película superficial, el cual se ve reflejado en las propiedades de plasticidad y resistencia del suelo. La capacidad de intercambio catiónico crece con el grado de acidez, es decir, si el pH es menor, la actividad de intercambio catiónico será mayor. A su vez, también genera un aumento en la velocidad y concentración de la solución que circula a través del suelo.

✓ **PLÁSTICO**

No se puede asociar la palabra “plástico” únicamente a un material, como sucede con el metal que designa otros materiales además del hierro y del aluminio. Ésta palabra se podría entender como un término genérico que refiere una gran variedad de sustancias, las cuales se diferencian entre sí por su estructura, propiedades y composición. Los plásticos podrían sustituir materiales como la madera y los metales, o también complementarlos, ya que poseen muchas propiedades y son muy variadas. (Ministerio de Ambiente, 2004).

Los polímeros son un grupo de compuestos orgánicos del cual los plásticos hacen parte. Los polímeros están constituidos por macromoléculas de peso molecular alto, las

cuales son series repetitivas de unidades estructurales más pequeñas, llamadas meros o unidades de repetición. Los polímeros pueden ser de origen natural y derivarse de las plantas, animales o sustancias minerales, como la celulosa, la lana y el asbesto, o también se pueden crear artificialmente a partir de productos petroquímicos. Generalmente se producen a partir de recursos no renovables como el gas y el petróleo. “Sólo el 5% del petróleo extraído se utiliza para la fabricación de plásticos, lo que representa una mínima cantidad de recursos no renovables, comparado con las ventajas y beneficios que se derivan de su transformación en incontables productos útiles. Adicionalmente, comparados con los materiales inorgánicos, los plásticos requieren un menor consumo energético durante su transformación porque se procesan a temperaturas de operación más bajas” (Ministerio de Ambiente, 2004). Las propiedades físicas y estructura molecular pueden cambiar dependiendo de la estructura que forma el carbono al asociarse con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Los plásticos se pueden dividir y clasificar de acuerdo a la estructura molecular, el estado físico, la composición química, el uso final o la reacción en el ambiente. La composición química del polímero, es decir, los grupos químicos presentes (etileno, éter, éster, hidroxil, etc.) o la manera de la síntesis (propagación de la cadena, apertura de los anillos, etc.) se pueden usar como medio para clasificar polímeros. El uso final hace que a veces los polímeros (resinas) se denominen como fibras, adhesivos, cauchos, plásticos o recubrimientos, aunque el material pueda ser adaptable a todas esas aplicaciones. En cuanto a la reacción de los plásticos con el ambiente, una buena clasificación es teniendo en cuenta su comportamiento a temperaturas elevadas, dividiéndolos en termoplásticos y termoestables.

▪ **Látex**

El látex, también conocido por el nombre de hule o caucho, es un polímero natural que se obtiene a partir de la savia lechosa del árbol del caucho (*Hevea Brasiliensis*), una planta originaria de los bosques tropicales de Centroamérica y América del Sur. Existen otras especies arbóreas en Asia (*Uceola elástica*) y en África (*Funtumia elástica*) de las que también es posible obtener el caucho, pero la mayor producción a nivel mundial se lleva a cabo en el continente americano. El origen del caucho es en América, donde por muchos años fue simplemente un material más, pues no tenía ningún tipo de uso ni aprovechamiento. En 1839 Charles Goodyear descubrió que cuando el caucho se calienta a una temperatura superior a 100°C y se mezcla con azufre adquiere nuevas propiedades como la elasticidad. El caucho, en estado natural, proviene de la suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Entre estas plantas está la especie *Hevea Brailiensis* y el árbol del Guayule.

- Entre sus principales usos está:
- Fabricación de tubos.
- Fabricación de correas.
- Fabricación de hojas inglesas de caucho.
- Fabricación de esponjas de caucho.
- Fabricación de sondas y tubos de cirugía.
- Fabricación de tejidos impermeables.
- Fabricación de neumáticos.

- Propiedades físicas y químicas

El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura del aire líquido, alrededor de $-195\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a $10\text{ }^\circ\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^\circ\text{C}$ se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de $200\text{ }^\circ\text{C}$ o superiores se descompone.

El caucho tiene una naturaleza plástica y esto depende del árbol del cual se extrae la materia prima. Una de las particularidades del caucho es que cuando se deforma por un largo tiempo, este no regresa a su estado original y su densidad del caucho a $0\text{ }^\circ\text{C}$. es de 0.950 , y a $20\text{ }^\circ\text{C}$. es de 0.934 .

- Proceso de obtención del caucho reciclado

Existen tres métodos de reciclaje para el caucho:

- Métodos mediante aplicación de calor

- Termólisis es el efecto de someter a uno o más compuesto a temperaturas elevadas.

El calentamiento al cual son sometidos los neumáticos se denomina anaeróbicos, ya que no tienen presencia de oxígeno. Producción de neumáticos u a otras actividades.

- Pirolysis se llama a la descomposición química de la materia orgánica y de todo tipo de materiales.

- Incineración es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas llevada a cabo en hornos mediante oxidación química en presencia de un

Exceso de oxígeno.

- Métodos físicos

- Trituración criogénica es un método que requiere de instalaciones muy complejas lo que hace que tampoco sean rentables económicamente y el mantenimiento de la maquinaria y del proceso es difícil. Al utilizarse este método el producto final es de baja calidad por lo cual resulta poco recomendable.

- Trituración mecánica es un proceso únicamente mecánico, no existen agentes químicos ni adición de calor. Este método consiste en triturar el neumático sucesivamente hasta obtener un tamaño de salida pequeño.

- Conversión de neumáticos en energía eléctrica

Se puede utilizar los residuos de neumáticos como fuente de energía eléctrica introduciéndolos en una caldera donde se realiza la combustión. El calor liberado se convierte en vapor de alta temperatura y presión que es conducida hasta una turbina, donde al expandirse es capaz de moverla y transmitir la energía al generador para que produzca la electricidad.

Otros conceptos relevantes para esta investigación son los que presentamos a continuación:

- ✓ **Humedad Óptima:** Contenido de agua de un suelo con el que puede ser compactado hasta un peso unitario seco máximo con un trabajo de compactación dado.

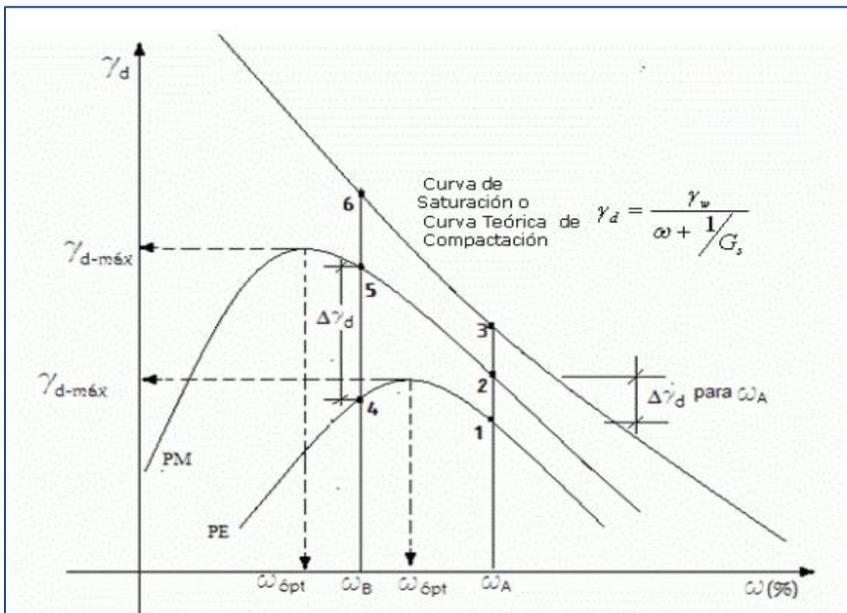


Figura 18. Curva de Compactación Proctor Estándar y Modificado y Curva de Saturación

Fuente: Normas ASTM D698 y D1557

La humedad óptima es la que se corresponde con el máximo de la curva de densidad.

La rama seca es la que se corresponde al suelo bajo de humedad, donde la fricción y cohesión dificultan su densificación.

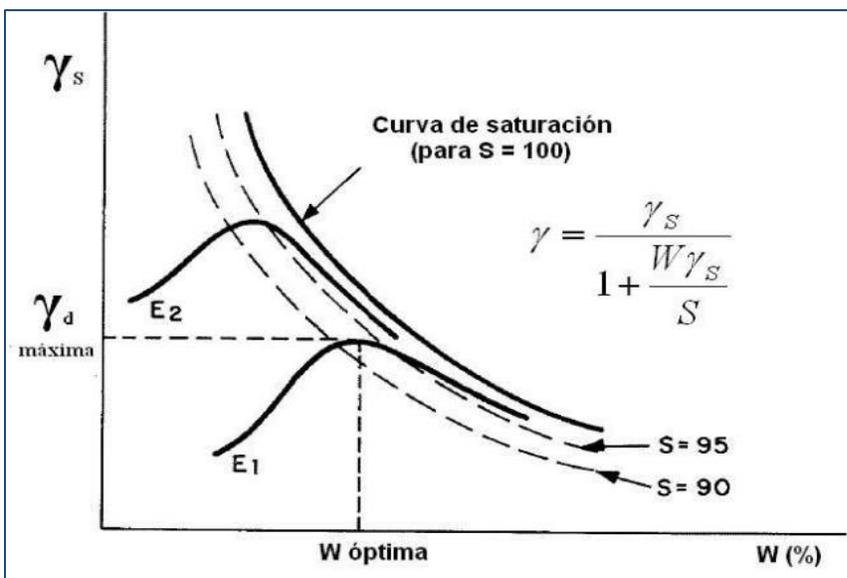


Figura 19. Curva de Saturación

Fuente: Normas ASTM D698 y D1557

La rama húmeda, es asintótica a la línea de saturación, que se desplaza hacia la derecha de la humedad óptima de compactación, dado que la energía de compactación de un suelo muy húmedo la absorbe el agua y no el esqueleto mineral.

- ✓ **Densidad seca máxima:** Corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima.

Para determinar la densidad seca máxima del suelo (γd máx.) se usa la siguiente expresión:

$$\gamma d \text{ max} = (Ws - Mm) / Vm \text{ (grs/cc)}$$

dónde: Ws = peso del molde más el suelo seco compactado (grs.)

Mm = peso del molde con la base ajustada (grs.)

La importancia de realizar una adecuada compactación es justamente calcular la cantidad de agua, significa la "humedad óptima" que ha de tener un suelo, a fin de obtener una buena lubricación que permita, al compactarlo, alcanzar la mayor densidad posible, es decir, la Densidad Máxima (Rosetti, 2005).

La densidad seca se determina a partir de la densidad húmeda con la siguiente fórmula:

$$Ds = \frac{Dh}{(100 + W\%)} * 100$$

Donde:

Ds : Densidad seca

Dh : Densidad húmeda

$W\%$: Contenido de humedad

- ✓ **Curva de compactación:** Cuando se compacta un suelo bajo diferentes condiciones de humedad siendo cualquiera el método empleado , se relaciona las densidades con los porcentajes de humedad , lo que da como resultado una curva como la que se muestra:

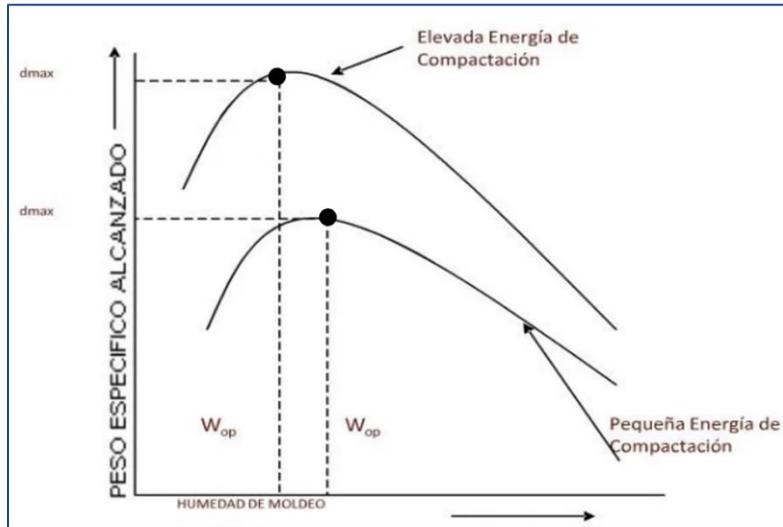


Figura 20. Curva de Compactación

Fuente: Civilgeeks

- ✓ **Definición de CBR:** El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1” ó 0.2” de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

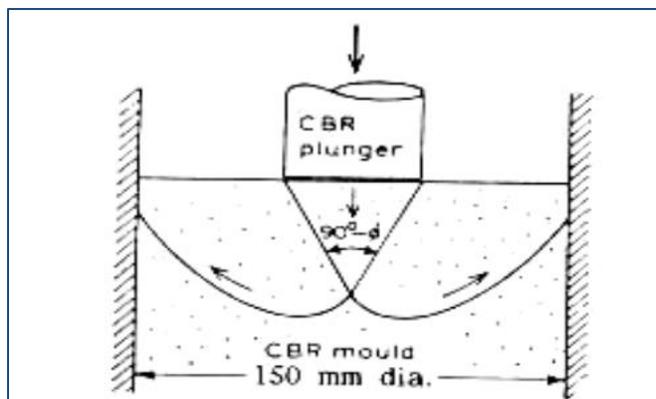


Figura 21. Asumido Mecanismo de Falla del Suelo Generado por un Pistón de 19.4 cm² en el Ensayo CBR

Fuente: FIC-CISMID

✧ Ensayos

➤ **Análisis Granulométrico (NTP 339.128 - 1999)**

La muestra de agregado es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Materiales y equipos

- Suelo
- Juego de tamices de: 2" 1 ½", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 20, N°40, N° 60, N° 100 Y N° 200, normalizados según NTP 339.128 –1999.
- Balanzas con aproximación de 0,1 gr.
- Horno de 110°C±5°C.

