

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE
CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

AXEL FRANCO CASTRO CUADRA

ASESOR

Ing. EDDY TEOFILO SCIPION PIÑELLA

LIMA- PERÚ

2017

© 2017, Universidad Nacional De Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Axel Franco Castro Cuadra
Correo: axel3009.acc@gmail.com
Teléf.: 954-755-243

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a toda mi familia, a mi madre Estrella Cuadra, a mi padre Dante Castro, a mi hermana Lucero Castro y en especial a mi abuelita Lidia Herrera Antonio y a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente en mi formación profesional y para sacar adelante esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a mi profesor Ingeniero Eddy Scipion Piñella, por su colaboración, comprensión y asesoramiento en el desarrollo de la presente tesis.

A todos los colaboradores del laboratorio geotécnico del CISMID quienes me apoyaron brindándome las instalaciones y transmitiéndome los conocimientos para el correcto desarrollo de los ensayos necesarios para la presente tesis.

Agradecer a mi familia por estar ahí apoyándome en cada momento y con sus consejos en este tramo de mi vida profesional.

A los profesionales con los que me encontré en mi vida laboral, quienes supieron comprenderme y me motivaron a sacar adelante la presente tesis con mucho ahínco.

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	6
PRÓLOGO	8
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE SÍMBOLO Y SIGLAS	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO 1 INTRODUCCION	15
1.1 GENERALIDADES	15
1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCION DEL ARROZ.....	19
1.3.1 Importancia económica y social del arroz.....	23
1.3.2 Impacto ambiental.....	23
1.3.3 Aplicaciones de la cáscara de arroz.....	24
1.4 PROBLEMÁTICA.....	25
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	26
1.6 OBJETIVOS.....	27
1.6.1 Objetivo General	27
1.6.2 Objetivos específicos	27
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	28
2.1 PAVIMENTO.....	28
2.2 SUBRASANTE	30
2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	33
2.3.1 Concepto de estabilización	33
2.3.2 Métodos de estabilización de suelos.....	34
2.3.2.1 <i>Estabilización Física y Mecánica</i>	34
2.3.2.2 <i>Estabilización Química</i>	36
2.3.2.3 <i>Estabilización térmica</i>	47
2.3.2.4 <i>Estabilización por medios eléctricos</i>	48
2.3.3 Propiedades afectadas con la estabilización	49
2.4 CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ	51

2.4.1	Origen de la ceniza de cáscara de arroz	51
2.4.2	Proceso de obtención	51
2.4.3	Características de la cáscara de arroz	54
2.4.4	Características de la ceniza de cáscara de arroz	55
2.5	SUELO ARCILLOSO	56
2.5.1	Definición	56
2.5.2	Clasificación de las arcillas	57
2.5.3	Características físicas y químicas.	58
CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO.....		61
3.1	ENSAYOS FÍSICOS	61
3.1.1	Determinación de contenido de humedad (MTC E 108-ASTM D2216). 61	
3.1.2	Análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107-ASTM D422)	62
3.1.3	Límite de Atterberg.....	63
3.1.4	Gravedad específica de suelos (MTC E113-ASTM D854).....	66
3.1.5	Clasificación de suelos.....	67
3.2	ENSAYOS MECÁNICOS	71
3.2.1.	Ensayo Proctor modificado (MTC E 116-ASTM D698).....	71
3.2.2.	Ensayo CBR (MTC 249-ASTM D1883)	72
3.2.3.	Compresión No Confinada (MTC E 121-ASTM D2166).....	73
3.3	ENSAYOS QUÍMICOS.....	74
3.3.1.	Caracterización Mineralógica (Difracción de Rayos X - DRX)	74
3.3.2.	Análisis de materia orgánica	75
CAPÍTULO IV: PROGRAMA EXPERIMENTAL		76
4.1	MATERIALES INVESTIGADOS.....	76
4.1.1	Suelo arcilloso.....	76
4.1.2	Ceniza de cáscara de arroz	79
4.2	MEZCLA DE MATERIALES	82
4.2.1	Mezcla de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.....	82
4.2.2	Mezcla de suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz	82
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS		84
5.1	ENSAYOS FÍSICOS	84
5.1.1	Análisis Granulométrico	84
5.1.2	Límites de Atterberg.....	86

5.1.3	Gravedad específica de sólidos	88
5.1.4	Clasificación de suelos.....	89
5.2	ENSAYOS QUÍMICOS.....	91
5.2.1	Análisis Difracción de Rayos X.....	91
5.2.2	Contenido de materia orgánica	93
5.3	ENSAYOS MECÁNICOS	94
5.3.1	Ensayo Proctor modificado	94
5.3.2	Ensayo CBR	99
5.3.3	Compresión No Confinada	103
5.4	DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO	105
5.5	ANALISIS DE COSTOS.....	106
	CONCLUSIONES.....	108
	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	ANEXOS	115

RESUMEN

Anualmente la producción agrícola, genera una gran cantidad de materiales de desechos como la ceniza de cáscara de arroz, los cuales generan problemas ambientales debido a la disposición de estos. En el año 2015 se generó 630,280 toneladas de cáscara de arroz, lo cual representa unas 126,000 toneladas de ceniza de cáscara de arroz. Además, en el departamento de San Martín se tiene la presencia de suelos finos, los cuales generalmente poseen una capacidad de soporte inadecuada para sostener estructuras como el pavimento y las cargas que se transmiten debido al tránsito vehicular.

La tesis consistió en el desarrollo de un método alternativo para la estabilización de suelos arcillosos usando un residuo agrícola como la ceniza de cáscara de arroz para su utilización a nivel de subrasante en suelo de baja capacidad de soporte. La investigación inició con el estudio de las muestras las cuales fueron obtenidas del departamento de San Martín. Se realizaron en laboratorio el estudio de las características físicas, mecánicas y químicas de los materiales obtenidos. Se procedió a realizar las mezclas suelo con ceniza de cáscara de arroz en diferentes porcentajes para evaluar su comportamiento geotécnico como estabilizador primario. Además se realizaron combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal para poder incrementar las mejoras de sus propiedades y poder conocer si las cenizas de cáscara de arroz funcionan como agente estabilizador secundario.

Los resultados obtenidos muestran una mejora debido la presencia de ceniza de cáscara de arroz. Las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal lograron mayores ventajas que las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz. Se logró incrementar el valor de soporte de california (CBR) de un valor de 5% hasta 19,4% realizando combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz, teniendo la mezcla un 20% de ceniza de cáscara de arroz. No obstante, el incremento del valor de soporte de california (CBR) para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal lograron incrementar de 5% hasta 38,5% con un 20% de contenido de ceniza de cáscara de arroz. Por otro lado, la resistencia a la compresión no confinada nos muestra un incremento de 6.91 kg/cm² hasta 8.77 kg/cm² para la combinación de suelo arcilloso con 20% de ceniza de cáscara de arroz. La resistencia a la compresión

no confinada para la combinación de suelo arcilloso con 10% de ceniza de cáscara de arroz y cal genera un incremento de 6.91 kg/cm^2 hasta 9.96 kg/cm^2 .

El alto porcentaje de material silícico presente en la ceniza de cáscara de arroz promete su uso como potencial agente estabilizador de suelos primario y secundario. Con ello se da una posible solución a un problema ambiental el cual es la disposición de ceniza de cáscara de arroz, lo que podría generaría una disminución de rellenos sanitarios, disminución de contaminación de ríos, entre otros.

La investigación concluye que el uso de la ceniza de cáscara de arroz como material para la estabilización de suelos en obras de pavimentos promete buenos resultados siendo más favorables cuando se utiliza como agente estabilizador secundario.

ABSTRACT

Annually agricultural production generates a lot of waste materials such as rice husk ash, which generate environmental problems by the disposal of these. In 2015, 630 280 tonnes of rice husks were generated, it represents 126,000 tonnes of rice husk ash. Also, in the department of San Martín has the presence of fine soils, which generally have inadequate support capacity to support structures such as pavement and loads that are transmitted due to vehicular traffic.

The thesis consisted in the development of an alternative method for the stabilization of clay soils using a waste agricultural as the rice husk ash for the use of a subgrade level. The research began with the study of the samples from which were obtained from the department of San Martín. The study of the physical, mechanical and chemical characteristics of the materials obtained was carried out in the laboratory. Soil mixtures with rice husk ash were carried out in different percentages to evaluate their geotechnical behavior as a primary stabilizer. In addition, combinations with clay soil, rice husk and lime ash were made to increase the properties and to know if the rice husk ash acts as a secondary stabilizing agent.

The results obtained show an improvement due to the presence of rice husk ash. The combinations of clay soil, rice husk ash and lime achieved greater advantages than combinations of clay soils and rice husk ash. It was possible to increase the value of support of California (CBR) of 5.0% to 19.4% by making combinations of clay soil and rice husk ash, with the mixture having 20% of rice husk ash. However, the increase in California support value (CBR) for combinations of clay soil, rice husk ash and lime increased from 5.0% to 38.5% with 20% rice husk ash. On the other hand, the unconfined compressive strength showed an increase from 6.91 kg /cm² to 8.77 kg /cm², for the combination of clay soil with 20% of rice husk ash. The unconfined compressive strength showed to the soil combination clay soil with 10% rice husk ash and clay soil generate an increase from 6.91 kg /cm² to 9.96 kg /cm².

The high percentage of silicic material present in the rice husk ash promises its use as a potential stabilizing agent for primary and secondary soils. That generate a possible solution to an environmental problem, which is the disposal of the rice

husk, which could generate a decrease in sanitary landfills, the reduction of pollution of rivers, and others.

The research concludes that the use of rice husks as soil stabilization material in pavement works promises good results and is more favorable when used as a secondary stabilizing agent.

PRÓLOGO

Finalizada la investigación, es de mi agrado presentar el resultado final realizado por mi alumno para obtener el título profesional. Quien viendo la problemática de la gran cantidad de residuos agrícolas que genera la industria arroceras como la ceniza de cáscara de arroz y que en el departamento de San Martín se tiene en mayor presencia a suelos finos que tienen baja capacidad de soporte para ser usados como suelo de fundación para pavimentos. Planteó la idea de utilizar la ceniza de cáscara de arroz como material estabilizador para mejorar las propiedades del suelo presentes en el departamento de San Martín.

Para la presente investigación, se tomaron experiencias del extranjero, donde se tenían resultados positivos en suelos finos. A partir de las investigaciones leídas, se procedió con la investigación iniciando con el estudio del suelo arcilloso proveniente del departamento San Martín y la ceniza de cáscara de arroz. Luego de ellos se estudió las mezclas de estos materiales en diferentes porcentajes.

Los resultados de la presente investigación demostraron técnicamente que puede usarse como material estabilizador a las cenizas de cáscara de arroz, verificándose en la mejora del CBR y de la resistencia a la compresión no confinada que tienen las mezclas estudiadas. Por lo que motivo a los lectores a desarrollar investigaciones tomando a esta experiencia como un inicio para futuras investigaciones, comprobando con cenizas de cáscara con quema incontrolada o utilizando la ceniza de cáscara de arroz en otros tipos de suelos.

Agradezco la confianza depositada a mi persona para el desarrollo de la presente investigación, donde como grupo de trabajo esperamos haber contribuido y marcado un punto de inicio para futuras investigaciones

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1: Producción Nacional del arroz	20
Tabla 1.2: Superficie de cosecha de arroz.....	21
Tabla 2.1: Categoría de subrasante.....	31
Tabla 2.2 : Rango de uso de cemento de acuerdo al tipo de suelo.....	41
Tabla 2.3: Composición química de la cáscara de arroz.....	54
Tabla 2.4: Propiedades de la ceniza de cáscara de arroz.....	55
Tabla 2.5: Composición química de la ceniza de cáscara de arroz.....	56
Tabla 3.1: Tamaño de tamices.....	62
Tabla 3.2: Tipo y tamaño de partículas	63
Tabla 3.3: Clasificación de suelos de acuerdo a Índice de Plasticidad.....	65
Tabla 3.4: Nivel de contenido de materia orgánica	75
Tabla 4.1: Proporción de combinación de los materiales y sus símbolos para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.	82
Tabla 4.2: Proporción de combinación de los materiales sus símbolos para las combinaciones de suelo arcilloso y CCA	83
Tabla 5.1: Resultado de ensayo de análisis granulométrico para las combinaciones de suelo arcilloso y CCA.	85
Tabla 5.2: Resultado de ensayo de análisis granulométrico para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.	86
Tabla 5.3: Resultado de límites de Atterberg para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.	86
Tabla 5.4: Resultado de límites de Atterberg para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.....	87
Tabla 5.5: Resultados de Ensayos de Gravedad Específica de Sólidos para las combinaciones de suelo arcilloso y CCA.....	88
Tabla 5.6: Resultados de Ensayos de Gravedad Específica de Sólidos para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal	88
Tabla 5.7: Clasificación de Suelos para las combinaciones de suelo y CCA.....	90
Tabla 5.8: Clasificación de Suelos para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal	90
Tabla 5.9: Elementos químicos presentes en CCA.....	91
Tabla 5.10: Elementos químicos presentes en suelo arcilloso	92
Tabla 5.11: Contenido de materia orgánica	93

Tabla 5.12: Resultados de Ensayos de Compactación para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.....	94
Tabla 5.13: Resultados de Ensayos de Compactación para las combinaciones de suelo arcillosos, CCA y cal	97
Tabla 5.14: Resultados de expansión a los 4 días para las combinación de suelo y ceniza de cáscara de arroz.....	99
Tabla 5.15: Resultados de Valores de CBR de las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz	100
Tabla 5.16: Resultados de expansión a los 4 días para las combinación de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal.	101
Tabla 5.17: Resultados de Valores de CBR de las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.....	102
Tabla 5.18: Resultados de Valores de la resistencia a la compresión no confinada para las combinaciones de ceniza de cáscara de arroz y suelo	103
Tabla 5.19: Resultados de Valores de la resistencia a la compresión no confinada para las combinaciones de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal.....	104
Tabla 5.20: Resultados de espesores para las combinaciones de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal.....	106
Tabla 5.21: Resultados de espesores para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz.....	106
Tabla 5.22: Costo directo para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz.....	107
Tabla 5.23: Costo directo para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Comportamiento de la producción del arroz cáscara	19
Figura 1.2: Comportamiento de Superficie cosechada.....	20
Figura 1.3: Mapa de producción de arroz por departamento.....	22
Figura 1.4: Quema no controlada en pampa en la región San Martín	24
Figura 2.1: Estructura de un pavimento	28
Figura 2.2: Correlaciones Típicas entre las clasificaciones de suelos y las propiedades de los suelos con el módulo de resiliencia.....	32
Figura 2.3: Tipos de estabilizaciones de Suelos	34
Figura 2.4: Selección del porcentaje óptimo de cal método de Eades y Grim	39
Figura 2.5: Ábaco para diseño de tratamientos de suelos con cal a partir del índice de plasticidad y granulometría (McDowell, 1966)	39
Figura 2.6: Característica de la ceniza de arroz en ignición	44
Figura 2.7: Relación índice de actividad puzolánica y el tamaño de partícula	46
Figura 2.8: Flujograma del proceso de pilado de arroz	53
Figura 2.9: Disposición tetraédrica.....	57
Figura 2.10: Disposición hexagonal	57
Figura 2.11: Disposición de una lámina aluminica	57
Figura 3.1: Tamices usados para el ensayo de granulometría	62
Figura 3.2: Límites de Atterberg.....	63
Figura 3.3: Equipo usado para el cálculo del límite líquido.....	64
Figura 3.4: Elaboración de barras cilíndricas para el cálculo del límite plástico .	65
Figura 3.5: Desairado de agua mediante el método de ebullición en hornos.	66
Figura 3.6: Carta de plasticidad	68
Figura 3.7: Clasificación general según AAHTO	70
Figura 3.8: Equipo usado para el ensayo Proctor modificado	71
Figura 3.9: Equipo usado para el ensayo CBR	72
Figura 3.10: Herramientas para ensayo de resistencia a la compresión no confinada.....	73
Figura 3.11: Equipo de Laboratorio para Difracción de Rayos X.....	74
Figura 4.1: Mapa político de la provincia de Moyobamba	77
Figura 4.2: Mapa político del Perú	77
Figura 4.3: Zona de extracción de las muestras de arcillas en la provincia de Moyobamba.....	78
Figura 4.4: Zona de extracción de suelos arcillosos.....	78

Figura 4.5: Exploración geotécnica realizada en la zona de estudio.	79
Figura 4.6: Vista de la industria Molinera Amazonas SAC desde la carretera Fernando Belaunde Terry.	79
Figura 4.7: Producción de la ceniza de cáscara de arroz de la industria molinera Amazonas SAC.	80
Figura 4.8: Horno industrial donde se lleva a cabo la combustión de las cáscaras de arroz.	80
Figuras 4.9: Industrias molineras y quema de cáscara de arroz en pampa.	81
Figura 5.1: Curva granulométrica de suelo arcilloso, CCA y sus combinaciones.	84
Figura 5.2: Curva granulométrica de suelo arcilloso, CCA y las combinaciones suelo arcilloso, CCA y cal.	85
Figura 5.3: Difractograma de ceniza de cáscara de arroz (CCA1)	91
Figura 5.4: Difractograma detallado de ceniza de cáscara de arroz (CCA1)	92
Figura 5.5: Difractograma de suelo arcilloso (CCA3)	93
Figura 5.6: Difractograma detallado de suelo arcilloso (CCA3)	93
Figura 5.7: Curvas de Compactación para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.	95
Figura 5.8: Variación del OCH con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza cáscara de arroz.	95
Figura 5.9: Variación de la MDS con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza cáscara de arroz.	96
Figura 5.10: Curvas de Compactación para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.	97
Figura 5.11: Variación de la MDS con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.	98
Figura 5.12: Variación del OCH con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.	98
Figura 5.13 : Variación de la Expansión respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcillos y ceniza de cáscara de arroz.	99
Figura 5.14: Variación del CBR con respecto al contenido de CCA para las combinación de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.	100
Figura 5.15 : Variación de la Expansión con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.	101

Figura 5.16: Variación del CBR con respecto al contenido de CCA para las combinación de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal. 102

Figura 5.17: Variación de la resistencia a la compresión vs Contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz. 103

Figura 5.18: Variación de la resistencia a la compresión vs Contenido de CCA para las combinaciones de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal. 104

Figura 5.19: N° de repeticiones de EE vs Espesor de capa de afirmado. 105

LISTA DE SÍMBOLO Y SIGLAS

Al = Aluminio

ASTM=American Society for Testing and Materials

ASSHTO= American Association of State Highway and Transportation Officials

Ca=Calcio

CBR= California Bearing Ratio

CCA= Ceniza de cáscara de arroz

CISMID=Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres

Cl=Cloro

DGCA=Dirección General de Calidad Ambiental

Fe = Hierro

Gs= Gravedad específica

IP = Índice de plasticidad

K=Potasio

Kg = kilogramos

Km=kilómetro

LL=Límite Líquido

LP= Límite Plástico

PBI=Producto Bruto Interno

MDS= Máxima Densidad Seca

MTC=Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Na=Sodio

O=Oxígeno

OCH=Óptimo contenido de humedad

S= Azufre

Si = Silicio

SUCS= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

ton= Tonelada

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

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.

En la presente investigación se presenta un nuevo método de estabilización, con el fin de que sea una solución ambiental, se plantea usar como agente estabilizador a la ceniza de cáscara de arroz, con el fin de evaluar la influencia que tendrá en las propiedades de un suelo arcilloso.

La presente tesis está dividida en 5 capítulos : El capítulo I describe algunas investigaciones realizadas anteriormente, se describe la producción de arroz, su importancia económica, sus consecuencias ambientales, la problemática que genera, se describe los objetivos a desarrollar en la presente investigación. El capítulo II, presenta una descripción de conceptos básicos sobre los tipos de estabilizaciones, se describe la ceniza de cáscara de arroz y el suelo arcilloso. El capítulo III, describe los ensayos que se realizarán en la presente investigación. El capítulo IV, describe el programa experimental que se ha considerado, describiendo los materiales a investigar y sus respectivas combinaciones como los ensayos necesarios a realizar. El capítulo V, se presenta un análisis de los resultados de ensayos físicos, mecánicos y químicos realizados en la presente investigación para los materiales estudiados. Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones que se obtienen producto de la realización de la presente investigación.

1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años se han tenido diversas experiencias de estabilización de suelos usando residuos agrícolas o industriales, con la finalidad de reusarlos como agentes estabilizadores para mejorar las propiedades de los suelos, de tal forma que se pueda plantear una solución que tenga beneficios económicos y ambientales.

Leonardo Behak y Washington Peres Núñez (2008) realizaron una investigación de un suelo arenoso proveniente de Montevideo, Uruguay, estabilizándolo con ceniza de cáscara de arroz y cal para el uso en pavimentos. La ceniza de cáscara de arroz utilizada en la investigación presentaba un color negro, debido a que la temperatura de quema no es controlada. Para las humedades óptimas de compactación, el valor de CBR del suelo fue 9% y el de la mezcla suelo más 20% de ceniza de cáscara de arroz más 10% de Cal fue de 25%, es decir, se observó un aumento de 2,8 veces en el CBR de la mezcla con relación al del suelo.

Musa Alhassan (2008) investigó el uso de ceniza de cáscara de arroz para un suelo de Maikunkela en Nigeria, el cual de acuerdo a una clasificación AASHTO, se trataba de un A-7-6 (20) y para la clasificación SUCS era de un suelo arcilloso altamente plástico. El desempeño del suelo junto a las cenizas mostró una disminución en la máxima densidad seca y un aumento en el óptimo contenido de humedad. Adicionalmente mejoró el CBR y la resistencia a la compresión no confinada, donde se observó que esta mejoras eran cuando se aplicaban entre un 6 a 8% de ceniza de cáscara de arroz. El resultado del valor de CBR se incrementó en condiciones saturadas de un valor de 5.5% hasta un 15% y para condiciones seca se logró un incremento de 8,5% hasta 18,5%.

Dr. Brooks (2009) realizó una investigación en Estados Unidos de un suelo expansivo estabilizándolo con una mezcla de ceniza de cáscara de arroz y ceniza volante en un esfuerzo de adaptarlo como material de construcción. De acuerdo a su investigación la combinación óptima para obtener el mayor CBR debía contener un 12% de ceniza de cáscara con ceniza volante 25%, logrando incrementar el CBR de 1,5 a 10 y la resistencia a la compresión no confinada aumentando en un 97%.

Fidelis O. Okafor y Ugochukwu. N. Okonkwo (2009) realizaron una investigación en Nigeria sobre el efecto de ceniza de cáscara de arroz en algunas propiedades geotécnicas de un suelo para fines de subrasante. El suelo de estudio, de acuerdo a la clasificación SUCS, era una arena bien gradada, poseyendo un límite líquido de 35.20, índice de plasticidad de 17.07 y un CBR de 22.05. Los resultados mostraron un incremento de CBR hasta el 80.14, aproximadamente 2.5 veces más de su valor inicial cuando el contenido de ceniza de cáscara de arroz era de 10%. Este incremento se justificó debido a la aparición de compuestos cementantes, los cuales fueron resultado de las reacciones entre los compuestos de la ceniza de cáscara de arroz y algunas cantidades de CaOH presentes en el suelo. Otra ventaja del uso de ceniza de cáscara de arroz fue poder disminuir el índice de plasticidad del suelo.

Pranav P.R.T, Anusha M. y Koteswara Rao. D (2011) llevaron a cabo una investigación de suelos expansivos mezclándolos con ceniza de cáscara de arroz, cal y yeso. El suelo tenía como límite líquido 50, un índice de plasticidad de 27.5 y un valor de CBR de 2 a condiciones húmedas. Se estudió la influencia de la ceniza de cáscara de arroz, cal y yeso en las propiedades del suelo como límites de Atterberg, resistencia, CBR y prueba de hinchamiento. Se observó que la resistencia a la compresión no confinada aumentó en un 366% cuando se adicionó 20% de ceniza de cáscara de arroz con 5% de cal después de 28 días de curado. Cuando se adicionó 20% de ceniza de cáscara de arroz con 5% de cal y 3% de yeso aumentó en 548% después de 28 días de curado. Después de 4 días de curado, cuando el suelo es mezclado con 20% de ceniza de cáscara de arroz con 5% de cal el valor de CBR obtenido bajo condiciones húmedas fue de 14. Cuando es mezclado con 20% de ceniza de cáscara de arroz con 5% de cal y 3% de yeso el valor de CBR obtenido bajo condiciones húmedas fue de 18. En la investigación se concluyó que la ceniza de cáscara de arroz resulta ser un potencial estabilizador mezclado con cal y yeso; por lo que resultan ser una alternativa para reducir los costos en la construcción de carreteras.

Aparna Roy (2014) estudió suelos arcillosos con alta plasticidad en la India, estabilizándolo con una mezcla de ceniza de cáscara de arroz y cemento. El suelo a estudiar presentaba un límite líquido de 50.4 y un índice de plasticidad de 22.8. Las observaciones que se realizaron en las propiedades de los suelos fueron la

densidad máxima seca, el óptimo contenido de humedad, resistencia a la compresión no confinada y el valor de CBR. De acuerdo a su investigación, se observó que el máximo mejoramiento en resistencia, resultaba de mezclar un 10% de ceniza de cáscara de arroz con 6% de cemento. Con la observación de la mejora del valor de CBR que tenía el suelo, esta técnica puede ser recomendada para la construcción de pavimentos.

En los últimos años en Perú, ha habido un crecimiento en la producción agrícola del arroz, las principales extensiones en nuestro territorio se encuentran en los valles del Norte y ceja de selva. De acuerdo al anuario estadístico de la producción agrícola y ganadería 2015 elaborado por el Sistema Integrado de Estadística Agraria, se logró en el año 2015 una producción de 3151,4 miles de toneladas de arroz con cáscara. 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.

Con el objetivo de darle un uso a las cenizas de cáscara de arroz, la presente tesis pretende estudiar el comportamiento que tendrá el suelo arcilloso con la adición de cenizas de cáscara de arroz a través de ensayos de laboratorio y poder encontrar un nuevo material estabilizador que permita ser una solución para que pueda ser usado en carreteras

1.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCION DEL ARROZ

Desde el año 2002 hasta el 2015 la producción de arroz se ha ido incrementando a una tasa promedio de 3.6%, debido a la mayor área cosechada en los últimos años. No obstante se aprecia una disminución en el año 2014, recuperándose a partir del año 2015 con un incremento de un 8.9% con respecto al año anterior.

La producción nacional de arroz es una actividad que se concentra de la siguiente forma: en la costa norte con un 47,5%, 42,8% aproximadamente en la selva y en el resto del país un 9,7% (incluyendo departamento de la sierra del país). DGCA (2013).

En la figura 1.1 se observa el comportamiento de la producción en miles de toneladas de arroz desde el año 2002 hasta el año 2015 en base a datos de la Dirección General de Competitividad Agraria.

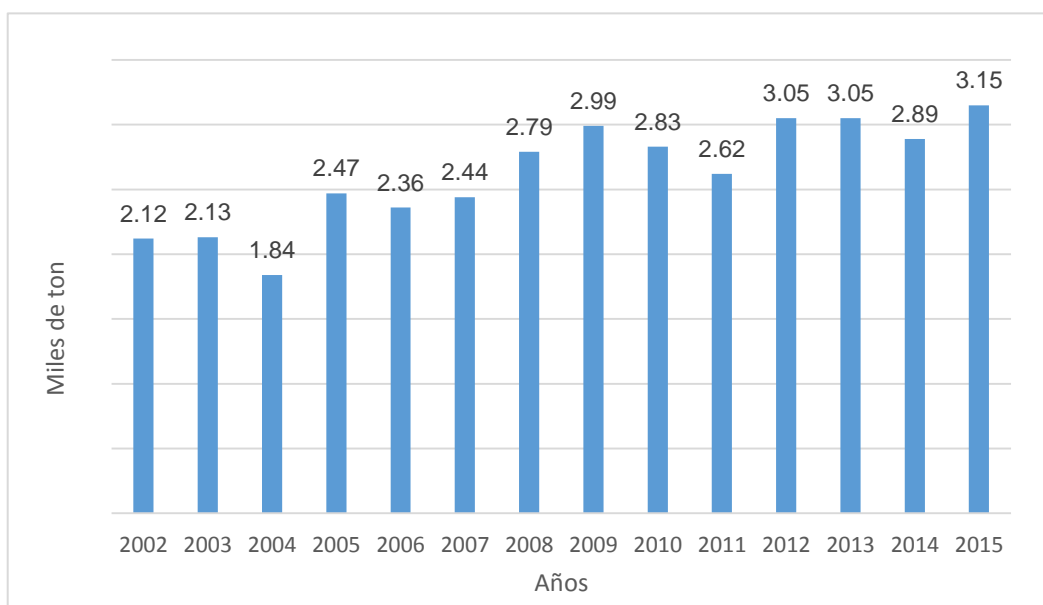


Figura 1.1: Comportamiento de la producción del arroz cáscara

Fuente: El arroz, Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva & Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadería 2015.

Las causas del incremento de la producción del arroz han sido el aumento de la superficie de cosecha, el impacto de nuevas variedades introducidas y el incremento de productividad.

En la tabla 1.1 se muestra los departamentos con mayor producción en toneladas de arroz en base a datos del Sistema Integrado de Estadística Agraria, donde

destaca el departamento de San Martín con 682 497 toneladas de arroz en el año 2015.

Tabla 1.1: Producción Nacional del arroz

Departamento	Toneladas
Nacional	3 151 408
Amazonas	351 620
Ancash	49 530
Arequipa	263 434
Cajamarca	200 309
Huánuco	34 554
La Libertad	344 536
Lambayeque	455 188
Loreto	92 286
Piura	503 241
San Martín	682 497
Tumbes	129 016
Ucayali	26 729

Fuente: Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadería 2015.

En la figura 1.2 se observa el comportamiento de la superficie cosechada en hectáreas de arroz desde el año 2002 hasta el año 2015 en base a datos de la Dirección General de Competitividad Agraria.

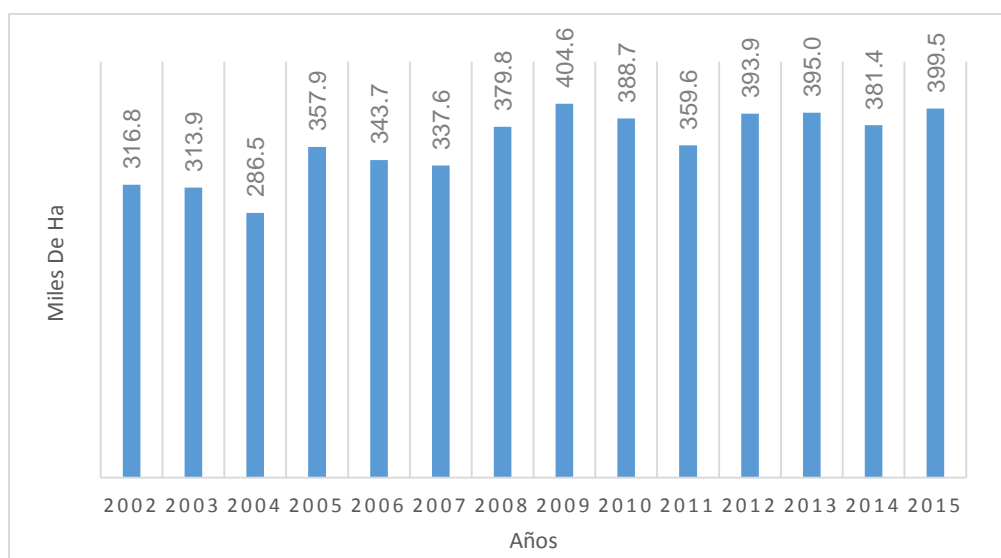


Figura 1.2: Comportamiento de Superficie cosechada

Fuente: Elaboración propia.

Otra de las causas del incremento de la superficie de cosecha es que se ha producido un incremento en el consumo interno, llegando a los 63.5 kg de consumo anual por persona (DGCA, 2013).

En la tabla 1.2 se muestra los departamentos con las superficies de cosecha de arroz, donde destaca el departamento de San Martín con 90 069 hectáreas de cosecha de arroz en el año 2015.

Tabla 1.2: Superficie de cosecha de arroz

Departamento	Hectáreas
Nacional	399 501
Amazonas	46 021
Ancash	4 190
Arequipa	20 339
Cajamarca	25 393
Huánuco	7 576
La Libertad	32 641
Lambayeque	49 452
Loreto	31 526
Piura	57 559
San Martín	90 069
Tumbes	15 526
Ucayali	10 120

Fuente: Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadería 2015.

La superficie sembrada en la campaña agrícola 2015 fue de 399 501 hectáreas, registrándose un incremento del 4.7% a diferencia de la campaña agrícola del año anterior.

Los departamentos con mayor porcentaje de superficie de cosecha son: San Martín (22%), Piura (14%), Lambayeque (12%) y Loreto (7%).

A continuación en la figura 1.3 se muestra un mapa donde se aprecia las zonas productoras de arroz, presentando una leyenda de acuerdo a la cantidad de producción.

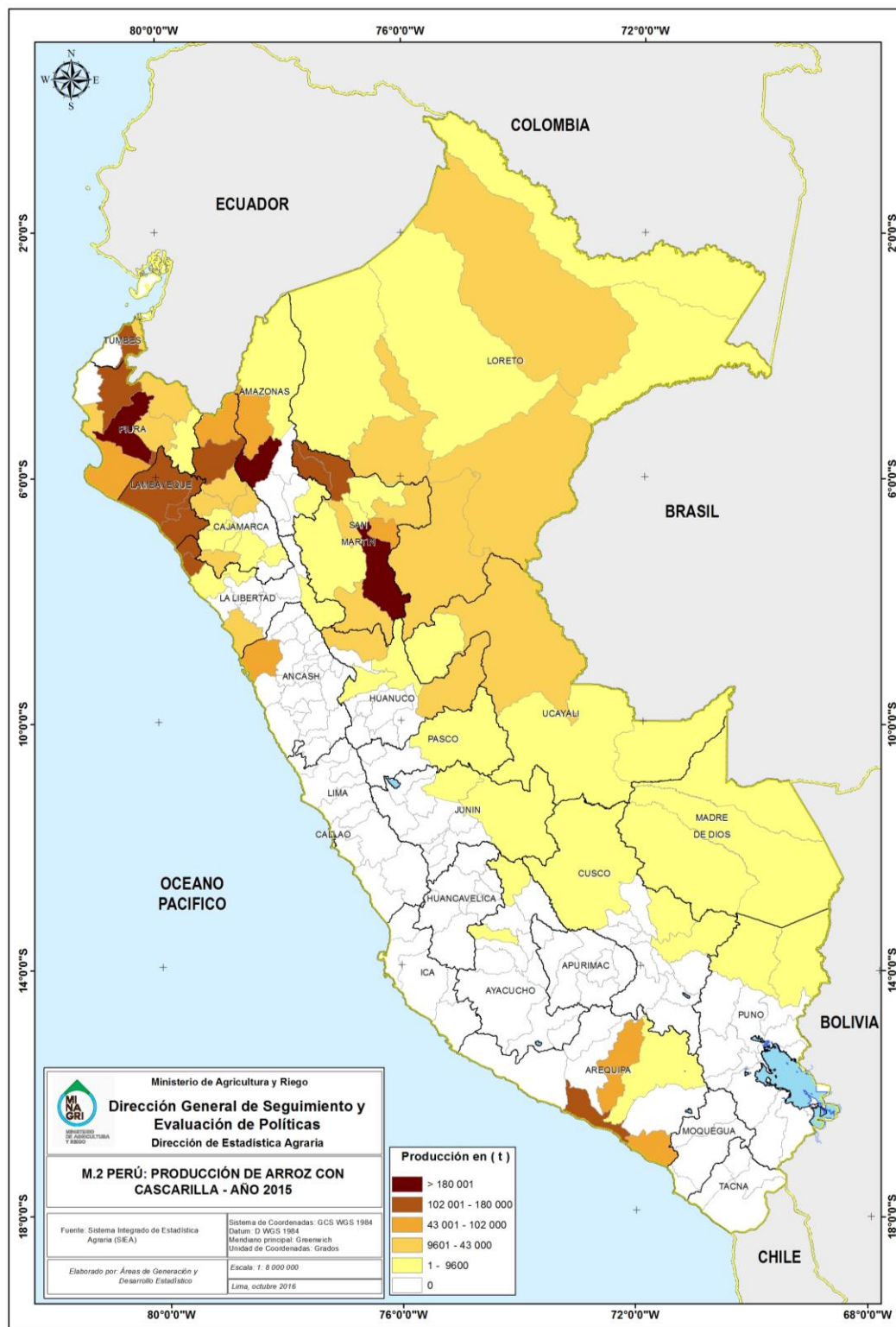


Figura 1.3: Mapa de producción de arroz por departamento
 Fuente: Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadería 2015.

1.3.1 Importancia económica y social del arroz

El arroz es considerado uno de los principales cultivos de importancia nacional que más aporta al PBI agropecuario y agrícola, generando la mayor cantidad de empleos en el sector.

Existen 100 mil productores a nivel nacional aproximadamente. Se encuentran agrupados en asociaciones y/o comités regionales con un representante a nivel nacional. Existen en actividad 627 molinos aproximadamente, distribuidos en la costa norte (277), costa sur (98), selva alta (137) y selva baja (105). Además existen molinos móviles que se trasladan entre campos de cultivo, como estos no cuentan con un establecimiento físico para el almacén de materia prima y producto terminado, no son considerados los volúmenes de arroz cáscara que son procesados con los molinos móviles.

Aportó el 2012 con el 4.85% del PBI agropecuario y con el 8.23% del PBI agrícola del país. Generó alrededor de 44.7 millones de jornales que equivalen a 161,300 empleos anuales permanentes, representando en el ámbito rural una fuerte influencia económica y social.

El cultivo de arroz ha ido logrando mejoras significativas en los rendimientos, superiores a Colombia y Ecuador, no obstante existen zonas con baja tecnificación debido a una falta de sistema en la siembra como en cosecha.

Los molinos que se encuentran ubicados en la costa norte, se han ido modernizando en infraestructura y maquinaria lo que ha permitido una mejora en el proceso llegando a un nivel de sistemas electrónicos. Caso contrario sucede en la ceja de selva el cual ha estado inactiva.

1.3.2 Impacto ambiental

La cáscara de arroz es un desecho del proceso de pilado cuya producción está presente en muchas zonas del país y representa una fuente de contaminación ambiental y genera problemas sociales por el almacenamiento inadecuado, por lo que actualmente es considerado como un material de desecho.

Como parte del proceso agroindustrial, el arroz producido en el país el año 2015 generó 630,280 toneladas de cascarilla que representa el 20% del arroz, de esta cantidad producida solo una pequeña parte es reutilizada. De acuerdo con Villegas

(2012) el 5% de cascarilla es utilizado como combustible para los hornos de secado de ladrillos en el departamento de Piura, el resto es quemado o arrojado a los ríos aledaños propiciando la contaminación ambiental. En el departamento de San Martín las empresas molineras no son capaces de tratar adecuadamente los residuos agroindustriales.

Además, la producción del arroz trae consigo problemas ambientales debido a que el polvo generado tiene partículas que causan serios problemas respiratorios a las personas que se encuentren cerca de la zona donde se realizan esas actividades. De acuerdo a los datos del distrito de Caspizapa, indican que de las cuatro principales de morbilidad las enfermedades respiratorias corresponden al 19,30%. Las cáscaras de arroz son arrojados en zonas cercanas a las plantas agroindustriales, como se muestran en la figura 1.4, el cual luego es incinerado contaminando el medio ambiente y afectando la salud de los pobladores. La quema indiscriminada de la cáscara de arroz conduce daños al medio ambientales por la emisión de cantidades de CO₂.



Figura 1.4: Quema no controlada en pampa en la región San Martín

1.3.3 Aplicaciones de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz puede ser aprovechada de diferentes formas una de ellas puede ser el aprovechamiento calórico a través de proceso de combustión controlado, ya que la cáscara de arroz posee ciertas características que hace que pueda aprovecharse directamente.

La cáscara de arroz tiene un alto potencial para la generación de energía ya que genera 3,5 MWh de energía por cada tonelada de este residuo, el poder calorífico de la cáscara de arroz es de 3281,6 Kcal/kg.

Debido a la estructura cerrada, la combustión se dificulta y por el alto contenido de sílice (20%) es de muy baja biodegradabilidad en condiciones naturales. La temperatura que se obtiene al ser quemada varía de acuerdo a su condición 970°C (seca), 650°C (con algún grado de humedad) y hasta los 1000°C mezclada con combustible (Prada y Cortés, 2010).

En el Perú, se suele utilizar la cáscara de arroz como materia prima para la elaboración del pulitón, como ingrediente para la fabricación de adobes y en un porcentaje mínimo como combustible en hornos industriales para el secado de arroz.

Existe experiencia tanto en la costa como en la selva que se está utilizando en hornos ladrillero como combustible o para la mezcla con material arcillosos (para cama de pollos en granjas avícolas, compostaje, entre otros).

La experiencia en otros países han demostrado el uso de otras alternativas como:

- Obtención de etanol por vía fermentativa.
- Tostado para su uso como sustrato en el cultivo de flores.
- Obtención de concreto, cemento.
- Cenizas en cultivos (Frutas).
- Obtención de compost y abonos.

No obstante, se han realizado investigaciones como la del Mg. Villegas (2012) donde demuestra que las cáscaras de arroz incineradas son materiales favorables para la elaboración de prefabricados destinados a la construcciones de bajo costo.

1.4 PROBLEMÁTICA

La zona de selva se caracteriza por presentar generalmente suelos arcillosos los cuales poseen baja resistencia, muchos de estos suelos arcillosos no pueden ser usados como subrasante en la construcción de carreteras ya que no cumplen con los requisitos mínimos establecidos, por la baja capacidad de soporte de resistencia que presentan.

Otro problema presente en la zona de la selva para la construcción de carreteras, es lo complicado de encontrar canteras con materiales granulares adecuados para ser empleados como material en subrasante.

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 la región de la selva 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.

