



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Facultad de INGENIERÍA

Carrera de INGENIERÍA CIVIL

**“INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CENIZA
DE CÁSCARAS DE ARROZ Y RESIDUOS DE
CONCHAS DE ABANICO SOBRE EL ÍNDICE DE
CBR EN LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO
ARCILLOSO, EN EL DISTRITO DE SAN PEDRO
DE LLOC”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Vagnner Manuel Romero Ferrer
Henry Rubén Solar Zegarra

Asesor:

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios, por su amor y guiarme en todo momento dándome la fortaleza para seguir siempre.

A mi madre Elena Ferrer Saldaña por inculcarme esa fuerza y optimismo para no rendirme nunca y a mi padre Beto Romero Q.E.P.D. por su amor dado hasta cuando estuvo presente; a mis hermanos Vannia y Marcelo por su apoyo dado.

En especial a mi esposa Fiorela y a mi hija Mia por ser mi apoyo incondicional en todo tiempo y ser los pilares y la motivación día a día para superarme, con mucho amor.

Vagner

DEDICATORIA

A Dios por darme paciencia y fuerzas para lograr mis objetivos trazados.

A mis padres Víctor y Fany, quienes me dieron la vida, siempre estuvieron en cada etapa de mi formación, ellos me guiaron y educaron para ser una persona de bien, sobre todo por su apoyo y amor incondicional.

A mi hermano Jurgen por su apoyo en todo momento.

A mi familia hermosa Claudia y André, quienes son el motor de mi vida y apoyaron en esta ardua labor de la culminación de mi carrera profesional, a todos ellos por su sacrificio y confianza que depositaron en mi para seguir adelante.

Henry

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por brindarnos una educación de primera en nuestra carrera profesional, contando con destacados profesionales que nos inculcaron valores y transmitieron sus conocimientos a lo largo de esta importante etapa de nuestra vida.

A nuestro asesor, Ing. Wiston Henry Azañedo Medina, por confiar en nosotros, y permitirnos realizar este proyecto, para el cual puso a disposición su tiempo, apoyándonos en cada momento y reforzando nuestros conocimientos para el desarrollo de una correcta investigación, sin dejar de lado la importancia de los valores y la ética, demostrándonos la formación de un buen profesional, por ello, nuestro más grande agradecimiento y admiración.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN	9
1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.1.1. Antecedente	13
1.1.2. Bases teóricas	15
1.2. Formulación del problema	35
1.3. Objetivos	36
1.3.1. Objetivo general	36
1.3.2. Objetivos específicos	36
1.4. Justificación	37
1.5. Hipótesis	40
1.5.1. Hipótesis general	40
1.5.2. Hipótesis específicas	40
2. CAPITULO II. METODOLOGÍA	41
2.1. Tipo de investigación	41
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	42
2.2.1. Universo objetivo	42
2.2.2. Universo muestral	42
2.2.3. Población	42
2.2.4. Muestra	42
2.3. Operacionalización de variables	43
2.4. Materiales, instrumentos y métodos	44
2.4.1. Materiales	44
2.4.2. Instrumentos	44
2.4.3. Método	45
2.5. Procedimiento	46
3. CAPITULO III. RESULTADOS	66
3.1. Caracterizaciones del suelo	66

3.1.1.	Contenido de humedad	66
3.1.2.	Límites de Atterberg	66
3.1.3.	Análisis Granulométrico	67
3.1.4.	Clasificación S.U.C.S.	71
3.1.5.	Clasificación AASHTO	72
3.2.	Próctor modificado	73
3.2.1.	Próctor modificado para suelo	73
3.2.2.	Próctor modificado para suelo con adición de cenizas de cáscara de arroz (CCA) y cenizas de residuos de concha de abanico (RCCA)	74
3.3.	Índice CBR	76
3.3.1.	Índice CBR para suelo	76
3.3.2.	Próctor modificado para suelo con adición de cenizas de cáscara de arroz (CCA) y cenizas de residuos de concha de abanico (RCCA)	77
3.4.	Análisis térmico diferencial (ATD)	80
3.5.	Análisis termo gravimétrico (ATG).....	82
3.6.	Difracción de rayos X (DRX).....	84
3.7.	Análisis de Varianza (ANAVA).....	88
4.	CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	89
1.1.	Discusión	89
1.2.	Conclusiones	96
	REFERENCIAS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Componentes solidos de un suelo.....	16
Tabla N° 2: Composición química (porcentaje en peso).....	27
Tabla N° 3: Composición química de diferentes cáscaras de arroz calcinadas.....	31
Tabla N° 4: Variables independiente y niveles de estudio	41
Tabla N° 5: Variables dependiente.....	41
Tabla N° 6: Matriz de diseño experimental.....	42
Tabla N° 7: Matriz de consistencia	43
Tabla N° 8: Operacionalización de variables	43
Tabla N° 9: Guía matriz para el análisis granulométrico	51
Tabla N° 10: Guía matriz para el contenido de humedad	53
Tabla N° 11: Guía matriz para el límite líquido.....	54
Tabla N° 12: Guía matriz para el límite plástico.....	55
Tabla N° 13: Sistema de clasificación de suelos unificado (SUCS)	58
Tabla N° 14: Sistema de clasificación de suelos AASHTO.....	59
Tabla N° 15: Porcentajes de cáscara de arroz y concha de abanico.....	61
Tabla N° 16: Guía matriz para Próctor modificado.....	63
Tabla N° 17: Guía matriz para ensayo CBR	64
Tabla N° 18: Resumen de contenidos de humedad.....	66
Tabla N° 19: Resumen de límites líquidos.....	66
Tabla N° 20: Resumen de límites plásticos.....	66
Tabla N° 21: Resumen de índices de plasticidad	67
Tabla N° 22: Granulometría - Calicata 01.....	67
Tabla N° 23: Granulometría - Calicata 02.....	68
Tabla N° 24: Granulometría – Calicata 03	69
Tabla N° 25: Granulometría - Calicata 04.....	70
Tabla N° 26: Clasificación granulométrica	71
Tabla N° 27: Resumen datos para clasificación SUCS	72
Tabla N° 28: Proctor modificado para suelo original.....	73
Tabla N° 29: Próctor modificado para las combinaciones de suelo con CCA y RRCA	74
Tabla N° 30: Promedio de densidad máxima y humedad máxima	75
Tabla N° 31: Índice CBR, suelo original.....	76
Tabla N° 32: Índice CBR para las combinaciones de suelo con CCA y RRCA.....	77
Tabla N° 33: Promedio de los valores para Índice CBR	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Carretera sin pavimentar	11
Figura N° 2: Botadero de conchas de abanico	12
Figura N° 3: Residuos cáscaras de arroz.....	13
Figura N° 4: Distribución geográfica de la producción de conchas de abanico	25
Figura N° 5: Conchas de abanico.....	26
Figura N° 6: Principales países productores de conchas de abanico, año 2009.....	26
Figura N° 7: Partes de la concha de abanico.....	27
Figura N° 8: Producción de Arroz en el año 2009	29
Figura N° 9: Mapa de Elevaciones de la Provincia de Pacasmayo	32
Figura N° 10: Distribución espacial de centros poblados sector oeste.....	33
Figura N° 11: Mapa de suelos del departamento de la Libertad	35
Figura N° 12: Esquema del problema de investigación	36
Figura N° 13: Ubicación del CP San Rafael	47
Figura N° 14: Ubicación Satelital del acceso CP San Rafael	48
Figura N° 15: Ubicación Satelital del CP San Rafael	48
Figura N° 16: Carretera de acceso CP San Rafael (Área de estudio).....	49
Figura N° 17: Ubicación Satelital de ACUAPESCA SAC	49
Figura N° 18: Ubicación Satelital del Molino SAMAN	50
Figura N° 19: Curva granulométrica - Calicata 01	68
Figura N° 20: Curva granulométrica - Calicata 02.....	69
Figura N° 21: Curva granulométrica - Calicata 03	70
Figura N° 22: Curva granulométrica - Calicata 04	71
Figura N° 23: Carta de plasticidad	72
Figura N° 24: Clasificación fracción limoso-arcillosa.....	73
Figura N° 25: Comparación de índices CBR para 0.1" y 0.2"	79
Figura N° 26: ATD para concha de abanico	80
Figura N° 27: ATD para cáscara de arroz	81
Figura N° 28: ATG para concha de abanico	82
Figura N° 29: ATG para concha de abanico	83
Figura N° 30: DRX para conchas de abanico	84
Figura N° 31: DRX para conchas de abanico calcinadas.....	85
Figura N° 32: DRX para cáscaras de arroz	86
Figura N° 33: DRX para ceniza de cáscaras de arroz	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1.	50
Ecuación N° 2.	57
Ecuación N° 3.	57

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz (CCA) y residuos de conchas de abanico (RCCA), sobre el índice CBR del suelo perteneciente a la carretera de acceso al Centro Poblado San Rafael, en el distrito de San Pedro de Lloc. Cuyas variables independientes tienen las adiciones de 4%, 6% y 8% de CCA y 1%, 2% y 3% de RCCA, siendo el principal objetivo el determinar la mejor combinación de cenizas de cáscaras de arroz y residuos de concha de abanico, que reporte el mayor incremento del índice CBR, resultando la mejor combinación la de 3% RCCA más 8% CCA, con un valor de 51.37% para un índice CBR 0.1” y 52.60% para un índice CBR 0.2””; al comparar dichos valores, con el obtenido del suelo natural de 8.13% y 8.63% para índice CBR 0.1” y 0.2””, es claro el incremento obtenido. Dicho aumento es atribuido a la efectiva estabilización del suelo, debido a la composición química que presenta la ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico, cuyos materiales contienen altas cantidades de óxido de calcio (CaO) y dióxido de silicio (SiO₂).