Procedimiento

- Secar la muestra al aire.
 - Pesar la muestra seca Wms.
 - Pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando de forma manual.
- ### ➤ **Proctor Modificado (NTP 339.141 – 1991)**

Materiales

Muestra alterada seca aproximadamente 2 kg por molde.

Equipo

- Equipo proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión).
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6kg. de capacidad.
- Espátula.

Taras identificadas

Procedimiento

Obtener aproximadamente 30 kg de muestra seca para el ensayo, de acuerdo al método a utilizar (método A, B o C).

Preparar 4 muestras (cada una de ellas aproximadamente de 6 kg.) con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varíe aproximadamente en 1 ½” entre ellas.

Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y determinar el peso.

Colocar el collar de extensión para colocar la muestra que se va a compactar.

Compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 o 56 golpes (depende del método A, B o C), al terminar de compactar la última capa se retira el collar de extensión, en enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda.

Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada, utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.

Determinar la densidad seca de cada muestra.

Dibujar la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registra en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.

Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

➤ **CBR (NTP 339.145 – 1999)**

Material

- Muestra alterada seca.
- Papel filtro.

Equipo

- Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes).
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- Diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6kg. de capacidad.

- Espátula.
- Taras identificadas.

Procedimiento

- Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado.
- Compactar la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 10 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.
- Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.
- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.
- Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min., registrar las lecturas de carga de cada muestra en las siguientes lecturas de penetración.

➤ **ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 – 1999)**

Material

- Muestra del suelo.

Equipo

- Base de Caja Metálica
- Piedras Porosas.
- Dispositivo para Fuerza Normal.
- Dispositivo para Fuerza de Corte.
- Balanza.
- Indicadores de Deformaciones o Diales.
- Recipientes para muestras.
- Horno Secado.

Procedimiento

- Se ensambla la caja de corte con los marcos alienados del equipo.
- Se coloca la muestra seleccionado con sumo cuidado.
- Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta con el dial para medir las deformaciones del esfuerzo de corte.
- En el proceso de consolidación se debe registrar las lecturas de las deformaciones.

La presente investigación tiene como justificación el propósito de aportar información conceptual nutrida y consistente acerca de analizar la Influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel subrasante – Lima Norte 2020, y así plantear nuevas alternativas de estabilización de suelos que permitan el uso del suelo arcilloso a nivel subrasante. Así mismo, debido a la alta variabilidad geológica, la presencia de suelos arcillosos es frecuente a lo largo de las carreteras nacionales, por lo cual se hace imperativo implementar nuevos mecanismos de mejoramiento, pues generalmente este tipo de suelo no cumple con los requerimientos necesarios para asegurar la estabilidad de taludes, dada su baja resistencia al cortante y mala calidad (presentan altas deformaciones e índice de plasticidad). Con este trabajo de investigación se contribuye académicamente a la generación de nuevos conocimientos, modelos y conceptos, así como el desarrollo de una investigación sistematizada cuyos resultados pueden convertirse en antecedentes. El estudio también pretende generar información para que se pueda analizar la posibilidad de la utilización del suelo arcilloso adicionado con látex reciclado molido y cenizas de cáscara de arroz como suelo a nivel de subrasante en una futura investigación, así como su conveniencia en aplicaciones geotécnicas de refuerzo de la subrasante en pavimentos flexibles. El trabajo cumple con los parámetros éticos del investigador como un aporte a la investigación científica proponiendo una nueva técnica para la estabilización de los suelos arcillosos a nivel de subrasante.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo determinar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante?

1.2.1. Problemas específicos

- ¿Cómo determinar la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido?
- ¿Cómo determinar el óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido?
- ¿Cómo determinar la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido?

1.3. Objetivos

Determinar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante.

1.3.1. Objetivos específicos

- Determinar el análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido.

- Determinar el análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido.
- Determinar el análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- **Hipótesis Nula (H₀):** El análisis de la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante., no permitió identificar el más idóneo a nivel de subrasante.
- **Hipótesis Alterna (H_a):** El análisis de la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante, si permitió identificar el más idóneo a nivel de subrasante.

1.4.2. Hipótesis específicas

1.4.2.1. Hipótesis específica 1

- **Hipótesis Nula (H₀):** El análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, no permitió identificar el más conveniente para la subrasante.

- **Hipótesis Alterna (Ha):** El análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, si permitió identificar el más conveniente para la subrasante.

1.4.2.2. Hipótesis específica 2

- **Hipótesis Nula (Ho):** El análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, no permitió identificar el más conveniente para la subrasante.
- **Hipótesis Alterna (Ha),** El análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido si permitió identificar el más conveniente para la subrasante.

1.4.2.3. Hipótesis específica 3

- **Hipótesis Nula (Ho):** El análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, no permitió identificar el más conveniente para la subrasante.
- **Hipótesis Alterna (Ha):** El análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, si permitió identificar el más conveniente para la subrasante.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Tipo

El tipo de investigación es aplicada, porque implementa, desarrolla y elabora una técnica alternativa para mejoramiento de las propiedades mecánicas de la sub rasante, utilizando materiales de látex molido y cenizas de cascara de arroz, asimismo reducir el impacto medioambiental.

2.1.2. Diseño.

2.1.2.1. Investigación Experimental

La presente investigación es de diseño experimental debido a que en ella se establece una situación de control en la cual se manipula de manera intencional la variable independiente látex reciclado molido y cenizas de cascara de arroz, para que se pueda analizar las consecuencias sobre la variable dependiente resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de subrasante por medio de ensayos.

2.1.2.2. Clasificación

La presente investigación dentro del diseño experimental es de Experimento Puro, ya que reúne los dos requisitos principales que son el control, para lo cual se formó dos grupos de comparación, y la validez interna, pues los grupos se formarán aleatoriamente; además se evaluará una variable independiente (Lates reciclado molido y cenizas de cascara de arroz) y una variable dependiente (resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de subrasante).

Siendo la investigación transversal, con la manipulación de una variable y la comparación con el parámetro de control.

2.1.2.3. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Látex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz.

Variable Dependiente: Resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima en los suelos arcillosos a nivel subrasante.

Tabla 08

Matriz Operacional

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima en los suelos arcillosos a nivel subrasante.	Esfuerzo Cortante	Ensayo Corte Directo
	Humedad Optima	Ensayo Proctor Modificado
	Denidad Seca Maxima	Curva de Compactacion
	Suelo Natural	Granulometria
latex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz	Ceniza de cascara de arroz	2%
	Latex Reclicado Molido	1%

Fuente: Elaboración Propia

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La población por tratarse de una investigación experimental, estará constituida por los suelos arcillosos de la Lima Norte.

2.2.2. Muestra

El tipo de muestreo es no probabilístico dirigida por conveniencia en el cual se seleccionó una muestra de afirmado (60kg) de la cantera Trapiche, luego se procedió a llevar el material al laboratorio, para obtener 01 muestra del suelo en estado natural y 01 muestra con adición de cenizas de cáscara de arroz al 2% y con látex reciclado molido al 1%, las cuales fueron sometidas a ensayo de valor de ensayo Proctor y soporte de california (CBR) y corte directo.

Unidad de Estudio

Suelo arcilloso a nivel de subrasante.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas:

- La observación directa.
- Ensayos.

2.3.2. Instrumentos de recolección datos.

Ficha de observación directa. Este instrumento permite ser metódico en cuanto al cumplimiento del cronograma para recolección de datos: recolección de las muestras del afirmado para base, pruebas de los respectivos ensayos para determinar las propiedades mecánicas para base de un suelo normal y un suelo con cenizas de cascara de arroz y látex reciclado molido.

2.3.3. Técnicas de análisis de datos

Se procedió a la comparación y análisis porcentual de los resultados que arrojaron los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras de suelo arcilloso en estado normal y suelo con cenizas de cáscara de arroz y látex reciclado molido.

2.3.4. Limitación

La limitación que se presentó en la investigación inicialmente fue que el corte de látex triturado mayores a 2cm no tenía una adherencia en el suelo arcilloso, por ello se vio la necesidad de reducir la dimensión del corte menores a 1cm, la dificultad que se presento fue procedimiento de corte manual.

2.4. Procedimiento

A continuación, se describe la secuencia de actividades que se realizaron para desarrollar la investigación.

✓ Procedimientos para la obtención del material:

- Haciendo un corte se procedió a la obtención de la muestra del suelo arcilloso en estado natural de la cantera Trapiche, para luego poder determinar sus características (resistencia

al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima) en estado natural y con la adición de la ceniza de cáscara de arroz y látex reciclado molido en el laboratorio

MATESTLAB SAC.

- Se procedió a la calcinación de la cascarilla de arroz para la obtención de la ceniza que será combinada con el suelo arcilloso en estado natural en porcentaje de 2%, y se procedió a triturar en forma manual el látex reciclado molido para ser adicionado al suelo arcilloso en porcentaje de 1%.

✓ **Procedimientos para la recolección de datos:**

Luego de trasladar el material del suelo al laboratorio se empezó con los ensayos respectivos:

- Se determinó el análisis granulométrico del suelo según la norma NTP 339.128 – 1999.
- Se realizaron las 4 muestras de proctor del material en estado natural y 4 muestras de proctor combinado con cenizas de cáscara de arroz al 2% y con látex reciclado molido al 1% del peso total de la muestra.
- Luego se obtuvo la curva de compactación mediante el contenido de humedad y la densidad seca de cada muestra de proctor.
- Se determinó el contenido óptimo de humedad mediante la curva de compactación y se procedió a realizar las muestras de CBR.
- Se realizaron las muestras de CBR del material arcilloso en estado natural con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 10, 25 y 56 golpes por cada muestra.
- Se tomaron las muestras de CBR del material combinado con CCA al 2% y con látex reciclado molido al 1% del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el

ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 10, 25 y 56 golpes por cada muestra.

- Una vez realizado cada muestra de CBR se procede a sumergirlos en agua por un periodo de 96 horas (04 días) tomando lectura de la deformación de hinchamiento que esta sufre cada 24 horas (1día). Al cuarto día retiramos la muestra y la ensayamos para hallar la carga de penetración de la muestra y tomamos lectura de las deformaciones. Este proceso se repite para cada muestra de CBR que se tenga que realizar.
- Luego se procedió a realizar el ensayo del corte directo separando 02 muestras, el estado natural del suelo y 01 muestra agregando el latex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz para determinar los esfuerzos cortantes.

✓ **Procedimiento para el análisis de información**

La información obtenida mediante los diferentes ensayos realizados, se llevaron a un computador, para realizar el trabajo de gabinete. En donde se ordenaron y analizaron los datos mediante hojas de cálculo y gráficos comparativos para analizar los resultados obtenidos. Estos resultados fueron analizados teniendo en cuenta las normas NTP de suelos y de los agregados.

➤ **Desarrollo**

- **Obtención de la ceniza cascara de arroz**

La ceniza de cascarilla de arroz se obtuvo quemando el material la cual fue molida tal como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Quemado y Molienda para Obtener la Ceniza

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Ceniza Cascara de Arroz

Fuente: Elaboración propia

- **Obtención del Látex reciclado molido**

El látex reciclado molido se obtuvo triturando en forma manual los guantes de látex en el laboratorio de ensayos tal como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Látex Reciclado Molido

Fuente: Elaboración propia

✓ Características del Material

Tabla 09

Características del látex reciclado

Descripción	
Material	Guantes de Látex
Color	Blanco, verde
Medidas de guante	76x86x105mm
Longitud de corte	01cm
Peso de guante	03 gr
Cantidad utilizada aproximado	150 unidades

Fuente: Elaboración Propia



Figura 25. Corte Manual del Látex

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Características de cascara de arroz

<u>Descripción</u>	
Material	Ceniza de cascara de arroz
Color	gris
Característica	Polvillo molido
<u>Cantidad utilizada aproximado</u>	<u>02 kilogramo</u>

Fuente: Elaboración Propia

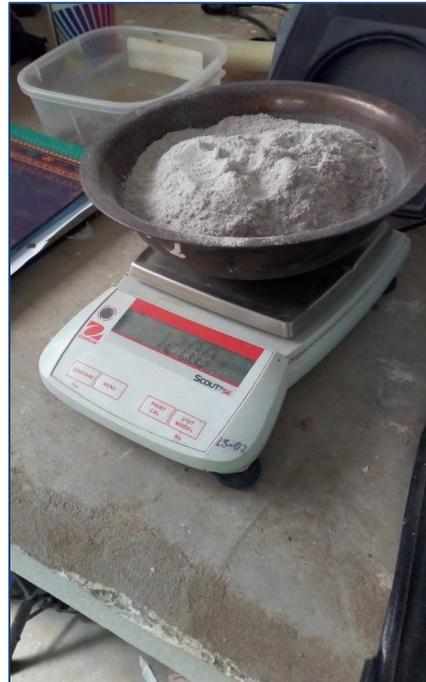
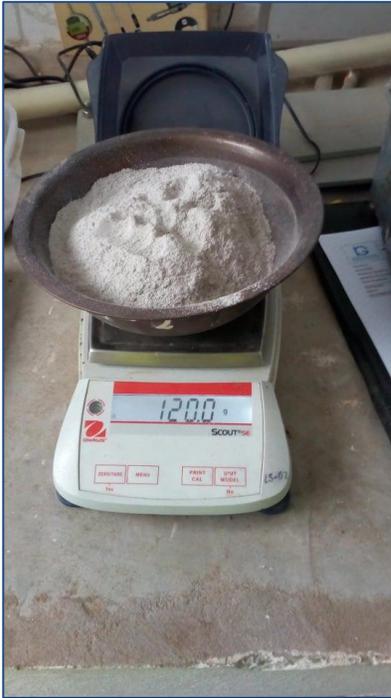


Figura 26. Peso Obtenido de Ceniza Cascara de Arroz

Fuente: Elaboración propia

➤ Realización de ensayos

● Análisis granulométrico (NTP 339.128-1999)

Se procedió a realizar el análisis granulométrico de los agregados de la muestra obtenida, para pasarla por el juego de tamices, agitando de forma manual, determinando los porcentajes de los pesos retenido en cada tamiz. Una vez obtenidas las muestras en el laboratorio, se iniciará con la clasificación de suelos de acuerdo a su granulometría y límites de consistencia mediante el sistema de clasificación SUCS y AASHTO.