En el Perú, la producción de arroz ocupa grandes extensiones en los valles del Norte, la Ceja de Selva y Selva. Esta producción genera residuos agrícolas, como la cáscara de arroz, las cuales muchas veces se queman. 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.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Se necesita plantear nuevas alternativas que permitan el uso del suelo arcilloso para la construcción de carreteras en la zona de la selva ya que no se puede encontrar materiales granulares adecuados. Una de las alternativas que se ha venido utilizando es la estabilización tradicional, la cual usa como material a la cal para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos. Sin embargo, con el fin de encontrar otras alternativas de solución se puede plantear como material no tradicional de estabilización a la ceniza de cáscara de arroz.

En diversos países como en India, Uruguay, Nigeria han realizado investigaciones acerca de las cenizas de cáscara de arroz, donde demuestran que las cenizas de cáscara de arroz puede ser usado como agente estabilizador ya que mejora las propiedades de los suelos arcillosos, lo que permite que los suelos arcillosos puedan ser usados como materiales de construcción para la carretera.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

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.

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar ensayos del suelo arcilloso natural a estudiar.
- Conocer el comportamiento del suelo arcilloso con diferentes porcentajes de adición de ceniza de cáscara de arroz, para encontrar el valor óptimo para que pueda tener una adecuada resistencia.
- Realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso natural y el suelo arcilloso con diferentes adiciones de ceniza de cáscara de arroz.
- Conocer si la cáscara de arroz puede ser usado como agente estabilizador primario y/o secundario

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTO

Se define como aquella estructura constituida por un conjunto de capas diseñadas y construidas técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Este conjunto de capas están emplazado sobre la subrasante del camino, tiene la función de resistir y distribuir los esfuerzos transmitidos por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Un pavimento para cumplir sus funciones correctamente deben cumplir las siguientes características:

- Ser resistente a la acción de cargas generadas por el tránsito.
- Ser resistente al intemperismo.
- Presentar condiciones adecuadas de drenaje.
- Presentar una regularidad superficial, transversal y longitudinal permitiendo una adecuada comodidad a los usuarios.
- Presentar una textura superficial adecuada a las velocidades de diseño, influenciando en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe tener una duración con respecto al tiempo de vida diseñado y deberá a su vez ser económicamente viable.

Un pavimento generalmente está formado por las siguientes capas: Capa de rodadura, base y subbase. La conformación de estas capas se aprecia en la figura 2.1.

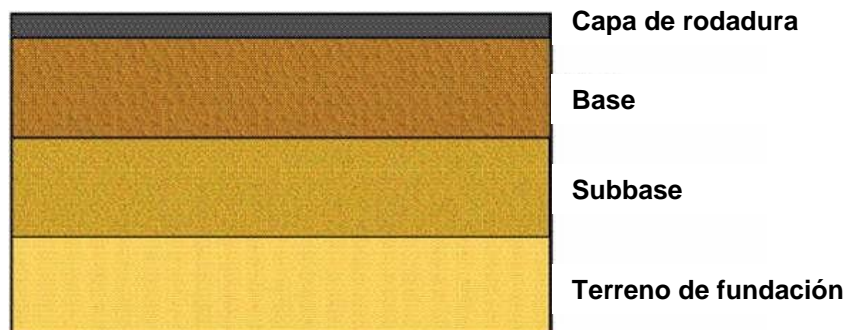


Figura 2.1: Estructura de un pavimento

a. Capa de rodadura

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito y proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito. La capa de rodadura debe resistir los efectos abrasivos provenientes del tránsito y del medio ambiente.

b. Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por las cargas neumáticas que actúan sobre la superficie de rodadura. Esta capa debe tener como características principales tener una alta densidad y estabilidad. De acuerdo al MTC (2014) la capa deberá ser de un material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento que tenga características de ser drenante. La cantidad de finos deberá ser restringida ya que si tenemos una cantidad superior a lo deseado, los finos podrán llenar los vacíos de la base, reduciendo la permeabilidad.

c. Subbase

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la capa de rodadura, por lo que la transmisión de las cargas de tránsito son menores. Soportará los esfuerzos transmitidos por la base y los transmitirá a la subrasante. La calidad de los materiales de la capa de la subbase es menos riguroso que los materiales en la capa de la base debido a la influencia de cargas. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. De acuerdo al MTC (2014) esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. La subbase impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante, actúa como filtro impidiendo que los finos de la subrasante contaminen a los materiales de la base.

2.2 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 2.1 se identifican seis categorías de subrasante de acuerdo al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014):

Tabla 2.1: 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, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014.

En la figura 2.2 se aprecia las correlaciones típicas entre las clasificaciones y características de los suelos y el módulo de resiliencia, las cuales han sido elaborados por la NAPA (1994).

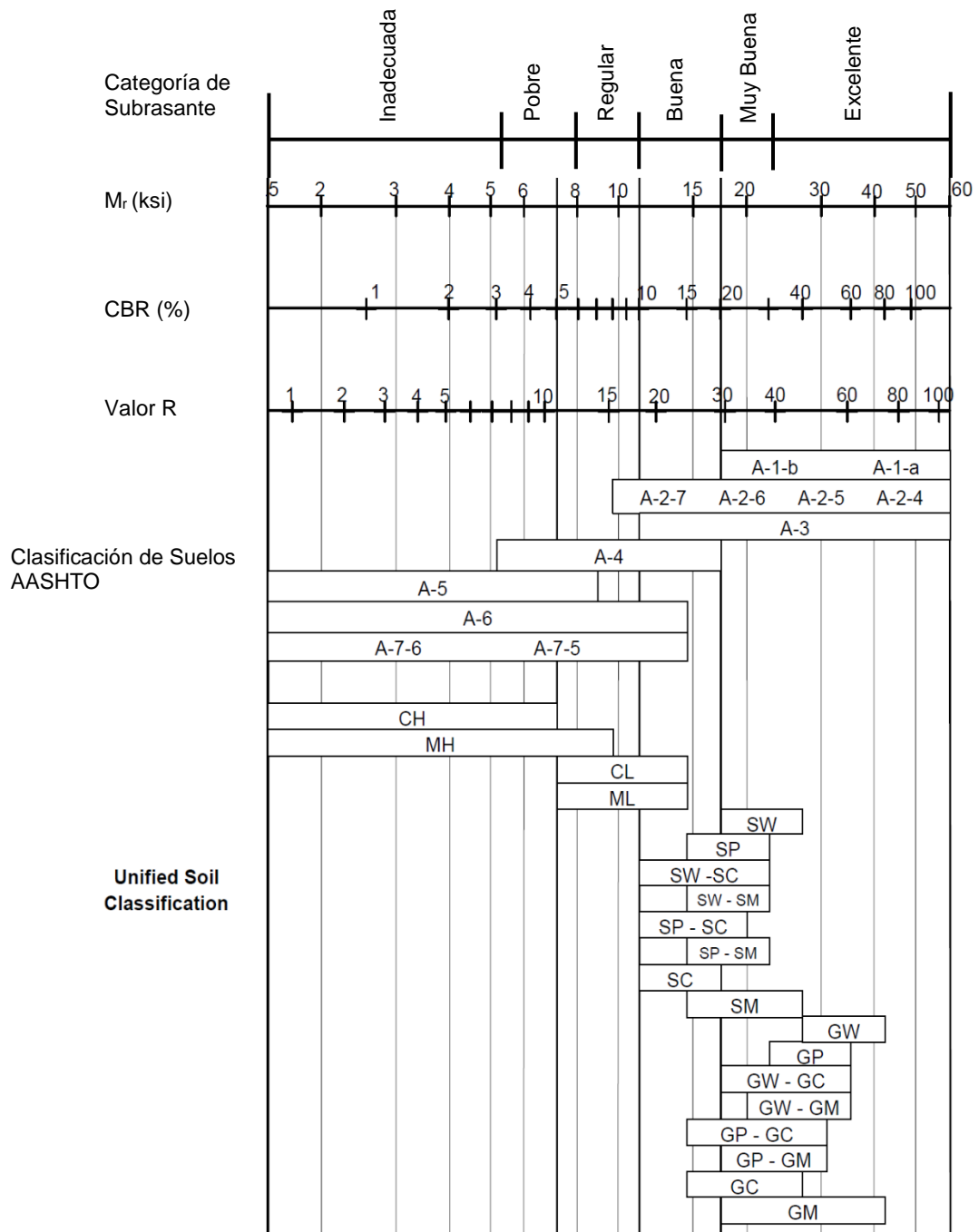


Figura 2.2: Correlaciones Típicas entre las clasificaciones de suelos y las propiedades de los suelos con el módulo de resiliencia

2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

2.3.1 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.

2.3.2 Métodos de estabilización de suelos

Existen diferentes alternativas para la estabilización de suelos, en la figura 2.3 vemos algunas clasificaciones de estabilización de suelos:

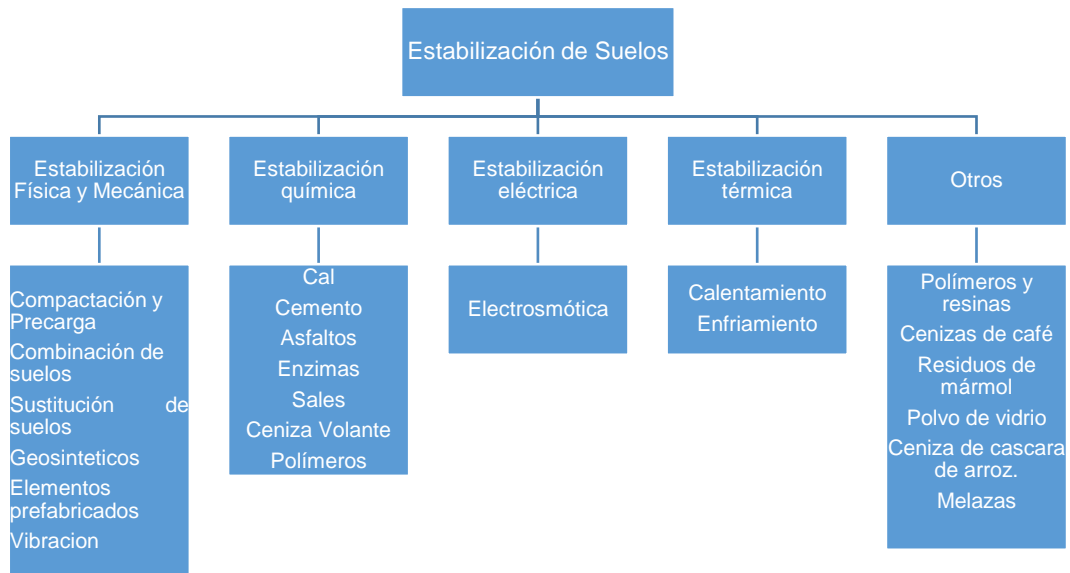


Figura 2.3: Tipos de estabilizaciones de Suelos

2.3.2.1 Estabilización Física y Mecánica

Este método de estabilización se utiliza para mejorar la capacidad de soporte de resistencia de los suelos a través de cambios físicos, sin producir reacciones químicas.

- Estabilización por compactación

Se realiza a través de la compresión del suelo con un contenido de humedad, logrando reducir el porcentaje de vacíos, aumentar la fricción interna y con ello conseguir que su capacidad de soporte se incremente. Al compactarse el suelo aumenta la densidad, aumenta la estabilidad, disminuye la contracción del suelo. Para asegurar una adecuada compactación, se realizaran tramos de prueba, donde se definirá que equipo se usará, el espesor de las capas, el número de pasadas.

- **Estabilización por combinación de suelos**

Considera la combinación o mezcla del material existente con materiales de préstamo, necesitando como complemento la compactación. Se tendrá que realizar un escarificado de 15 cm en el suelo existente para luego colocar el material de préstamo. Los materiales tendrán que alcanzar la humedad apropiada de compactación. Un caso de ejemplo serían los suelos de grano grueso, tienen una alta fricción interna pudiendo soportar grandes esfuerzos, sin embargo no tienen una cohesión entre sus partículas para que pueda ser estable como para ser una superficie de rodadura en una carretera, lo que trae como problemas que se puedan mover libremente y se pueda dar una separación de material. Las arcillas por lo contrario, poseen una gran cohesión y carecen de fricción lo que hace perder estabilidad cuando hay presencia de humedad. Mezclando estos dos tipos de suelos se puede dar como resultado un buen material ya que poseería fricción interna y cohesión.

- **Estabilización por sustitución de suelos**

Consiste en la eliminación del material no adecuado por un suelo que posee mejores características físicas y mecánicas. Se puede plantear constructivamente dos casos: el primero en el cual la capa de subrasante se construya directamente sobre el suelo natural existente o el segundo caso que consiste en realizar una excavación y el reemplazo con el material adicionado. En el primer caso se deberá realizar un escarificado, conformar, compactar en una profundidad de 15 centímetros. Seguidamente se colocará el material hasta llegar al espesor planteado hasta llegar al nivel de subrasante. En el segundo caso, se realizará la excavación hasta obtener el espesor de reemplazo planteado.

- **Estabilización con geosintéticos**

Con respecto a la experiencia que se tiene, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y puede mejorar el rendimiento en la construcción de carreteras. La experiencia que se tiene con geosintéticos, ha permitido tener diferentes funciones de los mismos. Por ejemplo, Los geotextiles tienen como función anticontaminante y drenante.

Las geomembranas son geosintéticos que tienen función de impermeabilización o protección.

Las geomallas permiten mejorar la capacidad portante del suelo ya que distribuye las cargas en una mayor área, lo que hace disminuir los esfuerzos cortantes y verticales en un terreno natural blando. El plano de falla es trasladado de un material no competente a uno de mejores características físicas y mecánicas como la base o subbase.

- **Estabilización por elementos prefabricados**

Consiste en la incorporación de elementos prefabricados como geosintéticos y/o tierra armada, los cuales actúan incrementando la cohesión y el ángulo de fricción del material, aumentando su capacidad portante. Éste método es rápido pero costoso. (Perez Collantes, 2014)

- **Vibración**

La vibración se aplica en suelos arenosos o suelos con alta permeabilidad el cual consiste en la densificación del suelo a través de una vibración profunda las cuales pueden ser vibro flotación o vibro sustitución. Sin embargo al aplicar este método, se necesita de un tratamiento superficial de compactación ya que la parte superior del terreno queda poco compactada.

Debido a la limitación del área, este método es poco eficiente en carreteras y también resulta ser costoso. (Vásquez Concha, 2010).

2.3.2.2 *Estabilización Química*

Se define como la mezcla de un producto con el suelo para reaccionar químicamente modificando las propiedades del suelo, logrando mejorar las propiedades del suelo.

Cuando se utilizan productos con el fin de estabilizar un suelo, hay que tener en cuenta las consecuencias ambientales ya que pueden aparecer problemas de

contaminación durante la etapa de ejecución de la construcción, operación y mantenimiento. Además se debe considerar los factores que influyen en la estabilización como la situación geográfica, las condiciones climáticas (Humedad, temperatura, dirección y velocidad de viento entre otros), el tránsito de vehículos, entre otros. Algunas estabilizaciones químicas realizadas son:

- Estabilización con cal

La estabilización con cal se aplica mayormente a suelos con granulometría fina de cierta plasticidad. En la combinación de suelo-cal, se producen dos partes en la primera parte se producen dos reacciones rápidas: floculación e intercambio iónico las cuales modifican al suelo. En la segunda parte se producen dos reacciones lentas: carbonatación y otra de tipo puzolánica (se produce la formación de nuevos productos químicos) las cuales estabilizan el suelo.

En la combinación suelo-cal, el calcio de la cal se combina con la alúmina y la sílice presentes en el suelo, formando silicatos de calcio y de alúmina los que poseen propiedades cementantes, por lo que la magnitud de la resistencia adquirida dependerá de la cantidad de sílice y alúmina disponibles en el suelo.

La cal que se utiliza para la estabilización de suelos son el óxido cálcico (cal anhidra o cal viva) o el hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada) y deben cumplir con los requisitos establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de carreteras EG-2013.

El efecto que produce la cal en suelos es:

- a. cambiar apreciablemente su plasticidad. Cuando el suelo presente un IP menor a 15, aumentará ligeramente IP y cuando el IP es mayor a 15 disminuye el IP.
- b. Aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite densificar el suelo de elevada humedad natural.
- c. Permite la reducción del potencial de contracción y de hinchamiento.
- d. Incrementa la resistencia a la compresión simple, la capacidad de soporte de resistencia del suelo y la resistencia a la tracción del suelo.

- e. Obtener un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos.

El material a estabilizar debe tener ciertas características, con el objetivo de llegar a alterar sus propiedades físicas e incrementar su resistencia o capacidad de soporte del suelo; generalmente se recomienda que el suelo tenga un índice de plasticidad mayor a 15 y el porcentaje que pasa por el tamiz N°200 sea mayor a 25. Sin embargo, resulta poco efectivo cuando se tiene suelo con contenido de materia orgánica. El manual de carreteras de Suelos y Pavimentos nos da una guía referencial recomendado que para estabilizar suelos con cal, estos deben tener un índice de plasticidad mayor a 10 y un contenido de materia orgánica menor a 3%.

Métodos para encontrar el porcentaje óptimo de cal pueden haber muchos y la eficacia de cada uno depende de la experiencia del que lo practique, muchos de estos no están normalizados por la ASTM, no obstante el procedimiento ASTM D-6276-03, método muy útil por su facilidad y fiabilidad, hecho por Eades y Grim, proporciona los medios para estimar el requisito de la proporción del suelo-cal para la estabilización de un suelo plástico. Se realiza en suelos que pasan el tamiz de 425 mm (N°. 40). La proporción óptima del suelo-cal para la estabilización de suelos plásticos, será aquella que brinde un mejoramiento en las características propias del suelo, determinadas principalmente por la resistencia a la compresión o el índice de plasticidad.

Una serie de especímenes son preparados conteniendo un rango de porcentajes de cal en una muestra de suelo. Las medidas del pH se hacen en las mezclas de los especímenes en suspensión para determinar el contenido mínimo de la cal de la mezcla del suelo-cal para obtener un pH de por lo menos 12.4.

Al elevar el pH del suelo estabilizado con cal se liberan sílice y alúmina de la arcilla que reacción con los iones de calcio procedentes de la cal que forman silicatos y aluminatos calcios hidratados que como el caso del cemento Portland, incrementan la resistencia mecánica. El porcentaje que se recomienda para generar reacciones puzolánicas a lo largo del tiempo oscilan entre 3 y 8 por ciento.

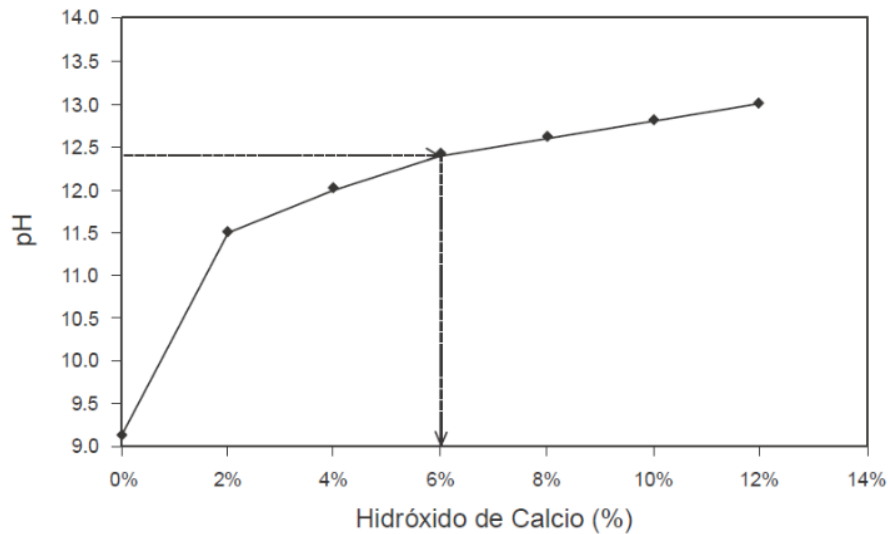


Figura 2.4: Selección del porcentaje óptimo de cal método de Eades y Grim

Otro método planteado fue realizado por C. Mc Dowell (1966), que realizó un ábaco mostrando las diferentes curvas representando el porcentaje de cal en porcentaje del peso de suelo seco, en función del índice de plasticidad y del porcentaje que pasa por el tamiz N° 40 del suelo sin estabilizar. Este ábaco excluye a los suelos con un $IP < 3$ y un porcentaje que pasa el tamiz $< 10\%$ y se puede apreciar en la figura 2.5.

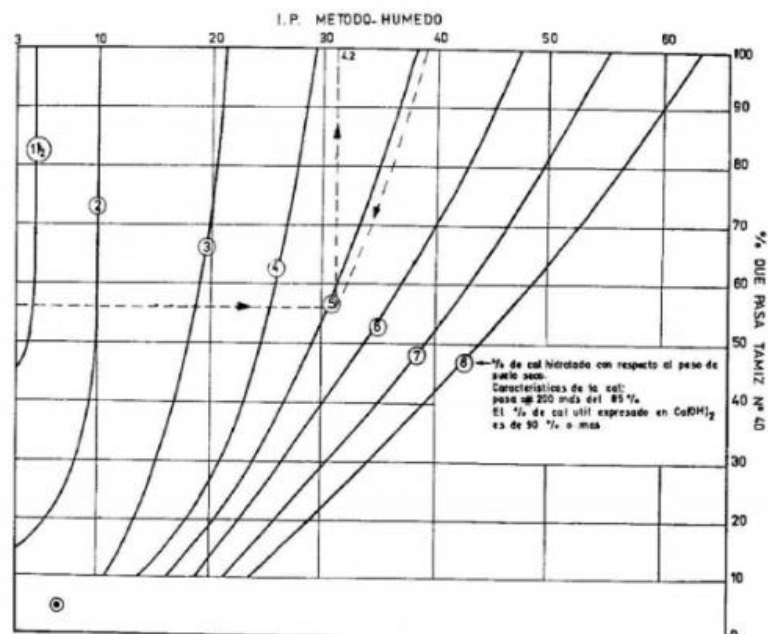


Figura 2.5: Ábaco para diseño de tratamientos de suelos con cal a partir del índice de plasticidad y granulometría (McDowell, 1966)

La estructura final de las partículas del suelo arcilloso resultan ser desordenados, ya que la cal produce la ruptura de la estructura laminar y la reducción de la capa doble del suelo arcilloso. La distribución desordenada de las partículas redistribuye las tensiones en más partículas y en diferentes direcciones, a diferencia de la estructura laminar que posee un suelo arcilloso, las fuerzas se transmiten ortogonalmente en la estructura laminar y distribuyéndose en menos partículas. Por ello, el suelo arcilloso mejora la capacidad de soporte de resistencia.

- Estabilización con cemento

La estabilización con cemento se aplica adecuadamente a suelos granulares tipo A1, A-2 y A-3 con presencia de finos con un límite líquido menor a 40 y una plasticidad menor a 18. Cuando se mezcla el suelo con cemento, se compacta y debe darse un curado adecuado para que se convierta en un suelo endurecido.

Los fenómenos químicos que ocurren entre el suelo y el cemento cuando ambos se mezclan con el contenido apropiado de agua consisten en reacciones del cemento con los componentes silíceos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; también, el hidrato de calcio que se forma debido al contacto del cemento con el agua libera iones de calcio muy ávidos de agua, que la toman del asistente en las láminas de arcilla, como resultado de este proceso es la disminución de la porosidad, y de la plasticidad, por lo que se produce el aumento de la resistencia y de su durabilidad.

La resistencia del suelo aumenta con el contenido del cemento y la edad de la mezcla suelo-cemento. Sin embargo, cuando se tiene contenido mayores de cemento requerido conllevarían a la aparición de fisuras por contracción causados por cambios de temperatura y humedad.

La dosificación aproximada de cemento de acuerdo al tipo de suelo es mostrada en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 : Rango de uso de cemento de acuerdo al tipo de suelo

Clasificación de Suelos según AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-1
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

- Estabilización con productos asfálticos

Los suelos adecuados para la estabilización con productos asfálticos son los granulares con un índice de plasticidad menor a 10 y que presenten menos del 20% que pasa la malla N°200. La estabilización con productos asfálticos puede ser usada para aumentar la estabilidad por la aglomeración del ligantes que envuelve a las partículas o también para impermeabilizar un suelo, disminuyendo la sensibilidad a los cambios de humedad.

El material asfáltico mayormente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados. El tipo de ligante asfáltico a usar depende de la granulometría, contenido de humedad, condiciones climáticas, la clase de equipo disponible, el tiempo que se espera durante la construcción y la facilidad para disponer los materiales.

La dosificación del ligante depende principalmente de la granulometría del suelo. Cuando se presentan productos asfálticos en exceso en el suelo, las partículas pueden lubricarse lo que disminuye la fricción interna teniendo un suelo poroso e inestable. De acuerdo al manual de carreteras Suelos y Pavimentos del MTC (2014) en general la cantidad de asfalto utilizado varía entre un 4% a un 7%.

- Estabilización con sales

Las sales son originadas a partir de la reacción entre un ácido con una base. Las sales neutralizadas son aquellas que no presentan excesos de iones de hidrogeno (sales acidas) ni contienen exceso de iones de hidroxilo (sales básicas), entre ellas tenemos a cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl₂) o cloruro de potasio (KCl).

Se han estudiado una gran cantidad de sales en laboratorio, pero debido a la factores económicos y a la disponibilidad de las sales solo han podido aplicarse algunas, siendo las mayormente usadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio, utilizadas principalmente para el control de polvo.

- Estabilización con polímeros

En base a la investigación desarrollada por Gary Edward Welling (2012), la interacción que realiza el polímero es entrelazar las partículas del suelo produciendo un efecto aglutinante, es decir pegando las partículas del suelo, permitiendo un control de polvo en las vías y modificando la matriz del suelo logrando mejorar propiedades del suelo. Se ha comprobado que a mayor cantidad de polímeros disminuye el índice de plasticidad y mejora la resistencia al corte de las arcillas y modifica la falla de corte de frágil a uno dúctil.

El polímero más usado para estabilizaciones de suelos hoy en día son los acetatos vinílicos o los polímeros acrílicos, los cuales han resultado ser adecuados en las estabilizaciones de suelos que han estudiado, no obstante resultan generalmente ineficientes en suelos finos debido a su más alta superficie específica de área en comparación con suelos granulares (Tingle et al. 2007). Actualmente se vienen realizando investigaciones con este producto, sin embargo las pruebas ensayadas con polímeros son pocas.

- Estabilización con enzimas

Las enzimas se definen como proteínas compuestas por cadenas de aminoácidos unidos por enlaces moleculares. Una de sus características es ser catalizadores,

es decir aceleran procesos químicos, estas no forman partes del producto, sino que conservan sus características originales. Pueden usarse para surtir trabajos difíciles y productos químicos fuertes, permitiendo un ahorro de energía y previniendo la contaminación. La aplicación de la enzima a un suelo aplicable tendrá como resultado valores más altos de CBR, el suelo estabilizado tendrá una permeabilidad más baja debido al incremento de la densidad del suelo que se generará.

La enzima es 100% biodegradable y deriva su eficacia en la fracción de arcilla del suelo, después de la aplicación de la enzima las partículas de arcilla presentes en el suelo ya son no atraídas por el agua, permitiendo que el agua en el suelo drene libremente. Las enzimas están disponibles en forma líquida y es aplicado utilizando equipo y técnicas estándar. Una vez que es aplicado, reducirá la tendencia de un camino a exhibir varios problemas comunes.

- Estabilización con ceniza volante

En esta estabilización el suelo interactúa debido a la presencia de cuarzo y minerales de las arcillas y las cenizas volantes interactúan en la estabilización de suelo debido a la presencia de óxido de calcio o magnesio. En esta estabilización se producen 4 reacciones: intercambio iónico, floculación y aglomeración, reacciones puzolánicas y carbonatación (Perez Collantes, 2014).

Diversas investigaciones se han realizado con la adición de ceniza volante. Según Acosta et al. (2003) los mecanismos que contribuyen a la estabilización son: el aumento de la resistencia del suelo (debido de la cementación producida por la hidratación de aluminato tricálcico presentes en las cenizas volantes). Un segundo mecanismo es que la cal libre en las cenizas volantes reacciona con los minerales de arcilla provocando compresión de la capa de absorción y reduciendo la plasticidad. El tercer mecanismo, es que la cal libre que no reaccionó con los minerales de la arcillas se encuentran disponibles para el procesamiento de cementación adicional con los compuestos de sílice y alúmina a través de las reacciones puzolánicas.

- 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 2.6), el residuo en este estado es una ceniza rica en sílice.

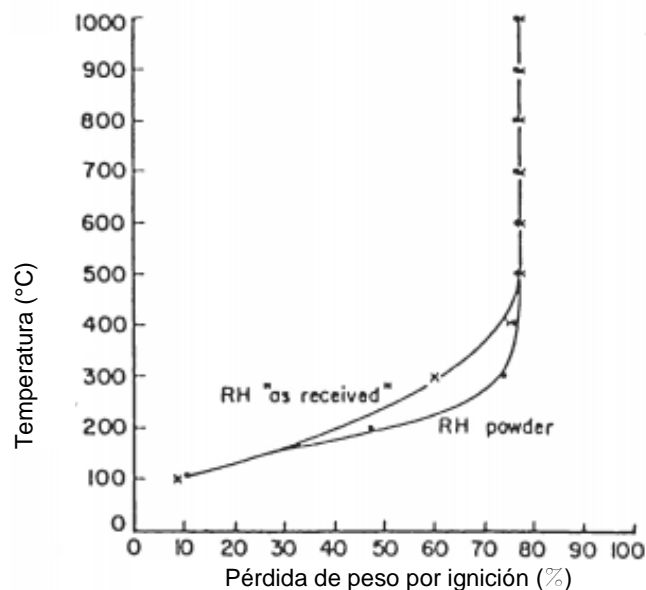


Figura 2.6: Característica de la ceniza de arroz en ignición

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 2.7.

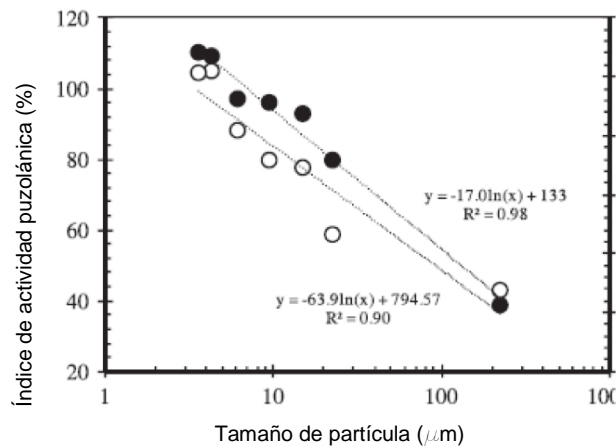


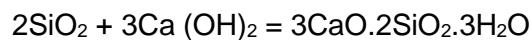
Figura 2.7: Relación índice de actividad puzolánica y el tamaño de partícula

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.

2.3.2.3 *Estabilización térmica*

- Calentamiento

Cuando las arcillas son calentadas a una temperatura de 900°C adquieren gran resistencia que no se pierde ni por inmersión. Para la estabilización de suelos se necesita llegar a una temperatura donde la rehidratación se vuelva imposible ocurriendo entre los valores comprendidos entre los 200 y 400 ° C.

En Rumania se desarrolló una aplicación de una llama provocada directa hacia la superficie y en Rusia se desarrolló por circulación de gas calentado, siendo el de Rusia más efectivo pero a su vez más complicado. No obstante en los métodos mencionados anteriormente la influencia del punto de calentamiento no se extiende más de un par de metros.

- Enfriamiento

Al producir un enfriamiento en suelos finos, genera una disminución de la resistencia debido a que la repulsión de las partículas aumenta y causa el movimiento de agua interparticular por el gradiente térmico.

La estabilización por enfriamiento debe llegar al congelamiento para evitar los efectos mencionados anteriormente y que el agua se congele y el suelo se transforma en un conjunto rígido, presentando una mejor resistencia. Para los suelos arcillosos se puede requerir de temperaturas menores de 0°C para que el agua de los poros se congele.

2.3.2.4 Estabilización por medios eléctricos

- Electrosmótica

La electrosmótica o electroósmosis es la aplicación de una corriente eléctrica en una muestra de suelo, por medio de unos electrodos (ánodos y cátodo). Los cátodos están constituidos por tubos que recogen el agua, para luego ser evacuados por bombeo. La aplicación de corriente genera una migración de iones y un flujo de agua en el sistema hacia el cátodo, como resultado del proceso, la presión de poros se reduce, el suelo se consolida y aumenta su resistencia. Esta técnica está adquiriendo extensa aplicación en suelos finos y húmedos.

Diferentes investigaciones han realizado ensayos con productos y residuos industriales, los resultados son variados siendo desde excelentes hasta negativos.

Algunos productos estudiados son:

- Ácido fosfórico
- Bases orgánicas
- Cloruro de calcio
- Cloruro sódico
- Quim KD-40
- Soda caustica
- Melaza

- Residuos industriales

2.3.3 Propiedades afectadas con la estabilización

La estabilización de suelos se realiza con la finalidad de mejorar las propiedades del suelo, a continuación definimos las propiedades que más se estudian:

a. Estabilidad volumétrica

Esta propiedad está generalmente relacionada con suelos que se expanden y se contraen por los cambios de humedad relacionados con los cambios climáticos o alguna actividad propia de la construcción. Las presiones de expansión al no estar controladas, pueden levantar postes, inclinar postes, fracturas en muros, romper tubo de drenaje, entre otras cosas.

Algunas soluciones planteadas es la aplicación de cargas, impermeabilizar el suelo a través de membranas, introducción de aguas, a través de medios químicos o térmicos, etc.

En arcillas expansivas, presentes con mucha frecuencia en la zona de selva, se trata de unir las partículas por lazos suficientemente fuertes para resistir las presiones internas de expansión, logrando modificar la masa de la arcilla. Esto se confirma con ensayos de corte directo, ensayo de carga repetida, ensayo de deformación y capacidad de soporte de resistencia.

b. Resistencia

Es la capacidad de un suelo de evitar su deformación y falla ante una carga, mayormente posee menos resistencia cuando el contenido de humedad es alto. Entre los suelos que presentan resistencia baja están los suelos arcillosos. Estos suelos son sensibles a la humedad.

Los suelos arcillosos pueden presentar diferentes características dependiendo de la humedad y energía de compactación. De acuerdo a Montejó Fonseca (2002) los suelos arcillosos compactados en el lado seco de la curva de compactación, presentan un comportamiento elástico y resistencia relativamente alta, mientras que el suelo arcilloso compactado en el lado húmedo, presentaría resistencias bajas y comportamiento plástico o viscoso. Esto se debe a que la alta humedad

genera en las partículas de las arcillas un efecto de repulsión, lo que trae como consecuencia que la cohesión sea menor. Para mejorar la resistencia del suelo se suele usar algunas formas de estabilización como:

- Compactación
- Vibro flotación
- Precarga
- Drenaje
- Estabilización mecánica con otros suelos
- Estabilización química

c. Permeabilidad

El suelo se puede definir como permeable pues presenta poros, los cuales pueden llenarse de aguas, estos poros se interconectan de modo que generan caminos por donde el agua puede transportarse, cuando la cantidad de vacíos es mínima, no podrá transportar el agua, entonces el suelo será impermeable. La permeabilidad se relaciona con dos problemas que se buscan solucionar, la presión de poros y el flujo de agua a través del suelo.

Cuando se compacta los suelos arcillosos a humedades bajas, se obtiene una alta permeabilidad debido a que existen una gran cantidad de vacíos intersticiales. No obstante, al aumentar la humedad generará una menor permeabilidad del suelo. Una de las soluciones que se plantean en suelos arcillosos es el uso de floculante que permiten reducir significativamente la permeabilidad.

d. Compresibilidad

Es el grado en que el volumen del suelo disminuye por efecto de una carga. Para suelos con textura gruesa (gravas y arenas) la compresibilidad será mínimas pues las partículas están en contacto. Para suelos de textura fina (limos y arcillas) se produce una reducción en el volumen, porque gran parte de los vacíos intersticiales se eliminarán. Mientras mayor índice plástico tenga el suelo mayor será la compresibilidad.

La compresibilidad tiene una influencia en las propiedades de los suelos, ya que se altera las fuerzas existentes entre las partículas en magnitud y sentido, lo que

tiene importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos.

e. Durabilidad

La durabilidad está relacionada con la resistencia al intemperismo, erosión o la abrasión del tránsito. Esta mayormente relacionado a la superficie de rodadura, la última capa del pavimento.

2.4 CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ

2.4.1 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 cariósida 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%.

2.4.2 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 2.8 se muestra el Flujoograma del proceso de pilado del arroz y los desechos que se generan.



Figura 2.8: Flujoograma del proceso de pilado de arroz

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.

2.4.3 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 2.3 donde se muestra los componentes de la cáscara de arroz de un estudio realizado por Varón C. J. (2005).

Tabla 2.3: Composición química de la cáscara de arroz

CÁSCARA DE ARROZ	
Componente	%
Carbono	39.1
Hidrogeno	5.2
Nitrógeno	0.6
Oxigeno	37.2
Azufre	0.7
Cenizas	17.8

Fuente: Varon C. J. (2005).

2.4.4 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 llevado 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 reactivas.

Las características físicas principales de la ceniza de cascara de arroz son mostradas en la tabla 2.4, los cuales fueron tomadas en base a la investigación de Peña S y Zambrano G. (2001)

Tabla 2.4: 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: “ (Peña Sterling & Zambrano García, 2001)”

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 composición química de la ceniza de cáscara de arroz son mostradas en la tabla 2.5, tomando como base la investigación desarrollada por Jiménez Montero & Eguez Alava (2001).

Tabla 2.5: Composición química de la ceniza de cáscara de arroz

Ceniza de cáscara de arroz	
Componente	%
Ceniza de sílice (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: Jimenez Montero & Eguez Alava (2001)

2.5 SUELO ARCILLOSO

2.5.1 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 dispuestas en formas de láminas. Existen dos variedades de dicha disposición: la silícica y la alumínica. La lámina silícica está formada por un átomo de silicio y tres átomos de oxígeno formando un tetraedro (como se aprecia en la figura 2.9), estos átomos se agrupan en formas hexagonales, repitiéndose indefinidamente constituyendo una retícula laminar (como se aprecia en la figura 2.10).

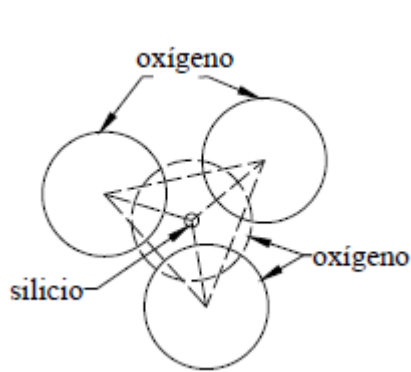


Figura 2.9: Disposición tetraédrica

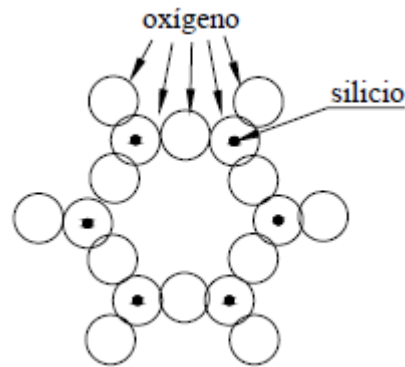


Figura 2.10: Disposición hexagonal

Para la lámina alumínica, está formada por un átomo de aluminio, enlazada con seis átomos de oxígeno formando un octaedro (como se aprecia en la figura 2.11). Estos se agrupan a través de un átomo de oxígeno constituyendo una redícula laminar.

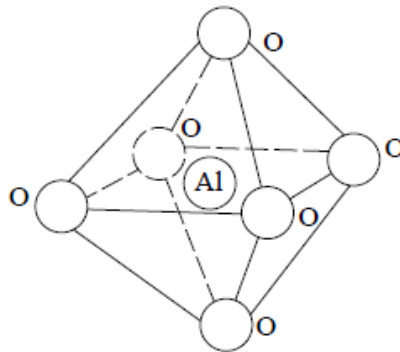


Figura 2.11: Disposición de una lámina alumínica

2.5.2 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 alumínicas y silíceas. 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 alumínica entre dos silíceas. 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.

2.5.3 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.

CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el objetivo de obtener información geotécnica del suelo a ensayar, se realizarán ensayos de laboratorio para poder determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las muestras de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.

3.1 ENSAYOS FÍSICOS

Los ensayos para el suelo arcilloso fueron realizados en el Laboratorio geotécnico del CISMID. Estos ensayos fueron realizados de acuerdo al manual de ensayo de materiales para carreteras del Ministerio y Transportes y Comunicaciones. Los resultados de cada ensayo en conjunto con los registros fotográficos se mostrarán en los anexos A y D.

3.1.1 Determinación de contenido de humedad (MTC E 108-ASTM D2216)

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje del peso del agua en relación con el peso del suelo seco. Este ensayo se realiza determinando el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C.

El peso del suelo que permanece secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas y la pérdida de peso por el secado es considerado como el peso de agua. El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente formula:

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

El conocimiento de la humedad natural de un suelo no sólo permite definir a priori el tratamiento a darle, durante la construcción, sino que también permite estimar su posible comportamiento, como subrasante, pues, si el contenido natural de agua de un suelo está próximo al límite líquido, es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo y si, por el contrario, el contenido de agua es cercano al límite plástico, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento. (Montejo Fonseca, 2002)

El ensayo para el contenido de humedad fue realizado en base a la norma MTC E 108 de acuerdo al manual de ensayo de materiales para carreteras del MTC.

3.1.2 Análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107-ASTM D422)

A través de este análisis en un suelo se logra determinar cuantitativamente la proporción de las partículas que constituyen al suelo, clasificándolos en función de su tamaño. Se usan diferentes tamices para la realización de este ensayo, las cuales de acuerdo al manual de ensayo de materiales son mostrados en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Tamaño de tamices

Tamiz	Abertura (mm)
3"	75
1 1/2"	38.1
3/4"	19
3/8"	9.5
N° 4	4.76
N° 8	2.36
N° 16	1.1
N° 30	0.59
N° 50	0.297
N° 100	0.149
N° 200	0.075

Fuente: Manual de Suelos y Pavimentos

En la figura 3.1 se puede observar el grupo de tamices a usar para el ensayo de analisis granulométrico por tamizado.