Palabras clave: Ceniza de cáscaras de arroz, Residuos de conchas de abanico, Índice CBR.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A lo largo de los años a nivel mundial, el desconocimiento del tipo de suelo o la desinformación de la importancia de este, ha traído trágicas pérdidas no solo económicas sino también humanas, entre ellos los suelos expansivos han significado un gran problema para la construcción de edificaciones o urbanizaciones en diferentes partes del mundo, dicho problema radica en la falta de investigación de como estabilizar un suelo con elementos naturales, existen diversos elementos químicos que ayudan a la estabilización de un suelo, pero los componentes que forman dichos elementos llegan a deteriorar la capa terrestre siendo este un futuro problema.

Países en como Estados Unidos y Rusia, han calculado cuantiosas pérdidas económicas, generando preocupación por parte de los gobernantes, dado que las pérdidas ascienden a 10000 y 4000 millones de dólares, respectivamente, por reparaciones o construcción de nuevas edificaciones, pavimentaciones, entre otras. (Musso, et. al, 2003).

El Perú, no solo es un país pluricultural y con una gran diversidad de microclimas, sino también es un país con gran riqueza en su suelo, productores de tubérculos, legumbres, etc., por lo que es necesario cuidarlo, evitando usar productos químicos para mejorar la capacidad del suelo. Dado que existen diferentes zonas en donde el suelo es netamente expansivo, lo cual genera cambio en su volumen debido al clima, causando un sin número de problemas estructurales y otros tipos de daños, en edificaciones y carreteras; dichas zonas se encuentran al norte de nuestro país, en donde las caracterizas geológicas y climáticas hacen posible la existente de dicho suelo. (Agencia Agraria Pacasmayo, 2012)

En el departamento de La Libertad, se han preocupado por pavimentar las carreteras debido a que reducen el tiempo de transporte de los productos que se exporta, por lo que se han usado diversos métodos de estabilización química, contaminando y deteriorando el suelo, no obstante, se han dejado de lado a las localidades aledañas a

las provincias, siendo el caso del Centro Poblado San Rafael en el Distrito de San Pedro de Lloc, el cual es una zona de descanso para las personas que se dirigen al norte o sur de nuestro país, en dicho lugar se nota la ausencia de la pavimentación de sus calles y/o carreteras de acceso a la localidad; y para construir se debe de tener cuidado con el tipo de suelo, ya que al ser una zona agrícola está compuesto principalmente de arcillas, con contenido de humedad alto por la ubicación de la napa freática, en su mayoría es un suelo expansivo que puede generar hinchamiento en épocas lluvias y contracción en épocas de sequía, lo cual genera vacíos perjudicando a cualquier tipo de construcción; además existe una gran cantidad de partículas finas en el aire (polvo) que puede generar enfermedades respiratorias a los pobladores y transmisión de las mismas. (GRLL, 2017)



Figura N° 1: *Carretera sin pavimentar*

En el mundo existen diversos tipos de residuos orgánicos e inorgánicos, los inorgánicos tienen a tener un periodo de desintegración muy elevado, por lo que se ha implementado el reciclado de los mismos, pero cuando se habla de residuos orgánicos solo se descartan y se botan, lo cual genera zonas inhabitables por la presencia de roedores, el mal olor que produce la descomposición o entre otros problemas que terminan por afectar la calidad del suelo. (Gamarra y Portal, 2018)

Entre ellos tenemos a los residuos calcáreos de las conchas de abanico, el cual es un material abundante y disponible en el Perú, dado que se producen aproximadamente 7000 toneladas al año y a la fecha muy pocas investigaciones han tomado en cuenta

las beneficiosas aplicaciones que podrían darse a este desecho, entre ellas se han empleado para la remoción de metales pesados en aguas superficiales y la absorción de contaminantes en aguas turbias, lo novedoso de este molusco es la gran cantidad de material inorgánico que contiene, siendo el 99% de calcita, el cual al calcinarse produce óxido de calcio (CaO) empleado como material principal de los cementos. A pesar de lo mencionado, existe una excesiva acumulación de los residuos con el transcurrir del tiempo en las bahías de Sechura en Chimbote y Pisco, convirtiéndose en canteras por la gran cantidad de residuos los cuales genera, presencia de moscas, larvas, roedores entre otros animales que pueden transmitir enfermedades, además el nauseabundo olor es insostenible. (Gamarra y Portal, 2018)



Figura N° 2: Botadero de conchas de abanico

Fuente: <https://fondect.gob.pe/ciencia-al-dia/peru-usan-restos-de-conchas-de-abanico-para-producir-concreto>

Otros de los residuos que existen en gran cantidad, lo encontramos en el norte de nuestro país, específicamente en Pacasmayo el cual es uno de los mayores productores de arroz que abastece a todo el país, pero al existir gran cantidad de producto también existe gran cantidad de residuos de cáscara de arroz, el cual es acumulado por los diferentes molinos de la provincia, es cierto que parte de ese residuo es vendido como a diferentes lugares y/o personas, ya sea para la producción de adobes que genera un efecto térmico o como comida para algunos tipos de animales, pero es bien sabido que a pesar de ello aún existe gran cantidad de residuos el cual es acumulado sin brindarle ningún uso, a pesar que la calcinación de este contiene una gran cantidad de Sílice (Si)

el cual también es uno de los principales componentes del cemento. (Barrantes y Holguin, 2015)



Figura N° 3: *Residuos cáscaras de arroz.*

Fuente: http://www.alienergy.com.co/proyectos_3.html

Debido a todo lo mencionado, la presente investigación tiene como fin utilizar los residuos calcáreos de concha de abanico y la cáscara de arroz para estabilizar el suelo del acceso al centro Poblado San Rafael y a todo el distrito de San Pedro de Lloc, reduciendo la cantidad de polvo y mejorar la capacidad del suelo. Cabe recalcar que se reutilizara residuos para brinda una nueva funcionalidad, evitando de esta manera la contaminación al ambiente.

1.1.1. Antecedente

Internacionales

Barragan C. y Cuervo H. (2019) realizó la investigación titulada “*Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno -arcilloso*” tuvo como finalidad evaluar el comportamiento del suelo mediante el índice de CBR, concluyendo que con el 1% de adición de ceniza de cáscara de arroz a un suelo arcilloso, incrementa la resistencia en un 19%, recomendando emplear mayores cantidades de esta ceniza.

Nacionales

Farfan, P. (2015) realizó la investigación titulada “*Uso de concha de abanico triturada para mejoramiento de sub rasantes arenosas*” tuvo como finalidad valuar un suelo arenoso-limosos proveniente de provincia de Sechura, añadiendo diferentes tamaños de conchas de abanico; concluyendo que un tamaño de 0.85

milímetros aumenta el índice de CBR en un 49%, a comparación de la adición de concha de abanico de 9.35 milímetros.

Palomino Y. (2016) realizó la investigación titulada **“Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice California Bearing Ratio (cbr) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016”** tuvo como finalidad evaluar la cantidad adecuada de cloruro de sodio para aumentar el índice de CBR de un suelo arcilloso, el cual determinó que el índice de CBR aumentó en un 9.48% con la adición de 12% de cloruro de sodio para un índice de CBR de 0.1” y de 9.69% para un índice de CBR de 0.2”. Además, que el IP disminuye SU VALOR al incorporar mayor porcentaje de cloruro de sodio y la densidad seca aumenta de 1.900 gr/cm³ hasta 2.055 gr/cm³.

Santos, C. y Sarmiento, G. (2016) realizó la investigación titulada **“Incidencia de la adición de ceniza de cascarilla de arroz en la estabilización de suelo arcilloso, propuesto como material de sub rasante de la vía fundo Molleray San Sebastián – Cusco”** tuvo como finalidad evaluar la incidencia de cascarilla de arroz para estabilizar un suelo arcilloso, para ser utilizado como sub rasante utilizando 5%,10% y 15% de CCA, concluyendo que el mejor porcentaje fue del 5% respecto al peso del suelo mejorándolo en un 80.3% según el índice de CBR, además menciona que se debió a la reacción de SiO₂ que contiene la CCA con los componentes químicos del suelo arcillosos.

Lopez J. y Ortiz G. (2018) realizó la investigación titulada **“Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la sub rasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay”** tuvo como finalidad evaluar un suelo arcilloso estabilizado con cal para ser aplicado como sub rasante, para lo cual clasificó el suelo y determinó su compactación a diferentes porcentajes de cal, donde concluyo que el porcentaje óptimo fue del 8%, con ayuda del ensayo de soporte california (CBR) dando como resultados para un suelo sin estabilizar de 8.75% para la muestra 01 y 16.75% para una muestra dos y luego de ser estabilizado alcanzo índices CBR de 145 y 68, respectivamente. Recalcando que fue una estabilización química, en donde la activación de cal generó CaO.