Figura 27. Granulometría

Fuente: Propia

- **Ensayo Proctor (NTP 339.141-1999)**

En el caso de la evaluación del peso volumétrico seco máximo alcanzado en los diferentes porcentajes a las que fue mezclado el material, se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma se utilizó el método C, el cual es usado para materiales que pasan la malla N° 3/4. El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

Se separó la muestra obtenida que pasa por la malla N°3/4 y el material retenido se desechó, se homogenizó el material obtenido de la malla N° 3/4 y se realizó la prueba de contenido de humedad.

Se pesaron los porcentajes de ceniza de cáscara de arroz de 2% y látex reciclado molido de 1%, se extiende el material sobre una charola para realizar su mezclado.

Se empezó agregándole a la mezcla una cantidad de agua estimada del 2 %, terminando en 6%, con el propósito de determinar el óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima.

Se procedió a realizar el cuarteo del material en 04 partes iguales con el propósito de uniformizar los agregados, donde se colocara en una bandeja metálica para preparar las muestras del ensayo proctor.



Figura 28. Cuarteo del Material
Elaboración Propia

Se homogeneiza el material para que se distribuya la cenizas de cascara de arroz, el látex reciclado y el agua, se hace una mezcla para luego proceder a realizar 04 ensayos los cuales deben tener cinco capas en cada molde donde se aplicara 56 golpes por minuto con pisón de 10 libras entre cada porción de capa distribuido en toda la sección del molde.



Figura 29. Colocación de Ceniza de Cascara de Arroz, Látex Reciclado Molido y agua
Elaboración Propia



Figura 30. Ensayo de Proctor
Elaboración Propia

Cuando se ha llenado el molde con el material en las 5 capas, se procede a quitar el collarín del molde, se enrasa con una regla, y se extrae el molde de su base, se registra el peso del espécimen junto con el molde en la hoja de datos.



Figura 31. Peso Muestras del Ensayo Proctor
Elaboración Propia

Se repite el procedimiento hasta ensayar 4 especímenes que permitan hacer posible la curva de compactación y así determinar el contenido de humedad óptima.

- **Ensayo de CBR (NTP 339.145-1999)**

Para este ensayo se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado. Se compacto la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 10 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa. Terminada la muestra de colocó debidamente en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registras las lecturas de expansión cada 24 horas. Después de los 4 días se sacó los moldes del tanque de agua para realizar el ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración), de cada uno de los moldes se retiró retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, se dejó drenar durante 15 minutos para luego realizar el ensayo de carga.

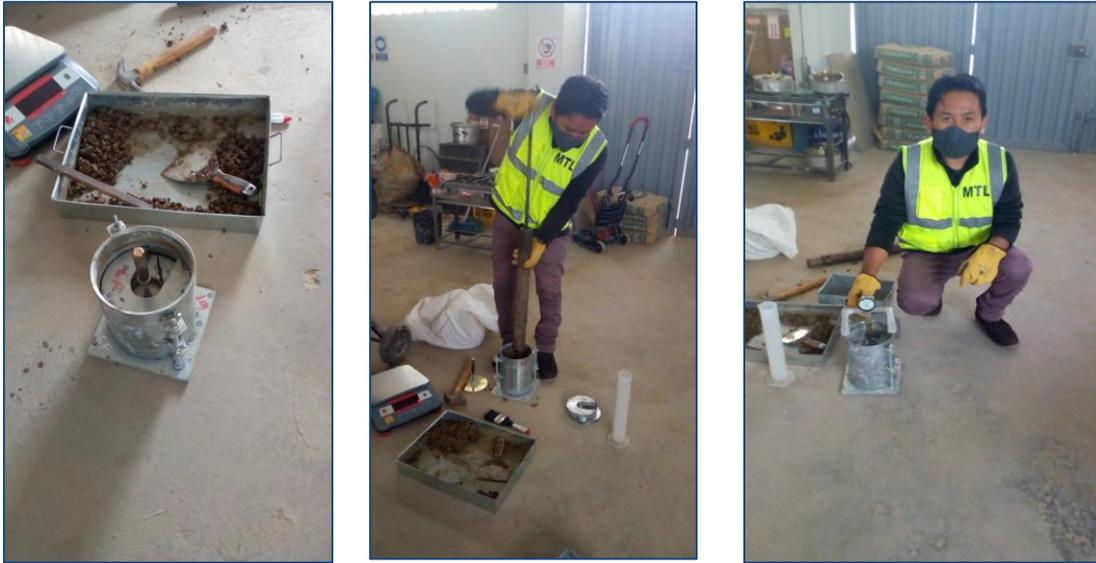


Figura 32. Ensayo de CBR
Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Toma de Datos del Ensayo CBR
Fuente: Elaboración propia

➤ **ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 – 1999)**

Para el ensayo del corte directo se preparó dos muestras remoldeadas, obtenido del contenido de humedad óptima y la densidad seca máxima del ensayo de proctor, las muestras analizadas son el estado natural del suelo y agregando el latex reciclado molido con las cenizas de cascara de arroz, los cuales están conformados por tres especímenes cada una de ellas.

Se ensambla en la caja de corte la muestra del suelo en estado natural, se asegura los marcos del equipo con mucho cuidado se conecta los dispositivos de carga y se ajusta el dial para medir las deformaciones durante el ensayo del corte a una velocidad de corte de 0.5mm/m para poder determinar los esfuerzos cortantes.



Figura 34. Ensayo de Corte Directo
Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de consolidación del ensayo del corte directo se registró las lecturas de todas las muestras analizadas.

Luego de registrar los datos obtenidos se procedió a realizar la curva de esfuerzo de corte y a la deformación unitaria en un gráfico donde se determinó la cohesión y el ángulo de fricción.

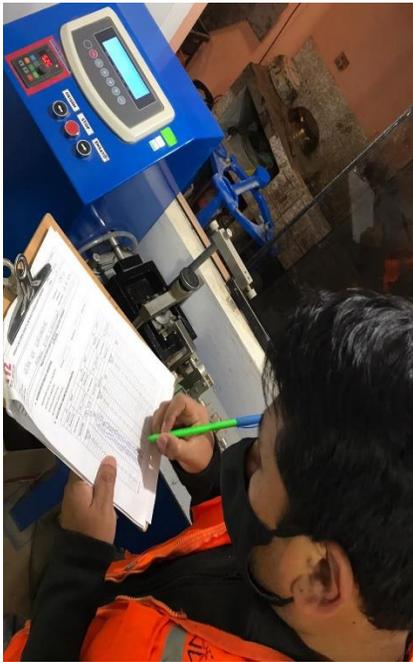


Figura 35. Registro de Datos Corte Directo
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Realizar el análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, esto se da comparando la cohesión y el ángulo de fricción.

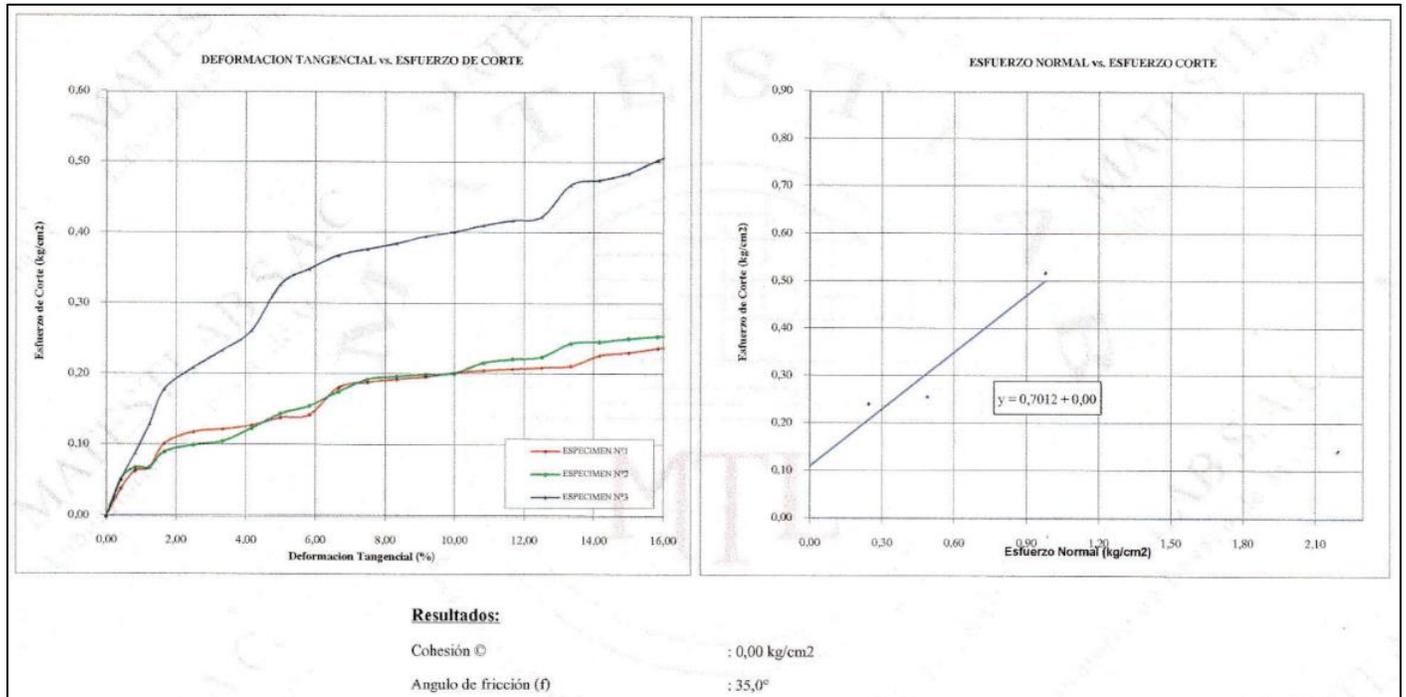


Figura 36. Ensayo de Corte Directo Bajo Condiciones Consolidadas Drenadas del M- 1(Suelo Natural)

Fuente: Certificado de laboratorio

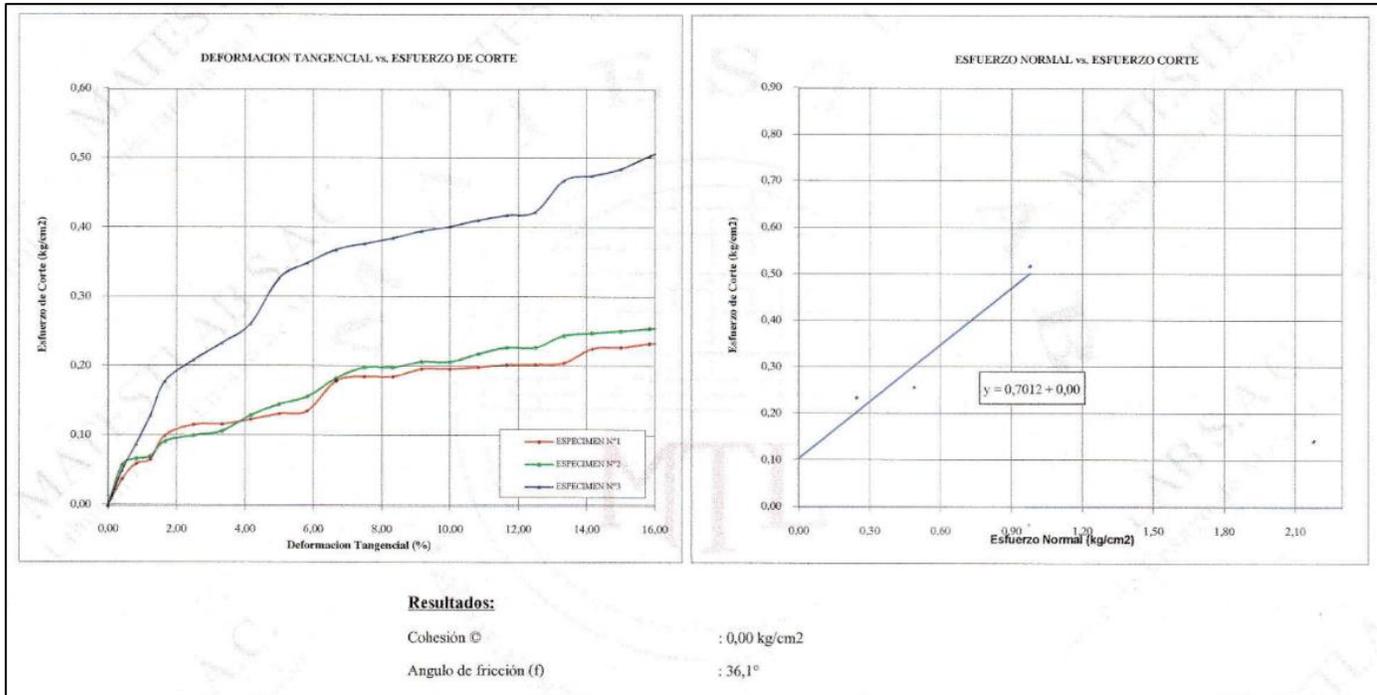


Figura 37. Ensayo de Corte Directo Bajo Condiciones Consolidadas Drenadas del M-2 (2% Cascara de Arroz 1% Látex reciclado Molido)

Fuente: Certificado de laboratorio

En las gráficas se aprecia que el suelo no es plástico para la muestra M-1 y para la muestra M-2, ya que para ambos casos la cohesión es cero.