Figura 3.1: Tamices usados para el ensayo de granulometría

El análisis de tamaño de partículas se realizó de acuerdo con la norma del ensayo MTC E 107 del manual de ensayo de materiales del MTC (2016). De acuerdo al tamaño de partículas del suelo, en la tabla 3.2 podemos definir los siguientes términos:

Tabla 3.2: Tipo y tamaño de partículas

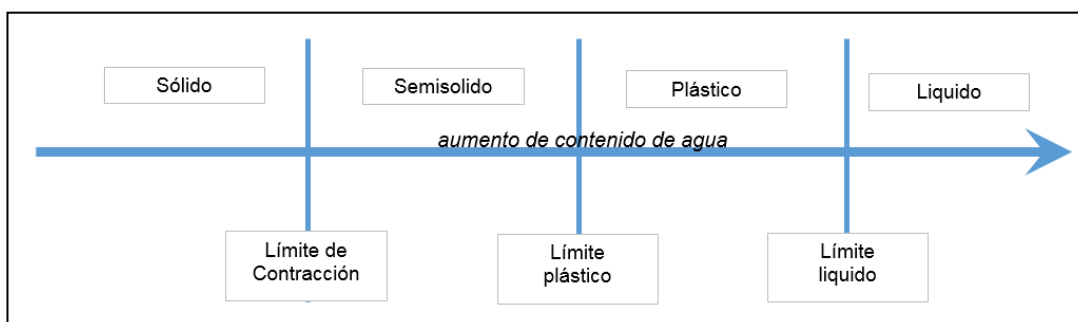
Tipo de material		Tamaño de partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Suelos y Pavimentos (2014)

3.1.3 Límite de Atterberg

Los Límites de Atterberg o límites de consistencia establecen la sensibilidad de un suelo en relación con su contenido de humedad, definiéndose los límites correspondientes a los cuatro estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico, semisólido o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido, el límite plástico y el límite de contracción. Los ensayos deben realizarse sobre el suelo que pasa el tamiz N° 40, a continuación se muestra la figura 3.2 donde se aprecia los límites y su relación con los estados de consistencia

Figura 3.2: Límites de Atterberg



Fuente: Elaboración propia

a. Límite Líquido (MTC E 110–ASTM D4318)

El límite líquido se define como el máximo contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir. Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 110 del manual de ensayo de materiales del MTC, donde se designa al contenido de humedad con el cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se juntan cuando se deja caer 25 veces la copa del instrumento Copa de Casagrande a un altura de 1cm con un ritmo de 2 caídas por segundo. En la figura 3.3 se muestra el equipo para la ejecución de este ensayo.



Figura 3.3: Equipo usado para el cálculo del límite líquido

b. Límite Plástico (MTC E 111-ASTM D4318)

El límite plástico se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este estado, el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento. Para contenidos de humedad mayores del límite plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo. (Montejo Fonseca, 2002)

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 111 del manual de ensayo de materiales del MTC, donde se designa al contenido de humedad más bajo cuando al formar barras de suelo de unos 3,2 mm de diámetro, rodando entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barras se desmoronen. En

la figura 3.4 se muestran las barras cilíndricas que se ejecutan para el cálculo del límite plástico.



Figura 3.4: Elaboración de barras cilíndricas para el cálculo del límite plástico

c. Índice de Plasticidad (MTC E 111-ASTM D4318)

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 111 del manual de ensayo de materiales del MTC donde se realiza el cálculo del índice de plasticidad como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. El índice de plasticidad se expresa mediante la siguiente formula:

$$IP=LL-LP$$

El índice de plasticidad permite indicar el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico (antes de cambiar al estado líquido) permitiendo clasificar bastante bien un suelo. De acuerdo al valor del índice de plasticidad podemos tener la siguiente clasificación:

Tabla 3.3: Clasificación de suelos de acuerdo a Índice de Plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos pocos arcillosos
$IP = 0$	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Suelos y Pavimentos (2014)

3.1.4 Gravedad específica de suelos (MTC E113-ASTM D854)

Este ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico de los suelos que pasen el tamiz de 4,75 mm (N°4) utilizando un picnómetro de agua. Cuando el suelo tenga partículas más grandes que la malla N° 4 deberá seguirse el método de ensayo del MTC E 206 peso específico y la absorción del agregado grueso. La gravedad específica de sólidos se define como la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada. Para la ejecución del ensayo se deberá utilizar picnómetros, hornos o estufas, balanzas, pipetas, termómetro, tamices. Se realizará el método B, el cual indica que los especímenes deben ser secados al horno. Para la realización de este ensayo el agua a usar debe estar desairada para asegurar que no hayan burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada ya sea mediante ebullición, vacío, combinación de vacío y calentamiento, o un mecanismo de desairado. En la figura 3.5 se aprecia la ebullición del agua en los picnómetros utilizando un horno del laboratorio geotécnico del CISMID:



Figura 3.5: Desairado de agua mediante el método de ebullición en hornos.

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua MTC E 113, del manual de ensayo de materiales del MTC (2016).

3.1.5 Clasificación de suelos

Se han desarrollado algunos métodos de clasificación de suelos debido a la gran variedad de suelos que existen en la naturaleza. Actualmente los sistemas de clasificación más utilizados en estudios para el diseño de carreteras y aeropuertos son el de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.CS.).

a. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Este es uno de los sistemas de clasificación comúnmente usado, fue propuesto por A. Casagrande como una modificación del sistema de clasificación de aeropuertos. La ventaja de este sistema es que aclara mejor las propiedades de los suelos y su descripción. Este sistema clasifica los suelos según la textura y la plasticidad; dividiendo las categorías en granos finos y granos gruesos, tomando en cuenta los límites de Atterberg y la granulometría del suelo.

Los suelos de grano fino y grueso se distinguen por el tamiz de malla N°200; las partículas gruesas son mayor a la malla N°200 y las finas son menos a dicha malla. De acuerdo a este sistema se considera al suelo grueso si el 50% de partículas son gruesas y se considera un suelo fino cuando más de la mitad de sus partículas son finas.

-Suelos gruesos

En este grupo podemos diferenciar dos subgrupos los cuales son las gravas y las arenas. Estas se diferencian con el porcentaje de retención del tamiz N°4, si más del 50% del peso queda retenido en el tamiz N° 4 se dice que pertenece al grupo de las gravas (G) y si sucede lo contrario el suelo pertenecerá al grupo de las arenas (S). Los suelos gruesos se designarán de acuerdo a su graduación, se indicará que está bien graduado cuando los espacios dejados por granos grandes son ocupados por granos más finos. Cuando no sucede esto habrá una graduación discontinua, es decir será un suelo mal graduado.

- Suelos finos

Este sistema considera que existen tres divisiones para los suelos finos:

- Limos inorgánicos
- Arcillas inorgánicas
- Limos y arcillas orgánicas

Estos tres tipos de suelos se subdividen de acuerdo a su límite líquido, si este límite líquido es menor a 50%, se dice que los suelos son de baja compresibilidad y en caso contrario cuando su límite líquido sea mayor a 50% se dice que son suelos altamente compresibles. Los suelos orgánicos como las turbas se designan con el símbolo P.

La clasificación de los suelos finos se realiza con la siguiente carta de plasticidad que se aprecia en la figura 3.6:

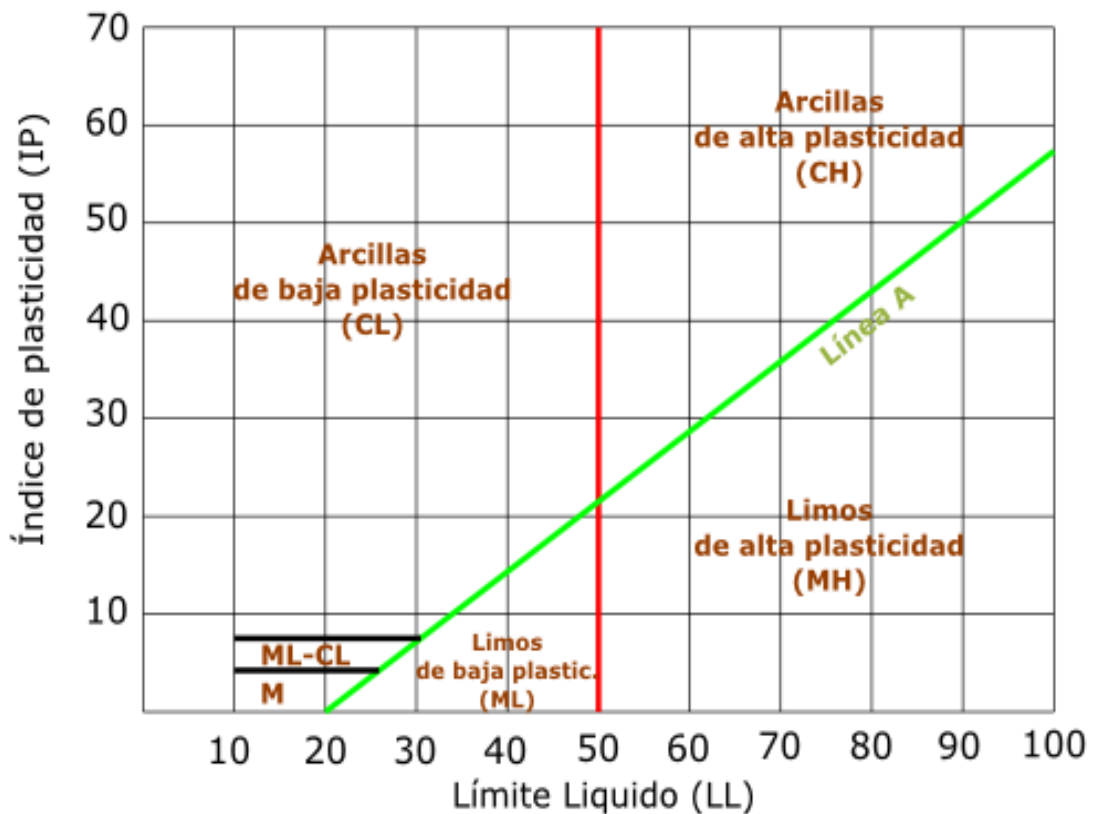


Figura 3.6: Carta de plasticidad

b. AASHTO

Este sistema de clasificación fue originalmente desarrollado por Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano. En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que

pasa por los tamices N° 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz N° 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos:

- Suelos granulares

Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 Y A-3.

- Suelos limo-arcillosos

Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz número 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Los ensayos necesarios para encajar un suelo dentro de un grupo son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg, sin embargo si queremos determinar la posición relativa del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo, expresado como un numero entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz N° 200. El índice de grupo se expresa mediante la siguiente formula:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005x(LL - 40)) + 0.01x(F - 15)x(IP - 10)$$

Donde:

IG = Índice de grupo

F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz N° 200, expresado como número entero

LL = Límite liquido

IP = Índice de plasticidad

Algunas consideraciones que debemos tener en cuenta para el índice de grupo:

- El valor obtenido sea negativo se asumirá que IG=0.
- No existe un límite superior para el índice de grupo
- El índice de grupo deberá ser un valor entero.
- El índice de grupo de A-1, A-3 y A-2-4 y A-2-5 siempre es igual a cero.

En la figura 3.7 se aprecia la clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Figura 3.7: Clasificación general según AAHTO

3.2 ENSAYOS MECÁNICOS

3.2.1. Ensayo Proctor modificado (MTC E 116-ASTM D698)

El ensayo Proctor modificado realizado en laboratorio permite determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos compactados en moldes en capas con dimensiones establecidas con un pistón de 10 lbf que cae desde una altura ya establecida produciendo una energía de compactación de $2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$. El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945.

A través de este ensayo es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de $3/4"$ (19,0 mm). Para los suelos con mayor al 30% que se retienen en el tamiz de $3/4"$ se realizará con el método de prueba estándar para corrección de unidad de peso y contenido de agua para suelos que contiene partículas de sobretamaños (ASTM 4718). Se han proporcionado 3 métodos alternativos, el método A, B y C. Para el caso del método A y B se usaran un molde de diámetro de 4 pulg donde se compactará en 5 capas realizando 5 golpes con el martillo o pisón. Para el caso del método C, se tendrá que usar un molde de 6 pulgadas de diámetro compactándolo en 5 capas con 56 golpes. En la figura 3.8 se muestran las herramientas para la ejecución del ensayo.



Figura 3.8: Equipo usado para el ensayo Proctor modificado

El ensayo Proctor modificado se realizó de acuerdo con la norma del ensayo MTC E 115 del manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones

3.2.2. Ensayo CBR (MTC 249-ASTM D1883)

Este ensayo es uno de los más difundidos y relativamente simple que permiten conocer la resistencia del suelo, mayormente usado para el diseño de pavimentos evaluando la resistencia potencial en subrasantes, subbases y bases. Este ensayo se realiza sobre un suelo preparado en condiciones de humedad y densidad aunque también puede realizarse sobre muestras inalteradas obtenidas del terreno. En la imagen 3.9 se muestran las herramientas y equipos necesarios para la ejecución del ensayo.

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0,1" ó 0,2" de penetración, expresada en porcentaje en su respectivo valor estándar:

$$CBR = \frac{\text{Resistencia a la penetración (Psi) requerida para penetrar } 0,1 \text{ pulg}}{1000 \text{ lb/pulg}^2} \times 100$$

Este ensayo se realiza luego de un periodo de inmersión en agua de 96 horas debido a que la condición saturada es la más desfavorable.

Para la obtención del valor de CBR en subrasantes se realizará de acuerdo a la norma MTC E 132 del manual de ensayo de materiales del MTC y se clasificará a que categoría pertenece de acuerdo a la Tabla 2.1: Categoría de subrasante.



Figura 3.9: Equipo usado para el ensayo CBR

3.2.3. Compresión No Confinada (MTC E 121-ASTM D2166)

Este ensayo puede realizarse en muestras inalteradas o remoldeadas en probetas de suelo de forma cilíndrica aplicando una carga axial. Permite una rápida obtención aproximada de la resistencia a la compresión de suelos que poseen valores de cohesión altos para ser ensayos sin confinamiento.

El ensayo consiste en colocar una probeta en un aparato de compresión pudiendo realizarse mediante control de deformación o por resistencia controlada.

Las probetas de suelos remoldeadas, se forma en un tubo metálico cilíndrico hueco (como se muestra en la figura 3.10) donde la relación de sus dimensiones de diámetro con respecto a la altura del espécimen debe ser igual o mayor a 2. para poder obtener la densidad deseada con un contenido de humedad establecido. El suelo es compactado con las herramientas que son mostradas en la figura 3.10.



Figura 3.10: Herramientas para ensayo de resistencia a la compresión no confinada

La resistencia a la compresión no confinada que se toma en el ensayo es la máxima carga que ha resistido el espécimen o la carga para el 20% de deformación, según lo que ocurra primero.

El ensayo a la compresión no confinada se realizó de acuerdo con la norma del ensayo MTC E 121 del manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

3.3 ENSAYOS QUÍMICOS

Se realizaron ensayos químicos para determinar los compuestos químicos por los cuales están conformados los materiales a usar en la presente investigación, es decir el suelo arcilloso y la ceniza de cáscara de arroz.

Así mismo también es importante conocer la cantidad de materia orgánica que posee cada uno, debido a su influencia en la estabilización del suelo.

3.3.1. Caracterización Mineralógica (Difracción de Rayos X - DRX)

El ensayo de caracterización mineralógica se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de Rayos X del INGEMMET. Las composiciones químicas de las muestras de suelo y ceniza se obtuvieron a través del ensayo de Espectrometría de fluorescencia de rayos X dispersivo de energía.

El Laboratorio de Rayos X está equipado con un Difractómetro de Rayos X marca SHIMADZU modelo XRD-6000 como se aprecia en la figura 3.11, donde se realizan Análisis Mineralógicos cualitativos y semicuantitativos de diferentes materiales como rocas, arcillas, arenas, minerales, sedimentos, aleaciones, etc.



Figura 3.11: Equipo de Laboratorio para Difracción de Rayos X

La difracción de rayos X se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio. La difracción permite obtener difractogramas de las muestra, los cuales a través del ordenador

realizamos la búsqueda difractogramas característicos de fases cristalinas (Para la identificación de las fases cristalinas se cuenta con la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data, con más de 250 mil compuestos entre orgánicos e inorgánicos, la cual permite una eficiente identificación de las especies mineralógicas contenidas en los diversos tipos de muestras). Mediante los picos de mayor intensidad en el difractograma, a partir de estos picos también se da el análisis cuantitativo.

3.3.2. Análisis de materia orgánica

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de materia orgánica, fácilmente oxidadas en muestras de suelos. La materia orgánica es una mezcla heterogénea de sustancias de origen vegetal, animal y microbiano que, dentro del suelo, influyen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Este ensayo se basa en el método de Walkley y Black, método que utiliza dicromato de potasio el cual se va reduciendo debido a la materia orgánica presente en el suelo (se produce la oxidación de dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico). Una consideración previa para este ensayo es confirmar que no existan sales de cloro ya que pueden ser la fuente de errores, si existiera se deberá eliminar las sales solubles. En la tabla 3.4 se muestra los niveles de materia orgánica que está planteado en el manual de suelos y pavimentos para la estabilización de suelos con cal:

Tabla 3.4: Nivel de contenido de materia orgánica

Nivel de Contenido	Porcentaje de masa orgánica
Factible	0 - 3%
No factible	Más de 3%

Fuente: Elaboración propia

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma determinación de materia orgánica en suelos por oxidación y vía húmeda MTC E 134, del manual de ensayo de materiales del MTC (2016).

CAPÍTULO IV: PROGRAMA EXPERIMENTAL

El programa experimental se realizó comenzando con la obtención de los materiales. Para ello se realizaron trabajos de campo, donde se reconoció la zona de estudio, y se procedió con las exploraciones geotécnicas a través de la ejecución de calicatas para la obtención del material. Las cenizas de cáscara de arroz fueron obtenidas de la producción de arroz que se realizan en el mismo departamento, estas provenían de una industria arrocera cuya razón social es “Molinera Amazonas SAC”.

Realizada la recolección de muestra y el traslado hacia el laboratorio geotécnico del CISMID. El programa experimental plantea estudiar las muestras de los materiales en su estado natural a través de ensayos en laboratorio. Luego se procederá a realizar ensayos al suelo arcilloso combinándolo con cenizas de cáscara de arroz para conocer su potencial como estabilizador primario. Además se ha planteado usar cal en las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz con el fin de estudiar sus características mecánicas para lograr tener mejores resultados usando a la ceniza de cáscara de arroz como agente estabilizador secundario.

A continuación se detalla los materiales obtenidos a usar para el programa experimental, las combinaciones de los materiales y los ensayos que se tienen que realizar para los materiales en estado natural y sus combinaciones.

4.1 MATERIALES INVESTIGADOS

4.1.1 Suelo arcilloso

Los suelos a estabilizar son suelos cohesivos por lo que su estructura generalmente es inestable y se tiene que tener un previo tratamiento para lograr que sean funcionales para la construcción de las carreteras.

En el proyecto de investigación se trabajará con suelos procedentes del distrito de la calzada, provincia Moyobamba, ubicado a 12.5 km de la ciudad de Moyobamba, situada en la parte Norte del Departamento de San Martín, en la región selvática del Perú entre los meridianos 76°43' y 77°38' de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y entre los paralelos 5°09' y 6°01' de latitud Sur, considerando los puntos extremos de sus límites.

La topografía de la Calzada es muy variada, donde hay una mayor predominancia de valles con pendientes suaves de forma longitudinal, teniendo una orientación de Sur a Norte.

Las muestras recolectadas de los suelos son de color marrón oscuro y para extraerlas se debió de realizar calicatas de 1.5 metro de profundidad para evadir el suelo orgánico, tener una muestra de suelos más limpia y representativa a nivel de subrasante.

En la figura 4.3 se muestra el círculo que marca el área de extracción de muestras de suelos arcillosos utilizados para los ensayos de la investigación, los cuales se encuentran dentro de la provincia de Moyobamba (figura 4.2), departamento de San Martín.

A continuación se presenta en la figura 4.4 y 4.5, el lugar donde se extrajeron los suelos para dar una idea de la geografía y topografía del área como la vegetación existe y clima en el lugar que por lo regular es muy frecuente encontrar en lugares en donde existen suelos cohesivos.

Los lugares de extracción de donde se obtuvieron las muestras de suelos arcillosos, son áreas donde existe mucha vegetación, montañas, ríos, y suelos fértiles donde se produce una gran cantidad de alimentos que se consumen en el distrito de Moyobamba.



Figura 4.2: Mapa político del Perú



Figura 4.1: Mapa político de la provincia de Moyobamba

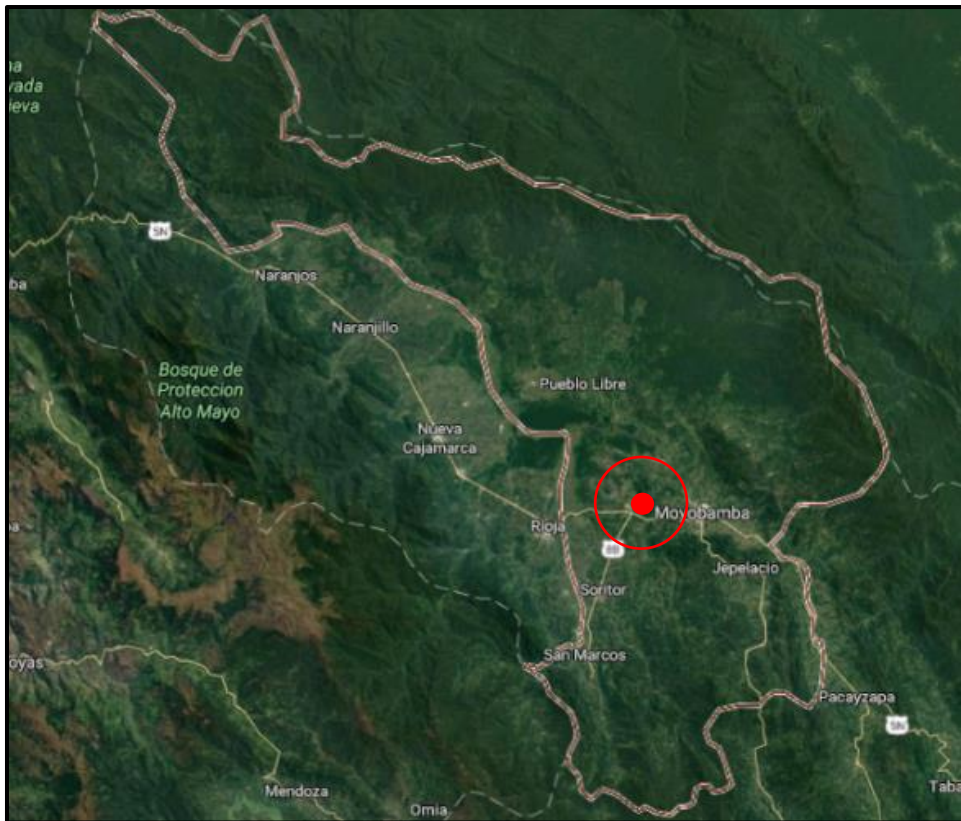


Figura 4.3: Zona de extracción de las muestras de arcillas en la provincia de Moyobamba.



Figura 4.4: Zona de extracción de suelos arcillosos



Figura 4.5: Exploración geotécnica realizada en la zona de estudio.

4.1.2 Ceniza de cáscara de arroz

La obtención de la ceniza de cáscara de arroz se realizó en Tarapoto, San Martín. La recolección se realizó en la empresa. “Molinera Amazonas SAC”, ubicada en el km 7 de la carretera Fernando Belaunde Terry en Tarapoto. En la figura 4.6, 4.7 y 4.8 se muestran el lugar y la obtención de la ceniza de cáscara de arroz. El proceso de generación de ceniza de cáscara de arroz es pasar la cáscara a los hornos ciclónicos industriales que ayudan a las operaciones de la planta agroindustrial. Esta industria genera unas 18 toneladas al mes de ceniza de cáscara de arroz



Figura 4.6: Vista de la industria Molinera Amazonas SAC desde la carretera Fernando Belaunde Terry.



Figura 4.7: Producción de la ceniza de cáscara de arroz de la industria molinera Amazonas SAC.



Figura 4.8: Horno industrial donde se lleva a cabo la combustión de las cáscaras de arroz

Como se observa en la figura 4.9, existen otras plantas industriales molineras que generar este residuo, muchas quemándola en hornos y otras quemándolas al aire libre.



Figuras 4.9: Industrias molineras y quema de cáscara de arroz en pampa

La Cal que se use para la estabilización puede ser Cal viva ó hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de Carreteras del MTC (vigente), la Especificación AASHTO M-216 o ASTM C-977. Para fines de este estudio se utilizó cal comercial de la firma Martell adquirido en la ciudad de Lima. Las características de este producto Martell, presenta un polvo de color blanco cuyo olor es inodoro.

El agua que se use para la investigación debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales. El agua potable a usar es de la red pública correspondiente al Laboratorio geotécnico del CISMID, cumpliendo los límites permisibles indicados en la norma técnica.

4.2 MEZCLA DE MATERIALES

Con el fin de determinar la proporción óptima de ceniza de cáscara de arroz para el suelo a estudiar, se definió agregar diferentes cantidades de ceniza con relación al peso del suelo seco.

4.2.1 Mezcla de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal

El suelo arcilloso y las cenizas de cáscara de arroz se secaron en horno y luego se almacenaron en recipientes plásticos. Las mezclas de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal se midieron en peso respectivamente de acuerdo a las proporciones indicadas en Tabla 4.1 Proporción de las combinaciones y Símbolos Referentes a cada material de la combinación de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Tabla 4.1: Proporción de combinación de los materiales y sus símbolos para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.

Combinación	Porcentaje de suelo arcilloso	Porcentaje de ceniza de cáscara de arroz	Porcentaje de cal	Simbología
Suelo arcilloso	100	0	0	S
Ceniza de cáscara de arroz	0	100	0	CCA
Combinación 1	87	10	3	S87-CCA10-C3
Combinación 2	77	20	3	S77-CCA20-C3
Combinación 3	67	30	3	S67-CCA30-C3
Combinación 4	57	40	3	S57-CCA40-C3

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Mezcla de suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz

El suelo arcilloso y las cenizas de cáscara de arroz se secaron en horno y luego se almacenaron en recipientes plásticos. Las mezclas de suelo y ceniza de cáscara de arroz se midieron en peso respectivamente de acuerdo a las proporciones indicadas en Tabla 4.2 Proporción de las combinaciones y Símbolos Referentes a cada material de la combinación de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 4.2: Proporción de combinación de los materiales sus símbolos para las combinaciones de suelo arcilloso y CCA

Combinación	Porcentaje de suelo arcilloso	Porcentaje de ceniza de cáscara de arroz	Simbología
Suelo arcilloso	100	0	S
Ceniza de cáscara de arroz	0	100	CCA
Combinación 1	90	10	S90-CCA10
Combinación 2	80	20	S80-CCA20
Combinación 3	70	30	S70-CCA30
Combinación 4	60	40	S60-CCA40

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de determinar el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz más apropiado para estabilizar el suelo arcilloso, es necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio con muestras del suelo natural así como mezclas del mismo con porcentajes de los materiales a usar. Los resultados obtenidos a partir de estos ensayos serán esenciales para definir los parámetros de trabajo óptimo para la realización de los trabajos a gran escala en el camino que se desea estabilizar.

Los ensayos de laboratorio fueron realizados en las instalaciones del laboratorio geotécnico del CISMID, de acuerdo a las normas del MTC. Los análisis químicos de materia orgánica se realizaron en el Laboratorio "LASA" Ingenieros y el Análisis Mineralógico de Difracción de Rayos "X" se realizó en el Laboratorio de INGEMMET. Los resultados de los ensayos se presentan en el Anexo B.

Las muestras representativas de arcilla, ceniza de cáscara de arroz y las combinaciones adicionando cal fueron sometidas a los ensayos para su caracterización física, química y mecánica. Para conocer las características de resistencia de la arcilla estabilizada con ceniza de cáscara de arroz se tomarán como factores a los valores que se obtendrán del ensayo de CBR y compresión no confinada.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta y analiza los resultados de los ensayos realizados en las muestras de suelo arcilloso y ceniza de cascara de arroz provenientes del departamento de San Martín.

5.1 ENSAYOS FÍSICOS

5.1.1 Análisis Granulométrico

En base a la norma del MTC E107, se muestra en la figura 5.1 las curvas granulométricas para los materiales correspondientes a los suelos arcillosos, ceniza de cascara de arroz y las combinaciones de los materiales mencionados anteriormente.

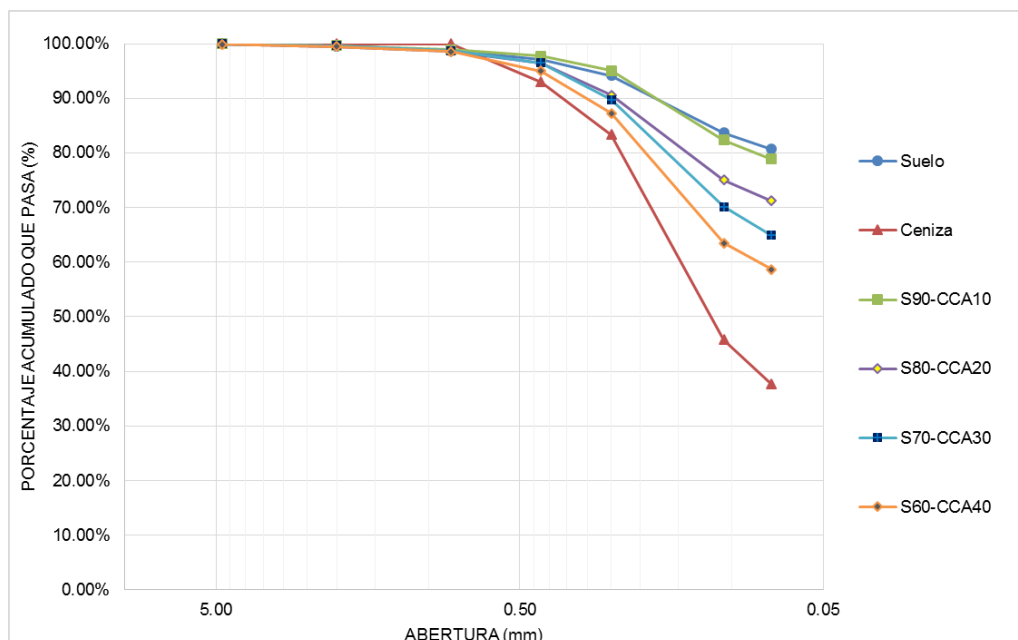


Figura 5.1: Curva granulométrica de suelo arcilloso, CCA y sus combinaciones

Las combinaciones de la mezcla de suelos arcilloso con ceniza de cáscara de arroz se presentan en porcentaje del ensayo de análisis granulométrico en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Resultado de ensayo de análisis granulométrico para las combinaciones de suelo arcilloso y CCA.

Muestras	Análisis Granulométrico		
	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)
SOIL 100	0%	19.29%	80.71%
CCA 100	0%	62.33%	37.67%
SOIL 90 - CCA 10	0%	21.10%	78.90%
SOIL 80 - CCA 20	0%	28.75%	71.25%
SOIL 70 - CCA 30	0%	35.11%	64.89%
SOIL 60 - CCA 40	0%	41.29%	58.71%

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.2 muestra las curvas granulométricas para las combinaciones correspondientes a los suelos arcillosos, ceniza de cascara de arroz y la combinaciones de los materiales mencionados con la cal, referenciándonos del ensayo MTC E107.

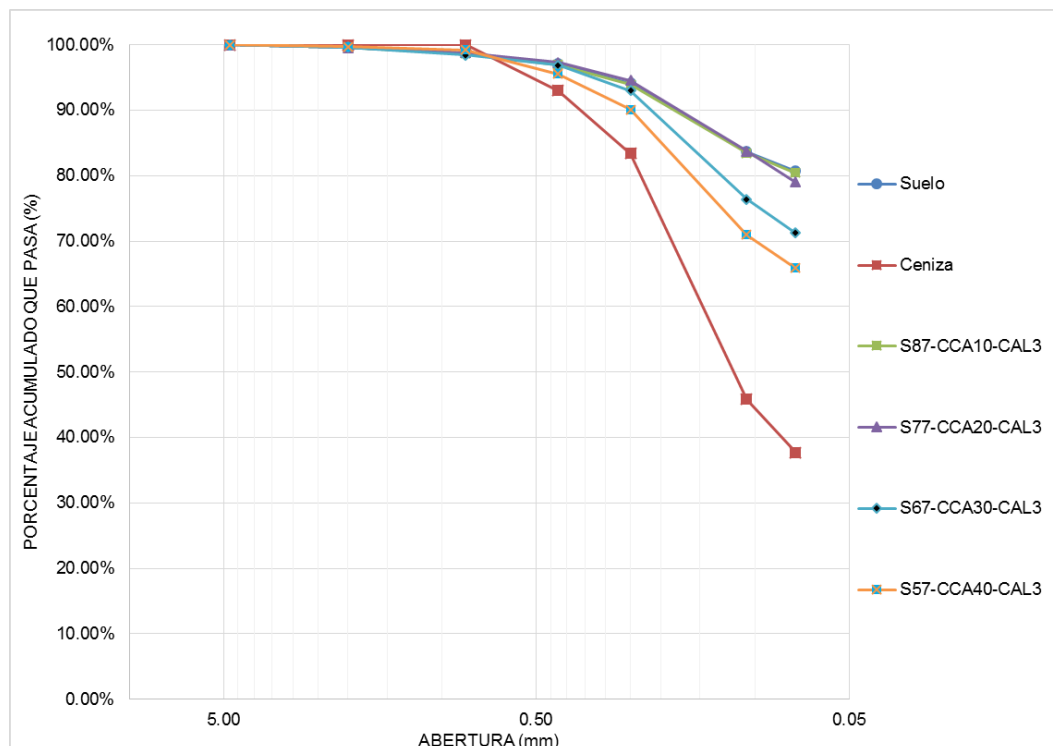


Figura 5.2: Curva granulométrica de suelo arcilloso, CCA y las combinaciones suelo arcilloso, CCA y cal.

Las combinaciones de la mezcla de suelos arcilloso con ceniza de cáscara de arroz y con un cal, se presentan en porcentaje del ensayo de análisis granulométrico en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Resultado de ensayo de análisis granulométrico para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Muestras	Análisis Granulométrico		
	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)
S100	0%	19.29%	80.71%
CCA 100	0%	62.33%	37.67%
S87 - CCA 10 - CAL 3	0%	19.55%	80.45%
S77 - CCA 20 - CAL 3	0%	20.97%	79.03%
S67 - CCA 30 - CAL 3	0%	28.77%	71.23%
S57 - CCA 40 - CAL 3	0%	34.13%	65.87%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Límites de Atterberg

Realizado los ensayos para determinar el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad, los resultados se muestran en la tabla 5.3 para las combinaciones de suelos y cenizas, donde se puede observar que la arcilla tiene una alta plasticidad y la ceniza de cáscara de arroz no presenta plasticidad.

Tabla 5.3: Resultado de límites de Atterberg para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.

Muestras	Límite de Atterberg		
	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad
S100	39	21	18.00
S90 - CCA10	41.00	27.00	14.00
S80 - CCA20	44.00	35.00	9.00
S70 - CCA30	47.00	0.00	0.00
S60 - CCA40	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar de los resultados de los límites de consistencia para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz. Así mismo podemos observar que a medida que aumenta el contenido de ceniza de cáscara de arroz aumenta el valor de humedad de los límites de consistencia hasta un determinado porcentaje, pasando el 30% las combinaciones no poseen plasticidad.

Así mismo podemos observar que a medida que aumenta el contenido de ceniza de cáscara de arroz el índice de plasticidad disminuye hasta un valor de cero a partir de un contenido de 30%, debido a la mayor presencia de ceniza de cáscara de arroz.

Los resultados para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal, se muestran en la tabla 5.4, donde se muestran los valores de límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.

Tabla 5.4: Resultado de límites de Atterberg para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Muestras	Límite de Atterberg		
	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad
S100	39	21	18.00
S87 - CCA10 - CAL3	40.00	26.00	14.00
S77 - CCA20 - CAL3	42.00	28.00	14.00
S67 - CCA30 - CAL3	39.00	33.00	6.00
S57 - CCA40 - CAL3	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia.

Podemos apreciar la variación de los resultados de los límites de consistencia para las combinaciones de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal. Así mismo podemos observar que posee el mismo comportamiento anterior, a medida que aumenta el contenido de ceniza de cáscara de arroz aumenta el límite líquido y el límite plástico hasta un valor de cero donde la influencia de la ceniza tiene mayor predominancia.

Además, se observa que a medida que aumenta el contenido de ceniza de cáscara de arroz el índice de plasticidad disminuye hasta un valor de cero debido a la mayor presencia de ceniza de cáscara de arroz.

5.1.3 Gravedad específica de sólidos

Realizado el ensayo de gravedad específica de sólidos, se observan los resultados obtenidos de la adición de la ceniza de cáscara de arroz con el suelo en la tabla 5.5. Se aprecia que a medida aumenta la cantidad de ceniza de cáscara de arroz disminuye la gravedad específica de sólidos debido a la influencia de la ceniza de cáscara de arroz el cual posee menor gravedad específica.

Tabla 5.5: Resultados de Ensayos de Gravedad Específica de Sólidos para las combinaciones de suelo arcilloso y CCA

Material/Combinación	Gravedad Específica de Sólidos (Gs)
SOIL 100	2.63
S90 - CCA10	2.60
S80 - CCA20	2.56
S70 - CCA30	2.50
S60 - CCA40	2.41
CCA 100	1.89

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5.6 se observan los resultados obtenidos para las combinaciones de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal. Se aprecia que el comportamiento es similar a la combinación de suelo y ceniza de cáscara de arroz, es decir, a medida aumenta la cantidad de ceniza de cáscara de arroz disminuye la gravedad específica de sólidos debido a la influencia de la ceniza de cáscara de arroz el cual posee menor gravedad específica.

Tabla 5.6: Resultados de Ensayos de Gravedad Específica de Sólidos para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal

Material/Combinación	Gravedad Específica de Sólidos (Gs)
S100	2.63
S87 - CCA10 - CAL3	2.60
S77 - CCA20 - CAL3	2.56

Material/Combinación	Gravedad Específica de Sólidos (Gs)
S67 - CCA30 - CAL3	2.49
S57 - CCA40 - CAL3	2.40
CCA 100	1.89

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación que se han tomado han sido SUCS y AASHTO. Acorde con SUCS, la clasificación de los materiales estudiados ha sido los siguientes:

CL: cuando se trata de una arcilla inorgánica de baja compresibilidad

ML: cuando se trata de un limo inorgánico de baja compresibilidad

Acorde con la clasificación AASHTO el suelo estudiado corresponde al grupo: A-6 tratándose de un suelo arcilloso, deficiente para un terreno a nivel de subrasante. La ceniza de cáscara de arroz corresponde al grupo A-4(0) tratándose de un material limoso. Las combinaciones de ceniza de cáscara de arroz y suelo corresponden a una clasificación A-7-6 y A-5, los cuales corresponden a suelos limosos y arcillosos calificados generalmente como regulares a malos para usar a nivel de subrasante en carretera. Para el caso de las combinaciones de ceniza de cáscara de arroz, suelo y cal corresponden a una clasificación A-4, A-5, A-6 y A-7-6, los cuales también corresponden a suelos limosos y arcillosos.

La tabla 5.7 muestra las clasificaciones SUCS y AASHTO para los materiales y combinaciones de suelo y ceniza de cáscara de arroz y la tabla 5.8 muestra las combinaciones de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Tabla 5.7: Clasificación de Suelos para las combinaciones de suelo y CCA

Material/Combinación	Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO	
	Grupo	Descripción	Grupo	Descripción
Soil 100	CL	Suelos arcillosos de baja plasticidad	A-6 (0)	Suelo arcilloso
S90 - CCA10	ML	Suelo limoso	A-5 (10)	Suelo limoso
S80 - CCA20	ML	Suelo limoso	A-5 (10)	Suelo limoso
S70 - CCA30	ML	Suelo limoso	A-5 (24)	Suelo limoso
S60 - CCA40	ML	Suelo limoso	A-4 (0)	Suelo limoso

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.8: Clasificación de Suelos para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal

Material/Combinación	Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO	
	Grupo	Descripción	Grupo	Descripción
Soil 100	CL	Suelos arcillosos de baja plasticidad	A-6 (0)	Suelo arcilloso
S87 - CCA10 - CAL3	ML	Suelo limoso	A-6 (0)	Suelo arcilloso
S77 - CCA20 - CAL3	ML	Suelo limoso	A-7-6	Suelo arcilloso
S67 - CCA30 - CAL3	ML	Suelo limoso	A-5 (0)	Suelo limoso
S57 - CCA40 - CAL3	ML	Suelo limoso	A-4 (0)	Suelo limoso

Fuente: Elaboración propia.

5.2 ENSAYOS QUÍMICOS

5.2.1 Análisis Difracción de Rayos X

Los resultados de la composición química de las muestras están presentados en las Tablas 5.9 y 5.10, ensayos que fueron realizados en el Laboratorio de INGEMMET. En las Figuras 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se muestran las salidas gráficas del ensayo a las muestras de arcilla y ceniza estudiadas.

Tabla 5.9: Elementos químicos presentes en CCA

N°	Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
01	Cristobalita	SiO ₂	95.1
02	Microclina	KAlSi ₃ O ₈	2.28
03	Cuarzo	SiO ₂	1.05
04	Glushinskita	C ₂ MgO ₄ .2H ₂ O	0.87
05	Topaz	Al ₂ SiO ₄ (F,OH) ₂	0.7

Fuente: Reporte de Resultados N°027-2017-INGEMMET/DL-LRX.