Locales

Alvarado C. y Guerra A. (2018) realizó la investigación titulada “*Influencia de la adición de ceniza de cáscara de arroz activada alcalinamente sobre la estabilización ecológica de la mezcla suelo - sedimento en la provincia de Virú*” tuvo como finalidad determinar la mejor proporción suelo-sedimento con adición de ceniza de cáscara de arroz activada alcalinamente con residuo de concha de abanico, concluyendo que la mejor proporción fue de 65%-35%. Y que con el 8% de ceniza de cascar de arroz activada alcalinamente, el suelo adquiera un índice de CBR de 145 %, a comparación del índice de CBR en suelo natural obtenido un valor 5.1 %.

1.1.2. Bases teóricas

A) Suelos

Cuando se habla de suelos, se indica que este representa una parte de la corteza terrestre, compuesta en gran parte por restos de roca, resultantes de procesos erosivos y otras transformaciones por agentes físicos, químicos o generados por actividad biológica.

La parte más perceptible de nuestro planeta, es el suelo, lugar en donde se realizan diferentes actividades como siembra, cosecha, construcción de edificaciones, etc. Por lo cual se deduce que existe una diversidad de suelos y sobre este ocurren fenómenos climáticos; además, el suelo es un espacio en donde ocurren diferentes procesos como un ecosistema subterráneo de animales y cuantiosos microorganismos, generando un impacto en la productividad del suelo.

Los suelos se constituyen por la hecatombe de la roca y el acopio de los distintos disgregados con el transcurrir del tiempo, dicho proceso implica un sin número de condiciones atmosféricas, tanto físicas, químicas como biológicas, dando como consecuencia la disposición en peculiares capas, las cuales se pueden visualizando cuando se fractura la corteza terrestre. (Estela, 2019)

Composición del suelo

El suelo está conformado por compuestos sólidos, líquidos y gaseosos.

- **Sólidos:** Compuesto especialmente por rocas y sólidos orgánicos-minerales, como el humus.

Tabla N° 1: Componentes sólidos de un suelo

Compuestos sólidos	
Silicatos	: Micas, Cuarzos, Feldespatos
Óxidos de hierro	: Limonita, Goetita
Óxidos de aluminio	: Gibbsita, Boehmita
Carbonatos	: Calcita, Dolomita
Sulfatos	: Aljez
Cloruros	
Nitratos	

- **Líquidos:** El suelo presente gran cantidad de agua, pero no siempre es pura como las lagunas, ríos, en otras; sino vienen con iones y/o sales, también con sustancias orgánicas. El transporte del agua en el interior del suelo se da por capilaridad, dependiendo de la capacidad que tenga este para dejar pasar al agua (permeabilidad).
- **Gaseoso:** El suelo al igual que otros compuestos de nuestro planeta, tiene gases atmosféricos tales como oxígeno (O₂) o dióxidos de carbono (CO₂), pero existen algunos suelos que también presentan hidrocarburos gaseosos como el metano (CH₄) u óxido nitroso (N₂O), recalando que en el suelo existente una gran variedad de gases. (Estela, 2019)

Características del suelo

El suelo posee una gran importancia para la vida vegetal y animales, dado que los seres humanos consumen la diversidad de productos que se pueden cosechar del suelo, y los animales también se alimentan de algunos de esos productos, generando un ciclo de vida constante. Las propiedades del suelo

y sus incomparables características, no son cuantificables debido a la variedad que existe en cada zona, ciudad, región, país, etc. Pero a grosso modo las principales características identificables con las siguientes:

- **Fertilidad:** La productividad del suelo depende de los nutrientes que contengan tales como el nitrógeno, azufre y otros. Cabe mencionar que la existencia de agua y materia orgánica, conjuntamente con porosidad es lo que define la fertilidad el suelo.
- **Mutabilidad:** Los suelos están en una persistente mutación física y química, los cuales de poder visualizar en un largo periodo y de manera indirecta
- **Variabilidad:** Los suelos están conformador por compuestos no iguales en tamaño ni constitución, a pesar que se muestra como una mezcla homogénea, no es lo real, porque contiene rocas y elementos de desiguales en dimensión y naturaleza.
- **Solidez:** Una de las propiedades físicas del suelo es la solides y la textura que presenta, en algunos casos son densos y rígidos, otros flexibles y blandos. (Estela, 2019)

Tipos de suelos

Coexisten una gran variedad de suelos, distinguidos por la forma en cómo se generan, otros por la sedimentación de compuestos, acumulación por vientos, meteorización, entre otros. Pero podemos tipificarlos de la siguiente manera:

- **Por la estructura**
 - **Suelos humíferos:** estos se caracterizan por el color que presentan, llamados también “Tierras Negras”, dado que en su composición tienen cuantiosa materia orgánica en estado de desintegración, pero son excelentes como retenedores de agua, además son suelos inmensamente fértiles
 - **Suelos arenosos:** Este tipo de suelo no retienen agua, contiene poca materia orgánica y son infértiles, a excepción de vegetación que necesita muy poca agua para existir.

- **Suelos arcillosos:** Son suelos que tienen una alta capacidad para retener agua, pero son fáciles de inundarse, además su textura es lisa con granos finos de diversos colores, dependiendo de la zona y composición, por ejemplo, el suelo con elevada cantidad de fierro presenta una tonalidad rojiza.
- **Suelos calizos:** Suelos con alta dureza y aridez; con presencia de sales y minerales calcáreos.
- **Suelos pedregosos:** Suelos porosos e incapaces de retener agua, conformado por rocas de diferente granulometría.
- **Suelos mixtos:** Suelos que existentes por la mezcla de suelos arenosos y arcillosos.
(Estela, 2019)

- **Por las características físicas**

- **Vertisoles:** Son suelos arcillosos y de coloración negra, se encuentran cerca pendientes rocosas.
- **Litosoles:** Suelos con poca vegetación y tiene un máximo de 10 cm de profundidad, se les conoce como “Leptosoles”.
- **Luvisoles:** Son suelos arcillosos con un mínimo de 50% de agua en su composición.
- **Gleysoles:** Suelos con abundante agua constante.
- **Fluvisoles:** Son suelos con alta cantidad de calcio, también son depósitos fluviales.
- **Rendzina:** Suelos ubicados sobre piedra caliza y con alta cantidad de materia orgánica.
- **Cambiosoles:** Suelos jóvenes con acopio de arcillas.
- **Acrisoles:** Son suelos arcillosos, con un máximo de 50% de agua en su composición.
(Estela, 2019)

B) Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos presentan propiedades variables que pueden perjudicar una construcción o fortalecer otro tipo de suelo, ocasionando que al emplearlos prácticamente sean un reto por el pobre drenaje que generan, estos

tipos de suelos son llamados también “Suelos Pesados” o “Suelos Ligosos”. Otras de las propiedades que caracterizan a este suelo, es la plasticidad y la compactación natural cuando presencian ausencia de agua, pero tiene una gran expansión cuando absorben generosas cantidades de agua. (Grupo SACSA, 2015)

Estos suelos presentan características muy definidas como el tamaño de partículas extremadamente fino a comparación de otros materiales, generando una apariencia lisa en su textura. La composición del suelo arcilloso como su nombre lo indica están compuestos principalmente de arcillas, presentando una textura pesada, dura o pegajosa con ausencia o presencia de agua, respectivamente. Entre sus aplicaciones son empleadas en la alfarería por su disposición a la manipulación cuando se le agrega agua para darle la forma que se desee; este suelo ha sido empleado desde tiempos inmemorables para la fabricación de vasijas, jarros, etc. Dentro de este tipo de suelos existen diversas clasificaciones las cuales presentan diferentes niveles de pesadez, permeabilidad, dura entre otras propiedades, pero tiene una característica en común y es el mal drenaje, siendo las zonas más afectas las zonas bajas en donde se acumula el agua tales como lagos, ríos, sequias, etc. (Marcelo, 2016)

Características

Una buena característica es que, por su almacenamiento de minerales, no requieren tanto abonado, y al realizarlo se puede hacerlo de una vez, se pierde mucho menos fertilizantes que si fuera uno arenoso, en que tienes que repartirlo en más oportunidades. En el caso de los nitratos, se lavan en ambos tipos de suelos arenosos y arcillosos. Un truco muy recomendado para saber identificar si se trata de un suelo arcilloso consiste en coger una buena cantidad de este suelo: si podemos manipularlo con facilidad como lo haríamos con un chicle, estamos ante un suelo arcilloso. Podemos llegar a conseguir grandes bolas de este suelo, así como tiras de arcilla, pues se trata de un elemento de fácil moldeado que nos recordará también a la plastilina. En realidad, como digo, es muy fácil reconocerlo precisamente por esto que os comento. Como característica importante que considero recordar aquí es que el suelo en sí es impermeable, precisamente por estar compuesto por estas partículas de arcilla, por lo que cuando se moja, al no permitir la entrada de

agua, el suelo arcilloso quedará como embarrado. Sin embargo, una vez seco, tendrá la apariencia de un suelo árido, debido a las grietas que observaremos en él, pero no los confundáis, ya que solo comparten este aspecto de su apariencia al secarse. De nuevo, incluso seco, si lo tocamos, veremos que no “se rompe”, que es suave, no como sucedería con los suelos áridos, que se descompondrían en trozos pequeños de “tierra seca”, y al final, en partículas arenosas. Para saber identificarlos y distinguirlos, esto lo debéis tener muy claro. (Marcelo, 2016)