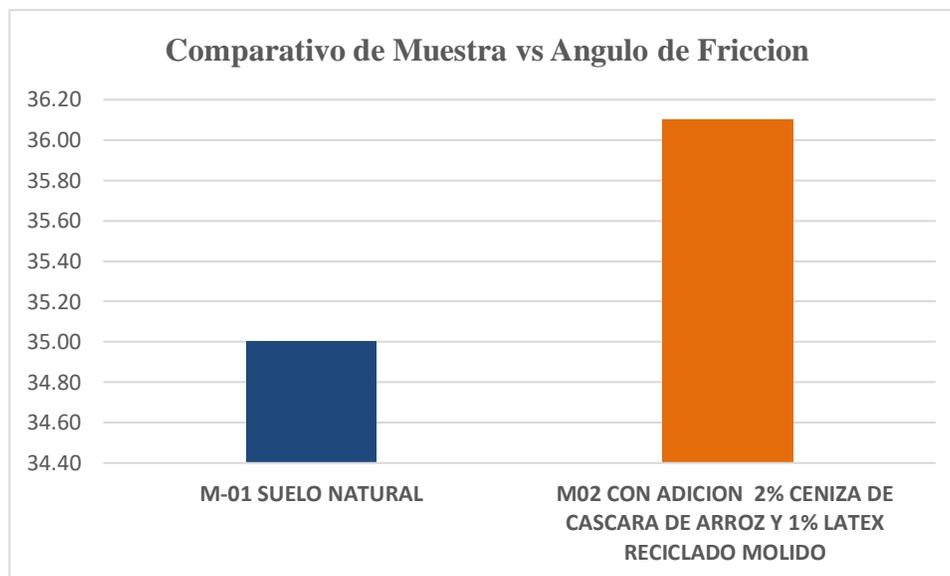


Figura 38. Comparativo Muestra vs Angulo de Fricción

Siendo que el ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, entonces a mayor ángulo de fricción, mayor resistencia al corte, por lo que se demuestra que la resistencia al esfuerzo cortante propuesto es mayor que en el estado natural en 3.14%.

Para realizar el análisis comparativo del **óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca** entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, se debe identificar los datos obtenidos en el laboratorio, los mismos que se visualizan en las figuras contiguas.

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1557 / ASTM D1883						
Volumen Molde		2136		cm ³		
Peso Molde		6723		gr.		
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	11,655	11,840	11,984	11,998	
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4,932	5,117	5,261	5,275	
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,309	2,396	2,463	2,470	
Recipiente Numero		0	0	0	0	
Peso de la Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	402.3	425.6	471.2	400.8	
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	388.7	403.8	437.9	366.1	
Peso del agua	gr.	13.6	21.8	33.3	34.7	
Peso del suelo seco	gr.	389	404	438	366	
Contenido de agua	%	3.5	5.4	7.6	9.5	
Densidad Seca	gr/cc	2.231	2.273	2.289	2.256	
Densidad Máxima Seca:		2.290		gr/cm³.		
		Contenido Humedad Optima:			7.2 %	

Figura 39. Ensayo de Compactación – Proctor modificado para CBR de M-1 (Suelo Natural)

Fuente: Certificado de laboratorio

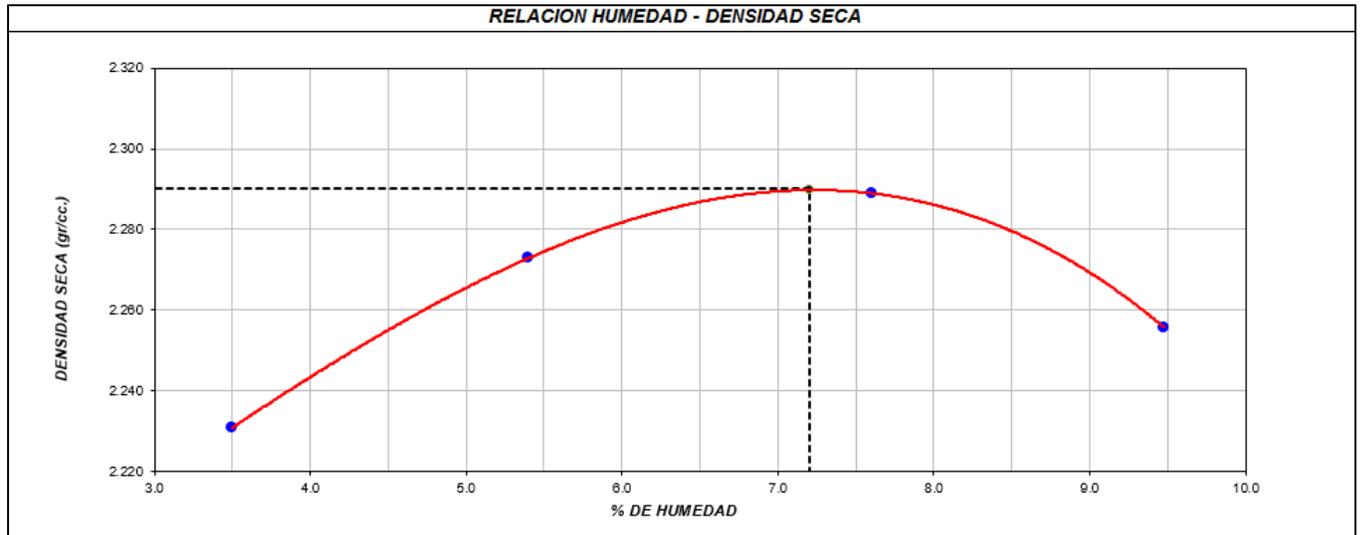


Figura 40. Ensayo de compactación – Proctor modificado para CBR de M-1 (Suelo natural)

Fuente: Certificado de laboratorio

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1557 / ASTM D1883						
		Volumen Molde	2136	cm ³		
		Peso Molde	6723	gr.		
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	11,660	11,875	11,991	11,982	
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4,937	5,152	5,268	5,259	
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,311	2,412	2,466	2,462	
Recipiente Numero		0	0	0	0	
Peso de la Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	413.5	428.2	435.1	405.2	
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	401.1	405.5	406.3	371.1	
Peso del agua	gr.	12.4	22.7	28.8	34.1	
Peso del suelo seco	gr.	401	405	406	371	
Contenido de agua	%	3.1	5.6	7.1	9.2	
Densidad Seca	gr/cc	2.242	2.284	2.303	2.255	
Densidad Máxima Seca:		2.303	gr/cm³.	Contenido Humedad Optima:		7.3 %

Figura 41. Ensayo de Compactación – Proctor Modificado para CBR de M-2 (2% ceniza de cascara de arroz y 1% de látex reciclado molido).

Fuente: Certificado de laboratorio.

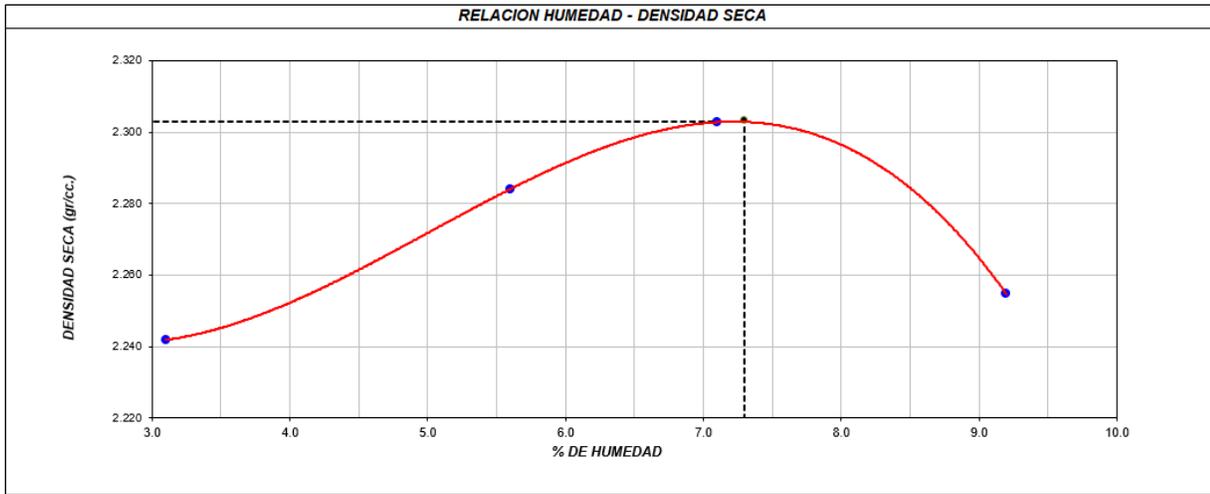


Figura 42. Relación Humedad – Densidad Seca de M-2 (2% cascara de arroz y 1% de látex reciclado molido)

Fuente: Certificado de laboratorio.

Tabla 11

Comparación % humedad óptima entre M-1 y M-2.

Descripción	% Humedad óptima
M-1 Suelo Natural	7.20
M-2 con adición de 2% de ceniza de arroz reciclado y 1% de látex triturado	7.30

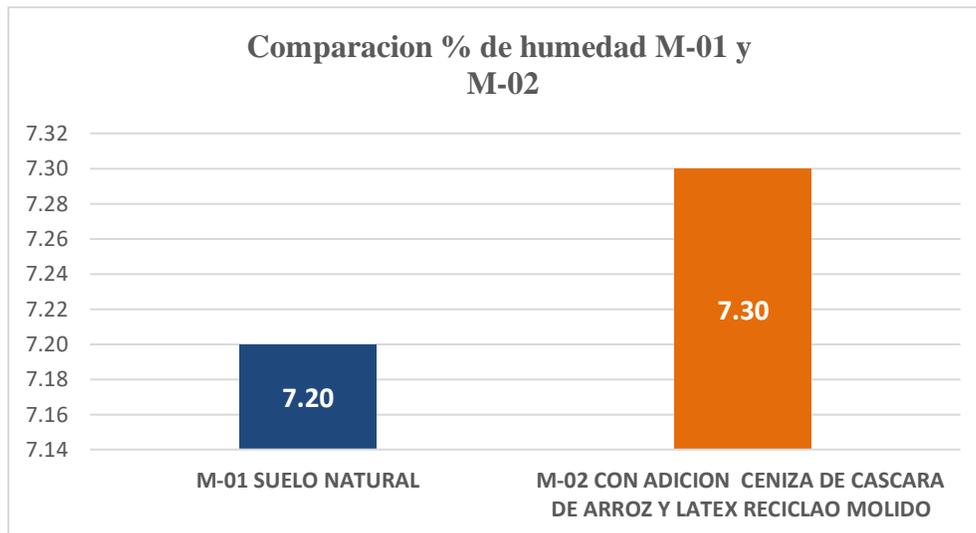


Figura 43. Comparación % Humedad Óptima entre M-1 y M-2.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12

Comparación densidad seca máxima entre M-1 y M-2.