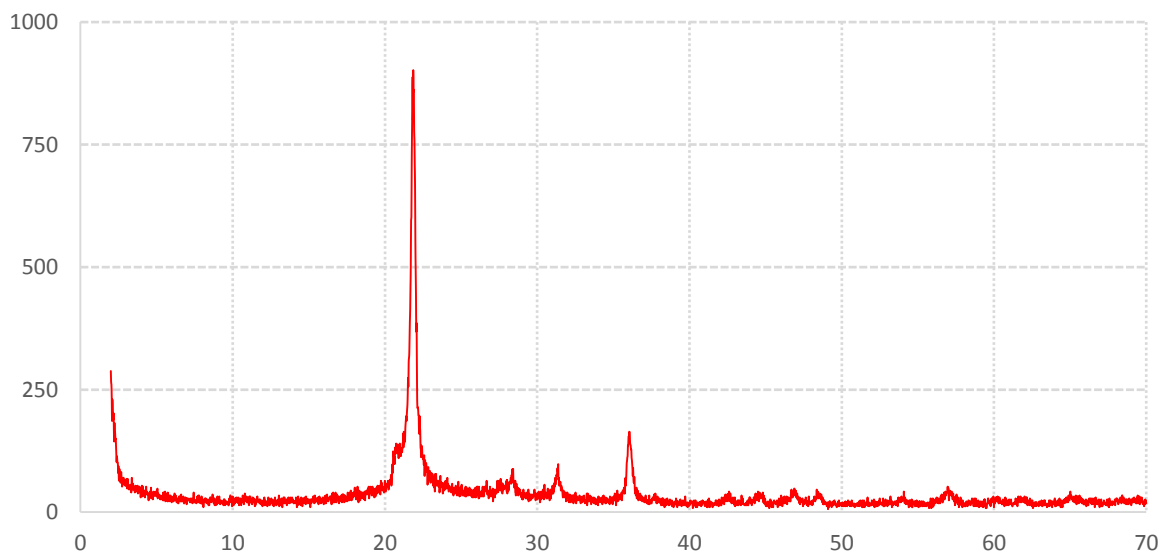


Figura 5.3: Difractograma de ceniza de cáscara de arroz (CCA1)

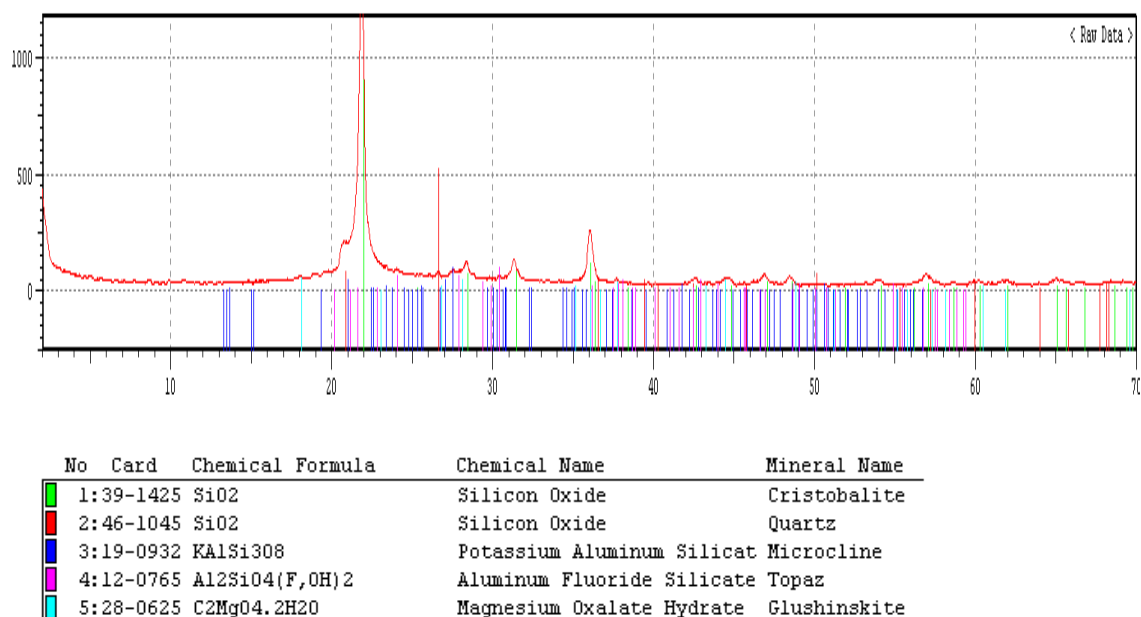


Figura 5.4: Difractograma detallado de ceniza de cáscara de arroz (CCA1)

A continuación se mostrarán en la tabla 5.10 los resultados que se obtuvieron con la muestra de suelo arcilloso:

Tabla 5.10: Elementos químicos presentes en suelo arcilloso

N°	Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
01	Albita	Na(Si ₃ Al) ₆ O ₁₈	44.42
02	Cuarzo	SiO ₂	33.69
03	Calcita	CaCO ₃	11.16
04	Microclina	KAlSi ₃ O ₈	4.4
05	Montmorillonita	Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	3.22
06	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1.07
07	Grosularia	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	0.86
08	Stilbita	(Ca,Na) _{1.3} (Si,Al) ₉ O ₁₈ .8H ₂ O	0.64
09	Magnesiohorblenda	C ₂ MgO ₄ .2H ₂ O	0.54

Fuente: Reporte de Resultados N°027-2017-INGEMMET/DL-LRX.

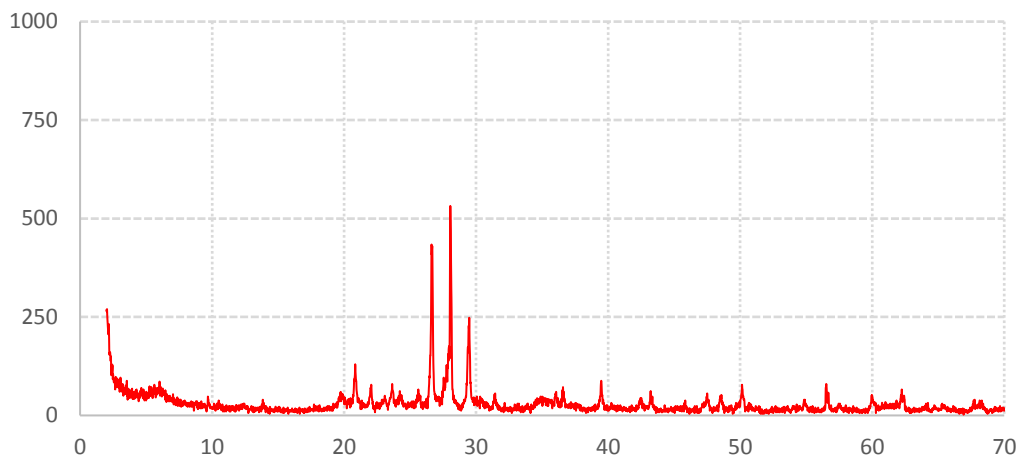
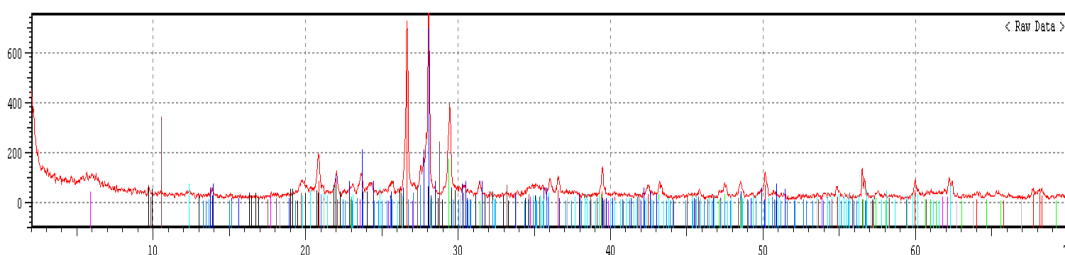


Figura 5.5: Diffractograma de suelo arcilloso (CCA3)



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
2	5-0586	CaCO ₃	Calcium Carbonate	Calcite
3	10-0393	Na(Si ₃ Al)O ₈	Sodium Aluminum Silicate	Albite
4	13-0135	Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ {	Calcium Magnesium Aluminum	Montmorillonite
5	14-0164	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Aluminum Silicate Hydroxid	Kaolinite
6	24-0894	(Ca,Na) _{1.3} (Si,Al) ₉ O ₁	Sodium Calcium Aluminum Si	Stilbite
7	20-0481	(Ca,Na) _{2.26} (Mg,Fe,Al)	Sodium Calcium Iron Magnes	Magnesiohornblen
8	33-0260	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	Calcium Aluminum Silicate	Grossular
9	19-0932	KAlSi ₃ O ₈	Potassium Aluminum Silicat	Microcline

Figura 5.6: Diffractograma detallado de suelo arcilloso (CCA3)

5.2.2 Contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica realizada por el método Walkley y Black demuestra que los materiales son viables para usarlos en el proceso de estabilización.

Tabla 5.11: Contenido de materia orgánica

Material	% de Materia orgánica	Nivel de contenido
Suelo arcilloso	0.15	factible
Ceniza de cáscara de arroz	2.60	factible

Fuente: Elaboración propia.

5.3 ENSAYOS MECÁNICOS

5.3.1 Ensayo Proctor modificado

En la tabla 5.11 se presenta los valores de Máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad obtenidos de los ensayos realizados en el suelo, ceniza de cáscara de arroz y sus combinaciones. Estos valores del ensayo Proctor Modificado se representan en la figura 5.7 donde se aprecia que las curvas van moviéndose hacia la y van teniendo un comportamiento a ser más horizontal.

La variación de los resultados del óptimo contenido de humedad con respecto a la cantidad de ceniza de cáscara de arroz es mostrado en la figura 5.8 donde se aprecia que va aumentando a medida que va incrementándose el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz, debido a la influencia que da la ceniza de cáscara de arroz.

La variación de la máxima densidad seca es mostrada en la figura 5.9, donde se puede apreciar que la máxima densidad seca disminuye a medida que se incrementa el contenido de ceniza de cáscara de arroz en el suelo.

Tabla 5.12: Resultados de Ensayos de Compactación para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz

Muestras	Proctor Modificado	
	Óptimo contenido de Humedad % (OCH)	Máxima densidad seca g/cm ³ (MDS)
SOIL 100	16.90	1.81
S90 - CCA10	19.20	1.68
S80 - CCA20	20.00	1.61
S70 - CCA30	22.00	1.50
S60 - CCA40	28.00	1.34
CCA 100	52.50	0.89

Fuente: Elaboración propia.

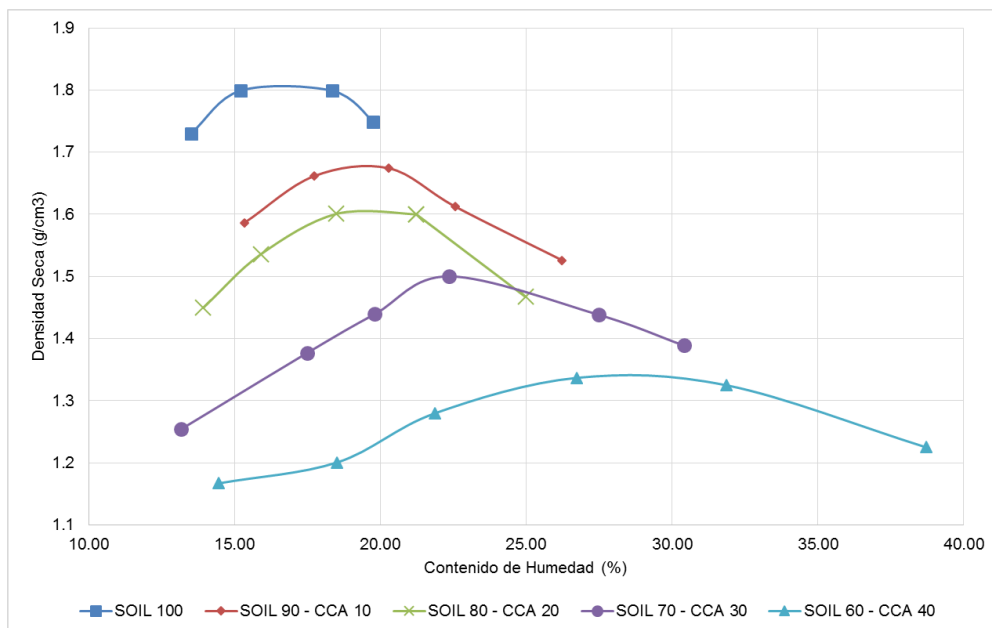


Figura 5.7: Curvas de Compactación para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz

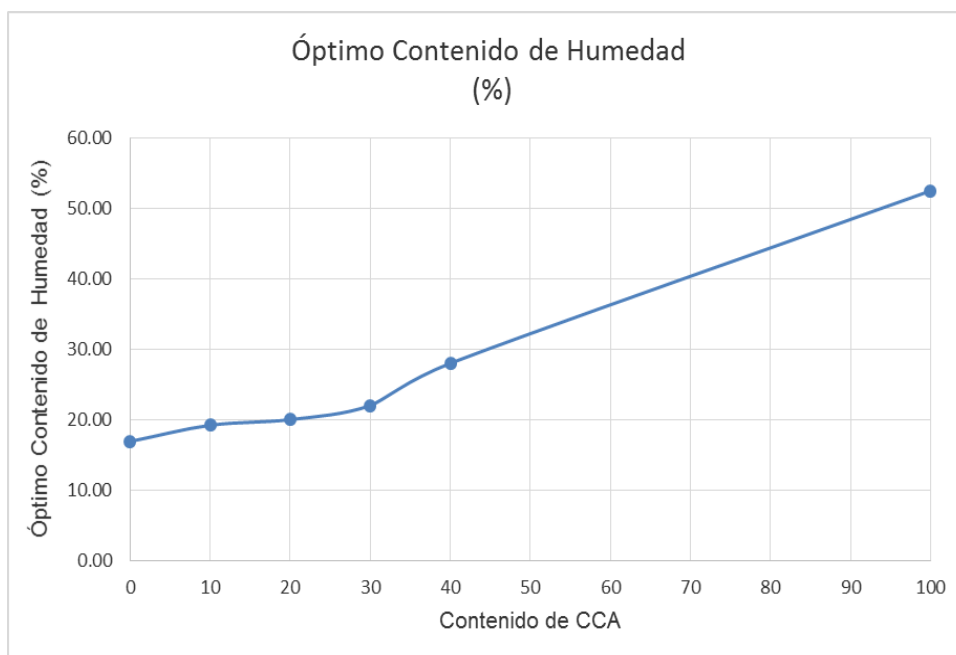


Figura 5.8: Variación del OCH con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza cáscara de arroz

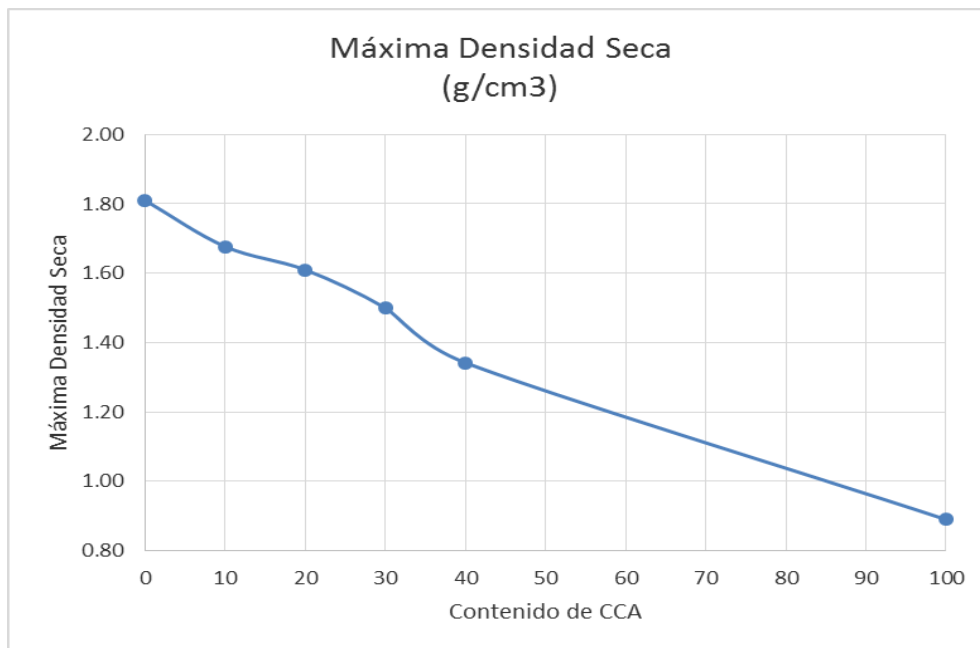


Figura 5.9: Variación de la MDS con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza cáscara de arroz

En la tabla 5.13 se presenta los valores de Máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad obtenidos de los ensayos realizados para las combinaciones de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal. Estos valores del ensayo Proctor Modificado se representan en la figura 5.10. El comportamiento es similar para las combinaciones de ceniza de cáscara de arroz y suelo. Las curvas van moviéndose hacia la derecha y van teniendo un comportamiento a ser más horizontal.

La variación de los resultados del óptimo contenido de humedad con respecto a la cantidad de ceniza de cáscara de arroz es mostrado en la figura 5.11 donde se aprecia que va aumentando a medida que va incrementándose el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz, debido a la influencia que da la ceniza de cáscara de arroz.

La variación de la máxima densidad seca es mostrada en la figura 5.12, donde se puede apreciar que la máxima densidad seca disminuye a medida que se incrementa el contenido de ceniza de cáscara de arroz en el suelo

Tabla 5.13: Resultados de Ensayos de Compactación para las combinaciones de suelo arcillosos, CCA y cal

Muestras	Proctor Modificado	
	Optimo contenido de Humedad % (OCH)	Máxima densidad seca g/cm^3 (MDS)
SOIL 100	16.90	1.81
S87 - CCA10 - CAL3	18.20	1.74
S77 - CCA20 - CAL3	21.00	1.61
S67 - CCA30 - CAL3	26.50	1.41
S57 - CCA40 - CAL3	30.00	1.29
CCA 100	52.5	0.89

Fuente: Elaboración propia.

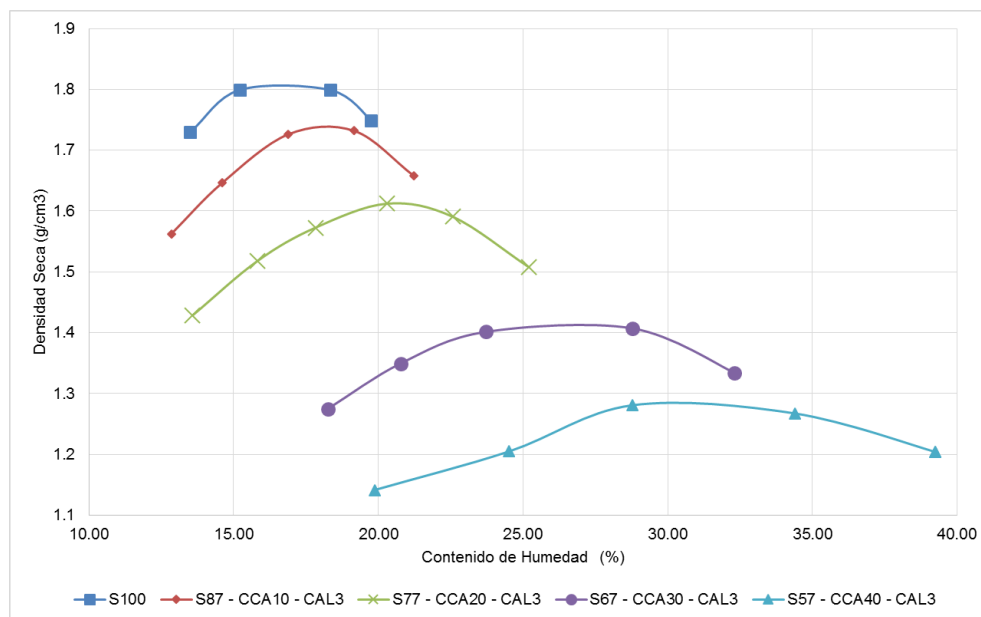


Figura 5.10: Curvas de Compactación para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.

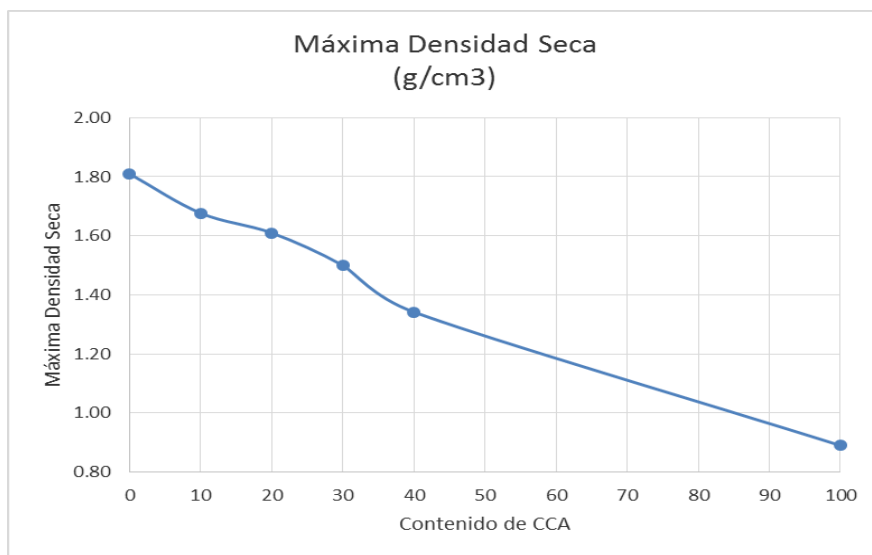


Figura 5.11: Variación de la MDS con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal.

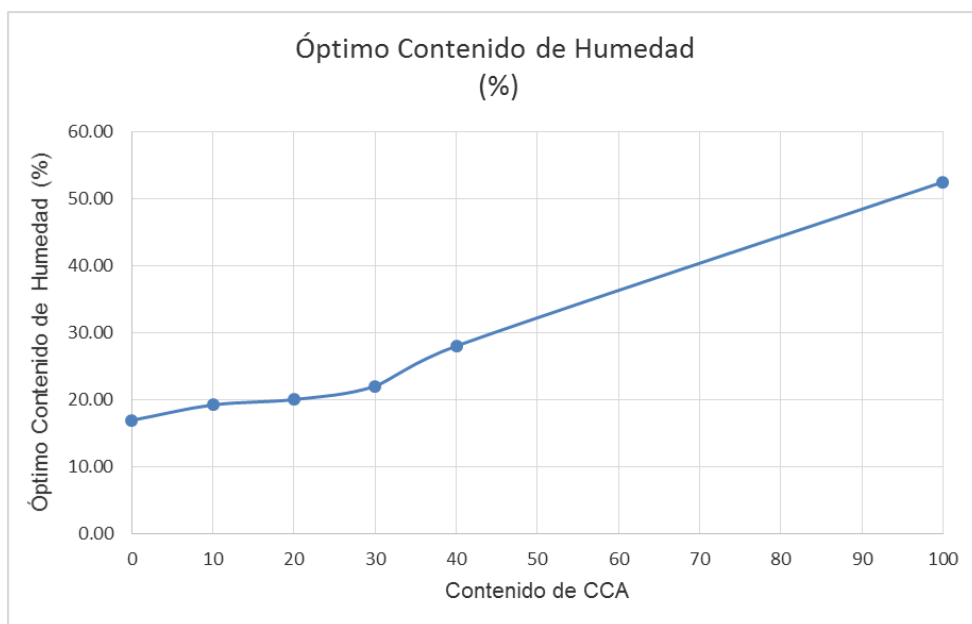


Figura 5.12: Variación del OCH con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso, CCA y cal

5.3.2 Ensayo CBR

El ensayo CBR, nos da valores de expansión en el suelo y en la combinación con ceniza de cáscara de arroz, estos son presentados en la tabla 5.14. De la figura 5.13, apreciamos que mientras se van proporcionando diversas cantidades de ceniza de cáscara de arroz, va produciendo una disminución de la expansión del material desde 1.91%, valor que corresponde al suelo arcillosos, hasta un valor de 0, es cual se produce cuando se adiciona 40% de ceniza de cáscara de arroz.

En la tabla 5.15 se muestran los valores de CBR al 95% que tiene cada combinación de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz. De la figura 5.14 apreciamos que el valor de CBR va incrementándose hasta un límite luego del cual va disminuyendo, el valor óptimo para estas combinaciones es del 20% de ceniza de cáscara de arroz, el que permite un incremento de 5 a 19.40, es decir aumenta 4 veces su capacidad de soporte de resistencia.

Tabla 5.14: Resultados de expansión a los 4 días para las combinación de suelo y ceniza de cáscara de arroz.

Muestras	Expansión a los 4 días (%)
SOIL 100	1.91
S90 - CCA10	0.20
S80 - CCA20	0.40
S70 - CCA30	0.24
S60 - CCA40	0.00

Fuente: Elaboración propia.

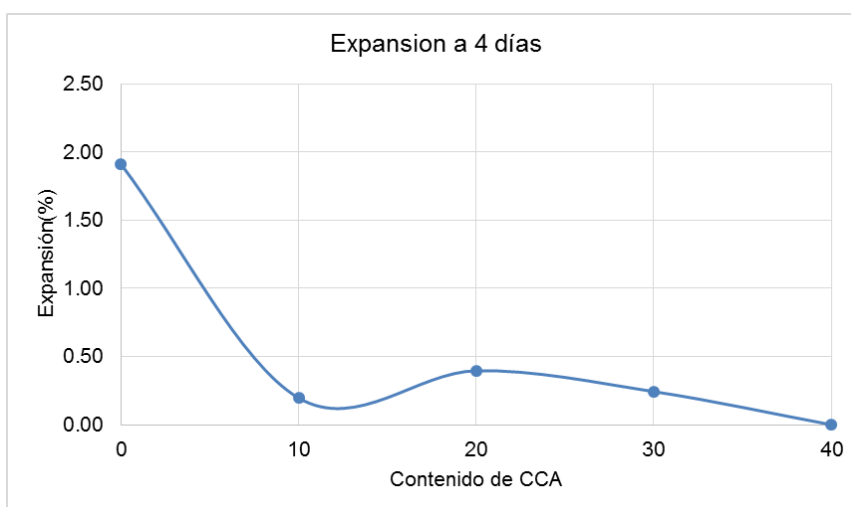


Figura 5.13 : Variación de la Expansión respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcillos y ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 5.15: Resultados de Valores de CBR de las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz

Muestras	CBR (%)
SOIL 100	5.00
S90 - CCA10	16.30
S80 - CCA20	19.40
S70 - CCA30	13.2
S60 - CCA40	13.0

Fuente: Elaboración propia.

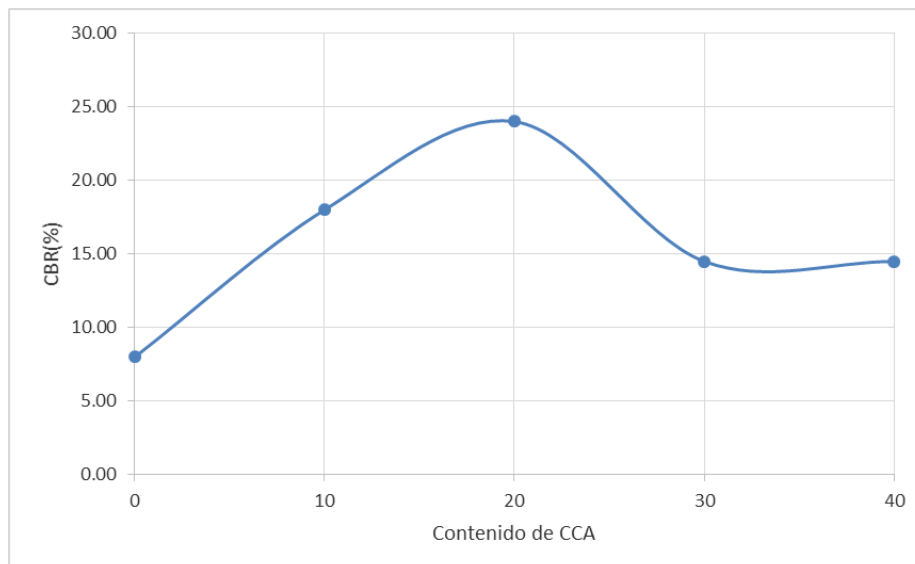


Figura 5.14: Variación del CBR con respecto al contenido de CCA para las combinación de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz

Los resultados de expansión para la combinación de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal son mostrados en la tabla 5.16 donde se va produciendo una disminución de la expansión del material como se aprecia en la figura 5.15 desde 1.91%, valor que corresponde al suelo arcilloso, hasta un valor de 0.00, el cual se produce cuando se adiciona 40% de ceniza de cáscara de arroz. En la tabla 5.16 se muestran los valores de CBR que tiene cada combinación de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal.

En la figura 5.16 apreciamos que el valor de CBR va incrementándose hasta un límite luego del cual va disminuyendo, el valor óptimo para estas combinaciones

es del 20% de ceniza de cáscara de arroz, el que permite un incremento de 5 a 38.5, es decir aumenta 7 veces su capacidad de soporte de resistencia.

Tabla 5.16: Resultados de expansión a los 4 días para las combinación de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Muestras	Expansión a los 4 días (%)
SOIL 100	1.91
S87 - CCA10 - CAL3	0.55
S77 - CCA20 - CAL3	0.34
S67 - CCA30 - CAL3	0.06
S57 - CCA40 - CAL3	0.00

Fuente: Elaboración propia.

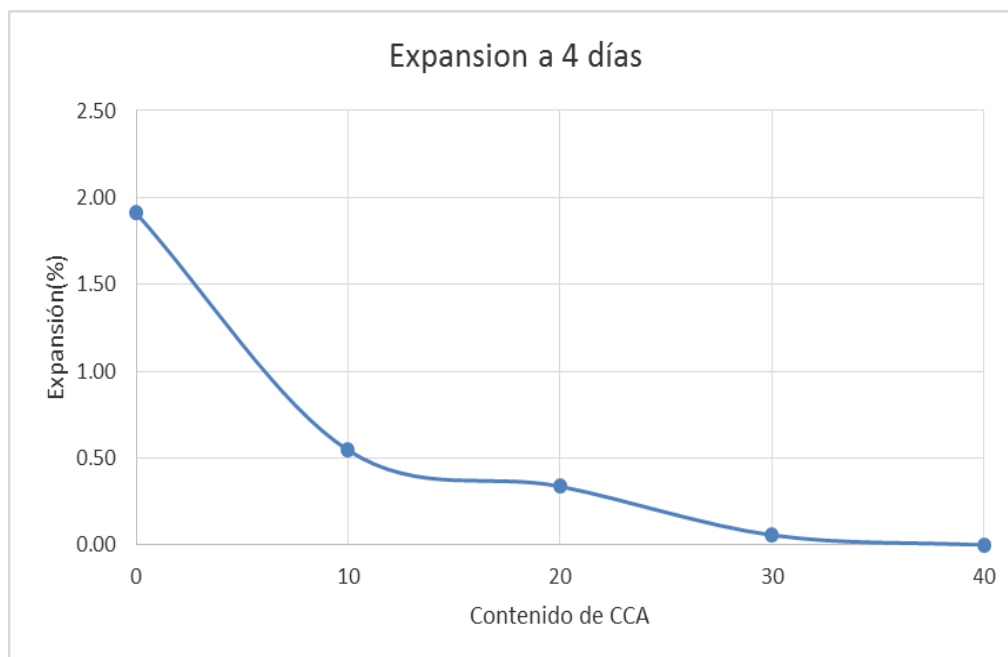


Figura 5.15 : Variación de la Expansión con respecto al contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Tabla 5.17: Resultados de Valores de CBR de las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal

Muestras	Valor CBR (%)
SOIL 100	5.00
S87 - CCA10 - CAL3	29.50
S77 - CCA20 - CAL3	38.50
S67 - CCA30 - CAL3	27.70
S57 - CCA40 - CAL3	26.50

Fuente: Elaboración propia.

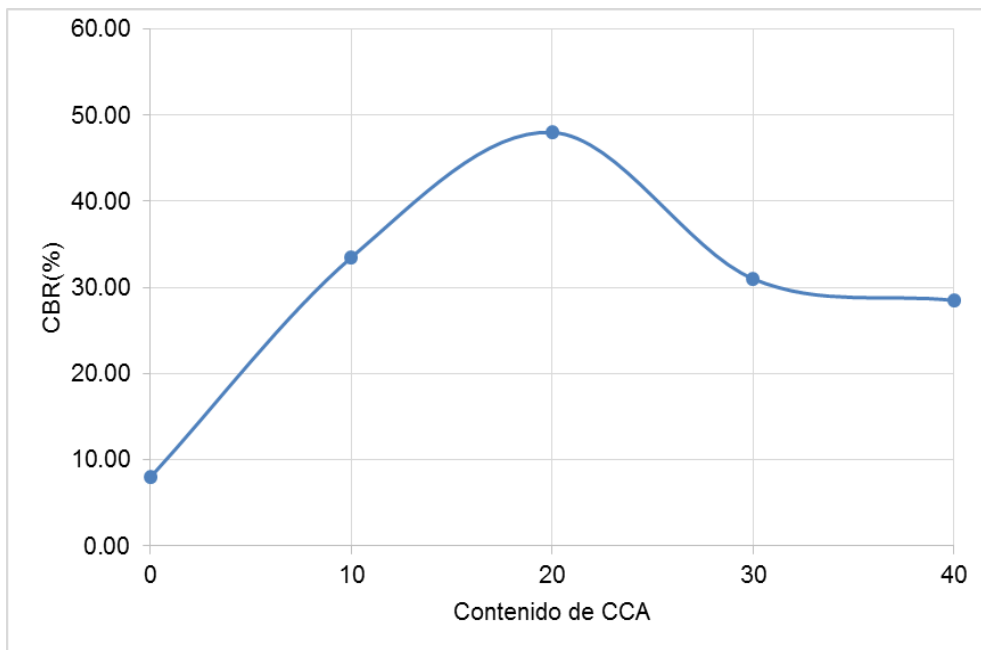


Figura 5.16: Variación del CBR con respecto al contenido de CCA para las combinación de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal.

5.3.3 Compresión No Confinada

En la tabla 5.18 se presenta los valores de resistencia obtenidos de los ensayos realizados para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz obtenido con un día de curado. El comportamiento de resistencia con respecto al contenido de ceniza es mostrado en la figura 5.17 donde se aprecia que aumenta para un contenido de 20% y luego de ello empieza a disminuir su valor de resistencia.

Tabla 5.18: Resultados de Valores de la resistencia a la compresión no confinada para las combinaciones de ceniza de cáscara de arroz y suelo

Muestras	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
SOIL 100	6.91
S90 - CCA10	8.20
S80 - CCA20	8.77
S70 - CCA30	6.26
S60 - CCA40	4.60

Fuente: Elaboración propia.

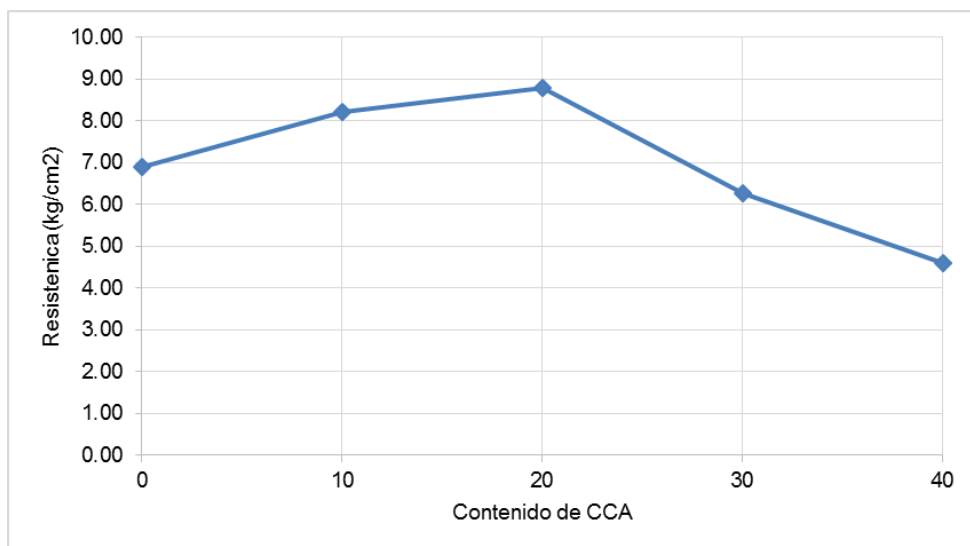


Figura 5.17: Variación de la resistencia a la compresión vs Contenido de CCA para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz.

En la tabla 5.19 se presenta los valores de resistencia obtenidos de los ensayos realizados para las combinaciones de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal. El comportamiento de resistencia es similar con respecto a las combinaciones realizadas anteriormente. En la figura 5.18 se presenta la resistencia a la compresión con respecto a los contenidos de ceniza de cáscara de arroz obtenidos con un día de curado, donde se aprecia que aumenta hasta un contenido del 20% de ceniza de cáscara de arroz, luego de ello empieza a disminuir su valor de resistencia. Alcanza su valor máximo cuando posee un contenido de 10% de ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 5.19: Resultados de Valores de la resistencia a la compresión no confinada para las combinaciones de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Muestras	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
SOIL 100	6.91
S87 - CCA10 - CAL3	9.96
S77 - CCA20 - CAL3	8.72
S67 - CCA30 - CAL3	5.86
S57 - CCA40 - CAL3	4.08

Fuente: Elaboración propia.

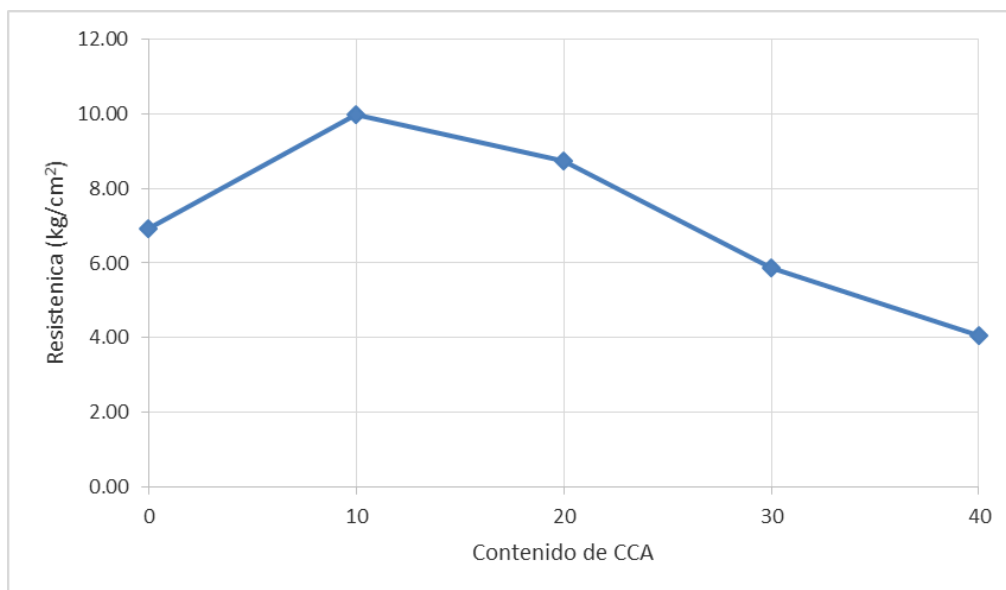


Figura 5.18: Variación de la resistencia a la compresión vs Contenido de CCA para las combinaciones de suelo, ceniza de cáscara de arroz y cal.

5.4 DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO

Para el diseño de la estructura del pavimento se ha planteado la construcción de una carretera de bajo volumen de tránsito. El manual del MTC de Suelos y Pavimentos (2014) presenta una metodología que considera como representativo la ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado. Este método relaciona el valor de soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de ejes equivalente (EE). Siendo la ecuación la siguiente expresión:

$$E = [219 - 211 \times (\text{Log}_{10}\text{CBR}) + 58 \times (\text{Log}_{10}\text{CBR})^2] \times \text{Log}_{10}(\text{Nrep}/120)$$

Donde:

E : Espesor de capa de Afirmado en mm

C.B.R. : Valor de C.B.R. de la Subrasante

Nrep : Número de repeticiones de EE para el carril de Diseño.

Esta ecuación se representa en la figura 5.19 que muestra los espesores con respecto al número de repeticiones de ejes equivalentes (EE):

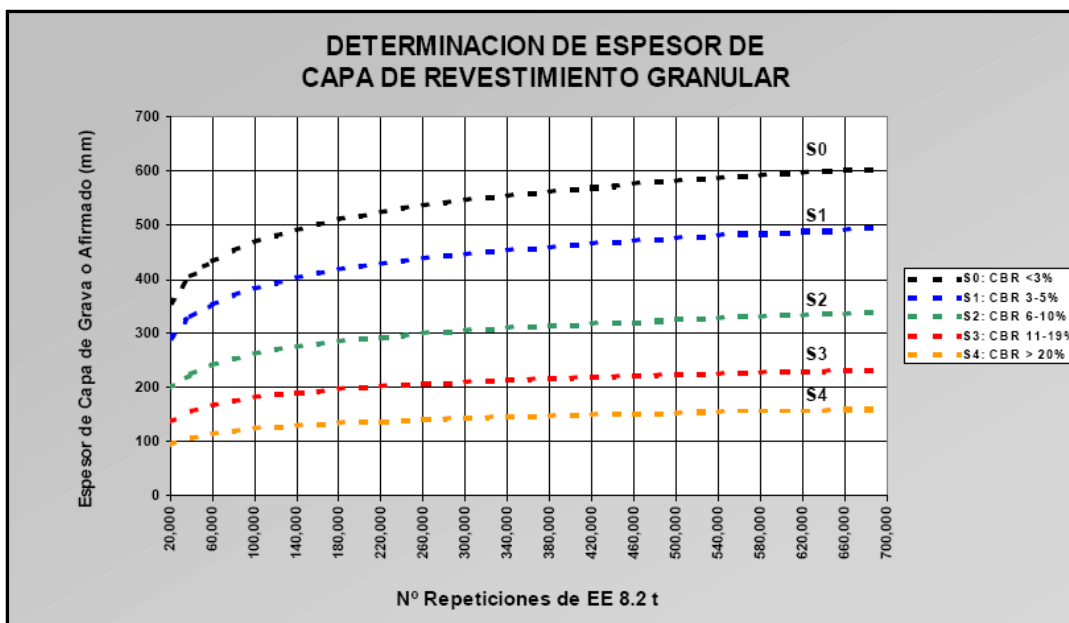


Figura 5.19: N° de repeticiones de EE vs Espesor de capa de afirmado.