Propiedades de expansión y contracción

Dado que los suelos arcillosos tienen una alta capacidad de retención de agua, son proclives a alternar la contracción y la expansión en los inviernos cuando la tierra sufre a causa del frío. Esta expansión y contracción crea “agitaciones” por las cuales las plantas se ven expulsadas del suelo, a menudo en detrimento de las raíces. Cuando el suelo arcilloso se seca, forma una corteza y se resquebraja, inhibiendo la penetración de las raíces y que emerjan los brotes. El resquebrajamiento del suelo daña las raíces y otras partes de las plantas. (Grupo SACSA, 2015)

C) Contaminación de suelos

Al hablar de contaminación en suelos, está claro que se refiere a la disminución de la calidad del suelo por existencia de sustancias químicamente tóxicas o ajenas a su composición natural; modificando la compatibilidad con la flora, fauna y actividad humana. La contaminación ocasiona reacciones químicas, deteriorando al suelo, estas no son predecibles ni se puede controlar, algunos de los contaminantes más dañinos son el petróleo y químicos usados para agricultura o eliminación de plagas; por otro lado, los desechos de la minería y sustancia radiactivas son muy perjudiciales en los suelos, llegando a dejarlos infértiles. Una de las maneras más fáciles de detectar un suelo contaminado, es la inexistencia de vegetación o presencia de desechos tóxicos, el deterioro de un paisaje también es síntoma de la contaminación en el suelo, esta contaminación no solo afecta al suelo, sino también a la salud de los habitantes de la zona. Un punto preocupante de la contaminación en el suelo es la rapidez con la que se esparce a otros

elementos del ecosistema como agua y aire, esto se genera en épocas de lluvia, agua que lava el suelo y es transporta por capilaridad o factores superficiales a zonas con abundante agua. (Estela, 2019)

Causas y consecuencias de la contaminación

Una de las principales causas de contaminación se les atribuye a las industrias, debido a que no manipulan correctamente los residuos, entre ellas tenemos a químicos, metales pesados, toxinas, plástico y todo residuo de la actividad industrial por minera, comercial, energética, extracción de hidrocarburos, etc. Pero también influye en gran medida la falta de cultura en reciclaje de las personas, dado que en la población mundial muy pocas personas se preocupan por los efectos que puede generar en un futuro.

Las consecuencias de la contaminación en los suelos son notorias, porque se visualiza el cambio del ecosistema, con la pérdida de nutrientes q causan la infertilidad del suelo, también la incompatibilidad con la vida vegetal y animal; cuando esto sucede la naturaleza toma un largo tiempo en recuperarse y limpiarse de agentes externos y tóxicos. Las consecuencias también afectan a las propiedades del suelo, como permeabilidad y retención de agua, pH ácido, entre otros. (Estela, 2019)

D) Estabilización

La estabilización de suelos consiste en mejorar las propiedades del suelo con la adición de un material o agente químico o natural, las ventajas directas de una estabilización son: Aprovechar un suelo de baja densidad que no cumpla con las normativas, evitando la remoción y sustitución del mismo, otra ventaja es reducir la sensibilidad al agua, aumentando la resistencia a la erosión y agentes climáticos, con el fin de obtener suelos estables para el apoyo de infraestructuras. (Yepes, 2014)

Cuando se habla de pavimentos o carreteras, el principal objetivo de estabilizar un suelo radica en mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo natural que no cumple con las especificaciones que mencionan las normativas, según la aplicación o construcción que se desee realizar; entre

ellas tenemos la baja resistencia portante o su opuesto una alta expansión; siendo recomendable estabilizar un suelo con agentes naturales para logara una elevada resistencia al desgaste y aumentar el esfuerzo cortante para que puedes resistir las cargas del tránsito (carreteras) independientemente del clima, evitando deformaciones perjudiciales que podrían causar los elementos que conforman el suelo natural sin ningún agente estabilizador, entonces la estabilización también tiene como fin garantizar la durabilidad de ese estado a lo largo del tiempo. (Cuchillo, 2015)

Dicho de otra manera, un suelo que se empleara como sub rasante no puede sufrir alteraciones ni desgaste por acción de los efectos climáticos de cada zona, por lo que es necesario estabilizar el material que se usara, para mejorar las propiedades geotécnicas; entre los tipos de estabilización se contempla: procesos mecánicos, físicos, químicos, térmicos, entre otros. (Liplat, 2013)

Estabilización física

Uno de los métodos más usados de la estabilización física, consistiendo en la mezcla de elementos complementarios, pero no se logran resultados sin una previa compactación como complemento.

Un claro ejemplo se observa al emplear un suelo arenoso gravoso, el cual tiene como propiedad natural a la alta fricción interna, no es estable y no tiene cohesión entre las partículas, el cual se mezclará con un suelo arcilloso que tiene alta cohesión, y poca fricción provocando estabilidad cuando hay alta humedad, la mezcla de estos suelos genera una estabilización dado que se complementan entre sus propiedades, pero es necesario compactarlos para logre la funcionalidad. (Guevara, 2014)

Estabilización química

En este tipo es estabilización, como su nombre lo indica se emplearán sustancias químicas que involucran la sustitución de iones metálicos y cambios en la composición de los suelos.

Entre los beneficios de la estabilicen química se obtiene:

- Disminuye la presencia de polvos en un 95%
- Incrementa la capacidad de tracción

- Mantiene la humedad optima
- Mejora el tiempo de vida útil en bases granulares
- Excelente acabado superficial similar a aplicación asfáltica

Entre los compuestos más usados tenemos los siguientes:

E. con cal	:	Este tipo de estabilización es una de las más económicas, además genera una disminución en la ligosidad del suelo.
E. con cemento	:	Por lo general de usa en suelos arenosos o gravas finas para incrementar la resistencia de los suelos.
E. con productos asfálticos	:	Usado para suelos con materiales triturados sin ningún tipo de cohesión y consiste en emplear una emulsión asfáltica.
E. con cloruro de sodio	:	Empleado para suelos con alta concentración de limos y arcillas, esta estabilización genera impermeabilización y disminuye la cantidad de polvo en los suelos.
E. con cloruro de calcio	:	Utilizado para los mismos tipos de suelos que la estabilización con cloruro de sodio.
E. con escorias de fundición	:	Generalmente usado para alargar la vida útil del suelo, por que ayuda a impermeabilizar e incrementar la resistencia de las carpetas asfálticas.
E. con polímeros	:	Utilizado para los mismos tipos de suelos con escoria de fundición. (LIPLAT, 2013)

Estabilización Mecánica

Este tipo de estabilización, es aquella que logra su funcionalidad sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

Estabilización de carreteras no pavimentadas

En el Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito” menciona que:

“Existen en la práctica diversos métodos para estabilizar los suelos; cada método, utiliza diferentes agentes estabilizadores, entre los que se pueden

encontrar: La cal, el cloruro de sodio, el cemento, los asfaltos, las imprimaciones reforzadas, la Bischofita entre otros; incluso se ha utilizado la combinación de diferentes productos estabilizadores, así como la mezcla de suelos con el fin de dar soluciones óptimas a problemas particulares”. (MTC, 2013)

Según el “Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas, la capacidad portante o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de las capas de sub rasante y del afirmado”, se menciona que los valores establecidos para los diferentes diseños deben cumplir con los parámetros establecidos, siendo inadmitidos valores por debajo de los normados. Por lo que cuando un suelo no cumple con las características mínimas, se recomienda estabilizar el suelo para que pueda ser utilizado como sub rasante o en niveles inferiores a la capa de rodadura; si se empleara suelos granulares estos tiene como propiedad principal la baja estabilidad, lo que significa que el índice CBR es menor que el necesario para la funcionalidad, en este caso se recomienda emplear una mezcla con un suelo arcilloso de tal forma que se pueda obtener un suelo de mejor granulometría, plasticidad, permeabilidad, entre otras propiedades. Otra manera de estabilizar un suelo se realiza mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo” (Gutiérrez, 2010).

E) Conchas de abanico

La concha de abanico es un producto consumido en gran parte del continente americano, pero uno de los mayores productores de estos bivalvos es el Perú. En el país básicamente se dedican a la acuicultura, definiéndola como la labor y forma de comercialización productiva, en la crianza de recursos biológicos en la hidrología, dichos recursos engloban a las diferentes especies marinas tales como moluscos, crustáceos, entre otras; criadas en módulos controlados por personas capacitadas; con el fin de optimizar y suplir las condiciones naturales de los organismos. La zona costera del país y otras ciudades son las que se dedican a la acuicultura, siendo la siguiente figura un mapa representativo de los lugares donde se ejerce esta actividad. (Super foods Peru, 2011)



Figura N° 4: *Distribución geográfica de la producción de conchas de abanico*

Las conchas de abanico pertenecientes a los bivalvos bentónicos, tienen como nombre científico “*Argopecten purpuratus*”, los cuales residen en zonas protegidas del submareal, localizándose sobre fondos arenosos de mínima corriente. Cultivadas en zonas como Piura, Tacna y Casma, especie que habitan entre los 5 hasta 30 metros de profundidad, en temperaturas entre 13 y 28 °C, una de las características principales es ser un molusco filtrador de 2 valvas, es decir tiene dos placas las cuales protegen a su sistema en el interior. Este es un producto que se exporta todo el año, tiene como principales consumidores a Francia, seguido de Bélgica y Estados Unidos. (INFOPES, 2010)

En la actualidad, la actividad de acuicultura está centrada en la industrialización al cien por ciento, dado que el consumo de la parte comestible de la concha de abanico es alto, respondiendo también a la afectación que sufre cada día la pesca industrial. Uno de las zonas que produce gran cantidad de este molusco está situado en la zona costera de Ancash, Pucusana, Sechura e Ica. Cuando se habla de comercialización, a la concha de abanico a nivel internacional la conocen como Scallop.