Descripción	Densidad seca máxima
M-1 Suelo Natural	2.290
M-2 con adición de 2% de ceniza de arroz reciclado y 1% de látex triturado	2.303

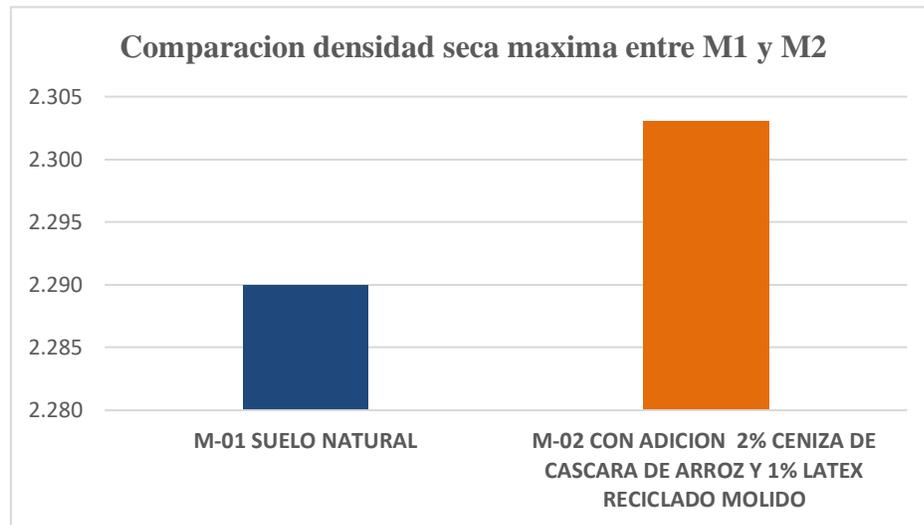


Figura 44. Comparación Densidad Seca Máxima entre M-1 y M-2

Fuente elaboración propia

Tabla 13

Resumen de propiedades mecánicas analizadas.

Descripción	Resistencia al esfuerzo cortante	% Humedad óptima	Densidad seca máxima
M-1 Suelo Natural		7.20	2.29
M-2 con adición de 2% de ceniza de arroz reciclado y 1% de látex triturado		7.30	2.303

Fuente: Certificados de laboratorio.

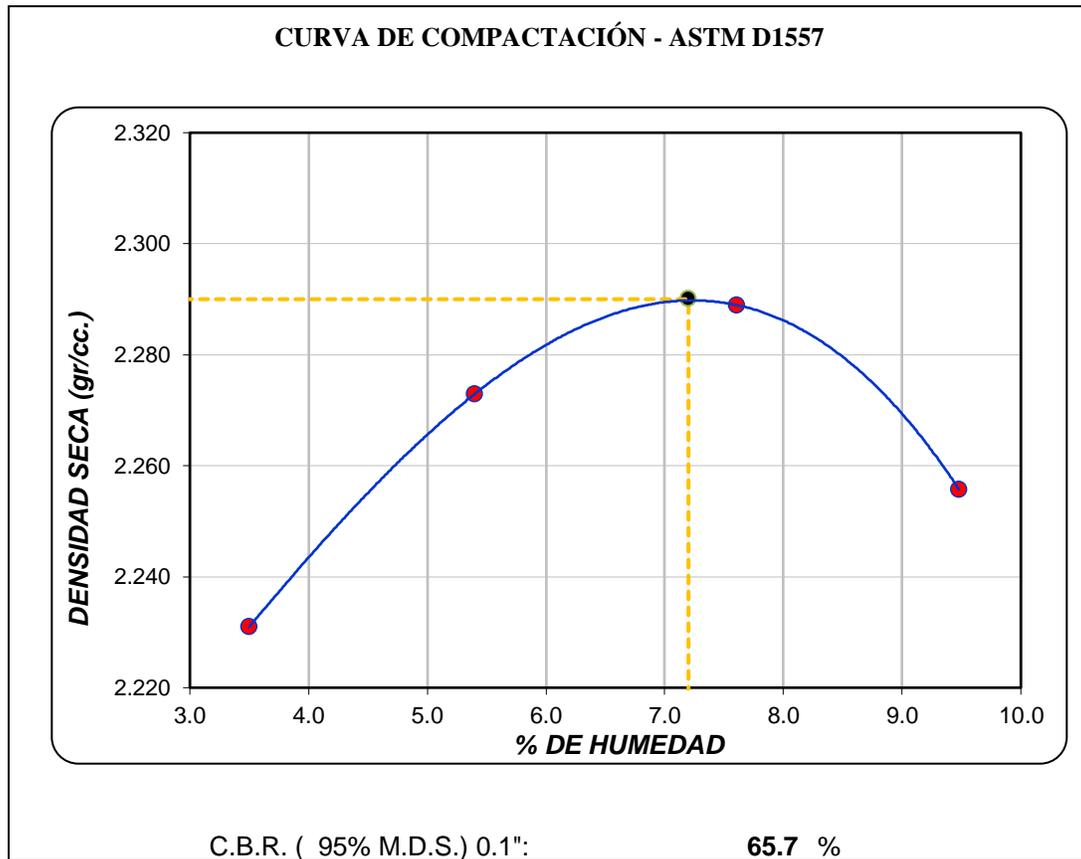


Figura 45. Curva de Compactación - ASTM D1557 para M-1 Muestra Suelo Natural

Fuente: Certificado de laboratorio

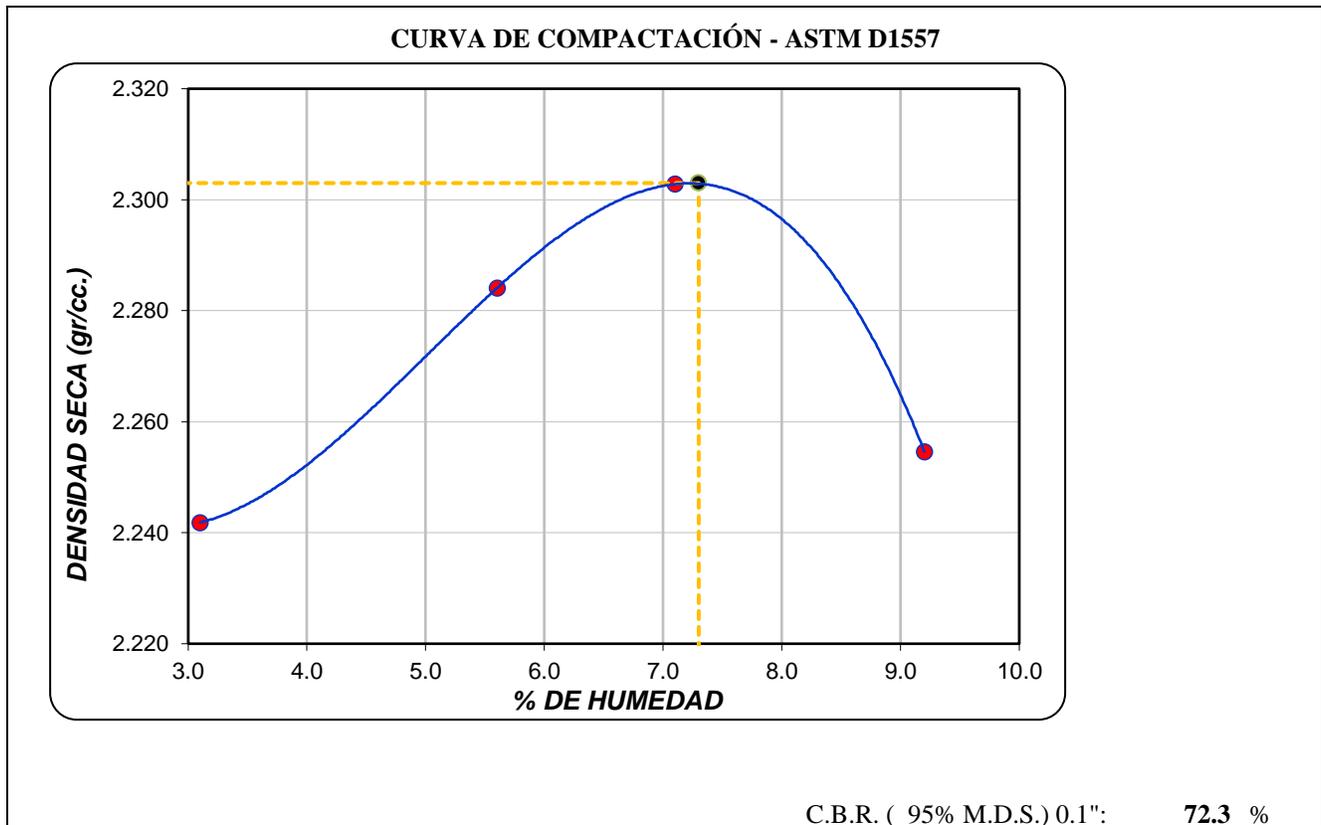


Figura 46. Curva de Compactación - ASTM D1557 para M-2 con Adición de 2% de Ceniza de Cascara de Arroz y 1% de Látex Reciclado Molido

Fuente: Certificado de laboratorio

Tabla 14

Costo de M-01 suelo natural arcilloso

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Parcial S/	Total S/
1	Arcilla	m3	1.50	62.00	93.00	
2	Agua	l	2.00	3.00	6.00	
3	Ensayos de Corte Directo, Proctor y CBR	Glb	1.00	900.00	900.00	
						S/999.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Costo de M-02 suelo arcilloso con adición de látex reciclado molido y cenizas de cascara de arroz.

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Parcial S/	Total S/
1	Arcilla	m3	1.50	62.00	93.00	
2	Agua	l	2.00	3.00	6.00	
3	Guante de Látex Quirúrgico	und	150.00	2.00	300.00	
4	Cascara de arroz	kg	2.00	5.00	10.00	
5	Ensayos de Corte Directo, Proctor y CBR	Glb	1.00	900.00	900.00	
						S/1,309.00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIONES

Al comprobar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante observamos que se produce un incremento en la resistencia al esfuerzo cortante, en la humedad optima no se produce un cambio significativo en la absorción de la humedad, mientras que en la densidad tiene un mejor incremento en sus propiedades del suelo.

- Al realizar el análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural (figura 36) y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido (figura 37), observamos que de acuerdo a los resultados obtenidos la resistencia al esfuerzo cortante propuesto es mayor que el suelo natural en 3.14% , asimismo notamos que la adición de 2% de cenizas de arroz y 1% de látex reciclado molido tiene mayor CBR que la muestra suelo natural, siendo la diferencia porcentual 6.60 % , por lo que la adición incrementa favorablemente capacidad resistente como subrasante.
- Al realizar el análisis comparativo de el óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural (figura 39) y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido (figura 41) observamos que el porcentaje de humedad óptima para la muestra suelo natural fue de 7.20 y para la muestra propuesta de 7.30 , lo cual indica que la adición de 2% de cenizas de cascara de arroz y 1% de látex

reciclado molido, no absorbe mucha agua respecto a la muestra suelo natural, siendo la diferencia porcentual 0.10 %.

- Al realizar el análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural (figura 40) y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido (figura 42) observamos que la densidad seca máxima para la muestra suelo natural fue de 2.290 y para la muestra propuesta de 2.303, lo cual indica que la adición de 2% de cenizas de arroz reciclado y 1% de látex reciclado molido tiene mayor densidad que la muestra suelo natural, siendo la diferencia porcentual 0.60 %.

4.2 CONCLUSIONES

Al comprobar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante se concluye que favorece en el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo arcilloso a nivel subrasante, debido a que mejora el CBR en un 72.30%, en la humedad optima se concluye que agregando el latex reciclado molido y cenizas de cascara de arroz no se produce la absorción de la humedad, en densidad seca máxima se concluye que agregando los materiales en mención, produce un mejor resistencia y estabilidad volumétrica.

- Al realizar el análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural (figura 36) y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido (figura 37) se concluye que la adición del látex reciclado y la cenizas de cascara de arroz, si permitió identificar el más conveniente para la sub rasante, porque favorece a incrementar la resistencia de los suelos arcillosos a nivel de subrasante ya que corresponde a un $CBR = 72.3\%$ (figura38) , mayor que el CBR de la muestra del suelo natural., pues mientras más se acerque este valor del CBR al 100% , es un indicativo de que tendremos un suelo de mejor calidad.
- Al realizar el análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural (figura 39) y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido (figura 41) se concluye que la adición del látex y cenizas de cascara de arroz no tiene la suficiente absorción del % de humedad del suelo analizado, no permitió identificar el más conveniente para la sub rasante.
- Al realizar el análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural (figura 40) y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido (Figura 42) se concluye que el látex y cenizas de cascara de arroz incrementa favorablemente la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa. si permitió identificar el más conveniente para la sub rasante.

REFERENCIAS

- Aparna Roy (2014) “Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement”. International Journal of Civil Engineering Research.
- Behak L. & Peres Núñez, W. (2008) “Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación”. Ingeniería de Construcción. Santiago, Chile.
- Biswas G. (2010) “Some studies on stabilization of subgrade of flexible pavement with rice husk, rice husk ash and lime”. Professional Thesis, Jadavpur University, Bengala Occidental, India.
- Dirección Regional de Energía y Minas (2014) “Evaluación del potencial de generación energética con cáscara de arroz en la zona del Huallaga Central del departamento de San Martín. San Martín. Perú.
- Aguilar, S.J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. (Tesis de Maestría). Universidad de Sucre, Sucre, Colombia.
- Jha, J. y Gill, K. (2006). Efecto de la ceniza de cáscara de arroz sobre la estabilización de suelos. En Revista de Ingeniería de la India, 85(2) pp. 33-39.
- Juárez Quevedo, B. M. (2012). La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados. (Tesis de Grado). Universidad de San Carlos-Guatemala.
- Mattey, P., Robayo, R. y Díaz, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. En Revista latinoamericana de metalurgia y materiales, 35(2) pp.285-294.