Para el dimensionamiento del pavimento se ha considerado un tráfico con número de repeticiones de hasta 300,000 ejes equivalentes. En base a la ecuación presentada y a los supuestos establecidos, se tiene los siguientes espesores para las combinaciones de suelo arcilloso y ceniza de cáscara de arroz mostrados en la tabla 5.20. Así mismo, los espesores calculados para las combinaciones de suelo arcilloso, cal y ceniza de cáscara de arroz son mostrados en la tabla 5.21

Tabla 5.20: Resultados de espesores para las combinaciones de suelos, ceniza de cáscara de arroz y cal.

Muestras	Espesor calculado (mm)	Espesor final (mm)
S87 - CCA10 - CAL3	141	150
S77 - CCA20 - CAL3	122	150
S67 - CCA30 - CAL3	146	150
S57 - CCA40 - CAL3	151	200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.21: Resultados de espesores para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz.

Muestras	Espesor calculado (mm)	Espesor final (mm)
S90 - CCA10	203	250
S80 - CCA20	187	200
S70 - CCA30	231	250
S60 - CCA40	231	250

Fuente: Elaboración propia.

5.5 ANALISIS DE COSTOS

Para determinar si es factible la estabilización con ceniza de cáscara de arroz, debemos tener en cuenta la distancia a las canteras, la disponibilidad de materiales, el tipo de suelo, entre otras cosas. Por ello, para el análisis de costos se han tenido ciertas consideraciones como que la longitud de carretera es de 1 km, con un ancho de plataforma de 7 metros. La cantera de préstamo que se ha considerado ha sido la cantera Shapaja, ya que se utilizó para la construcción de la carretera Arquitecto Fernando Belaunde Terry, la cual se encuentra ubicada en el distrito de Shapaja, al margen izquierdo del Rio Huallaga en base a la

investigación realizada por Mosquera (2011). Esta cantera está ubicada aproximadamente a 136 km de distancia de la provincia de Moyobamba.

Debido a que la ceniza de cáscara de arroz es un material desechado por la industria arrocera, tiene un costo cero para el análisis de costos, no obstante se ha considerado un costo de transporte. Si bien en la provincia de Moyobamba existen industrias arroceras, se ha considerado una distancia desde Moyobamba hasta la industria Molinera Amazonas SAC, la que se encuentra en Tarapoto, ya que las muestras de ceniza de cáscara de arroz estudiadas provienen de esta empresa. La distancia de Moyobamba hasta la industria Molinera Amazonas SAC es aproximadamente 100 km. Se realizó el análisis de costos unitarios en base a rendimientos y costos de los recursos publicados en la revista Costos Edición de agosto 2017.

Con todos los supuestos mencionados anteriormente, se presenta la tabla 5.22 donde se estima el costo directo para las combinaciones de suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz. Así mismo, también se ha estimado un costo para las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal las cuales son mostradas en la tabla 5.23.

Tabla 5.22: Costo directo para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz.

Muestras	Costo Total (S/.)
S87 - CCA10 - CAL3	1,222,450.60
S87 - CCA10 - CAL3	562,509.21
S77 - CCA20 - CAL3	620,274.25
S67 - CCA30 - CAL3	649,087.39
S57 - CCA40 - CAL3	912,749.54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.23: Costo directo para las combinaciones de suelos y ceniza de cáscara de arroz.

Muestras	Costo Total (S/.)
S90 - CCA10	1,222,450.60
S90 - CCA10	603,948.63
S80 - CCA20	588,523.46
S70 - CCA30	845,979.54
S60 - CCA40	854,071.78

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En base a la investigación realizada se obtienen las siguientes conclusiones:

- 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.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados en la presente investigación, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Como se demostró en esta investigación, la ceniza de cáscara de arroz resultaron un estabilizador para suelos medianamente plásticos expansivos. Por lo que se recomienda continuar con las investigaciones con diferentes suelos.
- Las investigaciones realizadas anteriormente han demostrado que las propiedades físicas y químicas de las cenizas de cáscara de arroz dependen de muchos factores como la química del suelo, la variedad de arroz y las condiciones climatológicas. Por lo tanto, se recomienda evaluar el potencial estabilizador que tendrá las cenizas de cáscara de arroz de diferentes fuentes como los de la provincia de Rioja o de otros departamentos como Lambayeque, Arequipa, entre otros para poder ser usados en diferentes lugares.
- Se recomienda realizar investigaciones con cenizas de arroz con diferentes condiciones de quemado, como por ejemplo la quema no controlada en pampa o la quema controlada a diferentes temperaturas.
- Diferentes investigaciones han demostrado que existen una influencia de tiempo de curado debido a las reacciones puzolánicas, las cuales van desarrollándose a lo largo del tiempo influenciando en la resistencia del suelo, por lo que se sugiere realizar investigaciones controlando el tiempo de curado.
- En la presente investigación se realizó combinaciones de ceniza de cáscara de arroz con cal, por lo que se podría investigar otros tipos de suelos combinando

ceniza de cáscara de arroz con otros estabilizadores como cemento, ceniza volante, RBI-81, entre otros.

- En base a los resultados obtenidos la ceniza de cáscara de arroz posee una adecuada reactividad. Esto posiblemente se debe a la gran cantidad de sílice que posee y al tamaño de partículas el cual es un factor influyente en la reactividad. No obstante esto podría aclararse en futuras investigaciones haciendo evaluaciones de reactividad puzolánica para la ceniza de cáscara de arroz. Además de poder conocer la cristalización de la ceniza a través de ensayos de caracterizaciones físico-químicas realizando ensayos como la microscopía electrónica de barrido la que nos permite conocer la amorficidad a través de micrografías.
- Sería una mejor referencia realizar pruebas en campo, de esta forma podremos saber si hay reacciones similares entre lo que se realizaría en campo y los ensayos realizados en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta H.A., EDIL, T.B., Benson, C.H. (2003). "Soil stabilization and drying using fly ash". Geo Engineering Report No. 03-03 Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Madison.
- Aparna Roy (2014) "Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement". International Journal of Civil Engineering Research.
- Ballarín Zavala, M. A. (2006) "Mejoramiento de caminos no pavimentados en el departamento de Huánuco mediante la estabilización de suelos comparando el estabilizador orgánico perma-zyme 22x y el probase TX-55". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- 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.
- Brooks, R. M. (2009) "Soil stabilization with flyash and rice husk ash". International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, Estados Unidos.
- Chopra, S.K., S.C. Ahluwalia, & S. Laxmi (1981) "Technology and manufacture of rice husk ash masonry cement". Third Workshop on Rice husk ash cement. New Delhi, India.
- Dirección General de Competitividad Agraria (2013) "El arroz, Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva". Lima, Perú.
- 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.
- Fidelis O. Okafor y Ugochukwu. N. Okonkwo (2009) "Effects of Rice Husk Ash on Some Geotechnical Properties of Lateritic Soil". Journal of Practices and Technologies

- García Huaranca, J. M. (2011) "Estabilización de suelos arcillosos con Cal aplicación a la carretera Tingo María - Pucallpa sector III Neshuya - Pucallpa Juan Miguel García Huaranca". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Gutiérrez Lázares, J. W. (2007) "Modelación Geotécnica de pavimentos flexibles con fines de análisis y diseño en el Perú". Tesis de Maestría, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Hidalgo, G. (1989). Manejo del Arroz en la Industria Molinera: Normas y Procedimientos Técnicos. Lima, Perú
- Jimenez Montero & Egeuz Alava (2001) Obtención de Concreto de Alta Resistencia mediante adición en el Diseño de un Superplastificante y Ceniza de Cascarilla de Arroz. Universidad Estatal de Virginia del Oeste, EEUU.
- Juliano B. O (1985) "Rice: Chemistry and Technology". American Association of Cereal Chemists. Saint Paul, Minnesota, Estados Unidos.
- La Rosa Orbezo, N. T. (2006) "Aplicación del aditivo QUIM KD-40 para estabilizar suelos en caminos no pavimentados". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Laurente Ronceros, Y. (2011) "Estudio comparativo del mejoramiento de la subrasante y base de la carretera Cañete - Chupaca tramo Km. 220+000 - Km. 240+000". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- McDowell, C. (1966) "Evaluation of Soil-Lime Stabilization Mixtures". Highway Research Record, National Research Council Washington, EEUU.
- Mehta, P.K. (1977) "Properties of blended cements made from rice husk ash". Journal American Concrete Institute
- Montejo Fonseca A. (2002) "Ingeniería de pavimentos para carreteras". Colombia
- MTC (2013) "Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013", Perú.
- MTC (2016) "Manual de ensayo de materiales", Perú.

- MTC (2014) "Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", Perú.
- Muthadhi, A. and S. Kothandaraman (2010) "Optimum production conditions for reactive rice husk ash". Materials and Structures
- Nair, D.G., et al. (2008) "A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes". Cement and Concrete Research.
- NAPA (1994) "Appendix CC-1: Correlation of CBR values with soil index properties.
- Peña Sterling & Zambrano García (2001) "Hormigón Celular con la utilización de materiales locales". Escuela Superior Politécnica. Guayaquil, Ecuador.
- Perez Collantes R. C. (2012) "Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o Sub base de pavimentos". Tesis de Maestría, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Perez Collantes C. A. (2014) "Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Pham Vinh (2012) "Utilization of Rice Husk in GeoTechnology, Applicability and effect of the burning conditions". Master of Science Thesis. Faculty of Civil Engineering and GeoScience, Delft University of Technology
- Prada, A. & Cortés C. (2010) La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. Meta, Colombia.
- Pranav P.R.T, Anusha M. y Koteswara Rao. D (2011). "Stabilization Of Expansive Soil With Rice Husk Ash, Lime And Gypsum – An Experimental Study". International Journal of Engineering Science and Technology.
- Puente Campos, R. A. (1999) "Estabilización de suelos para carreteras". Informe de Ingeniería, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Ravinez Merino, M. A. (2010). "Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizados de suelos para carreteras". Tesis para optar título profesional. Piura, Perú.

- Sistema Integrado de Estadística Agraria (2016) "Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera 2015". Lima, Perú.
- Tingle, J. S., Newman, J. K., Larson, S. L., Weiss, C. A., & Rushing, J. F. (2007) "Stabilization Mechanisms of Nontraditional Additives," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Washington, EEUU.
- Ugaz Palomino, R. M. (2006) "Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Varón CJ. (2005) "Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz". Revista El Hombre y la Máquina.
- Vasquez Concha, M. D. (2010) "Pavimentos no tradicionales para carreteras de selva baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: Carretera Contamana – Aguas Calientes, Loreto". Tesis para optar título profesional, FIC-UNI, Lima, Perú.
- Villegas Martínez, Carlos Alberto (2012) "Utilización de Puzolanas Naturales en la Elaboración de Prefabricados con Base Cementicia Destinados a la Construcción de Viviendas de Bajo Costo". Tesis profesional. UNI-FIC. Lima, Perú.
- Welling Gary Edward (2012) "Engineering Performance Of Polymer Amended Soils". Professional Thesis. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, California, EEUU.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

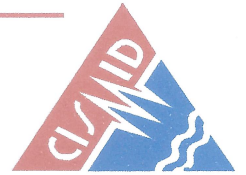
ANEXO B: REGISTROS DE ENSAYOS QUÍMICOS

ANEXO C: ANÁLISIS DE COSTOS

ANEXO D: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO A
REGISTRO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

SUELO ARCILLOSO



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : SUELO ARCILLOSO

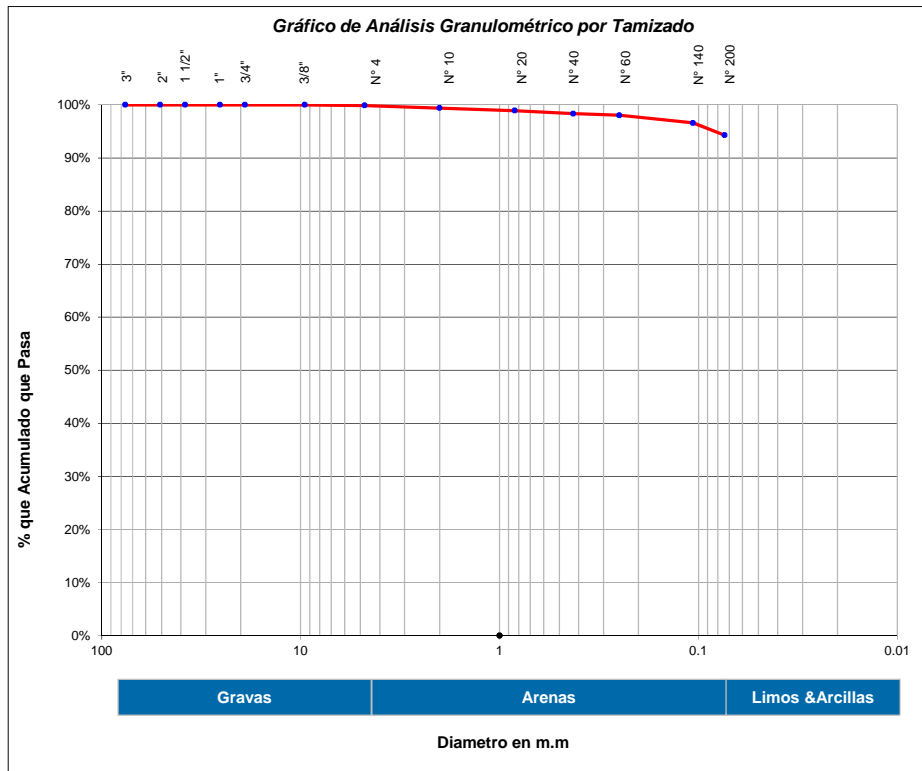
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	99.89%
Nº 10	2.000	99.40%
Nº 20	0.840	98.91%
Nº 40	0.426	98.36%
Nº 60	0.250	98.04%
Nº 140	0.106	96.58%
Nº 200	0.074	94.31%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	5.7
Limos y Arcillas (%)	94.3

Límites de Atterberg	
LL(%)	40.00
LP(%)	22.00
IP(%)	18

Clasificación de Suelos	
SUCS	CL
AASHTO	A-6 (11)





Gravedad Específica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : SUELO ARCILLOSO

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D-854

N° de frasco	1	2	3	
Peso del frasco (gr)	54.14	60.75	57.64	
Muestra (gr)	30	30	30	
Peso del frasco + muestra (gr)	84.14	90.75	87.64	
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	172.28	178.86	175.72	
Peso del frasco + agua (gr)	153.68	160.26	157.18	
Gravedad de solidos	2.63	2.63	2.62	
Promedio	2.63			





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

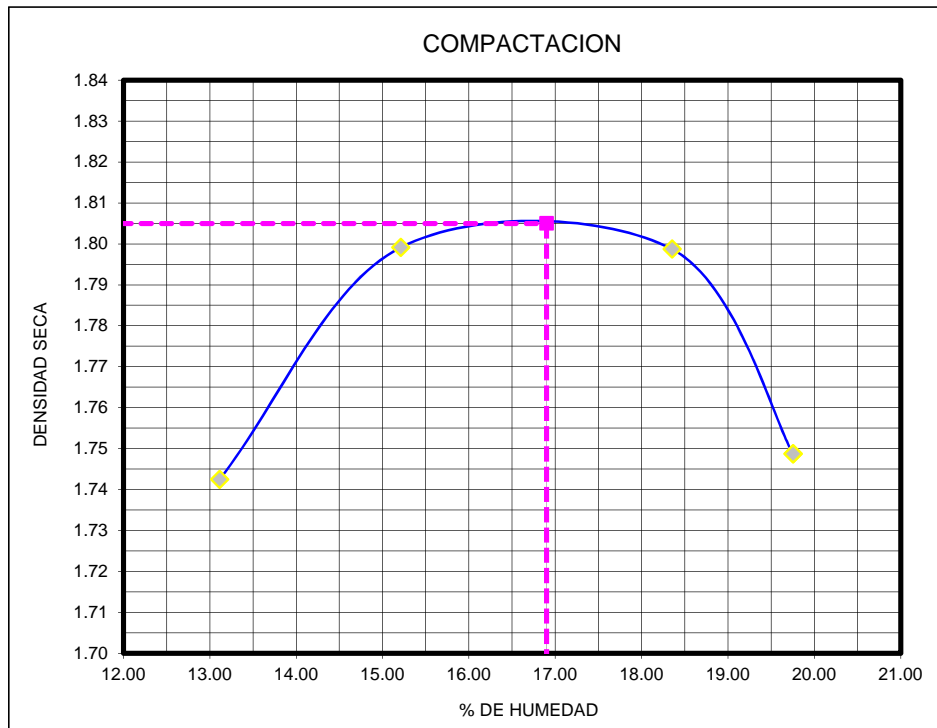
MUESTRA : SUELO ARCILLOSO

Método:

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	13.11	15.21	18.35	19.75	19.75
Densidad Seca (gr/cm³)	1.74	1.80	1.80	1.75	1.75

Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	1.81
Optimo Contenido de Humedad (%)	16.90





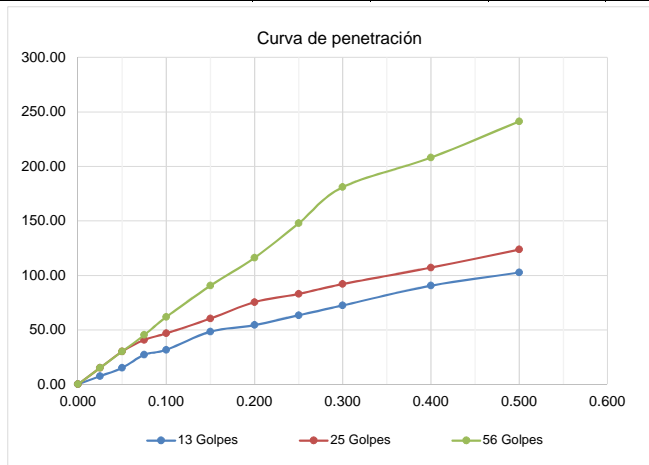
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : SUELO ARCILLOSO

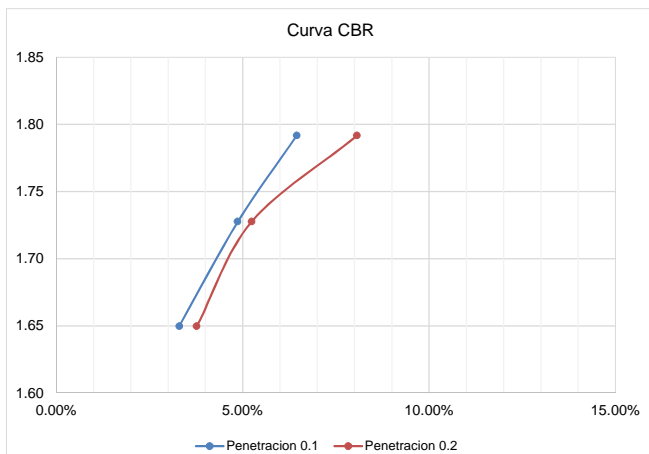
COMPACTACION			
N° de golpes	13 golpes	25 golpes	56 golpes
Contenido de Humedad (%)	17.73	16.12	17.09
Densidad Seca (gr/cm)	1.65	1.73	1.79

EXPANSION	
Tiempo (horas)	Deformacion acumulada (%)
96	1.91

PENETRACION						
Penetración (pulg)	Lectura	Presión	Lectura	Presión	Lectura	Presión
0.025	0.50	8	1.00	15	1.000	15
0.050	1.00	15	2.00	30	2.000	30
0.075	1.80	27	2.70	41	3.000	45
0.100	2.10	32	3.10	47	4.100	62
0.150	3.20	48	4.00	60	6.000	90
0.200	3.60	54	5.00	75	7.700	116
0.250	4.20	63	5.50	83	9.800	148
0.300	4.80	72	6.10	92	12.000	181
0.400	6.00	90	7.10	107	13.800	208
0.500	6.80	103	8.20	124	16.000	241



RESULTADOS	
13 Golpes:	
0.1"	: 3.3 lb/pulg2
0.2"	: 3.77 lb/pulg2
25 Golpes:	
0.1"	: 4.87 lb/pulg2
0.2"	: 5.24 lb/pulg2
56 Golpes:	
0.1"	: 6.45 lb/pulg2
0.2"	: 8.07 lb/pulg2



RESULTADOS	
0.1" Penetración	
95% MDS :	4.50%
100% MDS :	6.50%
0.2" Penetración	
95% MDS :	5.00%
100% MDS :	8.00%





Compresión No Confinada
ASTM 2166

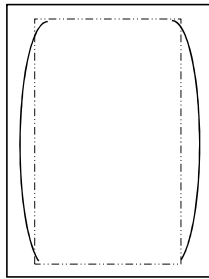
PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : SUELO ARCILLOSO

Datos del espécimen

Table with 2 columns: Property (Height, Diameter, Volume, Weight) and Value (10.10, 5.08, 204.71, 398.01)

Table with 3 columns: Property (Moisture, Density, qu max) and Value (0.00%, 1.94 gr/cm³, 6.26 kg/cm²)

Especimen 1



Especimen 2

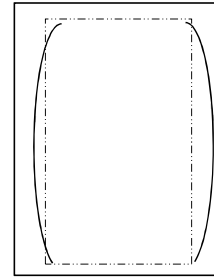
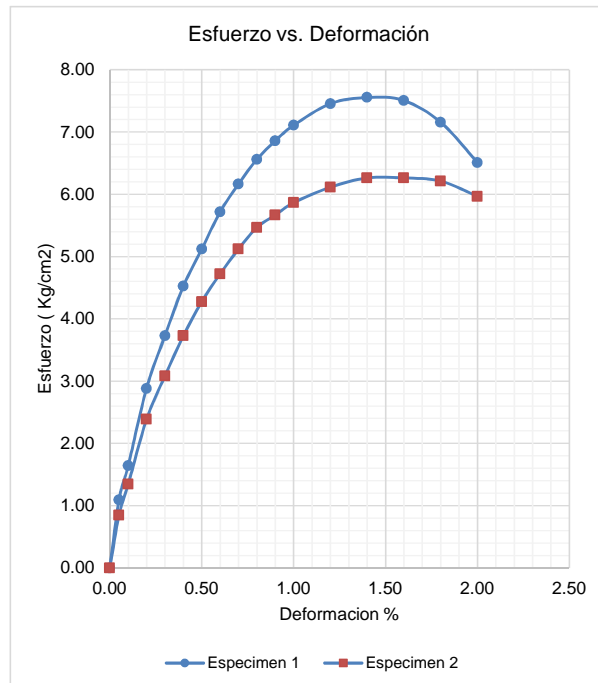


Table with 3 columns: Deformación, Especimen 1 (Esfuerzo), Especimen 2 (Esfuerzo)



CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ



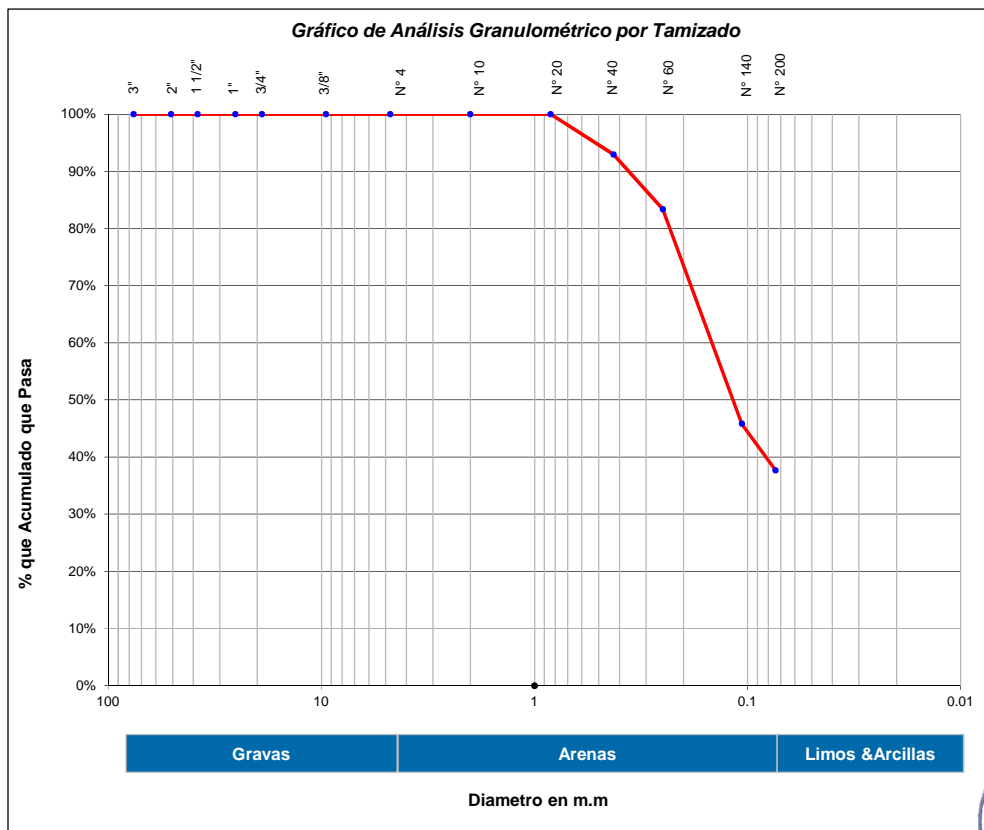
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : CCA100

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Table with 3 columns: Tamices (Ø, mm), % acumulado. Rows include sieve sizes from 3 inches down to 0.074 mm.

Table titled 'Límites de Atterberg' with columns for LL(%), LP(%), and IP(%), all showing 'NP'.





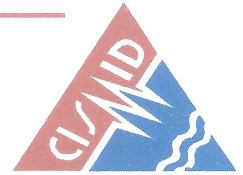
Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : CCA100

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	3		5	
Peso del frasco (gr)	57.64		54.21	
Muestra (gr)	15		15	
Peso del frasco + muestra (gr)	72.64		84.21	
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	164.1		160.9	
Peso del frasco + agua (gr)	157.18		153.76	
Gravedad de solidos	1.86		1.91	
Promedio	1.89			





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

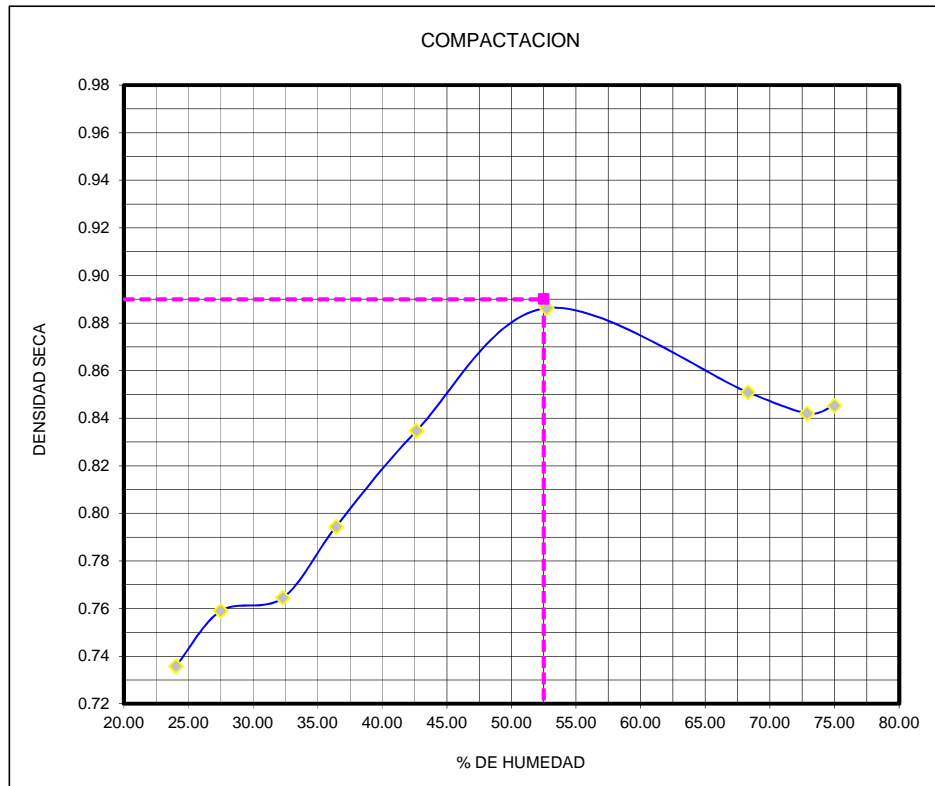
PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ
PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : CCA100

Método:

Table with 3 columns (X, A, B, C) and 2 rows.

Table with 2 rows: Contenido de Humedad (%) and Densidad Seca (gr/cm³) across 10 columns of data points.

Table with 2 rows: Máxima Densidad Seca (gr/cm3) and Optimo Contenido de Humedad (%).



SUELO-CENIZA DE CASCARA DE ARROZ



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S90 - CCA10

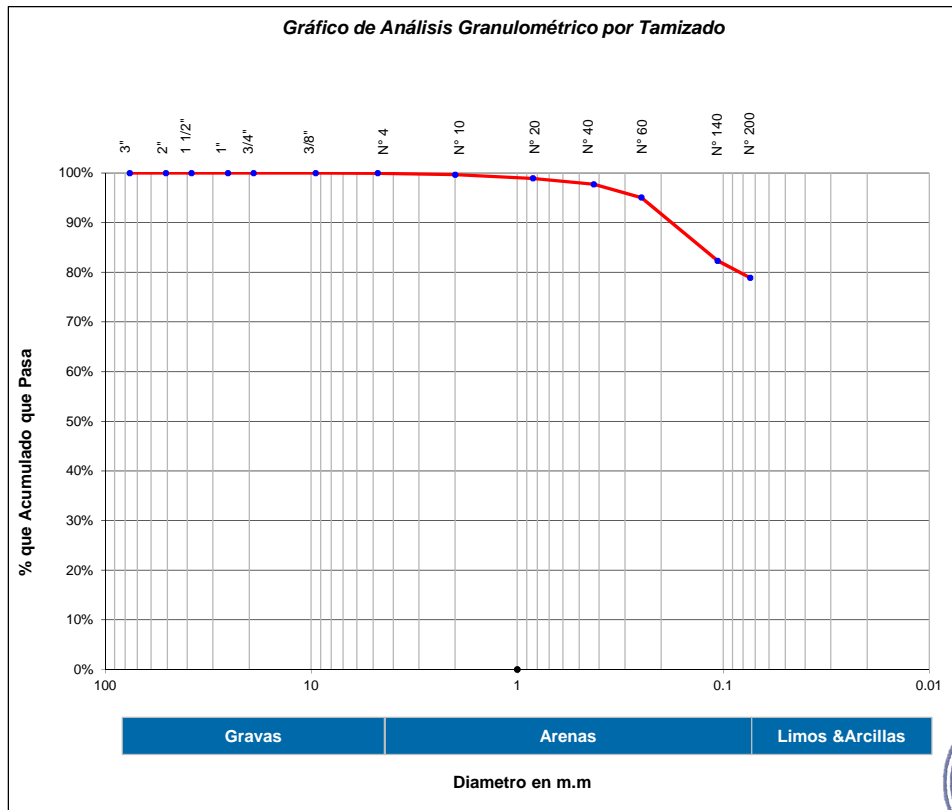
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	99.94%
Nº 10	2.000	99.65%
Nº 20	0.840	98.92%
Nº 40	0.426	97.75%
Nº 60	0.250	95.04%
Nº 140	0.106	82.34%
Nº 200	0.074	78.90%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	21.1
Limos y Arcillas (%)	78.9

Límites de Atterberg	
LL(%)	41.00
LP(%)	27.00
IP(%)	14

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-7-6 (10)





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S90 - CCA10

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	2	3	4	5
Peso del frasco (gr)	60.75	57.64	54.92	54.21
Muestra (gr)	30	30	30	30
Peso del frasco + muestra (gr)	90.75	87.64	84.92	84.21
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	178.75	175.65	172.85	172.19
Peso del frasco + agua (gr)	160.26	157.18	154.42	153.76
Gravedad de solidos	2.61	2.6	2.59	2.590
Promedio	2.60			





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

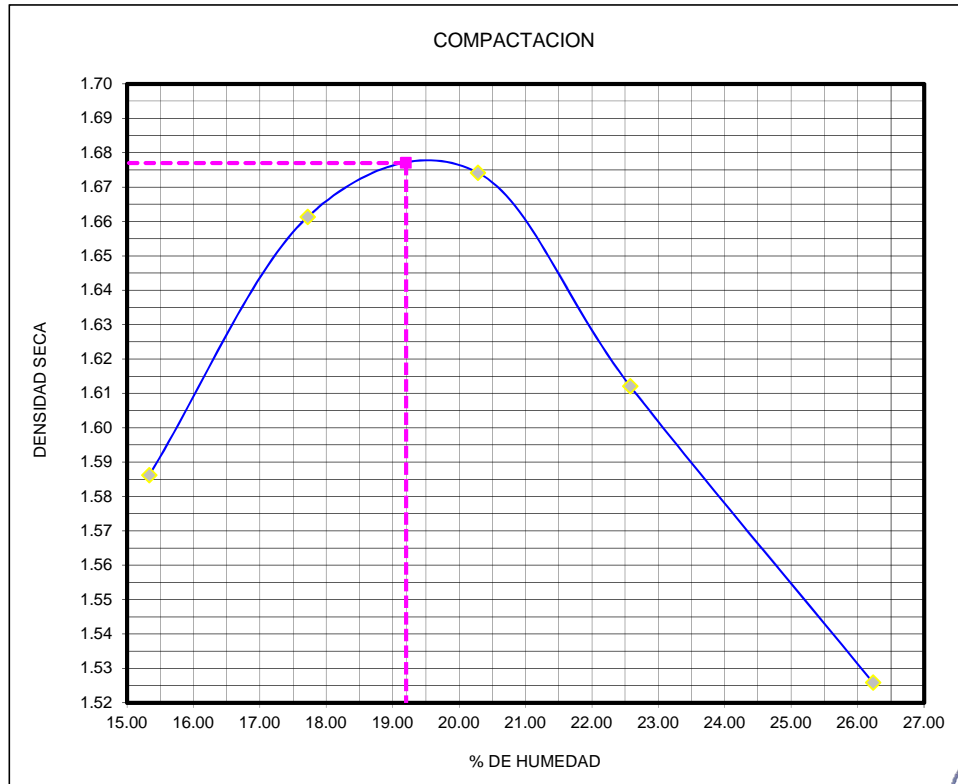
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S90 - CCA10

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	15.33	17.72	20.28	22.58	26.23
Densidad Seca (gr/cm³)	1.59	1.66	1.67	1.61	1.53

Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	1.68
Óptimo Contenido de Humedad (%)	19.20





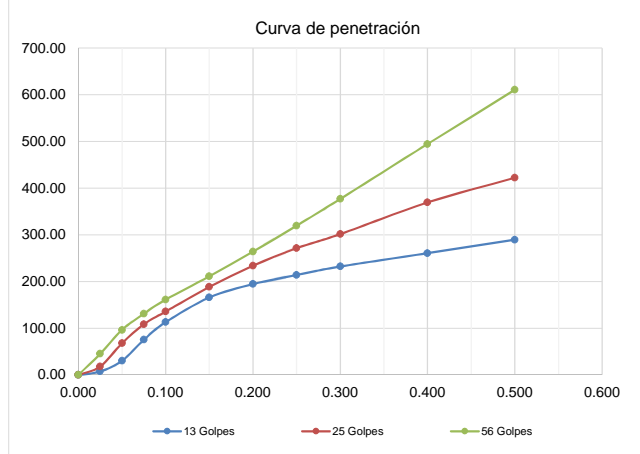
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTIN
MUESTRA : S90 - CCA10

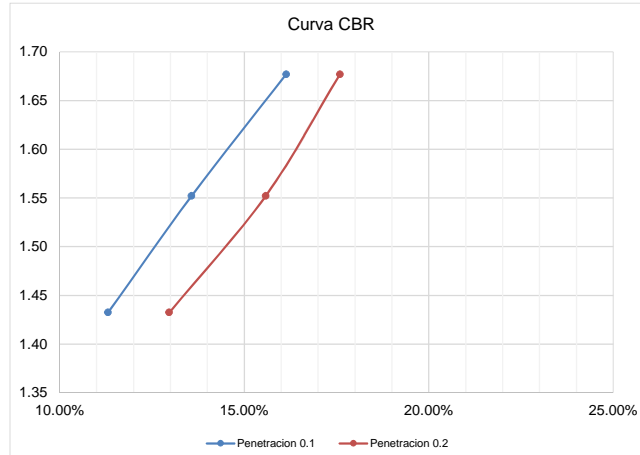
COMPACTACION			
Nº de golpes	13 golpes	25 golpes	56 golpes
Contenido de Humedad (%)	19.22	18.93	19.08
Densidad Seca (gr/cm)	1.43	1.55	1.68

EXPANSION	
Tiempo (horas)	Deformacion acumulada (%)
96	0.20

PENETRACION						
Penetración (pulg)	Lectura	Presión	Lectura	Presión	Lectura	Presión
0.025	0.50	8	1.20	18	3.000	45
0.050	2.00	30	4.50	68	6.400	97
0.075	5.00	75	7.20	109	8.700	131
0.100	7.50	113	9.00	136	10.700	161
0.150	11.00	166	12.50	189	14.000	211
0.200	12.90	195	15.50	234	17.500	264
0.250	14.20	214	18.00	271	21.200	320
0.300	15.40	232	20.00	302	25.000	377
0.400	17.30	261	24.50	369	32.800	495
0.500	19.20	290	28.00	422	40.500	611



RESULTADOS	
13 Golpes:	
0.1"	: 11.31 lb/pulg2
0.2"	: 12.97 lb/pulg2
25 Golpes:	
0.1"	: 13.57 lb/pulg2
0.2"	: 15.58 lb/pulg2
56 Golpes:	
0.1"	: 16.14 lb/pulg2
0.2"	: 17.59 lb/pulg2



RESULTADOS	
0.1" Penetración	
95% MDS =	14.40%
100% MDS =	16.00%
0.2" Penetración	
95% MDS =	16.30%
100% MDS =	17.60%





Compresión No Confinada
ASTM 2166

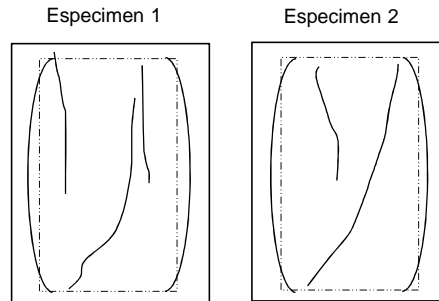
PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S90 - CCA10

Datos del espécimen

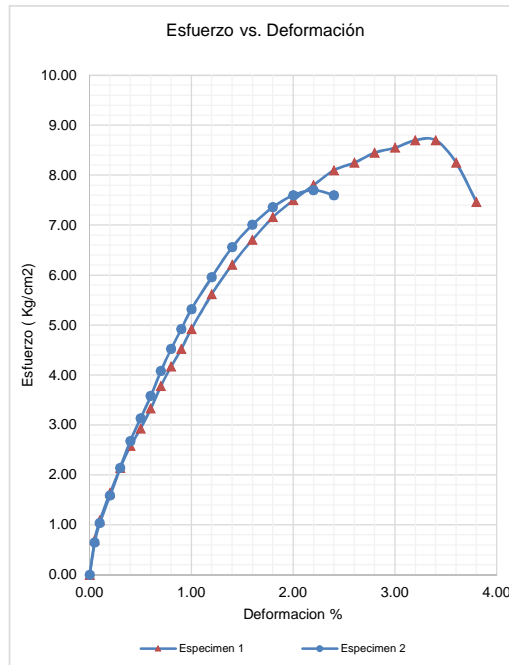
Altura (cm)	10.10
Diametro (cm)	5.08
Volumen (cm ³)	204.71
Peso(gr)	389.99

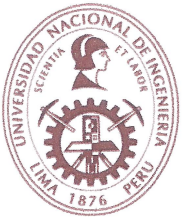
Humedad	19.20	%
Densidad	1.60	gr/cm ³

qu max	8.20	kg/cm ²
--------	------	--------------------



Deformación	Especimen 1	Especimen 2
	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00
0.05	0.70	0.65
0.10	1.09	1.04
0.20	1.64	1.59
0.30	2.14	2.14
0.40	2.58	2.68
0.50	2.93	3.13
0.60	3.33	3.58
0.70	3.78	4.08
0.80	4.17	4.52
0.90	4.52	4.92
1.00	4.92	5.32
1.20	5.62	5.96
1.40	6.21	6.56
1.60	6.71	7.01
1.80	7.16	7.36
2.00	7.50	7.60
2.20	7.80	7.70
2.40	8.10	7.60
2.60	8.25	7.36
2.80	8.45	6.81
3.00	8.55	6.21
3.20	8.70	0.00
3.40	8.70	0.00
3.60	8.25	0.00
3.80	7.46	0.00