Figura N° 5: Conchas de abanico

Fuente: <https://gestion.pe/especial/50-ideas-de-negocios/noticias/conchas-abanico-negocio-rentable-profundidad-mar-noticia-1992736>

La producción mundial en el año 2009 fue de 32 toneladas, y la participación de nuestro país conforme el transcurrir de los años ha ido aumentando a comparación de otros años, representando en el año 2000 solo el 17.80% de la producción mundial, pero en el año 2009 está incremento al 49%, esto puede visualizarse en la siguiente figura, dado que los únicos productores de conchas de abanico son Perú y Chile. (Ministerio de la producción, 2011)



Figura N° 6: Principales países productores de conchas de abanico, año 2009

Fuente: Ministerio de producción, 2011

Composición química

La concha de abanico es un órgano mineral compuesto, representando entre el 95 al 99.9% de calcita y el 0.1 al 5% de peso es valva. Esta distribución representa la fusión de proteínas, glicoproteínas, quitina y los ácidos polisacáridos, secretados por la calcificación de los tejidos durante el esqueleto génesis.

Cuando la concha de abanico es calcinada a temperaturas superiores a 800 °C, según un análisis de rayos X, indica que las partículas contienen una mezcla de Ca, CaO y CaOH. (Koyama, Sosaya y Okuda, 2003).

Tabla N° 2: *Composición química (porcentaje en peso)*

Composición Química														
C	O	Na	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Zn	Sr	Mg
23	39	<0.1	0.3	0.9	0.1	0.1	1	<0.1	36	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1

Fuente: Koyama, Sosaya y Okuda

Partes anatómicas de la concha de abanico

Las conchas de abanico tienen tres fracciones principales:

- Capa externa
- Capa media
- Capa interna (capa de nácar)

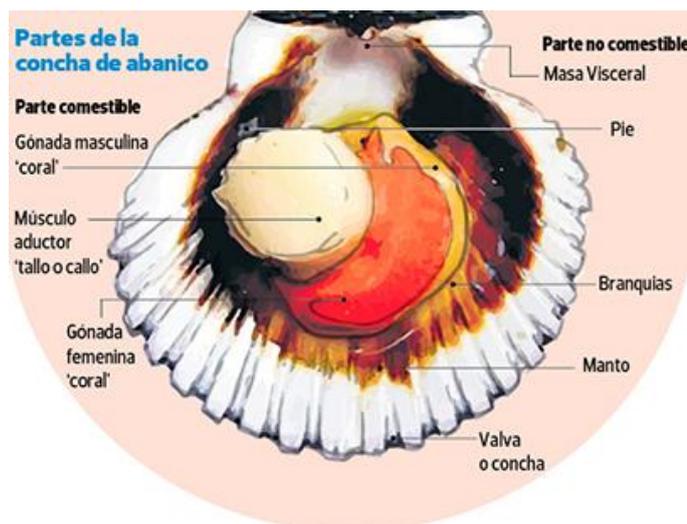


Figura N° 7: *Partes de la concha de abanico*

Fuente:

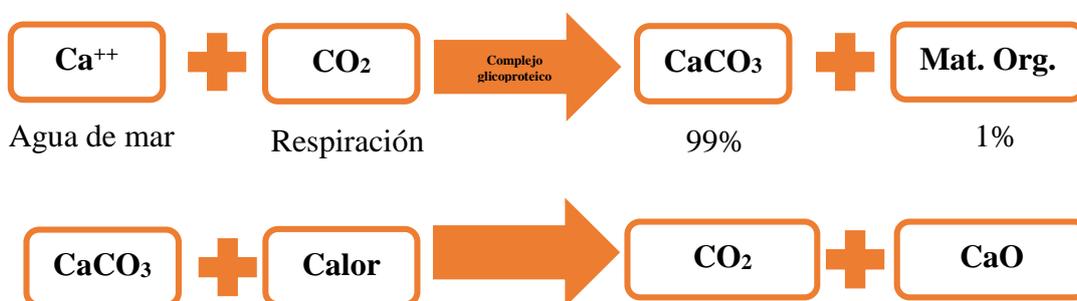
<https://www.behance.net/search/projects/?sort=views&time=all&country=PE&city=Huancayo>

Calcinación

Se sabe que la composición orgánica e inorgánica de la concha de abanico no es homogénea, siendo el 99% carbonato de calcio y 1% de material multifuncional.

Cuando se calcina los residuos calcáreos, ocurre una activación térmica en lagunas casos acompañadas de moliendas u otros agentes químicos de activación, pero en general cuando se ejerce una temperatura mayor a 800 °C, se produce óxido de calcio. (Gamarra y Portal, 20018)

La reacción química que ocurre al calcinar la concha de abanico es la siguiente:



F) El arroz

El arroz es la semilla de planta llamada científicamente “Oryza Sativa”, este cereal es considerado como el alimento básico en el arte culinario, su grano corresponde al segundo cereal más producido a nivel mundial, siendo un elemento principal para la alimentación de las personas, porque contiene un alto porcentaje de calorías.

Las regiones productoras de arroz en el país son: San Martín, Piura, Lambayeque, La Libertad y Arequipa. En el año 2009 nuestro país tenía 631 molinos activos en todo su territorio, ubicados el 56% en la zona costera y el 44% en la selva, en el mismo año se registró un record en la producción de dicho cereal alcanzado cifras de 1991 mil toneladas, significando un aumento del 7.1% a comparación de años anteriores.

En la siguiente figura, se presentan los distintos departamentos del Perú, con el porcentaje de producción a nivel nacional en el año 2009. (Cabrera, 2015)

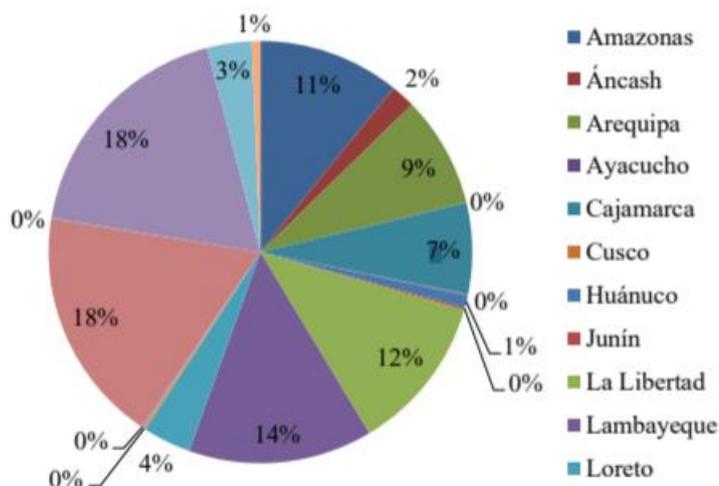


Figura N° 8: Producción de Arroz en el año 2009

Fuente: Direcciones Regionales Agrarias-DIAS 2014

En el año 2016, el Gobierno Regional de la Libertad declaró distrito de Guadalupe, en la provincia de Pacasmayo, como “Capital del Arroz”, considerándolo como el primer producto en área de siembra y cosecha con más de 380 000 hectáreas, siendo La libertad el segundo departamento en producir arroz después de San Martín. La provincia de Pacasmayo en el año 2014 reportó una producción de 175 958 toneladas de arroz, representando el 48.49% de la producción departamental y el distrito de San Pedro de Lloc registró 45 455 toneladas dando el 25.85 de la producción. (Andina,2016)

G) Cáscara de arroz

La cáscara de arroz es el subproducto de la actividad arrocera, que al no presentar propiedades nutritivas es considerada como residuo no consumible por el alto contenido de óxido de silicio, siendo este elemento tóxico para el ser humano, siendo este un desecho sin un valor agregado usado como combustible. (Yrupailla, 2010)

En el año 2006 se registró una producción de 450 mil toneladas de arroz a nivel nacional, generando 90 mil toneladas anuales de cáscara de arroz siendo este el 20% de la producción. (Cerón, 2012)

En un inicio estos residuos generaban problemas a los molinos porque no tenían espacios donde almacenarlo, pero los lugareños se han reinventado tratando de darle algún uso entre ellos tenemos: Nidos en los galpones, camas para cerdos entre otros.