- Muntohar, A. (2005). Propiedades geotecniza de la aarcilla expansiva estabilizada con ceniza de cascara de arroz. En *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 13(3) pp. 36-47.
- Rahman, Z., Hasan, H. y Mohd, W. (2014). Effect of Rice Husk Ash Addition on Geotechnical Characteristics of Treated Residual Soil. En *American Eurasian J. Agric & Environ*, 14(12) pp. 1368-1377.
- Castro Cuadra, A. F. (2017). *Estabilización de Suelos Arcillosos con Ceniza de Cáscara de Arroz para el Mejoramiento de Subrasante*. Lima, Perú:
- Behak L. y Peres N. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cascara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 34-41.
- Ferreira A. y Silveira A. (1997). Ceniza de cascara de arroz: Posibilidades de utilización como insumo en materiales de construcción. *ANTAC*, 6.
- Morales Z. (2015). *Valorización de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín - Colombia: Universidad de Medellín.
- Akbulut, S., Arasan, S., & Kalkan, E. (2007). Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. *Applied Clay Science*, 38, 23-32.
- Caballero, A. (2014). *Metodología Integral Innovadora para PPlanes y Tesis*. México D.F.: CENGAGE Learning.
- Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano de la Universidad Politécnica de Madrid. (2014). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos - Perú*. Ciudad Saludable.

- Diambra, A., Ibraim, E., Russell, A., & Muir, D. (2013). Fibre reinforced sands: from experiments to modelling and beyond. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 37, 2427-2455.
- Li, C. (2005). *Mechanical response of fiber-reinforced soil*. Austin: Escuela de Posgrado de la Universidad de Texas.
- López, J. (2013). *Suelos Arcillosos Reforzados con Materiales de Plástico Reciclado (PET)*. Tesis de Grado, Antioquía.
- Miranda, J. (2012). *Arcillas: problemas en Ingeniería*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

ANEXOS

ANEXO N°1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y=f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
INFLUENCIA DEL LÁTEX RECICLADO MOLIDO Y LAS CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE. LIMA NORTE 2020.	Problema general ¿Cómo determinar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante?	Objetivo general: Determinar la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante	Hipótesis general: Hipótesis Nula (Ho): El análisis de la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante no permitió identificar el más idóneo a nivel de subrasante. Hipótesis Alterna (Ha): El análisis de la influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel de sub rasante, si permitió identificar el más idóneo a nivel de subrasante.	Variable dependiente (y): Resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima en los suelos arcillosos a nivel subrasante. <u>DIMENSIONES</u> Esfuerzo Cortante Humedad Optima Densidad Seca Máxima	Ensayo de Corte Directo Ensayo de Proctor Modificado Curva de Compactación	Tipo: Investigación Aplicada. Método: Enfoque Experimental Diseño: Experimento Puro. En tiempo: Transversal
Problemas específicos: ¿Cómo determinar la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido? ¿Cómo determinar el óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a	Objetivos específicos: Determinar el análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con	Hipótesis específicas: Hipótesis Nula (Ho): El análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de cenizas de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido , no permitió	Variable independiente (x): Látex reciclado molido y las cenizas de cascara de arroz. <u>DIMENSIONES</u> Suelo Arcillosos Natural 2% Cenizas de Cascara de Arroz.	Granulometría 2% Cenizas de cascara de arroz 1% Latex reciclado molido.		

<p>nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido ?</p> <p>¿ Cómo determinar la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido ?</p>	<p>adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido.</p> <p>Determinar el análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido.</p> <p>Determinar el análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de subrasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido.</p>	<p>identificar el más conveniente para la subrasante.</p> <p>Hipótesis Alternativa (Ha): El análisis comparativo de la resistencia al esfuerzo cortante entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de cenizas de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido , si permitió identificar el más conveniente para la subrasante.</p> <p>Hipótesis Nula (Ho): El análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, no permitió identificar el más conveniente para la subrasante.</p> <p>Hipótesis Alternativa (Ha): El análisis comparativo del óptimo contenido de humedad entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido, si permitió identificar el más conveniente para la subrasante.</p> <p>Hipótesis Nula (Ho): El análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex reciclado molido no permitió identificar el más conveniente para la subrasante.</p> <p>Hipótesis Alternativa (Ha): El análisis comparativo de la densidad seca máxima entre suelos arcillosos a nivel de sub rasante en su estado natural y con adición de 2% de ceniza de cáscara de arroz y 1% de látex</p>	<p>1% Látex Reciclado Molido.</p>	
---	---	--	-----------------------------------	--

	reciclado molido si permitió identificar el más conveniente para la subrasante..			
--	--	--	--	--

ANEXO N°2: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 47. Material Afirmado

Fuente elaboración propia



Figura 48. Preparación del Material

Fuente elaboración propia



Figura 49. Cuarteo del Afirmado

Fuente elaboración propia



Figura 50. Preparación Ensayo de Proctor Natural M-01

Fuente elaboración propia



Figura 51. Colocación del Afirmado en el Molde

Fuente elaboración propia



Figura 52. Proceso del Golpeo Ensayo Proctor

Fuente elaboración propia



Figura 53. Nivelación del Molde
Fuente elaboración propia



Figura 54. Peso de Muestra Ensayo Proctor
Fuente elaboración propia



Figura 55. Colocación de Muestra en Horno
Fuente elaboración propia



Figura 56. Colocación de Muestra Ensayo CBR

Fuente elaboración propia



Figura 57. Registro de Deformación Ensayo CBR
Fuente elaboración propia



Figura 58. Toma de Datos de CBR
Fuente elaboración propia



Figura 59. Colocación de Moldes en Equipo CBR

Fuente elaboración propia



Figura 60. Registro de Penetración
Fuente elaboración propia



Figura 61. Reconocimiento del Equipo de Corte Directo
Fuente elaboración propia

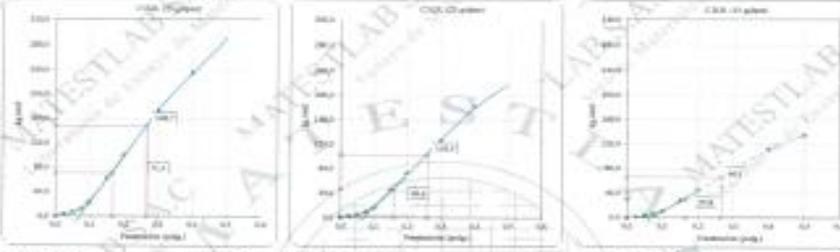
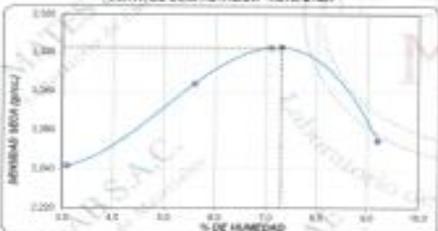
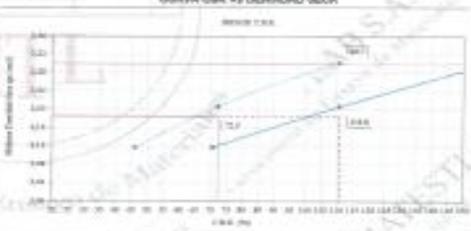


Figura 62. Lectura de Deformaciones
Fuente elaboración propia



Figura 63. Anotaciones de Datos Obtenidos
Fuente elaboración propia

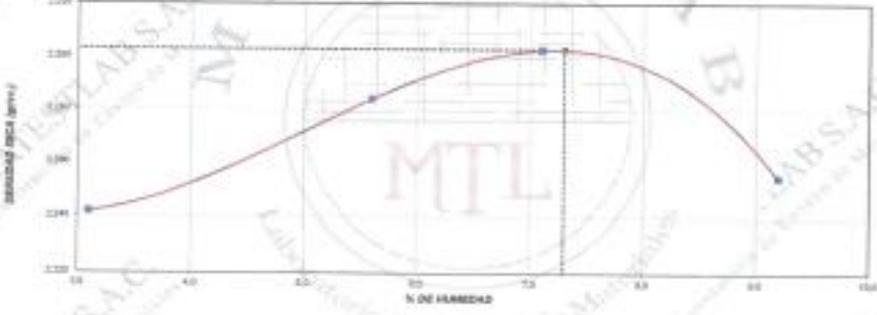
ANEXO: CERTIFICADOS DE LABORATORIO

INFORME		Código	AS-PO-15
VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR		Versión	01
		Fecha	31-08-2020
		Página	3 de 3
Proyecto	INFLUENCIA DEL LATEX MOÍDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD	Registro N°	MFL20-LEM-188
Solicitante	HENRY LUIS GABRIEL MAMANI	Muestrado por	MATESTLAB SAC
Ubicación de Proyecto	Instalaciones de laboratorio MATESTLAB SAC	Ensayado por	D. CHIVELA
Material	---	Fecha de Ensayo	31/08/2020
Identificación	---	Tiempo	Duero
Procedencia	---	Profundidad	---
N° de Muestra	M02 CON ADICION DE 2% DE CENIZA DE ARROZ RECICLADO Y 1% DE LATEX TRILUJADO	Norte	---
Progresiva	---	Este	---
		Cota	---
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1083			
Datos de muestra			
Máxima Densidad Seca	2.703 g/cm ³	Coeficiente de Humedad	7.3 %
Máxima Compactación a 98%	2.488 g/cm ³		
			
<p>CBR (150 VUELTA) 187 % CBR (45 VUELTA) 73.3 % CBR (10 VUELTA) 45.3 %</p>			
 <p>CURVA DE COMPACTACION - ASTM D1557</p>		 <p>CURVA CBR vs DENSIDAD SECA</p>	
<p>CBR (100% M.D.S.E.) 187 % CBR (98% M.D.S.E.) 187 %</p>		<p>CBR (100% M.D.S.E.) 187 % CBR (98% M.D.S.E.) 187 %</p>	
OBSERVACIONES:			
<ul style="list-style-type: none"> Muestra tomada en campo y ensayada por personal de MATESTLAB SAC. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB SAC. 			
MATESTLAB SAC			
<p>TECNICO LEM</p> <p>Nombre y Firma:</p> 	<p>Nombre y Firma:</p>  <p>HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.</p>	<p>ODG - LEM</p> <p>Nombre y Firma:</p>  <p>MATESTLAB S.A.C. RUC: 38604738572 NICOLLE OLIMPA BARRETO GERENTE GENERAL</p>	
<p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	<p>948650513 912462558</p>	<p>informes@laboratoriosmatestlab.com www.laboratoriosmatestlab.com</p>	

Anexo 01 Ensayo de CBR M-02 con Látex Reciclado Molido y Ceniza de Cáscara de Arroz

INFORME		Código	AS-FC-18										
VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR		Versión	01										
		Fecha	31.08.2020										
		Página	2 de 3										
Proyecto	INFLUENCIA DEL LÁTEX MOLIDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE, LIMA 2020.	Registro N°	MTL20-CEM-198										
Solicitante	HENRY LUIS GABRIEL MARIANI	Matrícula por Empleado por Fecha de Emisión	MATESTLAB SAC D. CRIVGA 31/08/2020 Día										
Ubicación de Proyecto	Instalaciones de laboratorios MATESTLAB SAC	Turno											
Material		Autenticidad											
Identificación Procedencia		Marca											
N° de Muestras	M4 CON ADICIÓN DE 2% DE CENIZA DE ARROZ RECICLADO Y 1% DE LÁTEX RECICLADO	Estado											
Progresiva		Código											
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1553													
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)													
Módulo M ₁	18	22	38										
Módulo M ₂ (seca)	2	2	2										
Módulo M ₃ (saturo)	2	2	2										
Coeficiente de fricción	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO										
Peso seco + molde (g)	15.864	12.860	12.554										
Peso molde (g)	8.847	7.845	8.822										
Peso suelo + molde (g)	5.227	5.015	3.732										
Peso suelo + molde (g)	8.189	2.265	4.100										
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.461	2.282	2.285										
Densidad seca (g/cm ³)	2.227	2.225	2.117										
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Peso de agua (g)													
Peso + agua húmedo (g)	381.2	385.1	388.2										
Peso + agua seco (g)	388.2	392.2	388.2										
Peso de agua (g)	29.7	29.9	37.8										
Peso de suelo seco (g)	288.8	358.2	346.4										
Humedad (%)	7.3	7.3	8.5										
EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo seg	Diel S.F.F	Excedido mm	%	Diel S.F.F	Humedad mm	%	Diámetro mm	%			
27-ago	11:00	0	0:00	0.00	0.00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00			
28-ago	11:00	24	0:00	0.00	0.00	0:04	0.00	0.00	0.00	0.00			
29-ago	11:00	48	0:00	0.00	0.00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00			
30-ago	11:00	72	0:01	0.00	0.00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00			
31-ago	11:00	96	0:00	0.00	0.00	0:11	0.00	0.00	0.12	0.00			
PENETRACIÓN													
Penetración	Carga estándar (kg/cm ²)	Módulo M ₁ 18				Módulo M ₂ 22				Módulo M ₃ 38			
		Carga	Compresión	Carga	Compresión	Carga	Compresión	Carga	Compresión	Carga	Compresión	Carga	Compresión
0.025		35	4.7		37	5.0		39	5.0		39	5.0	
0.050		44	6.4		46	4.9		47	5.0		47	5.0	
0.075		50	12.4		49	8.3		55	9.0		55	9.0	
0.100	81.012	58	21.0	71.3	152.7	20.2	46.5	124.1	35.0	10.0	20.0	46.5	
0.150		120	42.0		120	46.8		120	27.0		120	27.0	
0.200	81.030	160	56.0	140.7	160.0	120.0	120.0	120.0	45.0	36.1	120.0	76.7	
0.300		240	112.0		200	120.0		200	70.0		200	70.0	
0.400		310	150.0		300	160.0		300	110.0		300	110.0	
0.500		380	190.0		380	210.0		380	134.4		380	134.4	
OBSERVACIONES:													
* Muestra llevada en tiempo analizada por personal de MATESTLAB SAC													
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB SAC													
-													
MATESTLAB SAC													
TRONCO, EM				HENRY LUIS				NICOLLE LUIS					
Firma y Sello				Firma y Sello				Firma y Sello					
 MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Control de Calidad				 HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.				 MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE LAMPA BARRETO GERENTE GENERAL					
Me: A Lt. 24 Urb. Mayurazgo Naranjal				948650513				informes@laboratoriomatestlab.com					
3da etapa, 15023, San Martín de Porres				912462558				www.laboratoriomatestlab.com					