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S80 - CCA20

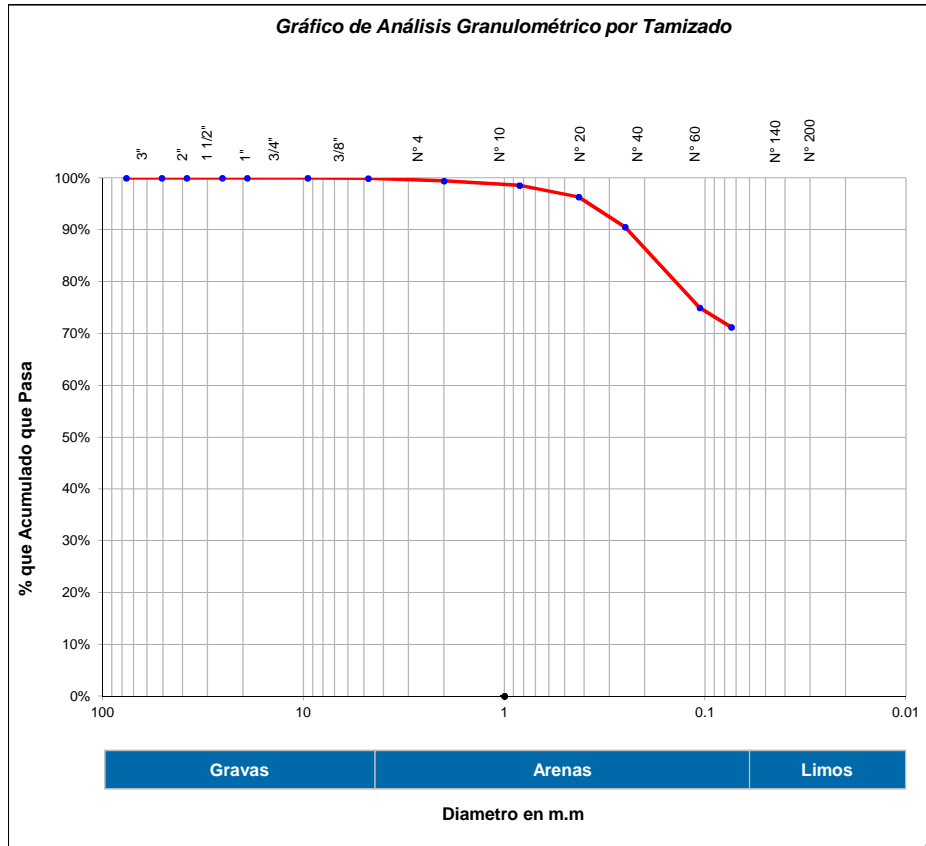
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	99.96%
Nº 10	2.000	99.46%
Nº 20	0.840	98.60%
Nº 40	0.426	96.35%
Nº 60	0.250	90.59%
Nº 140	0.106	75.02%
Nº 200	0.074	71.25%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	28.8
Limos y Arcillas (%)	71.3

Límites de Atterberg	
LL(%)	44.00
LP(%)	35.00
IP(%)	9

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-5 (8)





Gravedad Específica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S80 - CCA20

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	1	2	3	
Peso del frasco (gr)	54.14	60.75	57.64	
Muestra (gr)	30	30	30	
Peso del frasco + muestra (gr)	84.14	90.75	87.64	
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	172.02	178.52	175.36	
Peso del frasco + agua (gr)	153.68	160.26	157.18	
Gravedad de solidos	2.573	2.555	2.538	
Promedio	2.56			





**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557**

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

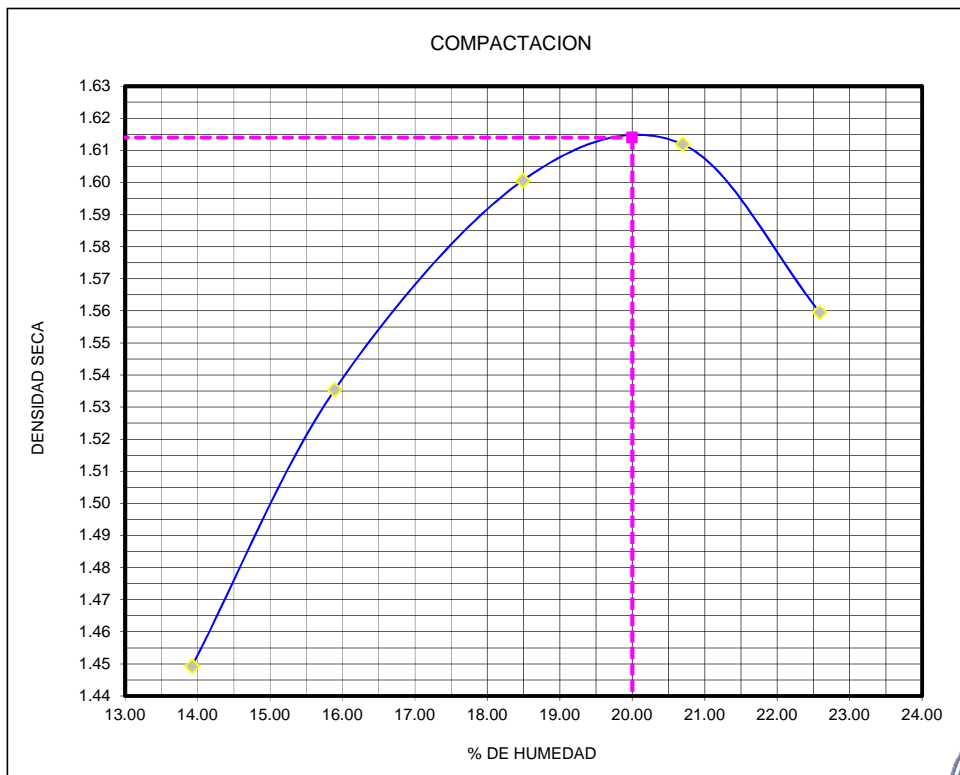
MUESTRA : S80 - CCA20

Método:

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	13.92	15.89	18.49	20.70	22.59
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.45	1.54	1.60	1.61	1.56

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.61
Óptimo Contenido de Humedad (%)	20.00





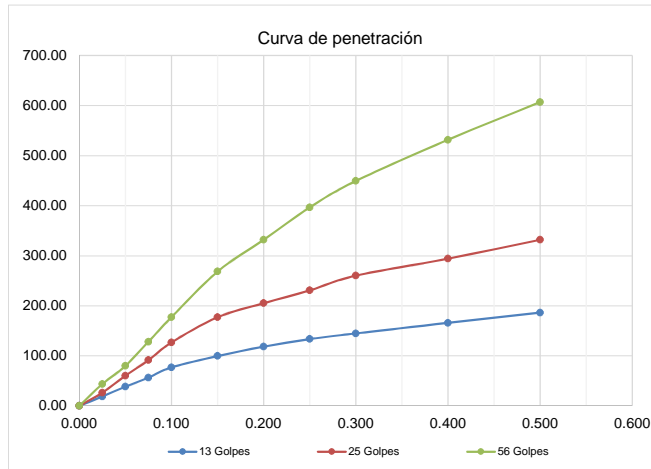
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S80 - CCA20

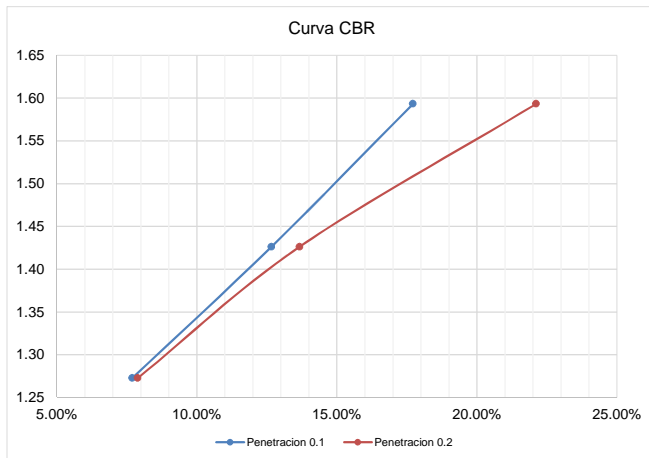
COMPACTACION			
N° de golpes	13 golpes	25 golpes	56 golpes
Contenido de Humedad (%)	20.62	20.42	20.66
Densidad Seca (gr/cm)	1.27	1.43	1.59

EXPANSION	
Tiempo (horas)	Deformacion acumulada (%)
96	0.40

PENETRACION						
Penetración (pulg)	Lectura	Presión	Lectura	Presión	Lectura	Presión
0.025	1.25	19	1.75	26	2.900	44
0.050	2.55	38	4.00	60	5.300	80
0.075	3.75	57	6.05	91	8.500	128
0.100	5.10	77	8.40	127	11.750	177
0.150	6.60	100	11.75	177	17.800	268
0.200	7.85	118	13.60	205	22.000	332
0.250	8.85	133	15.30	231	26.300	397
0.300	9.60	145	17.25	260	29.800	449
0.400	11.00	166	19.50	294	35.250	532
0.500	12.35	186	22.00	332	40.250	607



RESULTADOS	
<u>13 Golpes:</u>	
0.1"	: 7.69 lb/pulg2
0.2"	: 7.89 lb/pulg2
<u>25 Golpes:</u>	
0.1"	: 12.67 lb/pulg2
0.2"	: 13.67 lb/pulg2
<u>56 Golpes:</u>	
0.1"	: 17.72 lb/pulg2
0.2"	: 22.12 lb/pulg2



RESULTADOS	
0.1" Penetración	
95% MDS =	16.10%
100% MDS =	18.50%
0.2" Penetración	
95% MDS =	19.40%
100% MDS =	23.00%





Compresión No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS 'ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE'
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S80 - CCA20

Datos del espécimen

Table with 2 columns: Property (Altura, Diámetro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.00, 198.31, 363)

Table with 3 columns: Property (Humedad, Densidad) and Value (20.00 %, 1.53 gr/cm³)

Table with 3 columns: Property (qu max) and Value (8.77 kg/cm²)

Especimen 1



Especimen 2

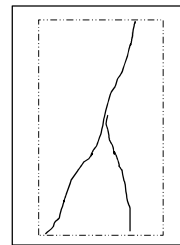
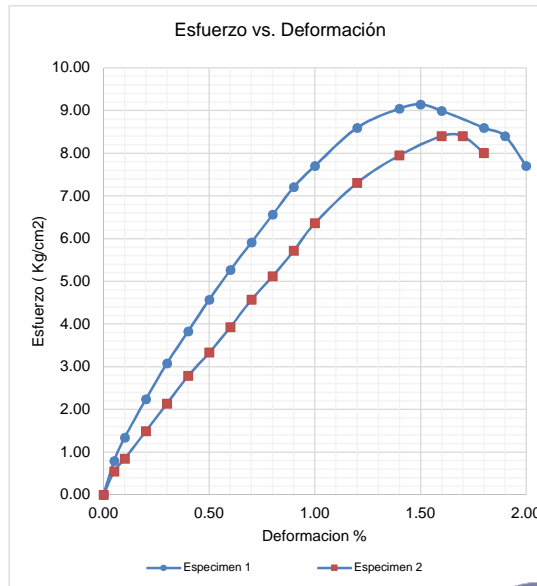


Table with 3 columns: Deformación, Especimen 1 (Esfuerzo), Especimen 2 (Esfuerzo)





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S70 - CCA30

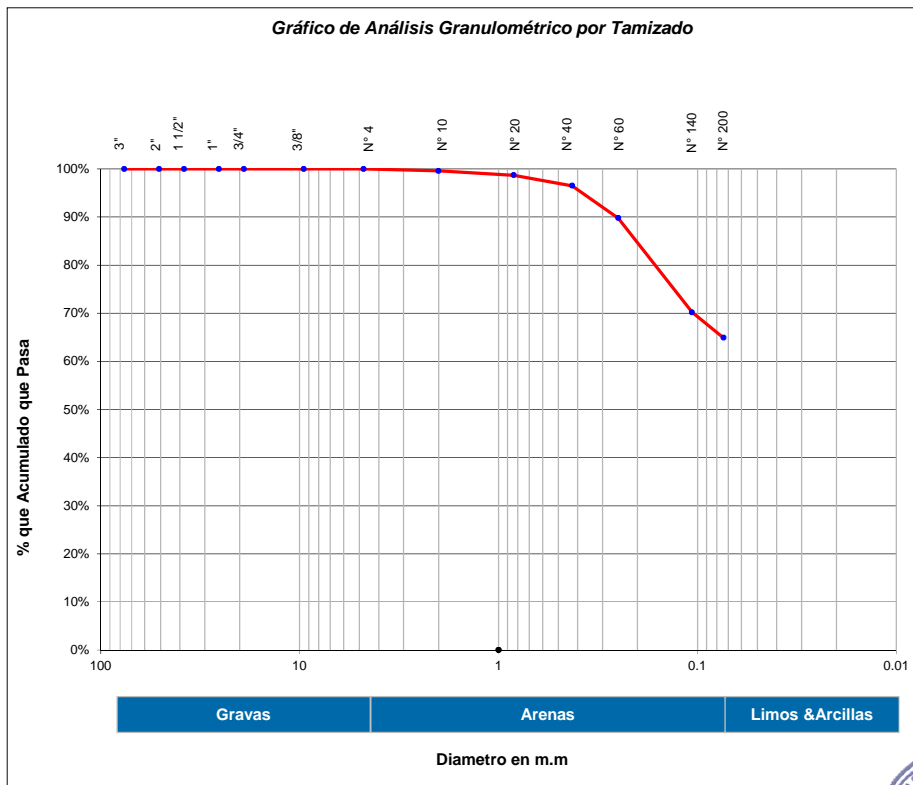
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	100.00%
Nº 10	2.000	99.60%
Nº 20	0.840	98.69%
Nº 40	0.426	96.50%
Nº 60	0.250	89.78%
Nº 140	0.106	70.18%
Nº 200	0.074	64.89%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	35.1
Limos y Arcillas (%)	64.9

Límites de Atterberg	
LL(%)	47.00
LP(%)	NP
IP(%)	NP

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-5 (7)





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S70 - CCA30

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	2	3	4	5
Peso del frasco (gr)	60.75	57.64	54.92	54.21
Muestra (gr)	30	30	30	30
Peso del frasco + muestra (gr)	90.75	87.64	84.92	84.21
Peso del frasco + muestra + agua (gr)		175.12	172.42	171.79
Peso del frasco + agua (gr)	160.26	157.18	154.42	153.76
Gravedad de solidos		2.49	2.5	2.51
Promedio	2.50			





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

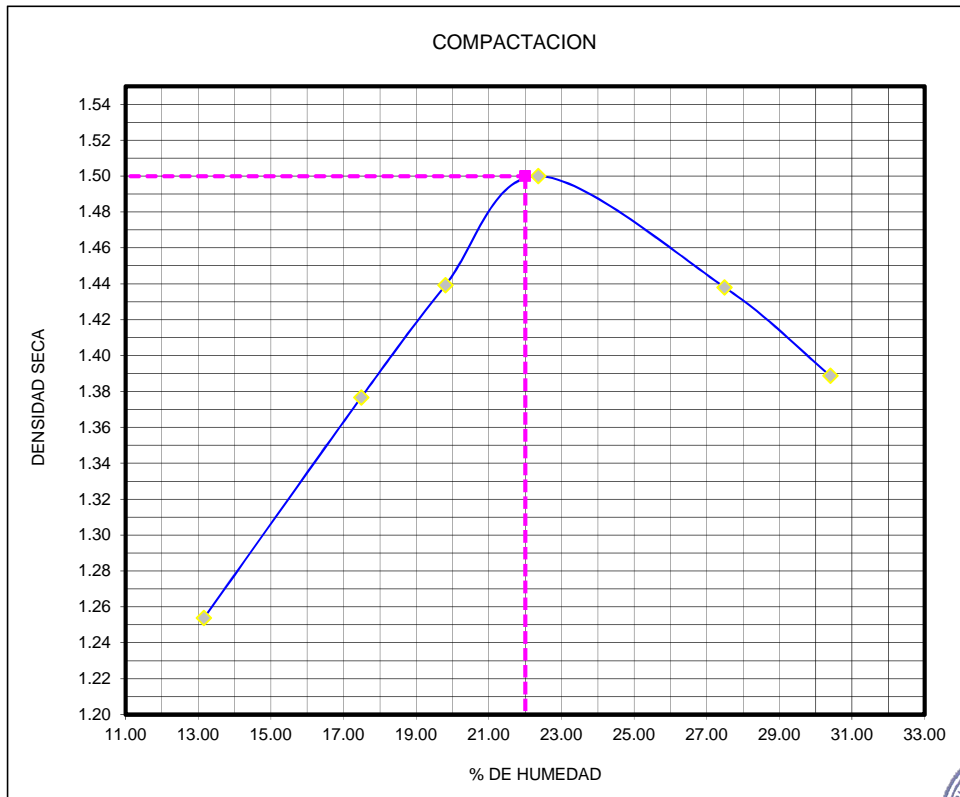
PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S70 - CCA30

Método:

Table with 3 columns (X, A, B, C) and 2 rows.

Table with 2 rows: Contenido de Humedad (%) and Densidad Seca (gr/cm³) across 7 columns of data points.

Table with 2 rows: Máxima Densidad Seca (gr/cm3) and Optimo Contenido de Humedad (%) with their respective values.





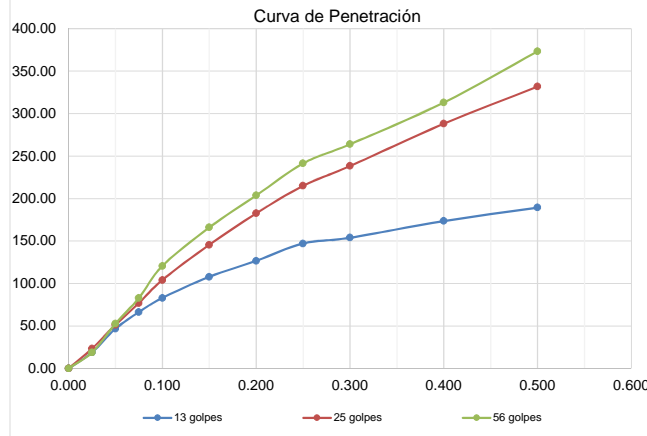
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM - D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S70 - CCA30

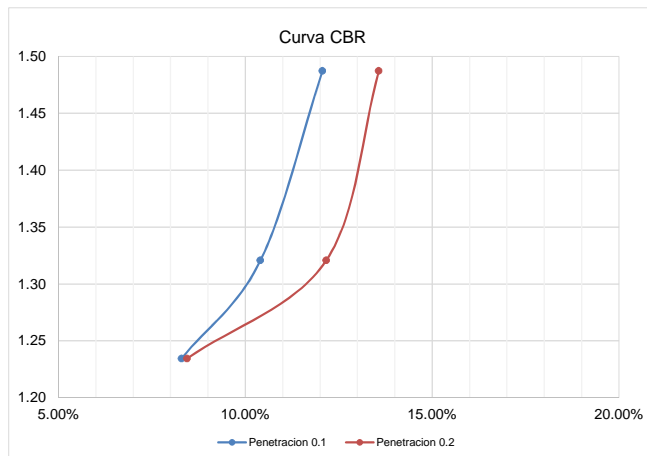
COMPACTACION			
Nº de golpes	13 golpes	25 golpes	56 golpes
Contenido de Humedad (%)	22.72	22.66	22.85
Densidad Seca (gr/cm)	1.23	1.32	1.49

EXPANSION	
Tiempo (horas)	Deformacion acumulada (%)
96	0.24

PENETRACION						
Penetración (pulg)	Lectura	Presión	Lectura	Presión	Lectura	Presión
0.025	1.25	19	1.55	23	1.250	19
0.050	3.10	47	3.40	51	3.500	53
0.075	4.40	66	5.10	77	5.500	83
0.100	5.50	83	6.90	104	8.000	121
0.150	7.15	108	9.65	146	11.000	166
0.200	8.40	127	12.10	182	13.500	204
0.250	9.75	147	14.25	215	16.000	241
0.300	10.20	154	15.80	238	17.500	264
0.400	11.50	173	19.10	288	20.750	313
0.500	12.56	189	22.00	332	24.750	373



RESULTADOS	
13 Golpes:	
0.1"	: 8.29 lb/pulg2
0.2"	: 8.44 lb/pulg2
25 Golpes:	
0.1"	: 10.41 lb/pulg2
0.2"	: 12.16 lb/pulg2
56 Golpes:	
0.1"	: 12.06 lb/pulg2
0.2"	: 13.57 lb/pulg2



RESULTADOS	
0.1" Penetración	
95% MDS =	11.50%
100% MDS =	12.30%
0.2" Penetración	
95% MDS =	13.20%
100% MDS =	13.90%





Compresión No Confinada
ASTM 2166

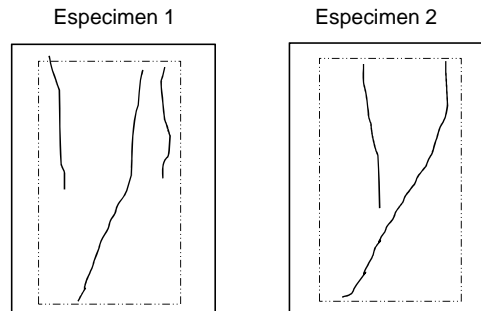
PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S70 - CCA30

Datos del espécimen

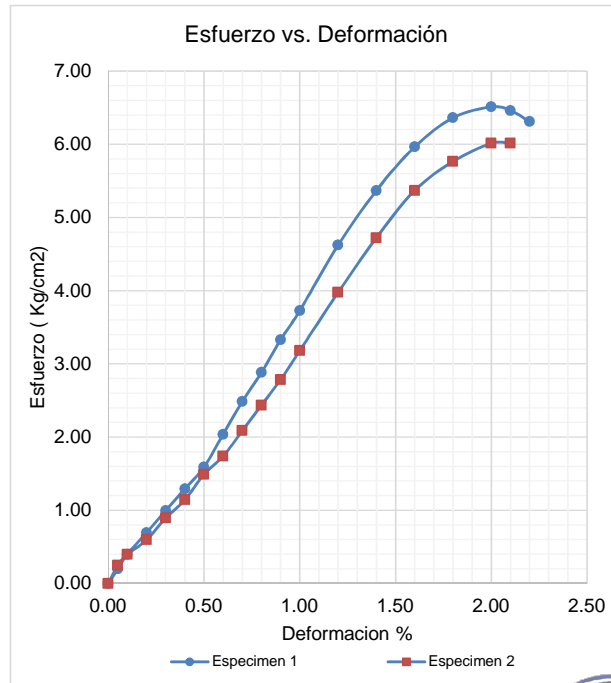
Altura (cm)	10.10
Diametro (cm)	5.00
Volumen (cm ³)	198.31
Peso(gr)	343

Humedad	22.50	%
Densidad	1.41	gr/cm ³

qu max	6.26	kg/cm ²
--------	------	--------------------



Deformación	Especimen 1	Especimen 2
	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00
0.05	0.25	0.20
0.10	0.40	0.40
0.20	0.60	0.70
0.30	0.89	0.99
0.40	1.14	1.29
0.50	1.49	1.59
0.60	1.74	2.04
0.70	2.09	2.49
0.80	2.44	2.88
0.90	2.78	3.33
1.00	3.18	3.73
1.20	3.98	4.62
1.40	4.72	5.37
1.60	5.37	5.96
1.80	5.77	6.36
2.00	6.01	6.51
2.10	6.01	6.46
2.20	#¡REF!	6.31





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S60 - CCA40

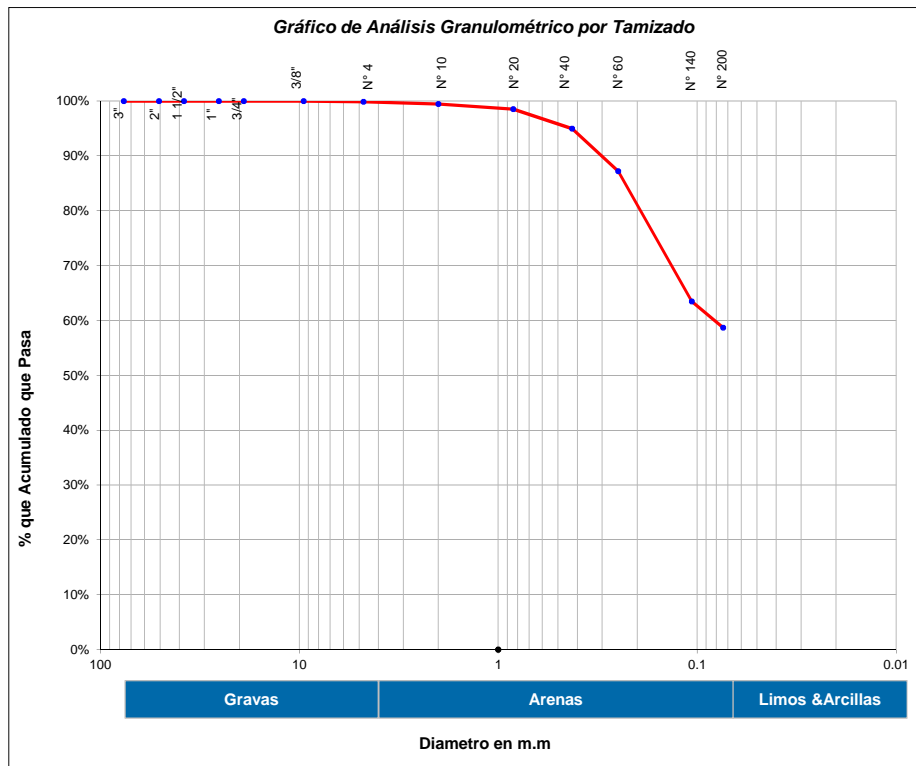
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

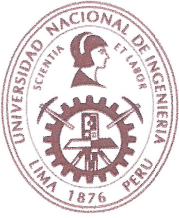
Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	99.91%
Nº 10	2.000	99.48%
Nº 20	0.840	98.56%
Nº 40	0.426	94.98%
Nº 60	0.250	87.22%
Nº 140	0.106	63.50%
Nº 200	0.074	58.71%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	41.3
Limos y Arcillas (%)	58.7

Límites de Atterberg	
LL(%)	NP
LP(%)	NP
IP(%)	NP

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-5 (5)





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S60 - CCA40

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	2	3	4	5
Peso del frasco (gr)	60.75	57.64	54.92	54.21
Muestra (gr)	30	30	30	30
Peso del frasco + muestra (gr)	90.75	87.64	84.92	84.21
Peso del frasco + muestra + agua (gr)		174.79	171.93	171.37
Peso del frasco + agua (gr)	160.26	157.18	154.42	153.76
Gravedad de solidos		2.42	2.4	2.42
Promedio	2.41			





**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557**

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

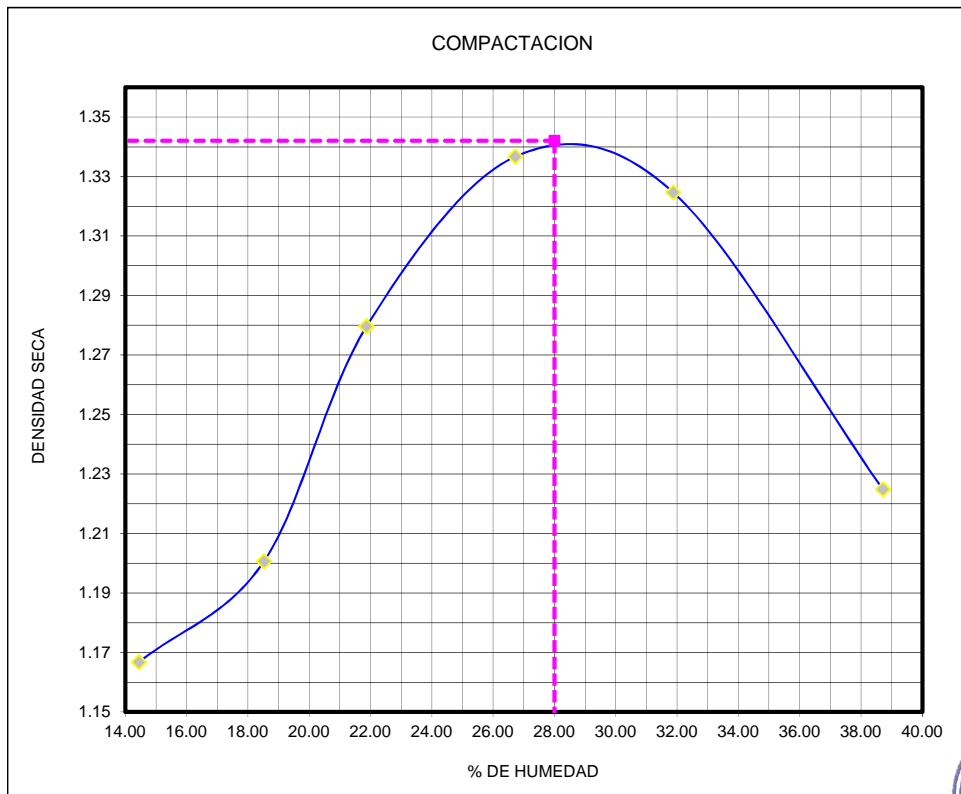
MUESTRA : S60 - CCA40

Método:

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	14.45	18.52	21.87	26.72	31.88	38.72
Densidad Seca (gr/cm³)	1.17	1.20	1.28	1.34	1.32	1.22

Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	1.34
Óptimo Contenido de Humedad (%)	28.00





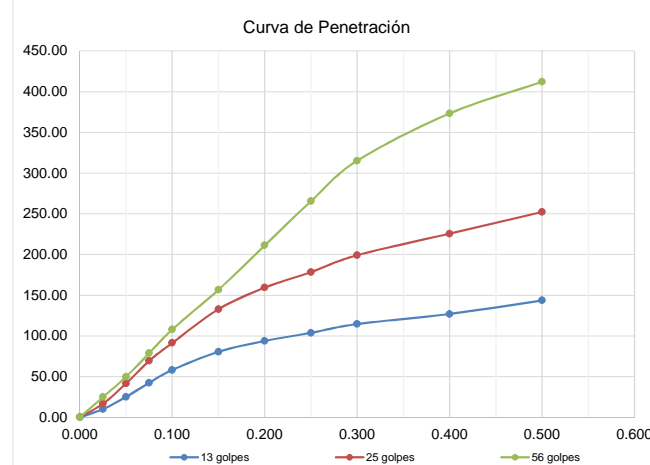
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO D
SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S60 - CCA40

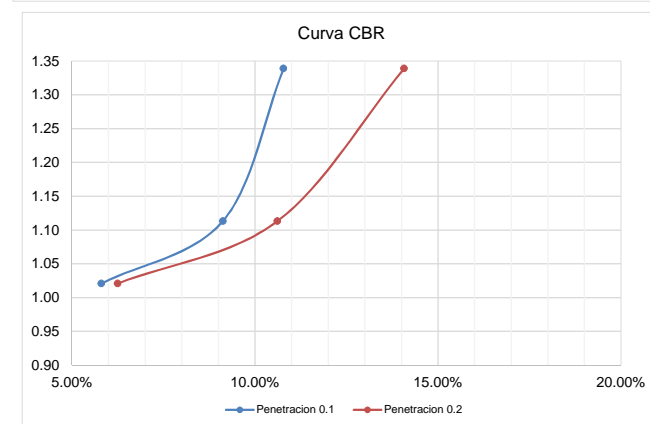
Table with 4 columns: N° de golpes, Contenido de Humedad (%), Densidad Seca (gr/cm), and values for 13, 25, and 56 golpes.

Table with 2 columns: Tiempo (horas) and Deformacion acumulada (%), showing 96 hours and 0.00%.

Table with 7 columns: Penetración (pulg), Lectura, Presión, and values for 13, 25, and 56 golpes across various penetration depths.



RESULTADOS
13 Golpes:
0.1" : 5.81 lb/pulg2
0.2" : 6.25 lb/pulg2
25 Golpes:
0.1" : 9.12 lb/pulg2
0.2" : 10.62 lb/pulg2
56 Golpes:
0.1" : 10.78 lb/pulg2
0.2" : 14.07 lb/pulg2



RESULTADOS
0.1" Penetración
95% MDS = 10.40%
100% MDS = 10.80%
0.2" Penetración
95% MDS = 13.00%
100% MDS = 13.90%





Compresion No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON GENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S60 - CCA40

Datos del especimen

Table with 2 columns: Property (Altura, Diametro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.00, 198.31, 341.33)

Table with 2 columns: Property (Humedad, Densidad) and Value (28.00 %, 1.34 gr/cm³)

Table with 2 columns: Property (qu max) and Value (4.60 kg/cm²)

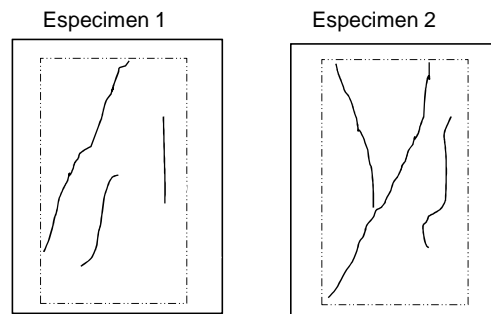
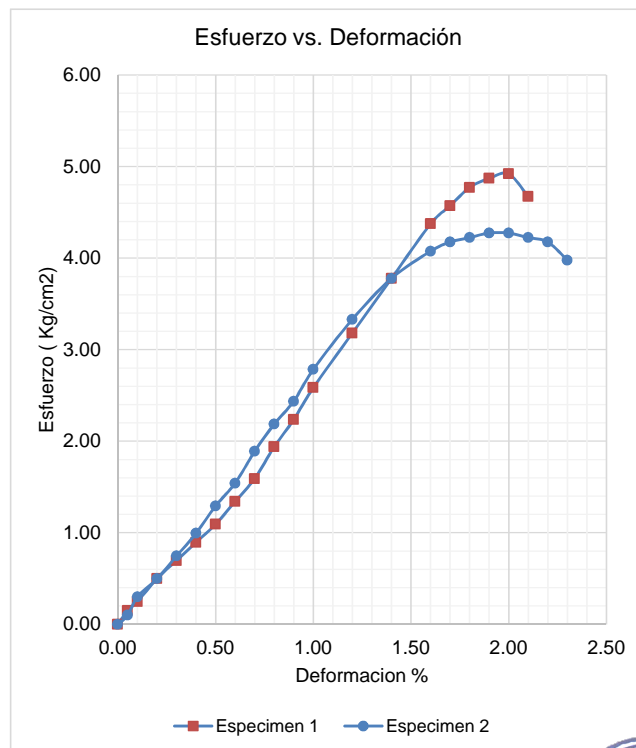


Table with 3 columns: Deformación, Especimen 1 (Esfuerzo), Especimen 2 (Esfuerzo) with data points from 0.00 to 2.30



SUELO-CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ-CAL



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S87 - CCA10 - CAL3

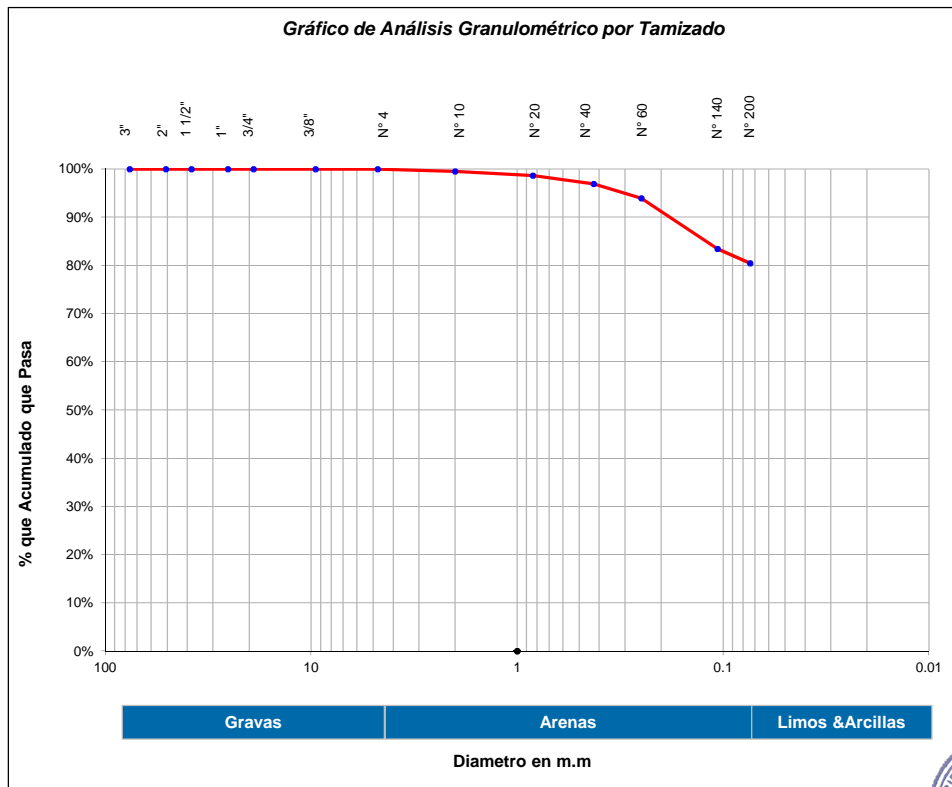
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Table with 3 columns: Tamices (Ø, mm), % acumulado. Lists sieve sizes from 3 inches down to 200 mesh and their corresponding cumulative percentages.

Table titled 'Tamaño de partículas' showing percentages for Gravas (0.0%), Arenas (19.5%), and Limos y Arcillas (80.5%).

Table titled 'Límites de Atterberg' showing LL(%) = 40.00, LP(%) = 26.00, and IP(%) = 14.

Table titled 'Clasificación de Suelos' showing SUCS = ML and AASHTO = A-6 (10).





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S87 - CCA10 - CAL3

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	2	3	4	5
Peso del frasco (gr)	60.75	57.64	54.92	54.21
Muestra (gr)	30	30	30	30
Peso del frasco + muestra (gr)	90.75	87.64	84.92	84.21
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	178.75	175.65	172.85	172.19
Peso del frasco + agua (gr)	160.26	157.18	154.42	153.76
Gravedad de solidos	2.61	2.6	2.59	2.590

Promedio	2.60
----------	------





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

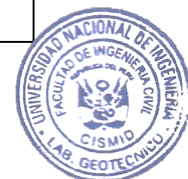
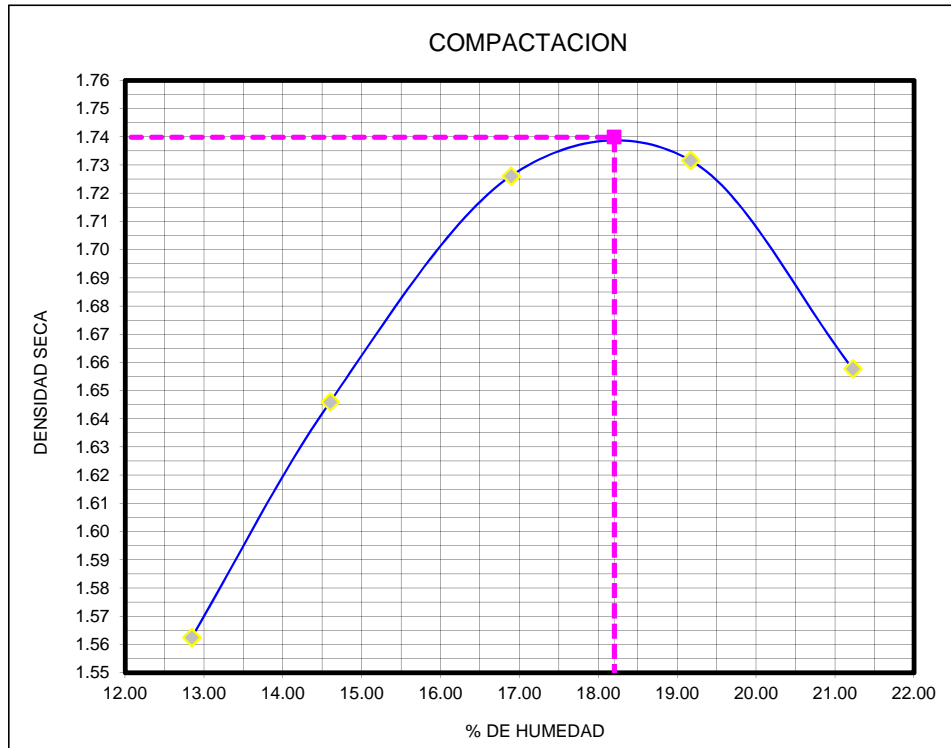
MUESTRA : S87 - CCA10 - CAL3

Método:

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	12.84	14.60	16.89	19.17	21.22
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.56	1.65	1.73	1.73	1.66

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.74
Óptimo Contenido de Humedad (%)	18.20





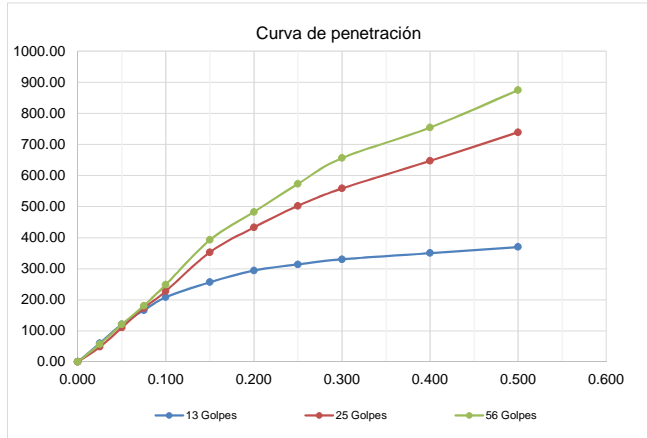
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON GENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S87 - CCA10 - CAL3

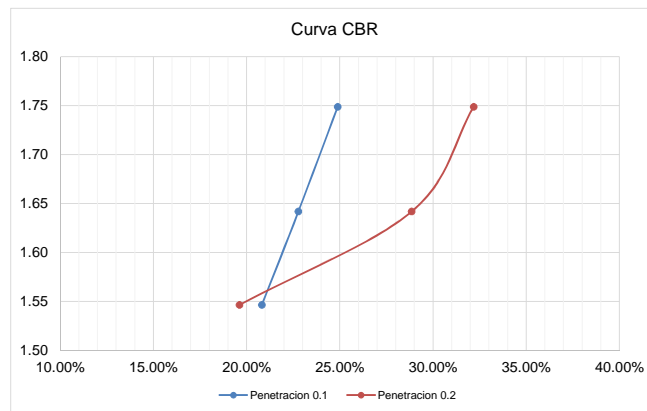
Table with 4 columns: N° de golpes, Contenido de Humedad (%), Densidad Seca (gr/cm), and values for 13, 25, and 56 golpes.