Usos de la cáscara de arroz

A este desecho se le ha dado diversos usos agrícolas, en ganaderías u otros ámbitos de cada zona, pero entre los usos funcionales e investigados por personas se tiene los siguientes:

- **Producción eléctrica:** Esto puede darse gracias al poder calorífico de combustión y sus características inflamables, en la Compañía Arrocería Industrial en Liberia, se ha construido una planta que genera 1500 kv de energía eléctrica que pretende cubrir las necesidades de una empresa en el futuro.
- **Sustituto de la madera:** En México se emplea a la cáscara de arroz como un material reemplazante de la madera en la fabricación de muebles o divisiones de pared, dado que la tala de árboles ha llegado a un nivel excesivo.
- **Fabricación de cerámicos:** La cáscara de arroz al fundirse con óxidos metálicos generan una variedad de vidrio por su alto contenido de sílice, esto es aplicado en México y Estados Unidos.
- **Sustrato hidropónico:** Es usado por sus propiedades física y químicas como el largo tiempo de para su descomposición, liviano, buen drenaje y aireación.

(Molina, 2010)

Ceniza cáscara de arroz

La ceniza se obtiene de la combustión de las cáscaras de arroz, generando una alta energía de combustión aproximadamente 4 kcal/kg, valor muy por encima de estos materiales.

En el año 2015, se hizo diversa investigación sobre la ceniza de cáscara de arroz, pero una de ellas la analizó a nivel químico, comparando 5 tipos de cáscara de arroz calcinadas de diferentes lugares, obteniendo como resultado:

Tabla N° 3: Composición química de diferentes cáscaras de arroz calcinadas

Ceniza de cáscara de arroz	1	2	3	4	5
SiO ₂ (%)	92.40	94.60	87.86	91.71	86.98
Al ₂ O ₃ (%)	0.30	0.30	0.68	0.36	0.84
Fe ₂ O ₃ (%)	0.40	0.30	0.93	0.90	0.73
CaO (%)	0.70	0.40	1.30	0.86	1.40
MgO (%)	0.30	0.30	0.35	0.31	0.57
Na ₂ O (%)	0.07	0.20	0.12	0.12	2.46
K ₂ O (%)	2.54	1.30	2.37	1.67	–
Pérdida por ignición	2.31	1.80	–	3.13	5.14
Gravedad específica (g/cm ³)	2.10	2.05	–	–	2.10
Finura menor a 45 μm (%)	–	98.20	–	–	–
Tamaño medio de partícula (μm)	7.40	7.15	–	0.15	7.40

Fuente: Xinyu L., y otros, 2015

De donde se puede concluir que la ceniza de cáscara de arroz contiene hasta un 97% de óxido de silicio, estructura altamente celular, área superficial entre 50 a 100 m²/g y un diámetro menor a 45 micrómetros. (Xinyu L., y otros, 2015)

H) Suelo arcilloso en el CP San Rafael del distrito de San Pedro de Lloc

En el plan de acondicionamiento territorial de la provincia de Pacasmayo del año 2010 con el apoyo del consorcio Raymondi y la municipalidad provincial de Pacasmayo y las diversas municipales distritales conjuntamente con el gobierno regional se elaboró un mapeo de territorios de todas las zonas. En donde San Pedro de Lloc, presenta un paisaje relativamente homogéneo conformado por taludes, pequeñas colinas, zonas empinadas en el límite con Cajamarca al este de San Pedro de Lloc llegando a una altitud máxima de 2350 m.s.n.m, extensas pampas con cultivos agrícolas y planicies desérticas, teniendo al río Jequetepeque como único lecho fluvial. (Consortio Raymondi y otros)

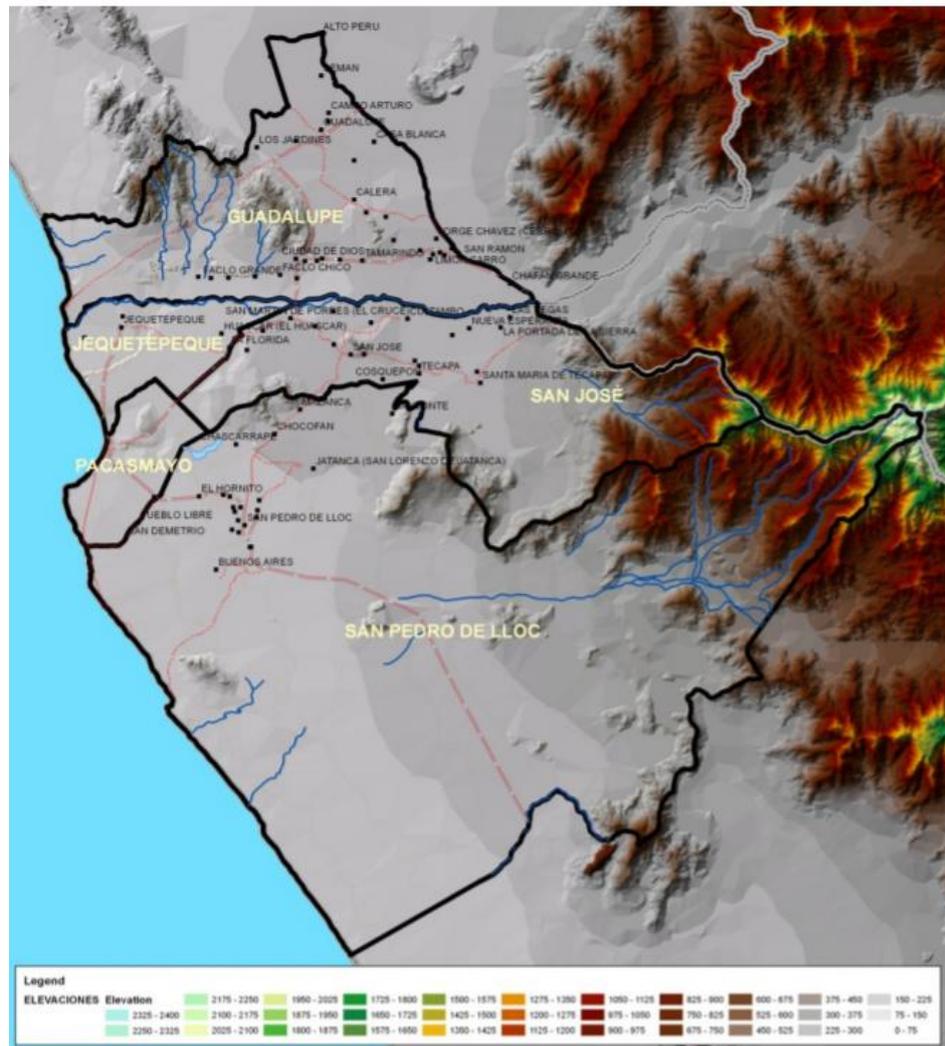


Figura N° 9: Mapa de Elevaciones de la Provincia de Pacasmayo

Fuente: Plan de acondicionamiento territorial de la provincia de Pacasmayo

En el año 2017, la Presidencia del Consejo de Ministros y el Gobierno Regional de La Libertad, en el estudio “Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación Territorial de la Provincia Pacasmayo - Tomo I” – en el capítulo 2: dinámica de centros oblatos, mención que:

“En el Sector Oeste, en esta parte del área de estudio se encuentran ubicados dos de los centros poblados más importantes y a su vez más desarrollados de la provincia Pacasmayo, el centro poblado San Pedro de Lloc y el centro poblado Pacasmayo. El centro poblado San Pedro de Lloc, actualmente cumple las funciones de capital provincial, y se encuentra ubicado en la margen izquierda de la vía panamericana (si recorremos de sur a norte)

articulando diversos centros poblados de menor jerarquía que se encuentran dispersos en esta zona”.

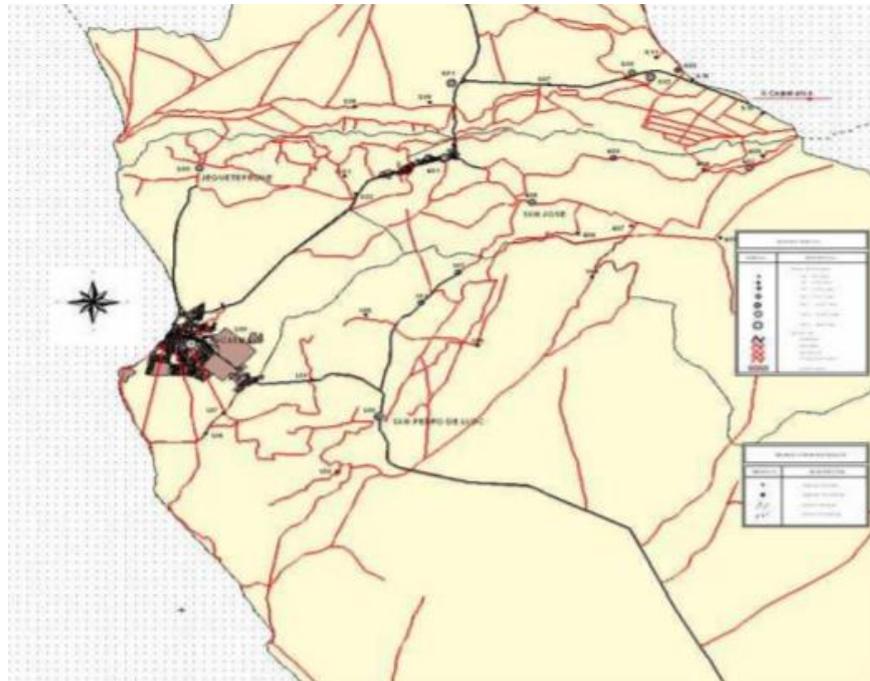


Figura N° 10: *Distribución espacial de centros poblados sector oeste*

Fuente: Mapa de vías y centros poblados, EDZ Provincia Pacasmayo

Según el informe del Ministerio de Agricultura y Riego, en el Programa de Desarrollo Productivo Agro Rural y en el informe “Línea de Base y el Análisis de los Procesos Productivos y Cadena de Valor de las Plantaciones Forestales en la Región La Libertad”, mencionó sobre los tipos de suelos que existen en el departamento de la Libertad basándose en:

Características topográficas:

- Regosoles
- Leptosoles
- Fluviosoles

Suelos minerales muy condicionados por el material sobre el que se han formado:

- Arenosoles
- Andosoles
- Vertisoles.