Anexo 02: Valor de Soporte CBR M-02 con Látex Reciclado Molido y Ceniza de Cáscara de Arroz

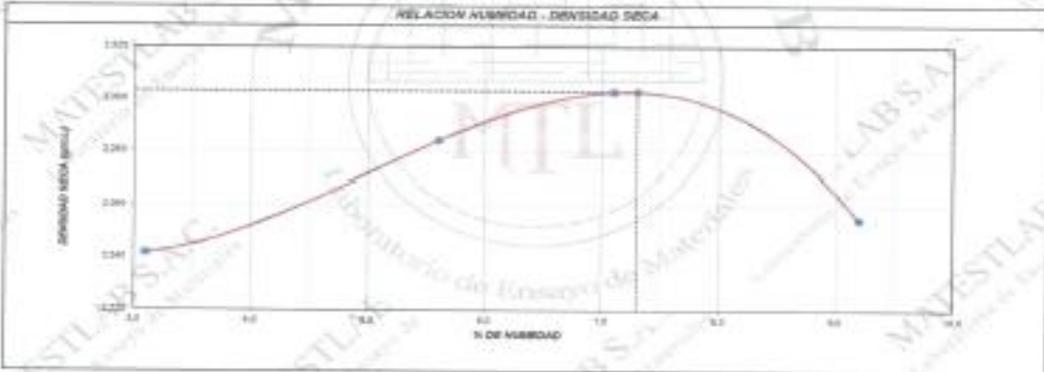
INFORME		Código	AE-PO-18		
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PARA CBR		Variedad	01		
		Fecha	27-09-2020		
		Página	1 de 5		
Proyecto	INFLUENCIA DEL LÁTEX MOLIDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE. LIMA 2020.	Registro N°	MTL20-LEM-186		
Solicitante	HENRY LUIS GABRIEL WAMPAI	Elaborado por	MATESTLAB S.A.C		
Ubicación de Proyecto	Instalaciones de laboratorio MATESTLAB S.A.C	Ensayado por	D. CRINGA		
Motivo		Fecha de Ensayo	27/09/2020		
		Turno	Diurno		
Identificación		Profundidad			
Procedencia		Nivel			
N° de Muestra	M-2 CON ADICIÓN DE 2% DE CENIZA DE ARROZ RECICLADO Y 1% DE LÁTEX TREFURADO	Estr.			
Progrativa		Cota			
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1557 / ASTM D1558					
Volúmen Móvil	2130	cm ³			
Peso Móvil	8723	gr			
NÚMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
Peso Volumétrico Humedo	gr	2.311	2.412	2.408	2.482
Contenido de agua	%	3.1	3.8	7.1	6.3
Densidad Seca	gr/cm ³	2.242	2.384	2.300	2.358
Densidad Máxima Seca	gr/cm ³	2.300			
Contenido Humedad Óptimo	%	7.3			
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA					
					
OBSERVACIONES: * Muestra tomada en tiempo y ensayada por personal de MATESTLAB S.A.C * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C					
MATESTLAB S.A.C					
TECNICO LEM Nombre y Firma 	LEM-LEM Nombre y Firma  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	GGG-LEM Nombre y Firma  MATESTLAB S.A.C RUC. 20604738572 NICOLLE GUMPA BARRETO GERENTE GENERAL			
Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Narantja 2do etapa, 15023, San Martín de Porres	948650513 912462558	infirmas@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com			

Anexo 03: Ensayo de Proctor Modificado M-02 con Látex Reciclado Molido y Ceniza de Cáscara de Arroz

Proyecto:	INFLUENCIA DEL LÁTEX MOLIDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE. LIMA 2020.	Registro N°:	MTL20-LEM-188
Solicitante:	HENRY LUIS GARCÍA SÁNCHEZ	Mostrado por:	MATESTLAB S.A.C.
Ubicación de Proyecto:	Instalaciones del Laboratorio MATESTLAB S.A.C.	Empleado por:	D. CHINCHA
Identificación:		Fecha de Emisión:	27/06/2020
Sondaje / Calicote:		Tamaño:	Diametro
N° de Muestra:		Profundidad:	Norte
Progresión:	30 CON ADICIÓN DE 2% DE CENIZAS DE ARROZ RECICLADO Y 1% DE LÁTEX RECICLADO	Este	
		Oeste	

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA OBRAS ASTM D1557 / ASTM D1583					
	Volumen Molds	2130	cm ³		
	Peso Molds	8729	gr		
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
Peso Suelo + Molds	gr	11.800	11.275	11.891	11.943
Peso Suelo Humedo Compactado	gr	4.957	5.759	5.268	5.258
Peso Volumétrico Humedo	gr	2.311	2.412	2.488	2.402
Recipientes Humedo	gr	0	0	0	0
Peso de la Tara	gr	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso Suelo Humedo + Tara	gr	493.0	428.2	496.2	465.2
Peso Suelo Seco + Tara	gr	401.1	405.8	405.0	371.1
Peso del agua	gr	12.4	22.3	28.8	34.1
Peso del agua seco	gr	401	405	408	371
Contenido de agua	%	3.1	5.6	7.1	9.3
Densidad Seca	gr/cm ³	2.242	2.384	2.303	2.295

Densidad Máxima Seca:	2.382	gr/cm ³	Conversión Humedad Óptima:	7.9	%
-----------------------	-------	--------------------	----------------------------	-----	---



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA

Observaciones:
 * Si estos datos son tomados en campo y analizados por personal de MATESTLAB S.A.C.
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C.

MATESTLAB S.A.C.		
RECIBIÓ	OTRO LEM	OTRO LEM
Nombre y Firma:  MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayos de Materiales	Nombre y Firma:  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	Nombre y Firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC: 20504738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

 Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres	 945850513 912462558	 informes@laboratoriosmestlab.com www.laboratoriosmestlab.com
--	--	---

Anexo 04: Valores del Ensayo de Proctor Modificado M-02 con Látex Reciclado Molido y Ceniza de Cáscara de Arroz

SOPORTE		Código	AS-PO-10
VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR		Versión	01
		Fecha	27-06-2020
		Página	2 de 5
Proyecto	INFLUENCIA DEL LÁTEX MOLIDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE. LIMA 2020.	Registro N°	MTL29-LE08-198
Solicitante	HENRY LUIS GABRIEL MAMANI	Modificado por	MATESTLAB S.A.C.
Ubicación de Proyecto	Instalaciones y laboratorio MATESTLAB S.A.C.	Ensayado por	D. CHINGA
Materia		Fecha de Ensayo	31/08/2020
		Tiempo	Dieta
Identificación		Profundidad	
Procedencia		Monto	
N° de Muestras	M-1	Bate	
Progresiva		Cota	

ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1557													
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)													
Muestra (N°)	20	24	32	36	42	48	54						
Mostrador de carga	2	2	2	2	2	2	2						
Mostrador de golpes	20	20	20	20	20	20	20						
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	SATURADO						
Dist. suelo - muestra (gr.)	11.136	11.136	11.177	11.200	11.200	11.200	11.200						
Peso cilindro (gr.)	8.989	8.989	8.988	8.984	8.984	8.984	8.984						
Peso suelo compactado (gr.)	5.135	4.993	4.993	4.993	4.993	4.993	4.993						
Volumen del molde (cm ³)	8.736	8.736	8.736	8.736	8.736	8.736	8.736						
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.432	2.391	2.391	2.391	2.391	2.391	2.391						
Densidad seca (gr/cm ³)	2.229	2.194	2.194	2.194	2.194	2.194	2.194						
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Dist. suelo (gr.)													
Dist. suelo húmedo (gr.)	521.3	505.4	505.4	514.3	514.3	514.3	514.3						
Dist. suelo seco (gr.)	497.6	473.8	473.8	483.2	483.2	483.2	483.2						
Peso del agua (gr.)	23.7	31.6	31.6	31.1	31.1	31.1	31.1						
Peso de suelo seco (gr.)	497.6	473.8	473.8	483.2	483.2	483.2	483.2						
Humedad (%)	4.8	7.1	7.1	6.7	6.7	6.7	6.7						
EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Temperatura	Dist. 5.5"	Expansión		Distorsión		Distorsión					
			mm	mm	%	mm	%	mm	%				
27 ago	11:00	8	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
28 ago	11:00	24	3.80	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00				
29 ago	11:00	48	3.78	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00				
30 ago	11:00	72	3.57	0.23	0.58	0.08	0.00	0.00	0.00				
31 ago	11:00	96	3.38	0.42	1.05	0.11	0.00	0.11	0.00				
PENETRACIÓN													
Penetración (mm)	Carga estándar (kg/cm ²)	Muestra N° 20				Muestra N° 34				Muestra N° 42			
		Carga	Conocido		Carga	Conocido		Carga	Conocido				
		kg	kg/cm ²	kg/cm ²	CBR %	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	CBR %	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	CBR %
0.025		43	4.1			81	5.0			39	1.9		
0.075		134	6.9			89	4.9			41	3.2		
0.150		251	12.4			105	8.2			115	6.7		
0.300	75.027	439	21.9	71.3	99.4	159	16.2	49.9	96.3	159	16.1	29.8	96.4
0.450		729	42.6			309	34.9			309	27.9		
0.600	105.486	1259	88.9	128.7	145.9	542	72.4	183.9	96.1	542	45.5	66.1	96.7
0.900		2698	175.1			1278	126.1			1278	126.1		
1.200		4791	298.2			2209	188.4			2209	172.3		
1.500		7054	456.9			3307	277.3			3307	277.3		

OBSERVACIONES:
 * Muestra tomada en campo y ensayada por personal de MATESTLAB S.A.C.
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C.

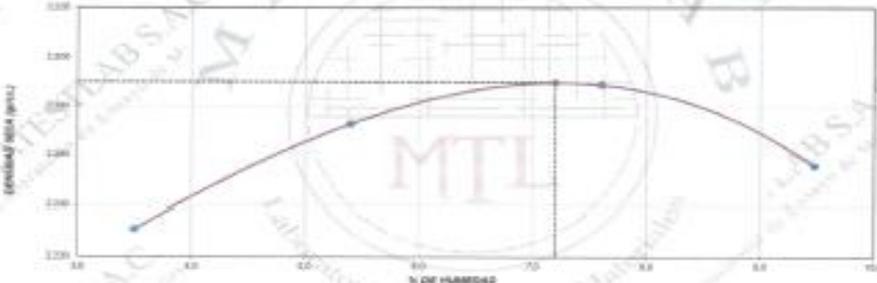
MATESTLAB S.A.C.		
TECNICO LEA Nombre y Firma  	JEFE DE M Nombre y Firma  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 265749 MATESTLAB S.A.C.	DGC - LIMA Nombre y Firma  MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

Mz. A Lt. 24 Urb. Maymuzgo Naranjal
2da etapa, 15023, San Martín de Porres

948650513
913462558

informes@laboratoriomatestlab.com
www.laboratoriomatestlab.com

Anexo 05: Valor de Soporte CBR M-01 Suelo Arcilloso Estado Natural

INFORME		Código	AS-PC-18		
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PARA CBR		Versión	01		
		Fecha	27-08-2020		
		Página	1 de 3		
Proyecto	INFLUENCIA DEL LÁTEX MOLIDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE. LIMA 2020	Registro N°	MTL20-LEM-196		
Solicitante	HENRY LUIS ORRIBEL MAMAN	Modificado por	MATESTLAB S.A.C.		
Ubicación de Proyecto	Instalaciones de Laboratorio MATESTLAB S.A.C.	Ensayado por	D. CHINGA		
Material		Fecha de Ensayo	27/08/2020		
Identificación		Turno			
Procedencia		Profundidad			
N° de Muestra	M-1	Materia			
Progresiva		Estrato			
		Cota			
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1557 / ASTM D1553					
Volume Molds	3136	cm ³			
Weight Molds	8733	gr			
NUMERO DE ENSAYOS					
Peak Volumetric Moisture	1	2	3	4	
Water Content	3.5	5.4	7.6	9.6	
Density	2.271	2.275	2.286	2.288	
Density Moisture	2.299	gr/cm ³	Optimum Moisture	7.2 %	
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA					
					
OBSERVACIONES: * Muestra tomada en campo y ensayada por personal de MATESTLAB S.A.C. * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C.					
MATESTLAB S.A.C.					
TECNICO  MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Pruebas de Materiales	JEFE LAB  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 202745 MATESTLAB S.A.C.	GERENTE  MATESTLAB S.A.C. RUC: 20004738572 NICOLTE COMPA BARRERO GERENTE GENERAL			
Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, I5023, San Martín de Porres		948650513 912462558	info@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com		