Table with 2 columns: Tiempo (horas) and Deformacion acumulada (%), with values 96 and 0.55.

Table with 7 columns: Penetración (pulg), Lectura, Presión, and values for 13, 25, and 56 golpes across various penetration depths.



RESULTADOS table listing values for 13, 25, and 56 golpes at 0.1" and 0.2" penetration depths.



RESULTADOS table listing MDS values for 0.1" and 0.2" penetration.





Compresión No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S87 - CCA10 - CAL3

Datos del espécimen

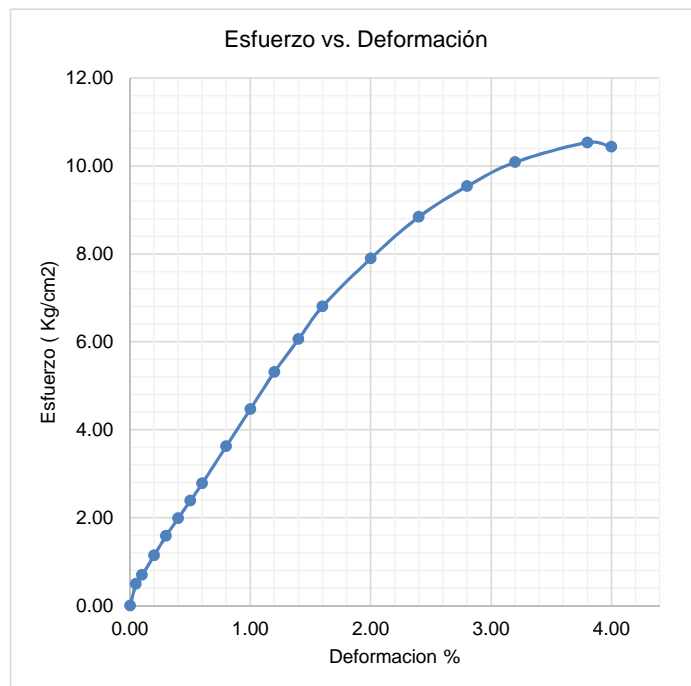
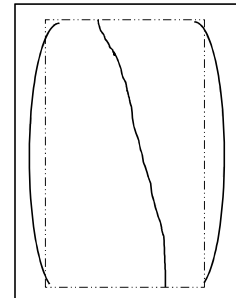
Altura (cm)	10.10
Diametro (cm)	5.08
Volumen (cm ³)	204.71
Peso(gr)	408.26

Humedad	18.20	%
Densidad	1.69	gr/cm ³

qu max	10.54	kg/cm ²
--------	-------	--------------------

Deformación	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00
0.05	0.50
0.10	0.70
0.20	1.14
0.30	1.59
0.40	1.99
0.50	2.39
0.60	2.78
0.80	3.63
1.00	4.47
1.20	5.32
1.40	6.06
1.60	6.81
2.00	7.90
2.40	8.85
2.80	9.54
3.20	10.09
3.80	10.54
4.00	10.44
4.20	9.94
4.40	9.05

Falla:





Compresión No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ
PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S87 - CCA10 - CAL3

Datos del espécimen

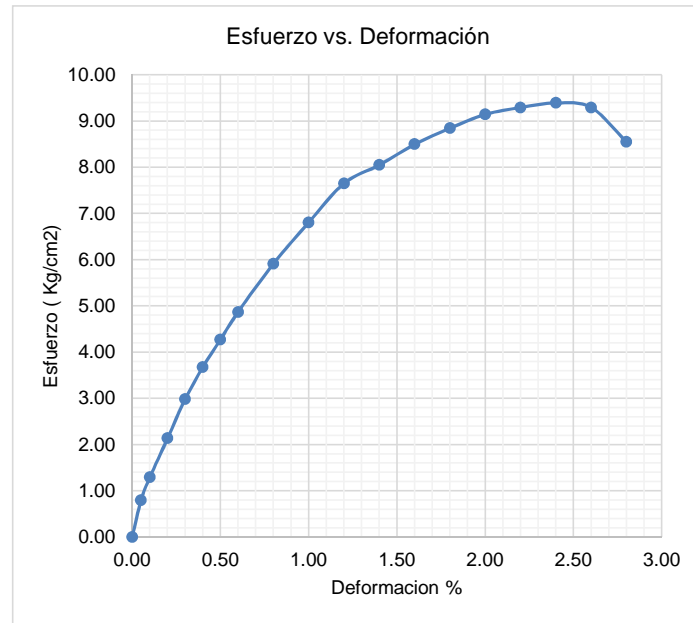
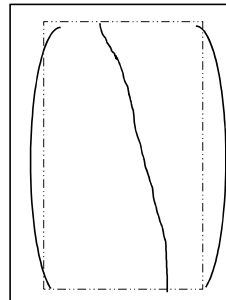
Table with 2 columns: Property (Altura, Diametro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.00, 198.31, 376.35)

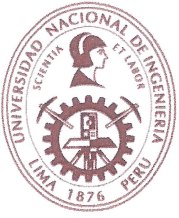
Table with 3 columns: Property (Humedad, Densidad), Value (18.20, 1.61), and Unit (% , gr/cm³)

Table with 3 columns: Property (qu max), Value (9.39), and Unit (kg/cm²)

Table with 2 columns: Deformación and Esfuerzo (kg/cm²) showing data points from 0.00 to 2.80.

Falla:





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S77 - CCA20 - CAL3

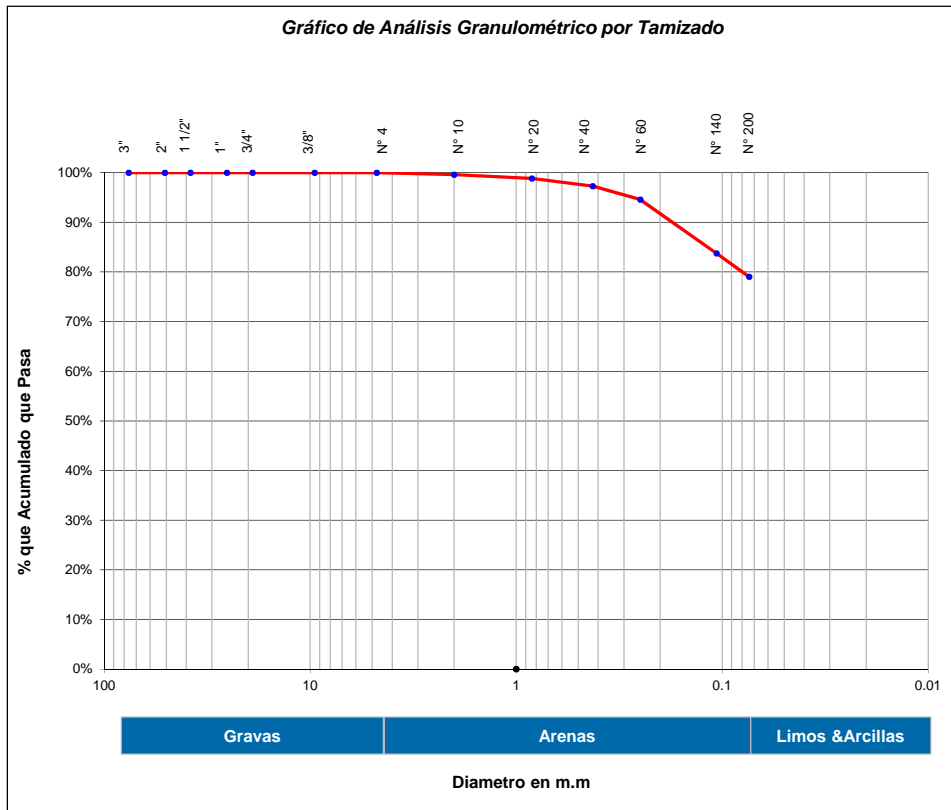
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	100.00%
Nº 10	2.000	99.58%
Nº 20	0.840	98.80%
Nº 40	0.426	97.27%
Nº 60	0.250	94.57%
Nº 140	0.106	83.73%
Nº 200	0.074	79.03%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	21.0
Limos y Arcillas (%)	79.0

Límites de Atterberg	
LL(%)	42.00
LP(%)	28.00
IP(%)	14

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-7-6 (10)





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S77 - CCA20 - CAL3

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	1	2	3	
Peso del frasco (gr)	54.14	60.75	57.64	
Muestra (gr)	30	30	30	
Peso del frasco + muestra (gr)	84.14	90.75	87.64	
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	172.02	178.52	175.36	
Peso del frasco + agua (gr)	153.68	160.26	157.18	
Gravedad de solidos	2.573	2.555	2.538	
Promedio	2.56			





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

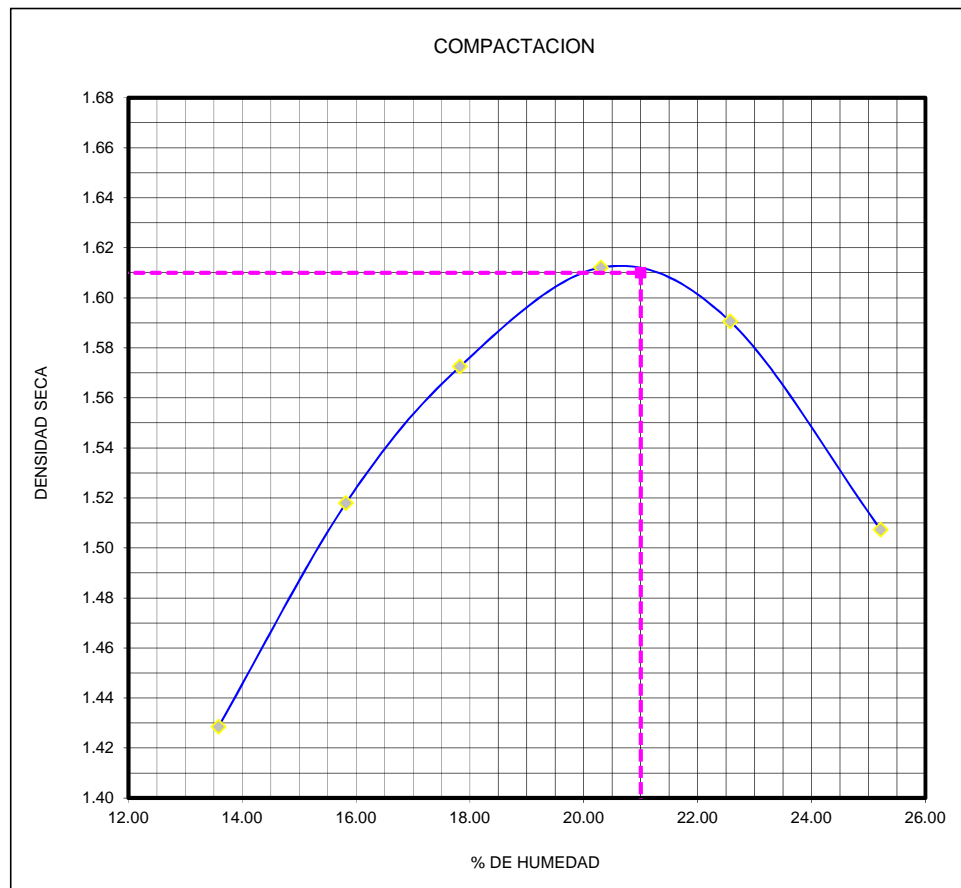
MUESTRA : S77 - CCA20 - CAL3

Método:

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	13.58	15.82	17.82	20.30	22.57	25.21
Densidad Seca (gr/cm³)	1.43	1.52	1.57	1.61	1.59	1.51

Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	1.61
Óptimo Contenido de Humedad (%)	21.00





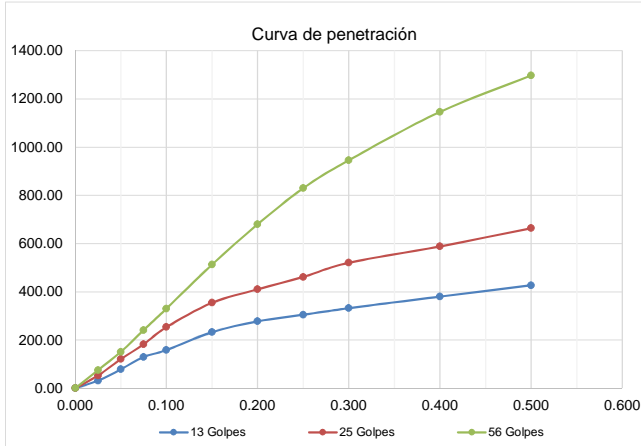
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S77 - CCA20 - CAL3

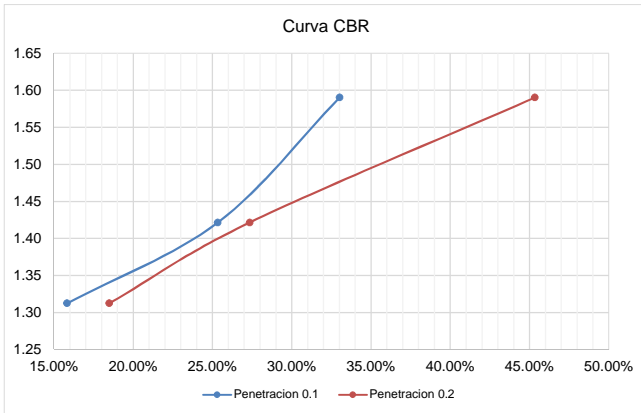
Table with 4 columns: N° de golpes, Contenido de Humedad (%), Densidad Seca (gr/cm), and values for 13, 25, and 56 golpes.

Table with 2 columns: Tiempo (horas) and Deformación acumulada (%), showing 96 hours and 0.34% deformation.

Table with 7 columns: Penetración (pulg), Lectura, Presión, and corresponding values for various penetration depths from 0.025 to 0.500.



RESULTADOS table listing penetration values for 13, 25, and 56 blows at 0.1" and 0.2" depths.



RESULTADOS table listing MDS values for 0.1 and 0.2 inch penetrations at 95% and 100%.





Compresión No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S77 - CCA20 - CAL3

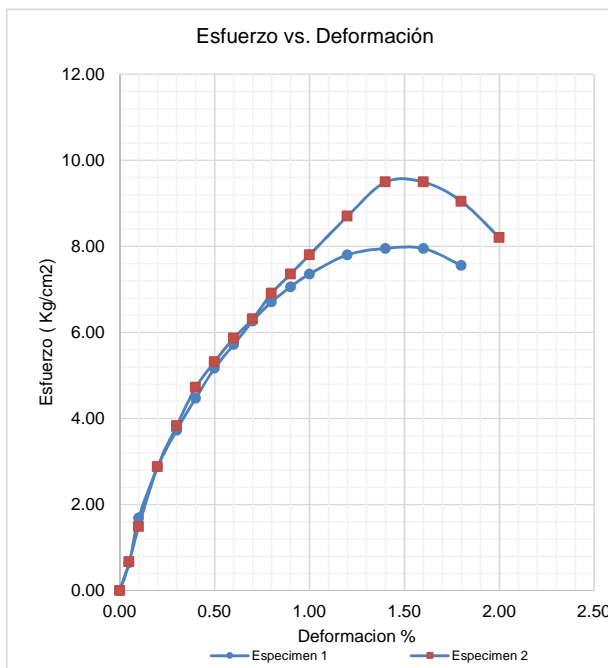
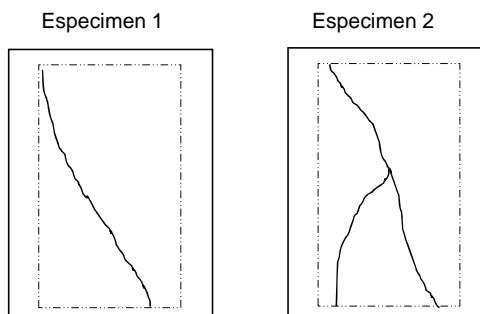
Datos del espécimen

Table with 2 columns: Property (Altura, Diametro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.00, 198.31, 368.87)

Table with 3 columns: Property (Humedad, Densidad) and Value (0.00 %, 1.8600 gr/cm³)

Table with 3 columns: Property (qu max) and Value (8.72 kg/cm²)

Main data table with 3 columns: Deformación, Especimen 1 (Esfuerzo), Especimen 2 (Esfuerzo)





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S67 - CCA30 - CAL3

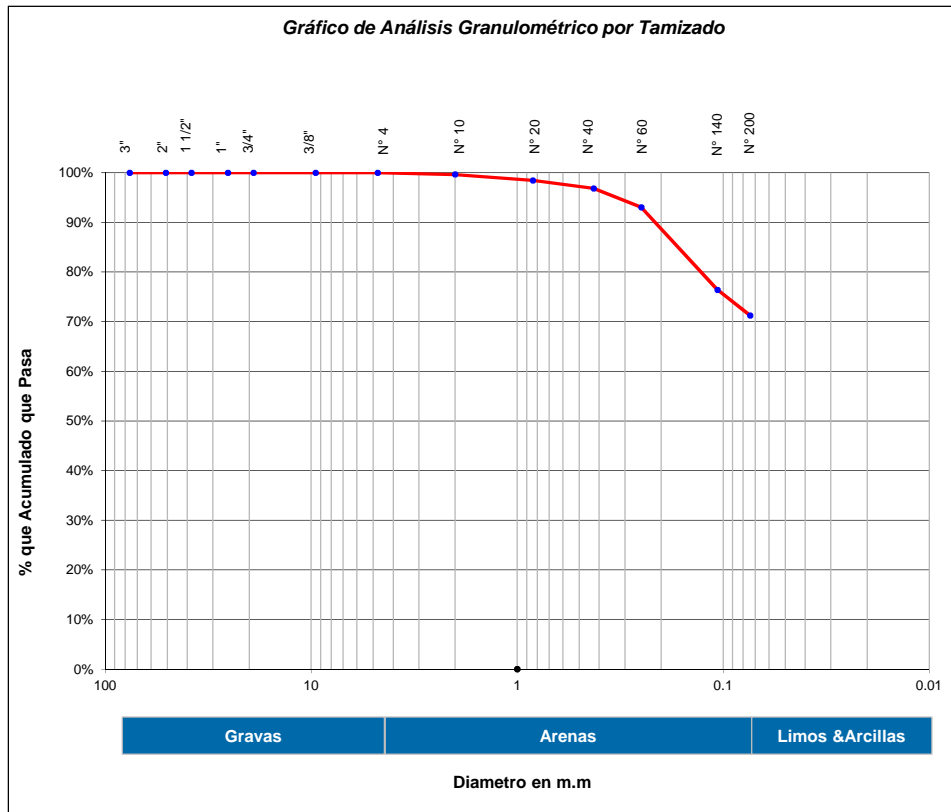
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	100.00%
Nº 10	2.000	99.63%
Nº 20	0.840	98.44%
Nº 40	0.426	96.84%
Nº 60	0.250	93.01%
Nº 140	0.106	76.39%
Nº 200	0.074	71.23%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	28.8
Limos y Arcillas (%)	71.2

Límites de Atterberg	
LL(%)	39.00
LP(%)	33.00
IP(%)	6

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-5 (7)





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA
DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S67 - CCA30 - CAL3

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	2	3	4	5
Peso del frasco (gr)	60.75	57.64	54.92	54.21
Muestra (gr)	30	30	30	30
Peso del frasco + muestra (gr)	90.75	87.64	84.92	84.21
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	178.22	175.15	172.3	171.73
Peso del frasco + agua (gr)	160.26	157.18	154.42	153.76
Gravedad de solidos	2.49	2.49	2.48	2.49
Promedio	2.49			





ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

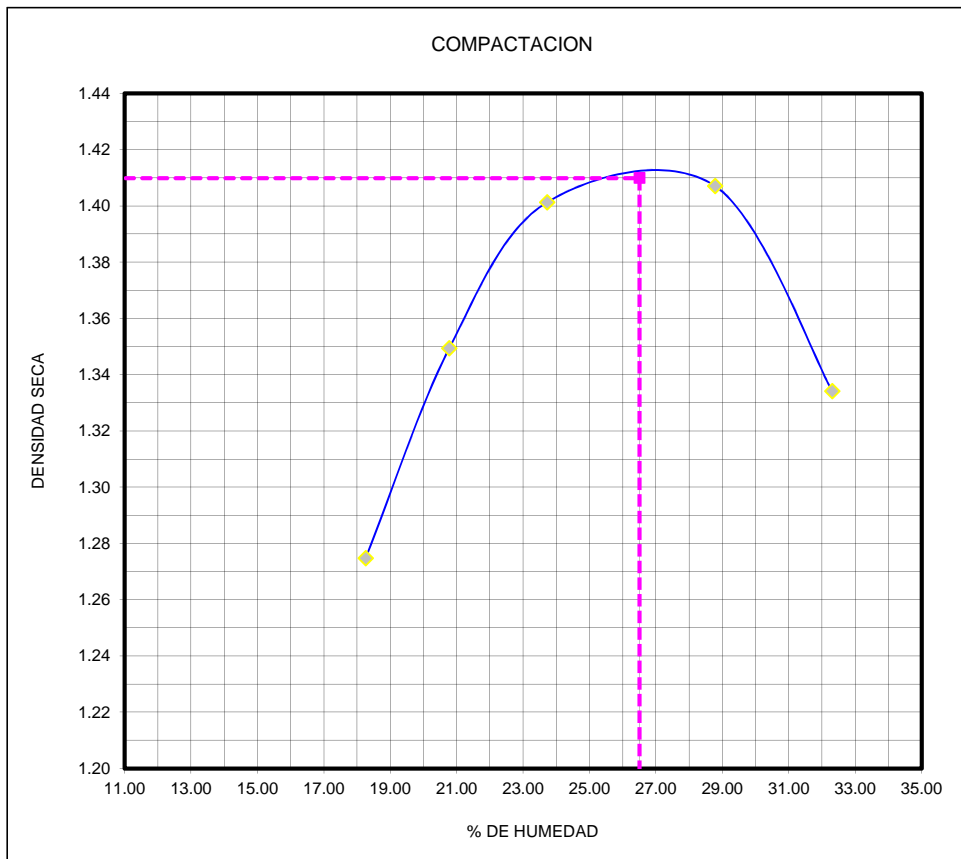
MUESTRA : S67 - CCA30 - CAL3

Método:

Table with 2 rows and 3 columns: X, A, B, C

Table with 2 rows and 6 columns: Contenido de Humedad (%), Densidad Seca (gr/cm³)

Table with 2 rows and 2 columns: Máxima Densidad Seca (gr/cm³), Óptimo Contenido de Humedad (%)





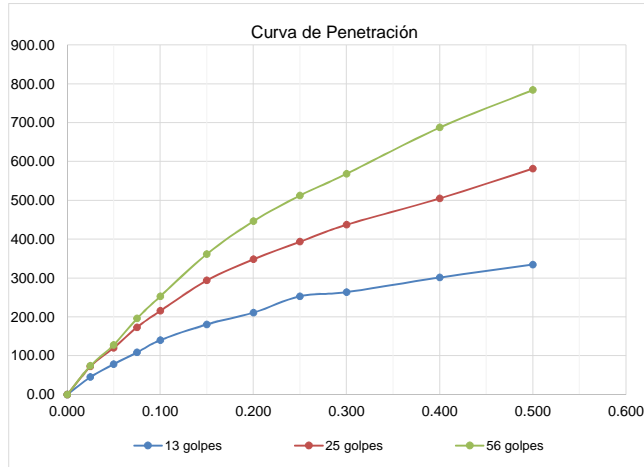
ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S67 - CCA30 - CAL3

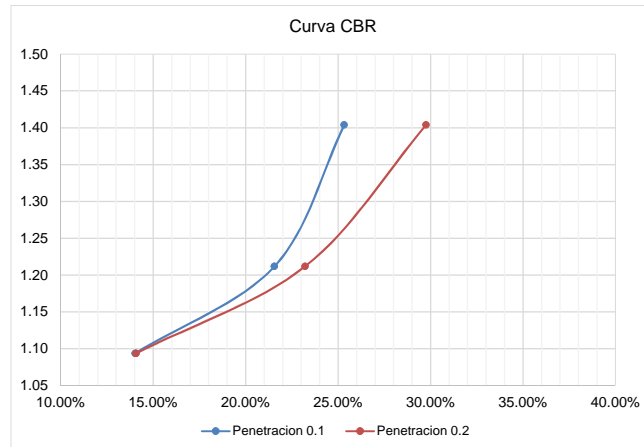
COMPACTACION			
N° de golpes	13 golpes	25 golpes	56 golpes
Contenido de Humedad (%)	26.59	26.68	26.81
Densidad Seca (gr/cm)	1.09	1.21	1.40

EXPANSION	
Tiempo (horas)	Deformacion acumulada (%)
96	0.06

PENETRACION						
Penetración (pulg)	Lectura	Presión	Lectura	Presión	Lectura	Presión
0.025	3.00	45	4.80	72	4.900	74
0.050	5.20	78	8.00	121	8.500	128
0.075	7.20	109	11.50	173	13.000	196
0.100	9.30	140	14.30	216	16.800	253
0.150	12.00	181	19.50	294	24.000	362
0.200	14.00	211	23.10	348	29.600	446
0.250	16.80	253	26.10	394	34.000	513
0.300	17.50	264	29.00	437	37.700	569
0.400	20.00	302	33.50	505	45.600	688
0.500	22.20	335	38.60	582	52.000	784



RESULTADOS	
13 Golpes:	
0.1"	: 14.02 lb/pulg2
0.2"	: 14.07 lb/pulg2
25 Golpes:	
0.1"	: 21.56 lb/pulg2
0.2"	: 23.22 lb/pulg2
56 Golpes:	
0.1"	: 25.33 lb/pulg2
0.2"	: 29.76 lb/pulg2



RESULTADOS	
0.1" Penetración	
95% MDS =	24.40%
100% MDS =	25.50%
0.2" Penetración	
95% MDS =	27.70%
100% MDS =	30.00%





Compresion No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S67 - CCA30 - CAL3

Datos del espécimen

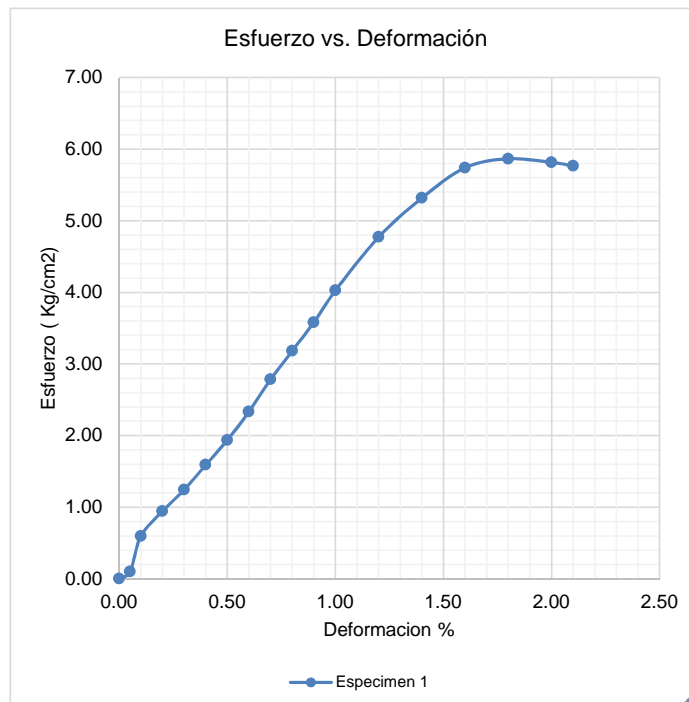
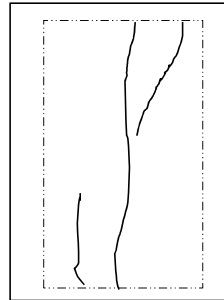
Table with 2 columns: Property (Altura, Diametro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.08, 204.71, 344.31)

Table with 3 columns: Property (Humedad, Densidad), Value (26.50, 1.33), and Unit (% , gr/cm³)

Table with 3 columns: Property (qu max), Value (5.86), and Unit (kg/cm²)

Table with 2 columns: Deformación and Esfuerzo (kg/cm²) showing data points from 0.00 to 2.10.

Falla:





Compresion No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE
ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S67 - CCA30 - CAL3

Datos del espécimen

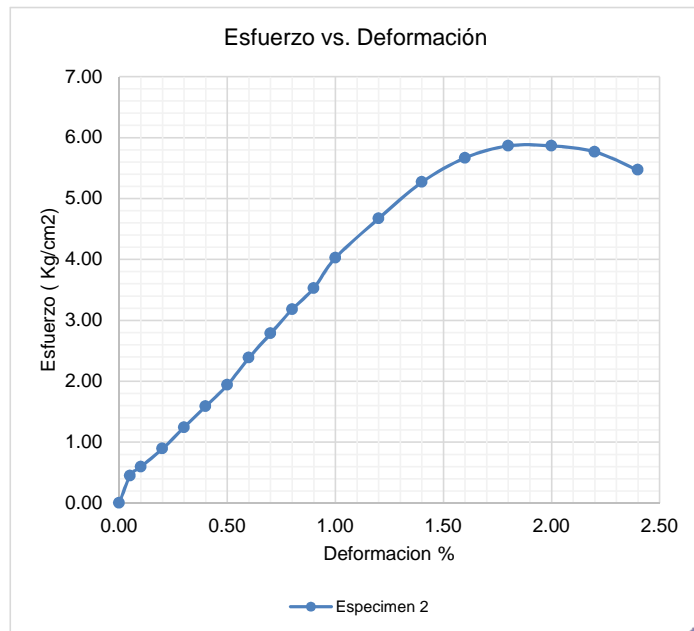
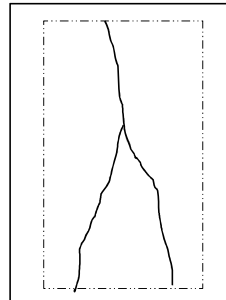
Table with 2 columns: Property (Altura, Diametro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.08, 204.71, 343.61)

Table with 3 columns: Property (Humedad, Densidad) and Value (26.50 %, 1.33 gr/cm³)

Table with 3 columns: Property (qu max) and Value (5.86 kg/cm²)

Table with 2 columns: Deformación and Esfuerzo (kg/cm²) showing data points from 0.00 to 2.40.

Falla:





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S57 - CCA40 - CAL3

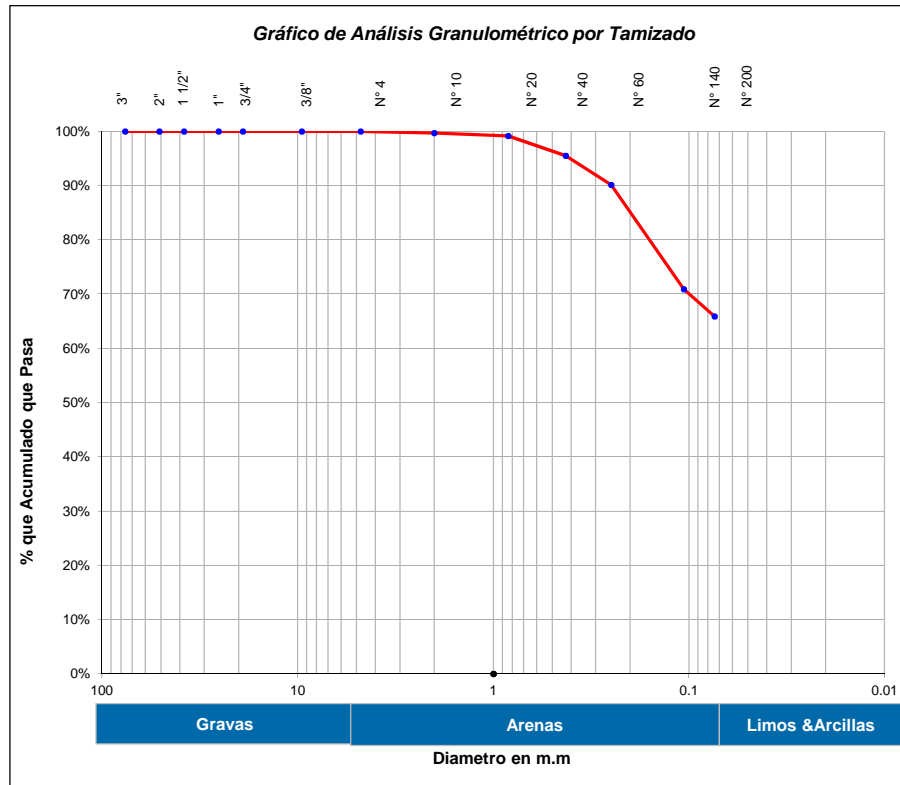
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Tamices		% acumulado
Ø	(mm)	
3"	76.20	100.00%
2"	50.80	100.00%
1 1/2"	38.10	100.00%
1"	25.40	100.00%
3/4"	19.050	100.00%
3/8"	9.525	100.00%
Nº 4	4.760	100.00%
Nº 10	2.000	99.71%
Nº 20	0.840	99.18%
Nº 40	0.426	95.51%
Nº 60	0.250	90.12%
Nº 140	0.106	70.93%
Nº 200	0.074	65.87%

Tamaño de partículas	
Gravas (%)	0.0
Arenas (%)	34.1
Limos y Arcillas (%)	65.9

Límites de Atterberg	
LL(%)	NP
LP(%)	NP
IP(%)	NP

Clasificación de Suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-4 (6)





Gravedad Especifica de Sólidos

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S57 - CCA40 - CAL3

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SÓLIDOS- ASTM D 854

N° de frasco	1	2	3	4
Peso del frasco (gr)	54.14	60.75	57.64	54.92
Muestra (gr)	30	30	30	30
Peso del frasco + muestra (gr)	84.14	90.75	87.64	84.92
Peso del frasco + muestra + agua (gr)	171.22	177.79	174.64	171.92
Peso del frasco + agua (gr)	153.68	160.26	157.18	154.42
Gravedad de solidos	2.41	2.41	2.39	2.4
Promedio	2.40			





**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO
ASTM D 1557**

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

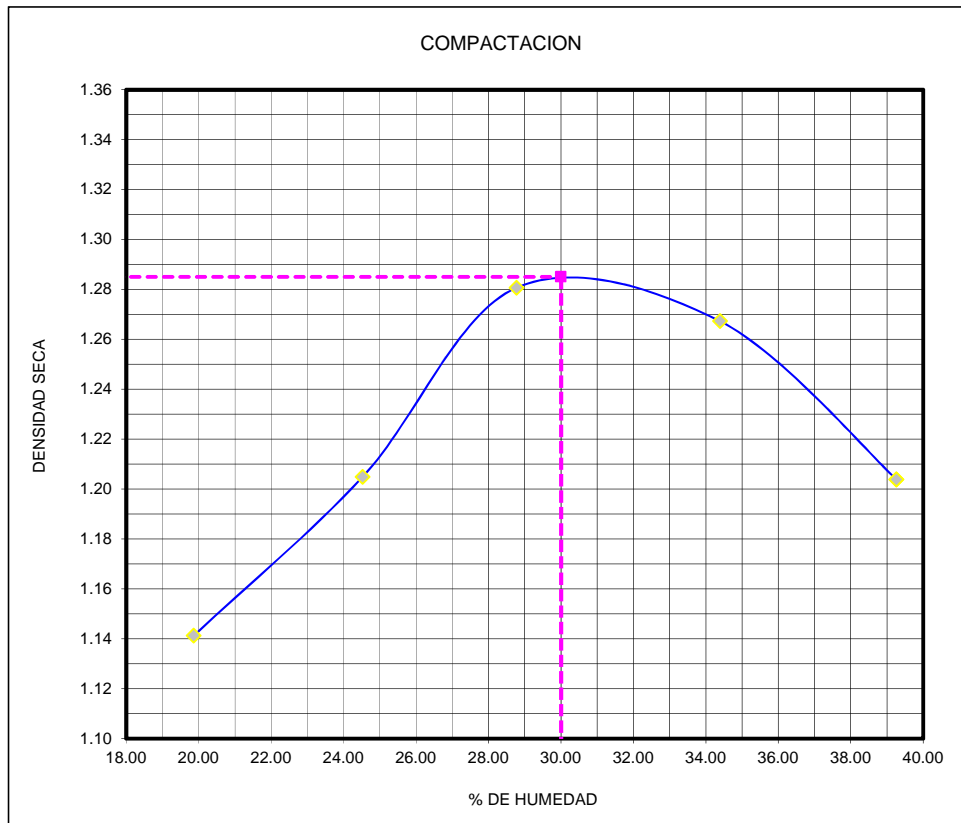
MUESTRA : S57 - CCA40 - CAL3

Método:

X		
A	B	C

Contenido de Humedad (%)	19.86	24.52	28.77	34.39	39.26	39.26
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.14	1.20	1.28	1.27	1.20	1.20

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.29
Óptimo Contenido de Humedad (%)	30.00





ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D 1883

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"

AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA

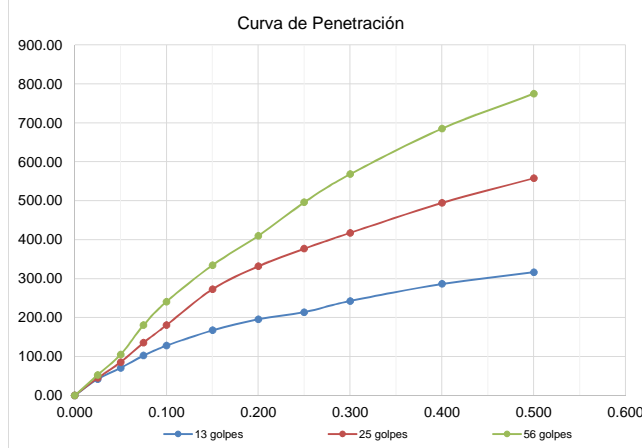
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN

MUESTRA : S57 - CCA40 - CAL3

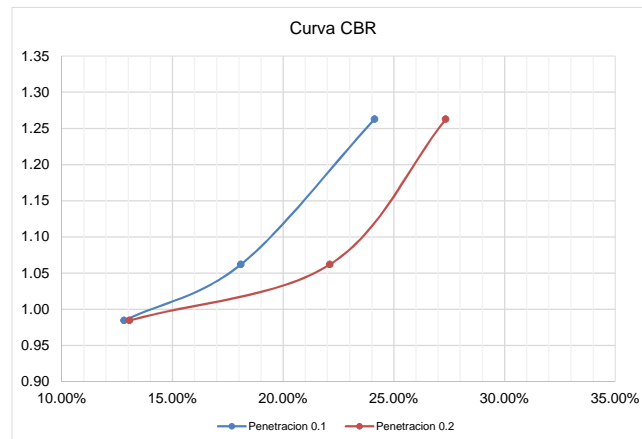
COMPACTACION			
N° de golpes	13 golpes	25 golpes	56 golpes
Contenido de Humedad (%)	30.81	31.13	30.92
Densidad Seca (gr/cm)	0.98	1.06	1.26

EXPANSION	
Tiempo (horas)	Deformación acumulada (%)
96	0.00

PENETRACION						
Penetración (pulg)	Lectura	Presión	Lectura	Presión	Lectura	Presión
0.025	2.80	42	3.00	45	3.500	53
0.050	4.70	71	5.70	86	7.000	106
0.075	6.80	103	9.00	136	12.000	181
0.100	8.50	128	12.00	181	16.000	241
0.150	11.10	167	18.10	273	22.200	335
0.200	13.00	196	22.00	332	27.200	410
0.250	14.20	214	25.00	377	32.900	496
0.300	16.10	243	27.70	418	37.700	569
0.400	19.00	287	32.80	495	45.450	685
0.500	21.00	317	37.00	558	51.400	775



RESULTADOS	
13 Golpes:	
0.1"	: 12.82 lb/pulg2
0.2"	: 13.07 lb/pulg2
25 Golpes:	
0.1"	: 18.1 lb/pulg2
0.2"	: 22.12 lb/pulg2
56 Golpes:	
0.1"	: 24.13 lb/pulg2
0.2"	: 27.35 lb/pulg2



RESULTADOS	
0.1" Penetración	
95% MDS	23.00%
100% MDS	24.80%
0.2" Penetración	
95% MDS	26.50%
100% MDS	28.00%





Compresión No Confinada
ASTM 2166

PROYECTO : TESIS "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE"
AUTOR : BACH. AXEL CASTRO CUADRA
UBICACIÓN : MOYOBAMBA-SAN MARTÍN
MUESTRA : S57 - CCA40 - CAL3

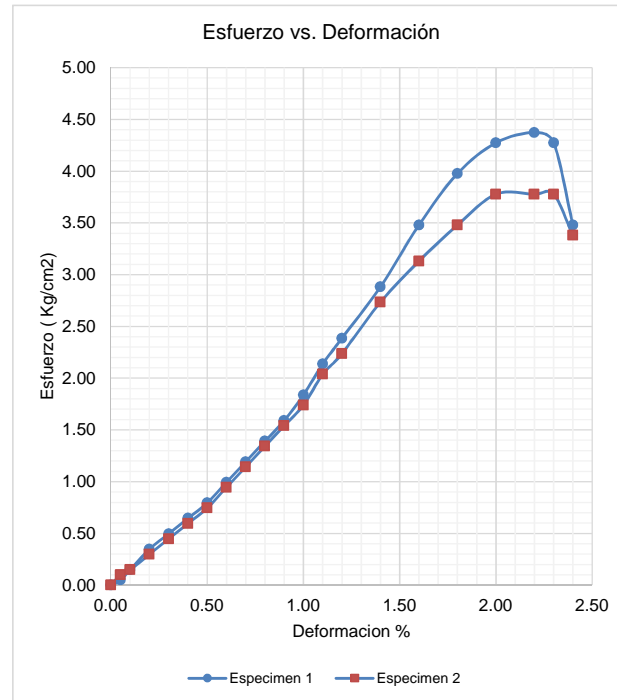
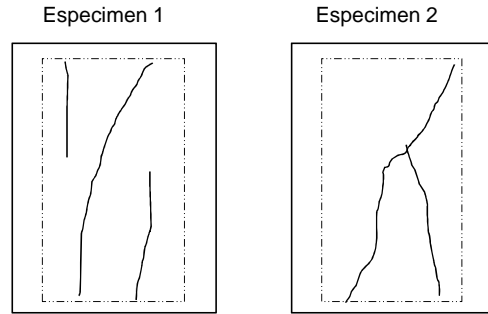
Datos del espécimen