Suelos minerales condicionados por su edad de formación, donde el tiempo transcurrido no es todavía suficiente para que se hayan desarrollado:

- Cambisoles

Suelos que se forman en regiones que presentan condiciones climáticas húmedas o subhúmedas al menos durante gran parte del año

- Luvisoles
- Planasoles
- Podzoles

A continuación, detallamos un cuadro resumen de las descripciones de los suelos para la región La Libertad

- Arenosol háplico - Solonchak háplico
- Fluvisol éutrico - Regosol éutrico
- Leptosol dístrico - Afloramiento lítico
- Leptosol dístrico - Cambisol dístrico - Regosol dístrico
- Leptosol éutrico - Afloramiento lítico
- Leptosol lítico - Afloramiento lítico
- Regosol dístrico - Afloramiento lítico
- Regosol dístrico - Cambisol dístrico
- Regosol éutrico - Cambisol éutrico

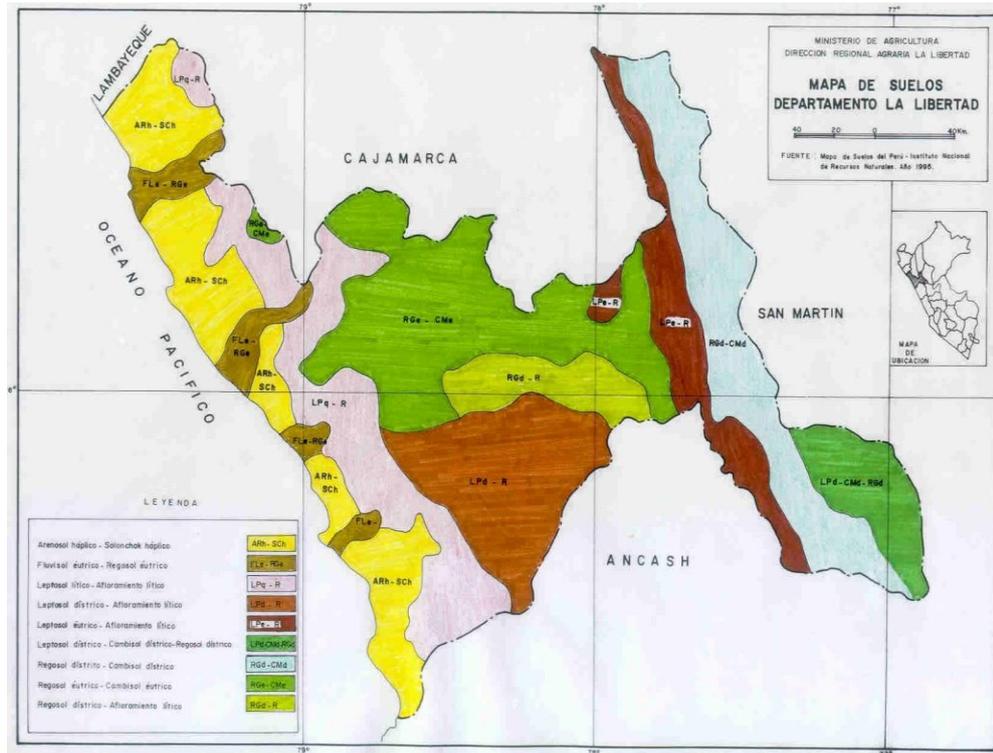


Figura N° 11: Mapa de suelos del departamento de la Libertad

De donde se concluye que, por la ubicación del Centro Poblado San Rafael, pertenece a un suelo Fluvisol éútrico lo que significaría que es un suelo formado a partir de materiales aluviales recientes aportados por los ríos y tienen un alto interés agrícola.

Además, por lo mencionado anteriormente, dicho Centro Poblado también pertenece a tipo de suelo mineral por los materiales que se han formado de nombre “Vertisol”, lo que significa que es un suelo de color oscuro que contienen abundante arcilla, material que al secarse suele producir grietas verticales, anchas y profundas. Por esto, se denominó al suelo de estudio “Suelo Arcilloso”.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc?

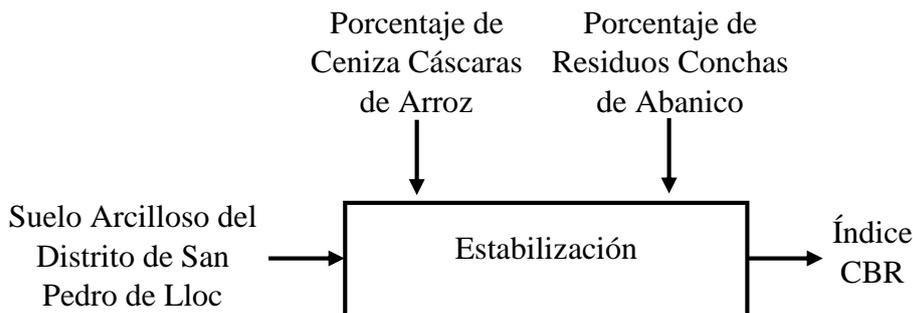


Figura N° 12: Esquema del problema de investigación

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la caracterización de materiales para el suelo del camino de acceso al Centro Poblado San Rafael, en el distrito de San Pedro de Lloc.
- Definir el análisis térmico diferencial (ATD) y análisis termogravimétrico (ATG) para la cáscara de arroz y concha de abanico.
- Comparar la difracción de rayos X de la cáscara de arroz y concha de abanico sin ningún proceso térmico con los materiales luego de las calcinaciones.
- Evaluar la comparación en los parámetros de compactación del suelo arcilloso como patrón con las dosificaciones 4%, 6% y 8% de ceniza de cáscaras de arroz y 1%, 2% y 3% de residuos de conchas de abanico.
- Determinar el índice CBR para evaluar la capacidad de soporte del suelo arcilloso como patrón y estabilizado con ceniza de cáscara de arroz y residuo de conchas de abanico.
- Establecer la mejor combinación en porcentajes de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico, para generar un mayor índice CBR.

1.4. Justificación

La razón principal para ejecutar esta investigación, fue el mejorar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en el Centro Poblado San Rafael, en el distrito de San Pedro de Lloc. Este enriquecimiento del suelo, mejorara la transitabilidad del transporte al acceso del mencionado centro poblado, de la misma manera facilitara la movilización de los pobladores que laboran en su rutina diaria, en las empresas agro industriales. Actualmente las personas se transportan en autos, camiones, camionetas, entro otros tipos de transporte, lo que genera el malestar de los pobladores debido a la precaria vía con la que cuentan, pero la aplicación de esta investigación favorece al suelo, permitiendo mejorar la calidad de vida en los habitantes y la transitabilidad de los vehículos que transportan los productos que ofrece dicho centro poblado. El estudio plantea emplear residuos de concha de abanico calcinadas generados por la empresa “ACUAPESCA” y cenizas de cáscara de arroz que es un subproducto del “MOLINO SAMÁN”. Ambos son residuos que no cuentan con un uso específico por lo que se pretenden dar el uso adecuado beneficiando al medio ambiente, dado que es una solución ecológica brindándoles un valor agregado y utilización a dichos residuos.

Visto desde un punto técnico, debido a que no se han planteado estudios en la zona, ni existe información precedente detallada sobre la capacidad de soporte del suelo en los caminos de acceso a San Rafael y al ser categorizado como centro poblado, no se le brinda la importancia por la cantidad de pobladores que este contiene, trayendo como consecuencia en gran medida, la precariedad de los caminos de acceso, ya que en su mayoría no se elabora ni ejecuta un mejoramiento en la capacidad del suelo. Siendo este de gran importancia para un posible diseño que se podría emplear, a pesar de presentar un suelo categoriza como sub rasante regular por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, no se recomienda emplearlo como tal por la alta transitabilidad de vehículos pesados, sino reforzarlo con elementos naturales y no químicos porque en la zona existe la siembre de diversos productos típicos de la zona, lo cual podría afectar a la calidad y cantidad de cosecha de los pobladores, por tal motivo se planteó mejorar la capacidad de soporte con elementos naturales como la ceniza de cáscara de arroz y residuos de concha de abanico calcinadas ricos en SiO_2 y CaO , respectivamente. Dichos elementos estabilizantes conjuntamente con el agua forman un material cementante ayudando así a elevar la capacidad de soporte del suelo arcilloso, además dichos elementos son fáciles de extraer, dado que existe gran

abundancia de ambos y el proceso de obtención es relativamente sencillo, porque solo consiste en la calcinación de ambos materiales por separado y un tamizado por la malla N° 200, para garantizar un tamaño de partícula fina (<0.0075 mm).