Anexo 06: Ensayo de Proctor Modificado M-01 Suelo Arcilloso Estado Natural

Proyecto: INFLUENCIA DEL LÁTEX MOLIDO Y CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ RECIKLADO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL SUBRASANTE, LIMA 2020 Registro N°: MPL34-LEM-198

Solicitante: HENRY LUIS GABRIEL SAMAN Inversor por: MATESTLAB SAC
 Ubicación de Proyecto: Inspección de laboratorio MATESTLAB SAC Fecha de Emisión: 27/08/2020
 Método: — Turno: Diurno

Identificación: — Profundidad: —
 Sondaje / Calicata: — Método: —
 N° de Muestra: — Estado: —
 Progresiva: — Categoría: —

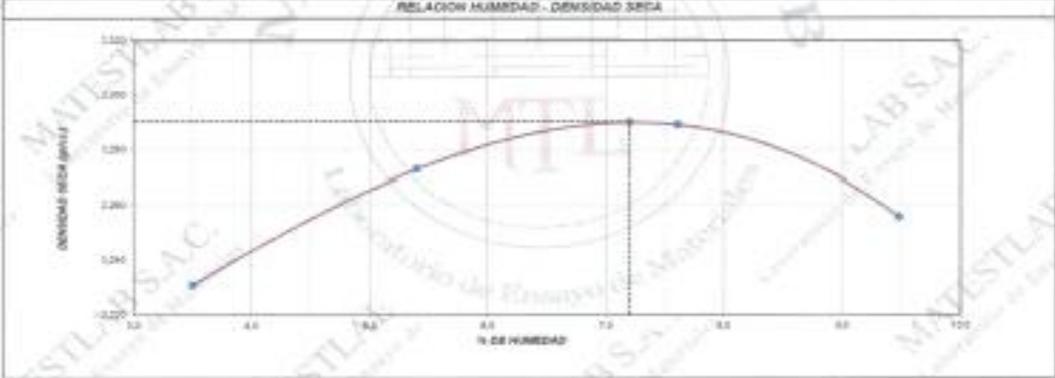
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CER
ASTM D1557 / ASTM G1885

		1	2	3	4	5
Volúmen Móvil	cm ³	2130	2130	2130	2130	2130
Peso Móvil	gr	6723	6723	6723	6723	6723

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr	11,030	11,240	11,064	11,968	11,968
Peso Suelo Humedo Compactado	gr	4,803	5,117	5,301	5,275	5,275
Peso volumétrico Humedo	gr	2,309	2,396	2,485	2,470	2,470
Resistente Humedo	gr	0	0	0	0	0
Peso de la Tara	gr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Peso Suelo Humedo + Tara	gr	4,803	4,806	4,755	4,836	4,836
Peso Suelo Seco + Tara	gr	308,7	403,6	437,6	388,1	388,1
Peso del agua	gr	13,6	21,8	30,3	34,7	34,7
Peso del suelo seco	gr	395	404	436	389	389
Contenido de agua	%	3,5	5,4	7,0	8,9	8,9
Densidad Seca ¹	gr/cm ³	2,231	2,273	2,290	2,296	2,296

Densidad Máxima Seca: 2,290 gr/cm³ Contenido Humedad Óptimo: 7,2 %

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



OBSERVACIONES:
 1 Muestra tomada en campo y ensayada por personal de MATESTLAB SAC
 2 Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB SAC

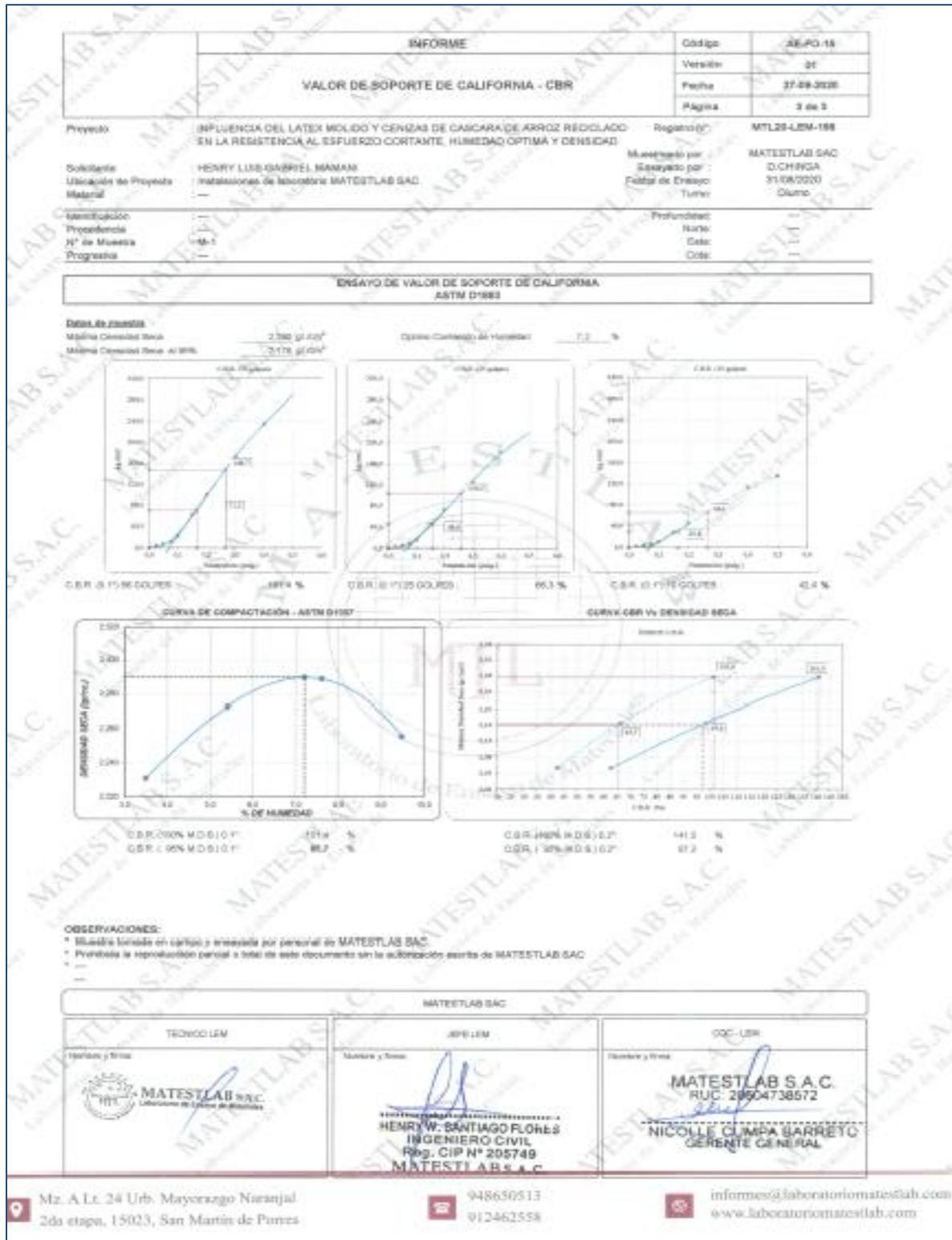
MATESTLAB SAC		
SECCION LEM	AGUO LEM	ODC LEM
Nombre y Firma:  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL RUC: CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	Nombre y Firma:  NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL	Nombre y Firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572

Mz. A Li, 24 Urb. Mayorazgo Naranjal
2da etapa, 15023, San Martín de Porres

948630513
912462558

informes@laboratoriomatestlab.com
www.laboratoriomatestlab.com

Anexo 07: Valores del Ensayo de Proctor Modificado M-01 Suelo Arcilloso Estado Natural



Anexo 08: Ensayo de CBR M-01 Suelo Arcilloso Estado Natural.



Anexo 10: Ensayo de Corte Directo Resultados M-01 Suelo Arcilloso Estado Natural.

 <p>FORMATO ENSAYOS DE CORTE DIRECTO EN SUELOS</p>	Código	C00001
	Versión	01
	Fecha	20-08-2020
	Página	1 de 1

PROYECTO	CIVIL PRUEBA DE SUELOS DE SUELOS DE CASCARA DE ARROZ RECICLADO Y LATEX RECICLADO MOLIDO EN ARENAS DE LA COSTA NOROCCIDENTAL	NUMERO DE:	MTE00-LIM-000
SOLICITANTE	HENRY LUIS GABRIEL MAMANI	PREPAREDADO POR:	MATESTLAB S.A.C.
CÓDIGO DEL PROYECTO	---	PREPARADO POR:	Dr. Ing. Oscar...
UBICACION DE PROYECTO	Laboratorio de Análisis de MATESTLAB S.A.C.	FECHA DE ENSAYO:	20/08/2020
MATERIAL	Muestra de suelo	TIPO DE ENSAYO:	Directo
CÓDIGO DE LABORATORIO	---	DIRECCION DEL AREA:	---
SEÑAL DE CALIBRACION	---	BOQUETA:	---
Nº DE MUESTRA	M2 - FON. ADICION DE 2% DE CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ RECICLADO Y 1% DE LÁTEX RECICLADO	ESTE:	---
PROCESO DE:	---	CORTE:	---

VELOCIDAD DE CORTE 103 mm/min

ESPECIMEN 1			ESPECIMEN 2			ESPECIMEN 3		
Área de Corte	35.1	cm²	Área de Corte	35.1	cm²	Área de Corte	35.1	cm²
Radio de caja	40.0	mm	Radio de caja	40.0	mm	Radio de caja	40.0	mm
Área de Anillo	35.0	cm²	Área de Anillo	35.0	cm²	Área de Anillo	35.0	cm²
Área de Anillo Neto	3.09	cm²	Área de Anillo Neto	3.09	cm²	Área de Anillo Neto	3.09	cm²
Área de Anillo Bruto	7.1	%	Área de Anillo Bruto	7.1	%	Área de Anillo Bruto	7.1	%
Est. Normal	0.24	kg/cm²	Est. Normal	0.49	kg/cm²	Est. Normal	0.98	kg/cm²
Est. Corte	0.24	kg/cm²	Est. Corte	0.24	kg/cm²	Est. Corte	0.24	kg/cm²

ESPECIMEN 1			ESPECIMEN 2			ESPECIMEN 3		
Deflexiones	Esfuerzo	Esfuerzo/Normalizado	Deflexiones	Esfuerzo	Esfuerzo/Normalizado	Deflexiones	Esfuerzo	Esfuerzo/Normalizado
mm	kg/cm²	kg/cm²	mm	kg/cm²	kg/cm²	mm	kg/cm²	kg/cm²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.04	0.09	0.02	0.06	0.07	0.01	0.05	0.03
0.02	0.06	0.08	0.03	0.07	0.08	0.02	0.06	0.04
1.25	0.07	0.08	1.23	0.07	0.08	1.23	0.07	0.08
1.67	0.08	0.08	1.67	0.08	0.08	1.67	0.08	0.08
2.00	0.07	0.08	2.00	0.08	0.08	2.00	0.08	0.08
1.25	0.12	0.26	1.23	0.11	0.13	1.23	0.12	0.14
0.17	0.17	0.28	0.17	0.13	0.13	0.17	0.26	0.14
0.04	0.11	0.21	0.04	0.11	0.17	0.00	0.23	0.29
0.01	0.14	0.23	0.02	0.16	0.18	0.03	0.25	0.26
0.07	0.19	0.40	0.07	0.18	0.20	0.07	0.27	0.23
7.50	0.19	0.42	7.50	0.26	0.23	7.50	0.33	0.27
0.25	0.19	0.42	0.21	0.20	0.22	0.21	0.29	0.22
0.17	0.20	0.44	0.17	0.21	0.23	0.17	0.40	0.21
0.00	0.20	0.44	0.00	0.21	0.23	0.00	0.40	0.21
0.00	0.26	0.44	0.00	0.22	0.24	0.00	0.41	0.23
11.07	0.26	0.44	11.07	0.23	0.23	11.07	0.42	0.23
12.00	0.26	0.44	12.00	0.23	0.25	12.00	0.42	0.23
12.25	0.21	0.44	12.25	0.23	0.26	12.25	0.47	0.23
14.17	0.23	0.46	14.17	0.23	0.26	14.17	0.46	0.23
14.00	0.23	0.46	14.00	0.23	0.26	14.00	0.49	0.23
15.07	0.23	0.46	15.00	0.23	0.26	15.00	0.49	0.23
15.07	0.24	0.49	15.00	0.24	0.26	15.00	0.50	0.26
15.07	0.24	0.49	15.07	0.26	0.26	15.07	0.52	0.27

OBSERVACIONES:

Muestra tomada en campo por personal de MATESTLAB S.A.C.

Las muestras fueron compactadas a la densidad seca nominal de 1.50 g/cm³ y a una humedad de 7.00 %.

Realizada la preparación en presencia de los estudiantes de la asignatura optativa de la Gerencia de MATESTLAB S.A.C.

MATESTLAB S.A.C.		
<p>TECNICO - LIM</p>  <p>HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP Nº 205749 MATESTLAB S.A.C.</p>	<p>GER - LIM</p>  <p>MATESTLAB S.A.C. RUC: 20034738572 NICOLE E. CLUMPA BARRETO GERENTE GENERAL</p>	

 <p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	 <p>948650513 912462558</p>	 <p>informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com</p>
--	--	---

Anexo 11: Ensayo de Corte Directo M-02 con Látex Reciclado Molido y Cenizas de Cáscara de Arroz