Table with 2 columns: Property (Altura, Diámetro, Volumen, Peso) and Value (10.10, 5.08, 204.71, 316.72)

Table with 2 columns: Property (Humedad, Densidad) and Value (0.00 %, 1.55 gr/cm³)

Table with 2 columns: Property (qu max) and Value (4.08 kg/cm²)

Table with 3 columns: Deformación, Especimen 1 (Esfuerzo), Especimen 2 (Esfuerzo) with data points from 0.00 to 2.40

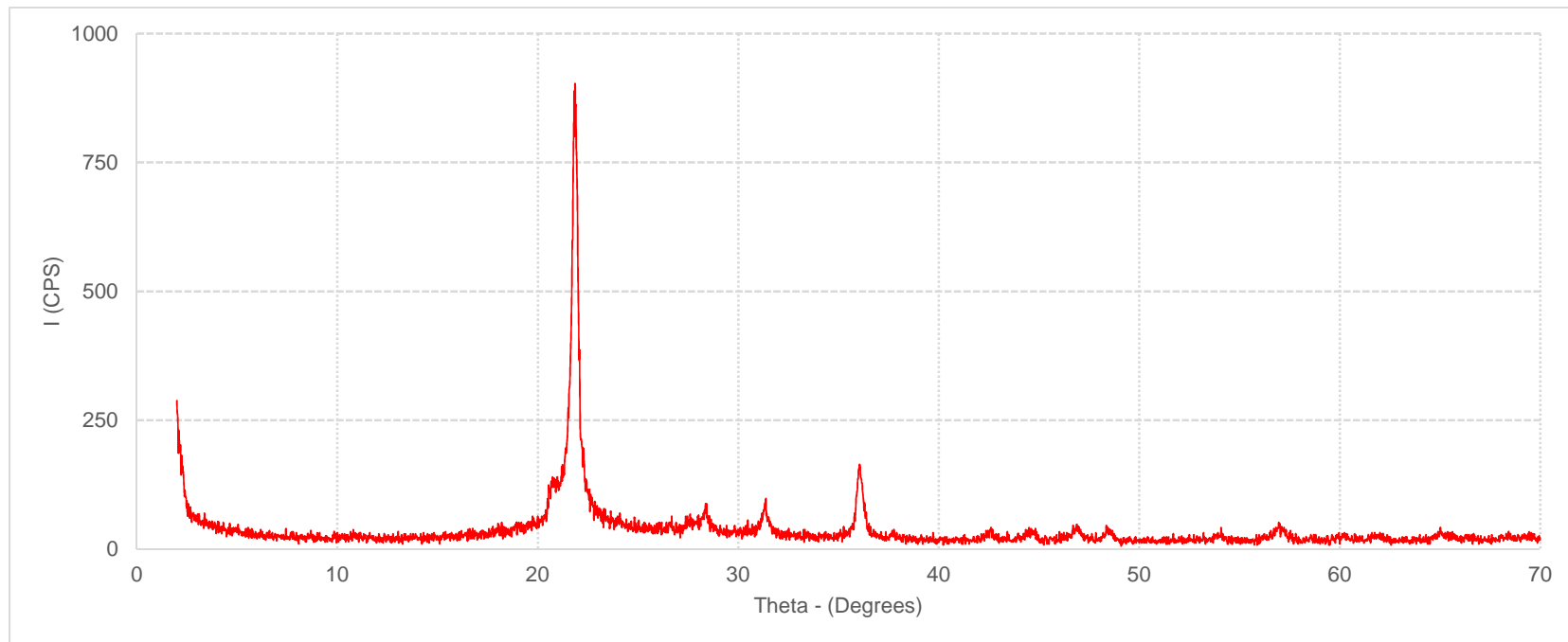


ANEXO B

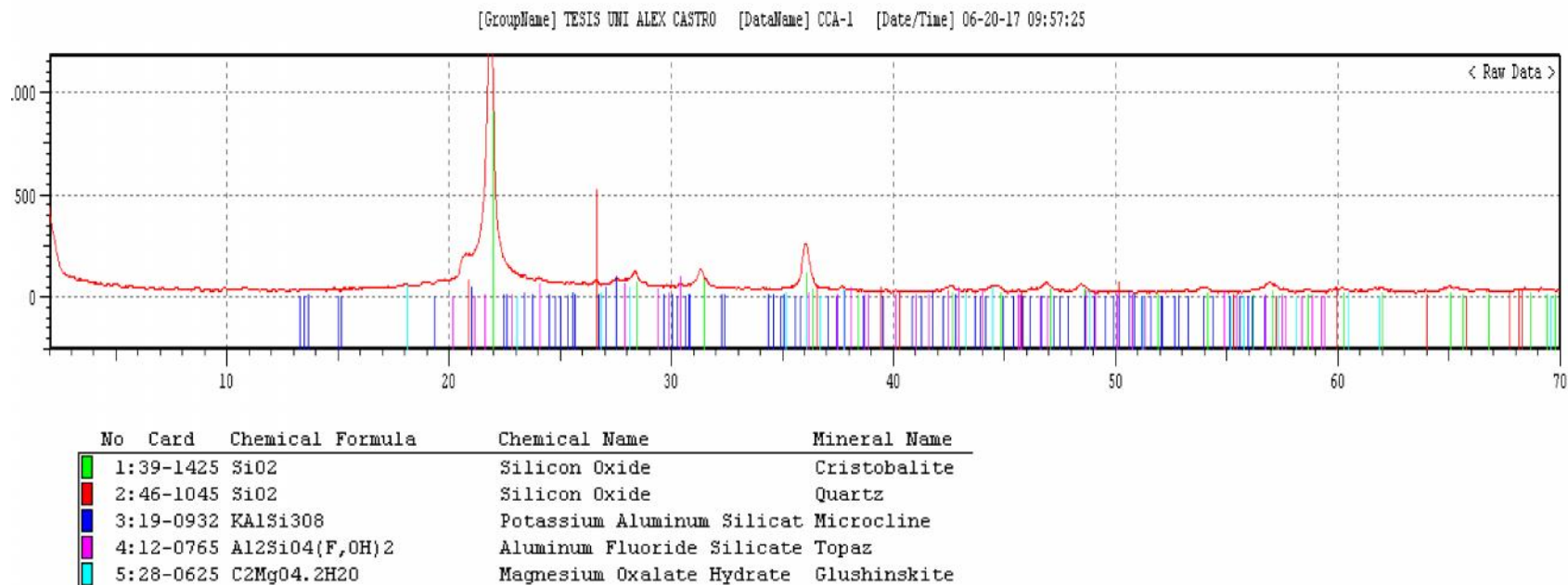
RESULTADOS DE ENSAYOS QUÍMICOS

B.1 RESULTADOS ENSAYO DE DIFRACCION DE RAYOS X

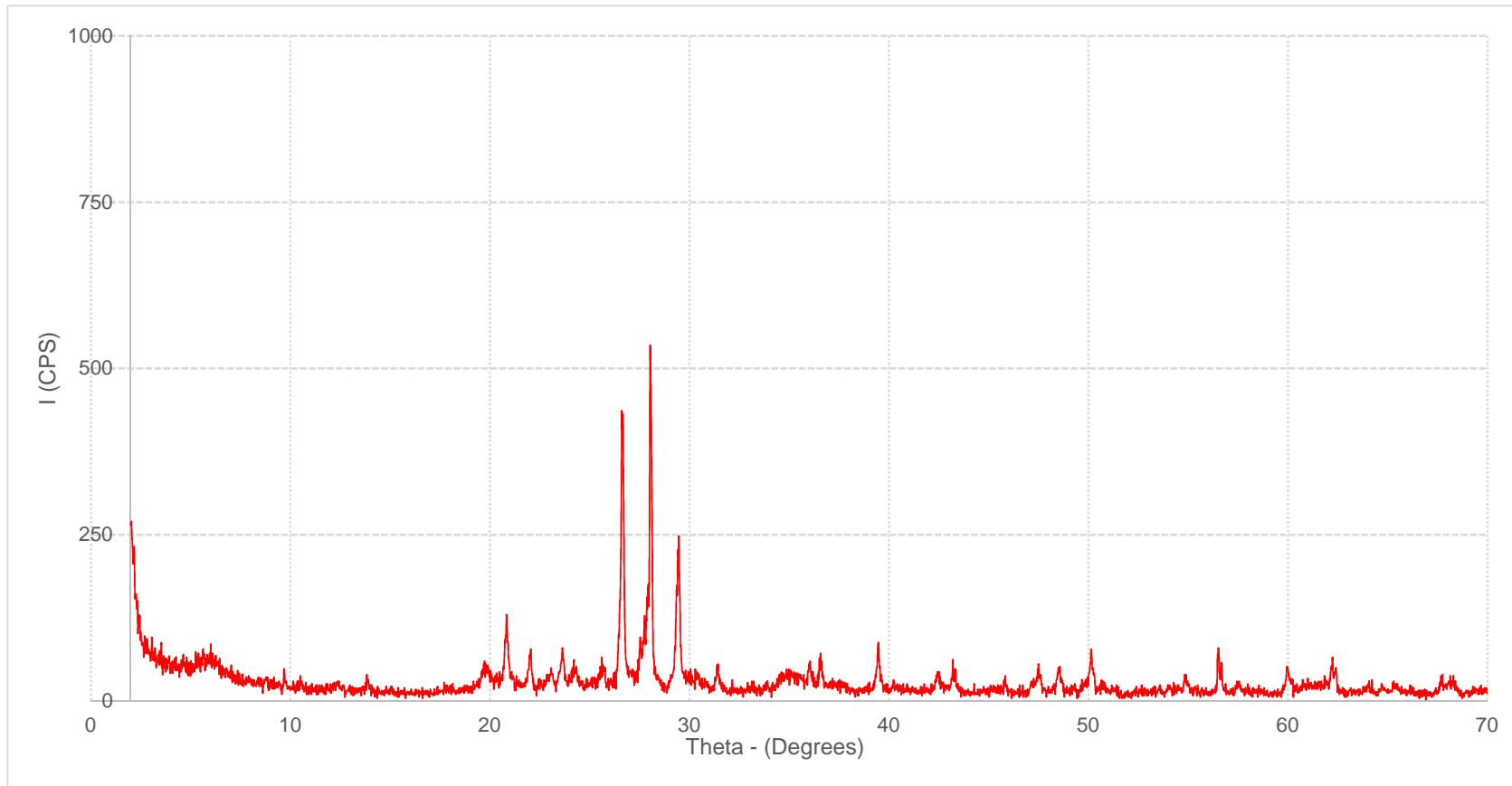
Difractograma de ceniza de cáscara de arroz



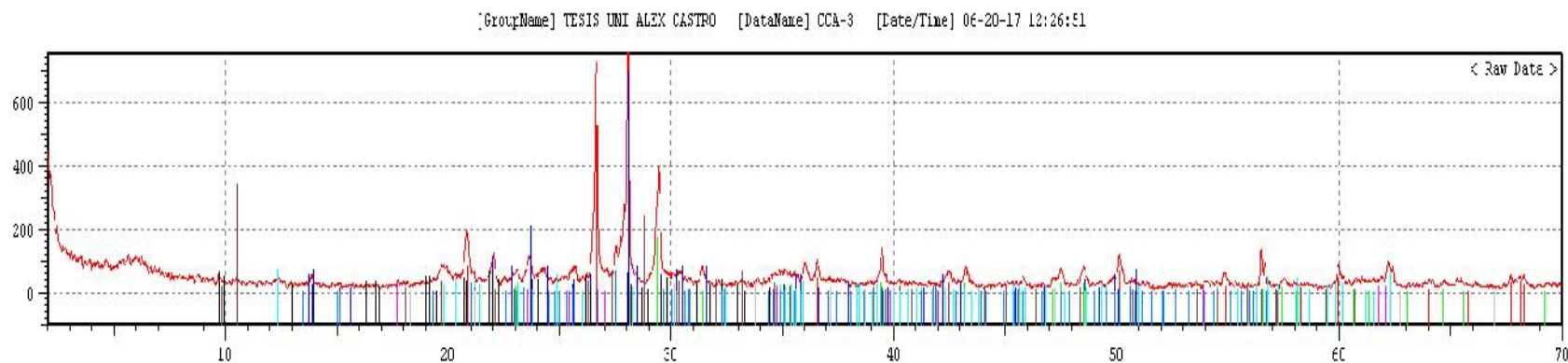
Difractograma detallado de ceniza de cáscara de arroz



Difractograma de suelo arcilloso



Difractograma detallado de suelo arcilloso



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
2	5-0586	CaCO ₃	Calcium Carbonate	Calcite
3	10-0393	Na(Si ₃ Al) ₃ O ₈	Sodium Aluminum Silicate	Albite
4	13-0135	Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Calcium Magnesium Aluminum Silicate	Montmorillonite
5	14-0164	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Aluminum Silicate Hydroxid	Kaolinite
6	24-0894	(Ca,Na) _{1.3} (Si,Al) ₉ O ₁₁ (OH) ₂	Sodium Calcium Aluminum Silicate	Stilbite
7	20-0481	(Ca,Na) _{2.26} (Mg,Fe,Al) ₃ (Si _{3.5} Al _{0.5}) ₇ O ₂₂ (OH) ₂	Sodium Calcium Iron Magnesium Aluminum Silicate	Magnesiohornblende
8	33-0260	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	Calcium Aluminum Silicate	Grossular
9	19-0932	KAlSi ₃ O ₈	Potassium Aluminum Silicate	Microcline

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

DIRECCIÓN DE LABORATORIOS

LABORATORIO DE RAYOS X

REPORTE DE RESULTADOS N° 027-2017-INGEMMET/DL-LRX

SERVICIO	:	- ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X - DIFRACTOGRAMAS EN DIGITAL - DATA EN DIGITAL
N° DE MUESTRAS TRABAJADAS	:	03
EQUIPO	:	DIFRACTÓMETRO SHIMADZU XRD-6000
RANGO DE BARRIDO	:	2° - 70°
TIPO DE TUBO	:	Cu
ENERGIA	:	40 Kv, 30 mA
INSTRUCTIVO DE ANÁLISIS	:	DL-I-014
SOLICITUD N°	:	002-2017-INGEMMET/DL-LRX
REFERENCIA	:	OFICIO S/N – UNI (CORRELATIVO 000472226)
PROYECTO	:	TESIS UNI: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE”
SOLICITADO POR	:	Bach. ALEX FRANCO CASTRO CUADRA



San Borja, 21 de junio del 2017


Espec. PALERMO CARRASCO GUERRERO
Laboratorio de Rayos X
INGEMMET



Trabajando para
todos los peruanos

FORMATO

REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS "X"

Código : DL-F-164
Versión : 02
Fecha aprob. : 06/09/2016
Página : 1 de 2

REPORTE N° 027-2017-INGEMMET/DL-LRX

SOLICITUD N°	002-2017-INGEMMET/DL-LRX	REFERENCIA	OFICIO S/N – UNI (CORRELATIVO 000472226)
ORDEN DE TRABAJO N°			
SOLICITADO POR	Axel Franco Castro Cuadra		
N° DE MUESTRAS	03		

TIPO DE ÁNODO	Cu		
DIFRACTOMETRO MARCA	SHIMADZU	MODELO	XRD-6000
ENERGIA	40 Kv, 30 mA		

ESTUDIO REALIZADO POR	Palermo Carrasco Guerrero	FECHA	21 de junio del 2017
-----------------------	---------------------------	-------	----------------------

RANGO DE BARRIDO (2θ)

DE	2°	HASTA	70°
----	----	-------	-----

N°	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Cristobalita	SiO ₂	95.10
02	Microclina	KAlSi ₃ O ₈	2.28
03	Cuarzo	SiO ₂	1.05
04	Glushinskita	C ₂ MgO ₄ .2H ₂ O	0.87
05	Topaz	Al ₂ SiO ₄ (F,OH) ₂	0.70

N°	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Cristobalita	SiO ₂	94.65
02	Microclina	KAlSi ₃ O ₈	2.31
03	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1.01
04	Cuarzo	SiO ₂	0.87
05	Hidrocalumita	Ca ₂ Al(OH) ₆ Cl.2H ₂ O	0.58
06	Hematita	Fe ₂ O ₃	0.29
07	Arsenopirita	FeAsS	0.29



FORMATO

**REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS
 MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE
 RAYOS "X"**

Código : DL-F-164
 Versión : 02
 Fecha aprob. : 06/09/2016
 Página : 2 de 2

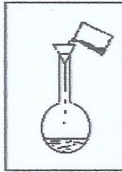
03		CODIGO DE MUESTRA	CCA-3	
Nº	MINERAL	FÓRMULA		%
01	Albita	Na(Si ₃ Al)O ₈		44.42
02	Cuarzo	SiO ₂		33.69
03	Calcita	CaCO ₃		11.16
04	Microclina	KAlSi ₃ O ₈		4.40
05	Montmorillonita	Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O		3.22
06	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		1.07
07	Grosularia	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂		0.86
08	Stilbita	(Ca,Na) _{1.3} (Si,Al) ₉ O ₁₈ .8H ₂ O		0.64
09	Magnesiohorblenda	(Ca,Na) _{2.26} (Mg,Fe,Al) _{5.15} (Si,Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂		0.54

OBSERVACIONES

VºBº RESPONSABLE DE LABORATORIO RX	FIRMA
	 Espec. PALERMO CARRASCO GUERRERO Laboratorio de Rayos X INGEMMET

B.2 RESULTADOS

ENSAYO DE MATERIA ORGÁNICA



LABORATORIOS "LASA" INGENIEROS

ANÁLISIS DE SUELOS

PROCEDENTE DE : PROYECTO DE TESIS:
ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON
CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ PARA EL
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

UBICACIÓN : TARAPOTO - SAN MARTIN

INFORMADO A : AXEL FRANCO CASTRO CUADRA

FECHA : LIMA 02 DE AGOSTO DE 2017

N° DE CAMPO	CCA (Ceniza Cascara de Arroz)
Materia Organica %	2.60

La Muestra fue tomada por el interesado

INFORMADO POR:

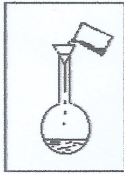
L. A. S. A. Ingenieros
Laboratorio de Analisis de Suelos y Aguas


ING. MIGUEL PASACHE ANGULO
GERENTE GENERAL

ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS: Asesoría - Consulta - Supervisión

Calle Catorce N° 310 - Urb. La Florida - Rimac - Lima.

Telefax: 481-3311 - Celular 99992-1506 - ✉ lasaingenieros@hotmail.com



LABORATORIOS "LASA" INGENIEROS

ANÁLISIS DE SUELOS

PROCEDENTE DE : **PROYECTO DE TESIS:**
ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON
CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ PARA EL
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

UBICACIÓN : **MOYOBAMBA - SAN MARTIN**

INFORMADO A : **AXEL FRANCO CASTRO CUADRA**

FECHA : **LIMA 02 DE AGOSTO DE 2017**

N° DE CAMPO	Suelo Natural
Materia Organica %	0.15

La Muestra fue tomada por el interesado

INFORMADO POR:

L. A. S. A. Ingenieros
Laboratorio de Analisis de Suelos y Aguas


ING. MIGUEL PASACHE ANGULO
GERENTE GENERAL


ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS: Asesoría - Consulta - Supervisión


Calle Catorce N° 310 - Urb. La Florida - Rimac - Lima.


Telefax: 481-3311 - Celular 99992-1506 - ✉ lasaingenieros@hotmail.com


ANEXO C


ANALISIS DE COSTOS


		ESTIMADO DE CANTIDADES Y PRESUPUESTOS				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Octubre 2017	
Proyecto	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE				Departamento	San Martín	
Elaborado	Bach. Castro Cuadra, Axel Franco				Provincia	Moyobamba	
Item	Descripción	UM	Cantidad Total	Precio Unitario (S/.)	Precio Parcial (S/.)	Sub Total (S/.)	
01	REEMPLAZO DE MATERIAL					878,941.00	
01.01	OBRAS PRELIMINARES					609,695.80	
01.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000.00	0.85	5,950.00		
01.01.02	Perfilado y compactado de subrasante (e=15 cm)	m3	1,050.00	2.48	2,604.00		
01.01.03	Transporte de material de préstamo D=1 km	m3	2,940.00	6.47	19,021.80		
01.01.04	Transporte de material de préstamo D=1 km, D=135 km	m3	306,900.00	1.30	515,970.00		
01.01.05	Compactado de material de afirmado, e=350 mm	m3	2,450.00	27.00	66,150.00		
01.02	Afirmado					269,245.20	
01.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	1,260.00	10.00	12,600.00		
01.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	1,260.00	6.47	8,152.20		
01.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km, D=135 km	m3	170,100.00	1.30	221,130.00		
01.02.04	Compactado de material de afirmado, e=150 mm	m3	1,050.00	26.06	27,363.00		
02	ESTABILIZACIÓN CAL+CCA 10 %					562,509.21	
02.01	OBRAS PRELIMINARES					288,854.01	
02.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
02.01.02	Compra de CAL	kg	376,202	0.50	188,101.07		
02.01.03	Compra de CCA	kg	1,254,007	0.00	0.00		
02.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	376,202	0.01	4,514.43		
02.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	1,254,007	0.07	90,288.51		
02.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con cal y CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
02.02	Afirmado					270,232.20	
02.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	1,260.00	10.00	12,600.00		
02.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	1,260.00	6.47	8,152.20		
02.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km, D=135 km	m3	170,100.00	1.30	221,130.00		
02.02.04	Compactado de material de afirmado, e=150 mm	m3	1,050.00	27.00	28,350.00		
03	ESTABILIZACIÓN CCA 10 %					603,948.63	
03.01	OBRAS PRELIMINARES					153,561.63	
03.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
03.01.02	Compra de CAL	kg	0	0.50	0.00		
03.01.03	Compra de CCA	kg	2,059,836	0.00	0.00		
03.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	0	0.01	0.00		
03.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	2,059,836	0.07	144,188.63		
03.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
03.02	Afirmado					450,387.00	
03.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	2,100.00	10.00	21,000.00		
03.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	2,100.00	6.47	13,587.00		
03.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km, D=135 km	m3	283,600.00	1.30	368,660.00		
03.02.04	Compactado de material de afirmado, e=250 mm	m3	1,750.00	27.00	47,250.00		
04	ESTABILIZACIÓN CAL+CCA 20 %					620,274.25	
04.01	OBRAS PRELIMINARES					346,619.05	
04.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
04.01.02	Compra de CAL	kg	348,096	0.50	174,047.54		
04.01.03	Compra de CCA	kg	2,320,634	0.00	0.00		
04.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	348,096	0.01	4,177.14		
04.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	2,320,634	0.07	162,444.37		
04.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con cal y CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
04.02	Afirmado					270,232.20	
04.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	1,260.00	10.00	12,600.00		
04.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	1,260.00	6.47	8,152.20		
04.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km, D=135 km	m3	170,100.00	1.30	221,130.00		
04.02.04	Compactado de material de afirmado, e=150 mm	m3	1,050.00	27.00	28,350.00		
05	ESTABILIZACIÓN CCA 20 %					586,523.46	
05.01	OBRAS PRELIMINARES					228,213.86	
05.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
05.01.02	Compra de CAL	kg	0	0.50	0.00		
05.01.03	Compra de CCA	kg	3,126,298	0.00	0.00		
05.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	0	0.01	0.00		
05.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	3,126,298	0.07	218,840.86		
05.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
05.02	Afirmado					360,309.60	
05.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	1,680.00	10.00	16,800.00		
05.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	1,680.00	6.47	10,869.60		
05.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km, D=135 km	m3	226,800.00	1.30	294,840.00		
05.02.04	Compactado de material de afirmado, e=200 mm	m3	1,400.00	27.00	37,800.00		
06	ESTABILIZACIÓN CAL+CCA 30 %					649,087.39	
06.01	OBRAS PRELIMINARES					375,432.49	
06.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
06.01.02	Compra de CAL	kg	304,853	0.50	152,426.50		
06.01.03	Compra de CCA	kg	3,048,535	0.00	0.00		
06.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	304,853	0.01	3,658.24		
06.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	3,048,535	0.07	213,397.45		
06.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con cal y CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
06.02	Afirmado					270,232.20	
06.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	1,260.00	10.00	12,600.00		
06.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	1,260.00	6.47	8,152.20		
06.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km, D=135 km	m3	170,100.00	1.30	221,130.00		
06.02.04	Compactado de material de afirmado, e=150 mm	m3	1,050.00	27.00	28,350.00		


		ESTIMADO DE CANTIDADES Y PRESUPUESTOS				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Octubre 2017	
Proyecto	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE				Departamento	San Martín	
Elaborado	Bach. Castro Cuadra, Axel Franco				Provincia	Moyobamba	
Item	Descripción	UM	Cantidad Total	Precio Unitario (S/.)	Precio Parcial (S/.)	Sub Total (S/.)	
07	ESTABILIZACION CCA 30 %					845,979.54	
07.01	OBRAS PRELIMINARES					395,592.54	
07.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
07.01.02	Compra de CAL	kg	0	0.50	0.00		
07.01.03	Compra de CCA	kg	5,517,422	0.00	0.00		
07.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	0	0.01	0.00		
07.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	5,517,422	0.07	386,219.54		
07.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
07.02	Afirmado					450,387.00	
07.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	2,100.00	10.00	21,000.00		
07.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	2,100.00	6.47	13,587.00		
07.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D>1 km, D=135 km	m3	283,500.00	1.30	368,550.00		
07.02.04	Compactado de material de afirmado, e=250 mm	m3	1,750.00	27.00	47,250.00		
08	ESTABILIZACION CAL+CCA 40 %					912,749.54	
08.01	OBRAS PRELIMINARES					549,016.94	
08.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
08.01.02	Compra de CAL	kg	375,738	0.50	187,869.00		
08.01.03	Compra de CCA	kg	5,009,844	0.00	0.00		
08.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	375,738	0.01	4,508.86		
08.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	5,009,844	0.07	350,689.08		
08.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con cal y CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
08.02	Afirmado					360,309.60	
08.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	1,680.00	10.00	16,800.00		
08.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	1,680.00	6.47	10,869.60		
08.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D>1 km, D=135 km	m3	226,800.00	1.30	294,840.00		
08.02.04	Compactado de material de afirmado, e=200 mm	m3	1,400.00	27.00	37,800.00		
09	ESTABILIZACION CCA 40 %					854,071.78	
09.01	OBRAS PRELIMINARES					403,684.78	
09.01.01	Limpieza de terreno con equipo	m2	7,000	0.85	5,950.00		
09.01.02	Compra de CAL	kg	0	0.50	0.00		
09.01.03	Compra de CCA	kg	6,571,863	0.00	0.00		
09.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km	Kg	0	0.01	0.00		
09.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km	Kg	6,571,863	0.06	394,311.78		
09.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con CCA, e=150 mm	m3	1,050	3.26	3,423.00		
09.02	Afirmado					450,387.00	
09.02.01	Procesamiento de material o compra	m3	2,100.00	10.00	21,000.00		
09.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km	m3	2,100.00	6.47	13,587.00		
09.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D>1 km, D=135 km	m3	283,500.00	1.30	368,550.00		
09.02.04	Compactado de material de afirmado, e=250 mm	m3	1,750.00	27.00	47,250.00		

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	
Proyecto ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		Departamento		San Martín		
Elaborado Bach. Castro Cuadra, Axel Franco		Provincia		Moyobamba		
Código	Descripción	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
PROYECTO DE INVESTIGACION						
Partida	01.01.01	Limpieza de terreno con equipo				
Rendimiento	m2/DIA 1,800.0000	EQ. 1,800.0000	Costo unitario directo por : m2		0.85	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0044	14.81	0.07
	Equipos					
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0044	177.14	0.78
						0.78
Partida	01.01.02	Perfilado y compactado de subrasante (e=15 cm)				
Rendimiento	m3/DIA 1,200.0000	EQ. 1,200.0000	Costo unitario directo por : m3		2.48	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0267	14.81	0.40
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.40	0.02
03011000060002	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSA	hm	1.0000	0.0067	94.82	0.64
03012000010001	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0067	177.14	1.19
						1.85
	Subpartidas					
010703081102	TRANSPORTE DE AGUA	m3		0.0125	18.69	0.23
						0.23
Partida	01.01.03	Transporte de material de prestamo D=1 km				
Rendimiento	m3/DIA 400.0000	EQ. 400.0000	Costo unitario directo por : m3		6.47	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010004	OFICIAL	hh	0.3500	0.0070	16.47	0.12
	Equipos					
03011600010004	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 160-195 HP	hm	0.3500	0.0070	203.62	1.43
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0200	245.84	4.92
						6.35
Partida	01.01.04	Transporte de material de prestamo D>1 km				
Rendimiento	m3/DIA 1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m3		1.30	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos					
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0053	245.84	1.30
						1.30
Partida	01.01.05	Compactacion de material de prestamos				
Rendimiento	m3/DIA 300.0000	EQ. 300.0000	Costo unitario directo por : m3		27.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0800	14.81	1.18
	Materiales					
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.2500	10.00	12.50
	Equipos					
03010400030002	MOTOBOMBA 3" (7 HP)	día	1.0000	0.0033	23.43	0.08
03011900020002	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-25	hm	1.0000	0.0267	153.06	4.09
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0267	177.14	4.73
03012200050002	CAMION CISTERNA (3,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0267	165.68	4.42
						13.32

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	
Proyecto		ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE			Departamento	San Martín
Elaborado		Bach. Castro Cuadra, Axel Franco			Provincia	Moyobamba
Código	Descripción	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
PROYECTO DE INVESTIGACION						
Partida	01.02.01	Procesamiento de material o compra				
Rendimiento	m3/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : m3		10.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Materiales					
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.0000	10.00	10.00
						10.00
Partida	01.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km				
Rendimiento	m3/DIA 400.0000	EQ. 400.0000	Costo unitario directo por : m3		6.47	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010004	OFICIAL	hh	0.3500	0.0070	16.47	0.12
						0.12
	Equipos					
03011600010004	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 160-195 HP	hm	0.3500	0.0070	203.62	1.43
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0200	245.84	4.92
						6.35
Partida	01.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D>1 km				
Rendimiento	m3/DIA 1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m3		1.30	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos					
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0053	245.84	1.30
						1.30
Partida	01.02.04	Compactado de material de afirmado				
Rendimiento	m3/DIA 200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : m3		26.06	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.0800	20.07	1.61
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0400	14.81	0.59
						2.20
	Materiales					
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		0.3900	10.00	3.90
						3.90
	Equipos					
03010400030002	MOTOBOMBA 3" (7 HP)	día	1.0000	0.0050	23.43	0.12
03011900020002	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-25	hm	1.0000	0.0400	153.06	6.12
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0400	177.14	7.09
03012200050002	CAMION CISTERNA (3,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0400	165.68	6.63
						19.96
Partida	02.01.01	Limpieza de terreno con equipo				
Rendimiento	m2/DIA 1,800.0000	EQ. 1,800.0000	Costo unitario directo por : m2		0.85	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0044	14.81	0.07
						0.07
	Equipos					
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0044	177.14	0.78
						0.78
Partida	02.01.02	Compra de CAL				
Rendimiento	kg/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : kg		0.50	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Materiales					
0213020002	CAL HIDRATADA	kg		1.0000	0.50	0.50
						0.50

		ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL	
						Octubre 2017	
Proyecto	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE				Departamento	San Martin	
Elaborado	Bach. Castro Cuadra, Axel Franco				Provincia	Moyobamba	
Código	Descripción	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)		
PROYECTO DE INVESTIGACION							
Partida	02.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km					
Rendimiento	Kg/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : Kg		0.01		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Materiales						
0203030001	TRANSPORTE	m3		0.1000	0.06	0.01	
						0.01	
Partida	02.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km					
Rendimiento	Kg/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : Kg		0.06		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Materiales						
0203030001	TRANSPORTE	m3		1.0000	0.06	0.06	
						0.06	
Partida	02.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con cal y CCA (e=15 cm)					
Rendimiento	m3/DIA 1,350.0000	EQ. 1,350.0000	Costo unitario directo por : m3		3.26		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0006	24.08	0.01	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0059	16.47	0.10	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0356	14.81	0.53	
						0.64	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.64	0.03	
0301190002	RODILLO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0059	94.82	0.56	
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	1.0000	0.0059	177.14	1.05	
03012200050001	CAMION CISTERNA (2,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0059	165.68	0.98	
						2.62	
Partida	02.02.01	Procesamiento de material o compra					
Rendimiento	m3/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : m3		10.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Materiales						
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.0000	10.00	10.00	
						10.00	
Partida	02.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km					
Rendimiento	m3/DIA 400.0000	EQ. 400.0000	Costo unitario directo por : m3		6.47		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	0.3500	0.0070	16.47	0.12	
						0.12	
	Equipos						
03011600010004	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 160-195 HP	hm	0.3500	0.0070	203.62	1.43	
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0200	245.84	4.92	
						6.35	
Partida	02.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D>1 km					
Rendimiento	m3/DIA 1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m3		1.30		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos						
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0053	245.84	1.30	
						1.30	

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Octubre 2017	
Proyecto	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE				Departamento	San Martín	
Elaborado	Bach. Castro Cuadra, Axel Franco				Provincia	Moyobamba	
Código	Descripción			Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
PROYECTO DE INVESTIGACION							
Partida	02.02.04	Compactado de material de afirmado					
Rendimiento	m3/DIA	300.0000	EQ. 300.0000	Costo unitario directo por : m3		27.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0800	14.81	1.18	1.18
Materiales							
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.2500	10.00	12.50	12.50
Equipos							
03010400030002	MOTOBOMBA 3" (7 HP)	dia	1.0000	0.0033	23.43	0.08	
03011900020002	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-25	hm	1.0000	0.0267	153.06	4.09	
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0267	177.14	4.73	
03012200050002	CAMION CISTERNA (3,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0267	165.68	4.42	13.32
Partida	03.01.01	Limpieza de terreno con equipo					
Rendimiento	m2/DIA	1,800.0000	EQ. 1,800.0000	Costo unitario directo por : m2		0.85	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0044	14.81	0.07	0.07
Equipos							
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0044	177.14	0.78	0.78
Partida	03.01.02	Compra de CAL					
Rendimiento	kg/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : kg		0.50		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Materiales							
0213020002	CAL HIDRATADA	kg		1.0000	0.50	0.50	0.50
Partida	03.01.04	Transporte de CAL a usar en subrasante D=1 km					
Rendimiento	Kg/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : Kg		0.01		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Materiales							
0203030001	TRANSPORTE	m3		0.1000	0.06	0.01	0.01
Partida	03.01.05	Transporte de CCA a usar en subrasante D=1 km					
Rendimiento	Kg/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : Kg		0.06		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Materiales							
0203030001	TRANSPORTE	m3		1.0000	0.06	0.06	0.06
Partida	03.01.06	Perfilado y compactado de subrasante estabilizado con cal y CCA (e=15 cm)					
Rendimiento	m3/DIA	1,350.0000	EQ. 1,350.0000	Costo unitario directo por : m3		3.26	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0006	24.08	0.01	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0059	16.47	0.10	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0356	14.81	0.53	0.64
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.64	0.03	
0301190002	RODILLO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0059	94.82	0.56	
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	1.0000	0.0059	177.14	1.05	
03012200050001	CAMION CISTERNA (2,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0059	165.68	0.98	2.62

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Octubre 2017	
Proyecto	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE			Departamento	San Martín	
Elaborado	Bach. Castro Cuadra, Axel Franco			Provincia	Moyobamba	
Código	Descripción	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
PROYECTO DE INVESTIGACION						
Partida	03.02.01	Procesamiento de material o compra				
Rendimiento	m3/DIA	EQ.	Costo unitario directo por : m3		10.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Materiales					
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.0000	10.00	10.00
						10.00
Partida	03.02.02	Transporte de material a usar en subrasante D=1 km				
Rendimiento	m3/DIA 400.0000	EQ. 400.0000	Costo unitario directo por : m3		6.47	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010004	OFICIAL	hh	0.3500	0.0070	16.47	0.12
						0.12
	Equipos					
03011600010004	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 160-195 HP	hm	0.3500	0.0070	203.62	1.43
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0200	245.84	4.92
						6.35
Partida	03.02.03	Transporte de material a usar en subrasante D>1 km				
Rendimiento	m3/DIA 1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m3		1.30	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos					
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0053	245.84	1.30
						1.30
Partida	03.02.04	Compactado de material de afirmado				
Rendimiento	m3/DIA 300.0000	EQ. 300.0000	Costo unitario directo por : m3		27.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0800	14.81	1.18
						1.18
	Materiales					
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.2500	10.00	12.50
						12.50
	Equipos					
03010400030002	MOTOBOMBA 3" (7 HP)	día	1.0000	0.0033	23.43	0.08
03011900020002	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-25	hm	1.0000	0.0267	153.06	4.09
03012000010002	MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	1.0000	0.0267	177.14	4.73
03012200050002	CAMION CISTERNA (3,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0267	165.68	4.42
						13.32

ANEXO D
PANEL FOTOGRAFICO

ENSAYOS EN LABORATORIO



Figura 1: Peso de ceniza de cáscara de arroz para respectivas combinaciones



Figura 2: Peso de suelo para respectivas combinaciones



Figura 3: Manipulación de ceniza de cáscara de arroz para combinaciones usando los equipos de protección necesarios



Figura 4: Mezcla de ceniza de cáscara de arroz, cal y suelo.

) Ejecución de Análisis Granulométrico



Figura 5: Lavado de material con el tamiz de malla N° 200



Figura 6: Tamizado de suelo, ceniza o mezcla a estudiar para el análisis granulométrico.



Figura 7: Pesado de cada tamiz para el ensayo de análisis granulométrico.

) Ejecución de límites de Atterberg



Figura 8: Equipo necesario para ejecución de límite líquido.



Figura 9: Ejecucion de abertura en la copa Casa Grande para límite líquido



Figura 10: Realización de cilindros de 3,2 mm para el ensayo de límite plástico

) Ejecución de ensayos de Gravedad específica



Figura 11: Desairado de agua mediante ebullición.



Figura 12: Llenado de picnómetros con agua destilada.

) Ejecución de ensayo de Proctor modificado



Figura 13: Compactación de primera capa con pisón de 10 lb.

) Ejecución de ensayo CBR



Figura 14: Instrumentos necesarios para la realización de ensayo CBR



Figura 15: Prensa utilizada en las instalaciones del laboratorio geotécnico del CISMID



Figura 16: Colocación de moldes en poza de saturación



Figura 17: Instalación de molde de 56 golpes para la penetración con la prensa de CBR



Figura 18: Penetración de molde para la ejecución del ensayo CBR.



Figura 19: Culminación de ensayo con penetración de 0.5" en cada molde.

) Ejecución de ensayo de compresión no confinada



Figura 20: Moldeo de muestra a ensayar.



Figura 21: Colocación de suelo por capas.



Figura 22: Compactación de suelo por capas.



Figura 23: Muestras de suelo-CCA para la ejecución del ensayo de Compresión No Confinada



Figura 24: Muestras de suelo-CCA-CAL para la ejecución del ensayo de Compresión No Confinada



Figura 25: Falla frágil de la mezcla Ceniza 20% con suelo 80%.

) Ejecución de ensayos químicos



Figura 26: Preparación de muestra para la ejecución de ensayo



Figura 27: Muestras preparadas para la ejecución del ensayo



Figura 28: Equipo de Difracción de Rayos X

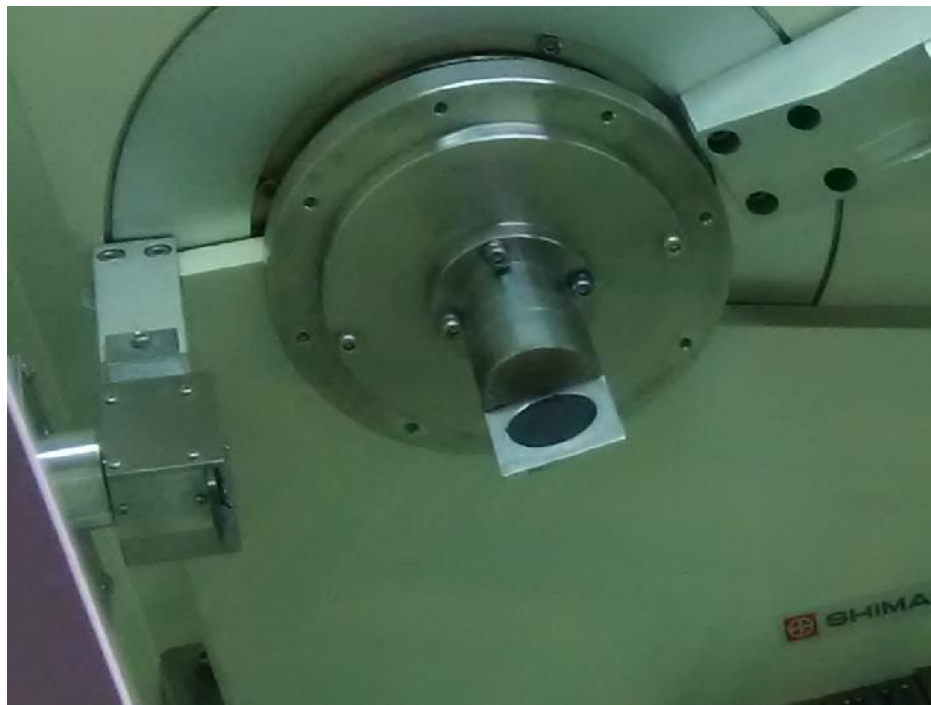


Figura 29: Ingreso de muestra al equipo de Difraccion de Rayos X



Figura 31: Ejecución de ensayo de Difracción de Rayos X



Figura 30: Inspección del ensayo de difracción de Rayos X en instalaciones del laboratorio de Rayos X del INGEMMET



Figura 32: Ejecución de ensayo de materia orgánica de muestras de suelo y ceniza de cáscara de arroz



Figura 33: Visita a las instalaciones del laboratorio LASA para realización de ensayo de materia orgánica