La presente investigación no solo enfoca en el mejoramiento de capacidad de soporte del suelo, sino también en el aspecto social y ambiental, debido a que por el mal manejo de los residuos de conchas de abanico y cáscaras de arroz en el pasado y presente, han provocado un cambio en el ecosistema y en los habitantes, dado que la contaminación trae consecuencias rápidas y posible expansión, afectando a las zonas rurales y urbanas, esto se entiende al observar el inmenso botadero de conchas de abanico que presenta la empresa “ACUAPESCA” en Casma, debido a que esta solo exporta la parte comestible de estos bivalvos, obteniendo como residuos toda la concha y al no poder darle un valor agregado o encontrar una forma de almacenares para darle otro uso, optaron por acumularlos a espaldas de la empresa, lo cual con el tiempo a generado que se convierta en un botadero, llegando a generar olores nauseabundos y existencia de mocas y otros animales carroñeros, generando posibilidad de transmisión de enfermedades y deterioro de las capas del suelo; respecto a las cáscaras de arroz, estas son sub productos del pilado de arroz en el “MOLINO SAMÁN”, el cual es acumulado en los almacenes o regalado por la misma empresa debido a que no cuenta con el espacio suficiente para su almacén, pequeña parte de estas cáscaras es empleado para la fabricación de adobes de la zona, pero existe un gran porcentaje que no se le da un debido uso, dado que llegan a quemarlo ocasionando un deterioro en la capa de ozono. Por todo lo mencionado anteriormente, una de las finalidades de esta investigación es reutilizas los materiales que otros desechan, con el fin de reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Además, la economía de la población del Centro Poblado San Rafael y el Distrito de San Pedro de Lloc, reacciona al estímulo social que tienen las limitaciones sociales para una posible ejecución del proyecto en la zona antes mencionada, debido que al mejorar los caminos de acceso, teniendo en cuenta que uno ellos es un camino saliente directamente a la Carretera auxiliar Panamericana, este camino de acceso facilitaría el transporte agrícola y ganadero de la zona tanto para la importación como exportación, por lo que se reduciría el tiempo de traslado, también se garantizaría el trato directo con compradores puesto que podrían ingresar con vehículos pesados para la obtención

de productos agrícolas cosechados por los pobladores. Además, el uso de los residuos de concha de abanico ubicados en el botadero de la empresa “ACUAPESCA” y el sub productor del pilado de arroz en el “MOLINO SAMÁN”, obtendrían un valor agregado al darle un uso específico a los residuos físicos de estas dos empresas, generando un ingreso adicional a ambas empresas y posibles puestos de trabajo para el apilamiento, selección y transporte de ambos residuos. Cabe recalcar que el deterioro de los caminos de acceso al centro poblado genera costos directamente al estado peruano, para el mejoramiento de estos debido a que el traslado de vehículos de carga pesada, fisuras, agrietan y afectan al estado de conservación del suelo; por lo que cada cierto corto tiempo se tiene que rehabilitar dichos lugares, pero dichos costos pueden evitarse con la ejecución de dicho proyecto, debido a que el mantenimiento tendría que ejecutarse en largos periodos. Todo lo mencionado anteriormente podría reducir la pobreza en la que se encuentran sumergidos más del cincuenta por ciento de los habitantes del Centro Poblado San Rafael.

Otro argumento para la realización de esta investigación es el suscitar curiosidad, perspectiva y dialéctica sobre el conocimiento de estabilización en el ambiente ingenieril, dado que se confrontan los materiales tradicionales como cal y cemento, frente al uso de materiales naturales al estabilizar un suelo mejorando sus propiedades con el ensayo de índice CBR. De esta manera este estudio ayudara a prosperar la economía del centro poblado, porque interconectara a San Rafael con otras localidades mediante una red de favorecimiento en la disminución del tiempo de transporte de un lugar a otro, prolongado el tiempo de vida útil de los vehículos y la productividad de la zona.

El aporte académico de este estudio es contribuir a la comunidad de investigación y colocar a disposición de los estudiantes y tesista de la Universidad Privada del Norte, así como otras universidades, brindándolo información sobre nuevas formas de estabilización en suelos con recursos naturales, también podría ser tomada como un antecedente para tesis relacionadas a la estabilización de suelos.

1.5.Hipótesis

1.5.1.Hipótesis general

A medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y aumenta el porcentaje de residuos de conchas de abanico, aumenta el índice CBR.

1.5.2.Hipótesis específicas

- A medida que aumenta el porcentaje de residuos de conchas de abanico, aumenta el índice CBR.
- A medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz aumenta el índice CBR.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

De acuerdo al fin que se persigue : Aplicada

De acuerdo al diseño de investigación : Experimental

La Investigación Aplicada tiene por objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico. Dicho de otra manera, La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo, basándose fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

La investigación realizada tiene un diseño experimental puro, porque existe el control en la manipulación de las variables independientes de manera deliberada, con el fin de evaluar los resultados que repercuten en la variable dependiente. El diseño a emplear es tipo bifactorial, con dos variables independientes: Porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y Porcentaje de residuos de conchas de abanico; una variable dependiente: Índice CBR. En la tabla N°4 y N°5, se indican los valores elegidos para la variable independiente y dependientes.

Tabla N° 4: *Variables independiente y niveles de estudio*

Variables Independientes	Niveles de Estudio
A: Porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz	(4 , 6 , 8) (a₁ , a₂ , a₃)
B: Porcentaje de residuos de conchas de abanico	(1 , 2 , 3) (b₁ , b₂ , b₃)

Tabla N° 5: *Variables dependiente*

Variables Dependientes
X: Índice CBR

La matriz de diseño experimental bifactorial usada para los bionanofiltros concha-almidón-arcilla se presenta en la siguiente Tabla N°6.

Tabla N° 6: *Matriz de diseño experimental.*

		A		
		a1	a2	a3
B	b1	a ₁ b ₁	a ₂ b ₁	a ₃ b ₁
	b2	a ₁ b ₂	a ₂ b ₂	a ₃ b ₂
	b3	a ₁ b ₃	a ₂ b ₃	a ₃ b ₃

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

2.2.1. Universo objetivo

Todos los suelos en las regiones costa y sierra al norte de nuestro país, pertenecientes al Departamento “La Libertad”

2.2.2. Universo muestral

Todos los suelos ubicados en la zona costera perteneciente a la Provincia “Pacasmayo”.

2.2.3. Población

Suelos arcillosos en los caminos de acceso al Distrito “San Pedro de Lloc”

2.2.4. Muestra

Las muestras del suelo arcilloso serán extraídas de las calicatas (aproximadamente 250 kg por calicata) en el camino de acceso al Centro Poblado San Rafael, perteneciente al distrito San Pedro de Lloc.

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP 339.175), indica que se debe de emplear tres muestras (03 repeticiones) de suelo sin ningún tipo de adición (patrón) y tres muestras con cada combinación en ceniza de cáscara de arroz y residuos de concha de abanico, para determinar el índice CBR.

2.3. Operacionalización de variables

La Investigación Aplicada tiene por objetivo resolver un determinado problema o

Tabla N° 7: Matriz de consistencia

Problema	Objetivo General	Hipótesis	Variables
¿Cuál es la influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc?	Determinar la influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc.	La medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y aumenta el porcentaje de residuos de conchas de abanico, aumenta el índice CBR.	Porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz Porcentaje de residuos de conchas de abanico Índice CBR

Tabla N° 8: Operacionalización de variables

Tipos de variables	Variables	Definición	Dimensión	Indicadores
Independiente	Porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz	Cantidad de material expresado en porcentaje obtenido de la calcinación de cáscaras de arroz.	Ceniza de cáscaras de arroz	Porcentajes de 4%, 6% y 8% de Cloruro de Sodio en un suelo arcilloso
	Porcentaje de residuos de conchas de abanico	Cantidad de material expresado en porcentaje obtenido de la calcinación de abanico.	Residuos de conchas de abanico	Porcentajes de 1%, 2% y 3% de Cloruro de Sodio en un suelo arcilloso
Dependiente	Índice CBR	La finalidad de este ensayo es determinar el índice California	Volumen de la muestra.	Resultados del Índice California

<p>Bearing Ratio (CBR,) de suelos compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.</p>	<p>Número de golpes</p> <p>Número de capas</p> <p>Peso del martillo.</p>	<p>Bearing Ratio (CBR)</p>
---	--	----------------------------

2.4. Materiales, instrumentos y métodos

2.4.1. Materiales

Aproximadamente 1000 kilogramos de muestra que serán extraídas de las 04 calicatas que se realizarán en camino de acceso al Centro Poblado San Rafael.

Dicha cantidad corresponde a la necesaria para la realización de los ensayos de caracterización en los cuales se emplearán un promedio de 5 kg.; en el ensayo de Próctor modificado (MTC E 115), la normativa indica que serán necesarios aproximadamente 16 kg de muestra para el Método A, siendo este método el que se usara para los ensayos. Además, para el ensayo de CBR de suelos (MTC E 132) se indica que serán necesario disponer de 15 kg. De muestra (5 kg. Por cada prueba de 12, 26 y 55 golpes).

Cabe recalcar que estos ensayos deben repetirse por cada una de las nueve combinaciones de residuos de concha de abanico y cecina de cáscara de arroz.

2.4.2. Instrumentos

Equipos utilizados para la excavación y acumulación de material, productos de las calicatas, tales como picos, palanas y barretas.

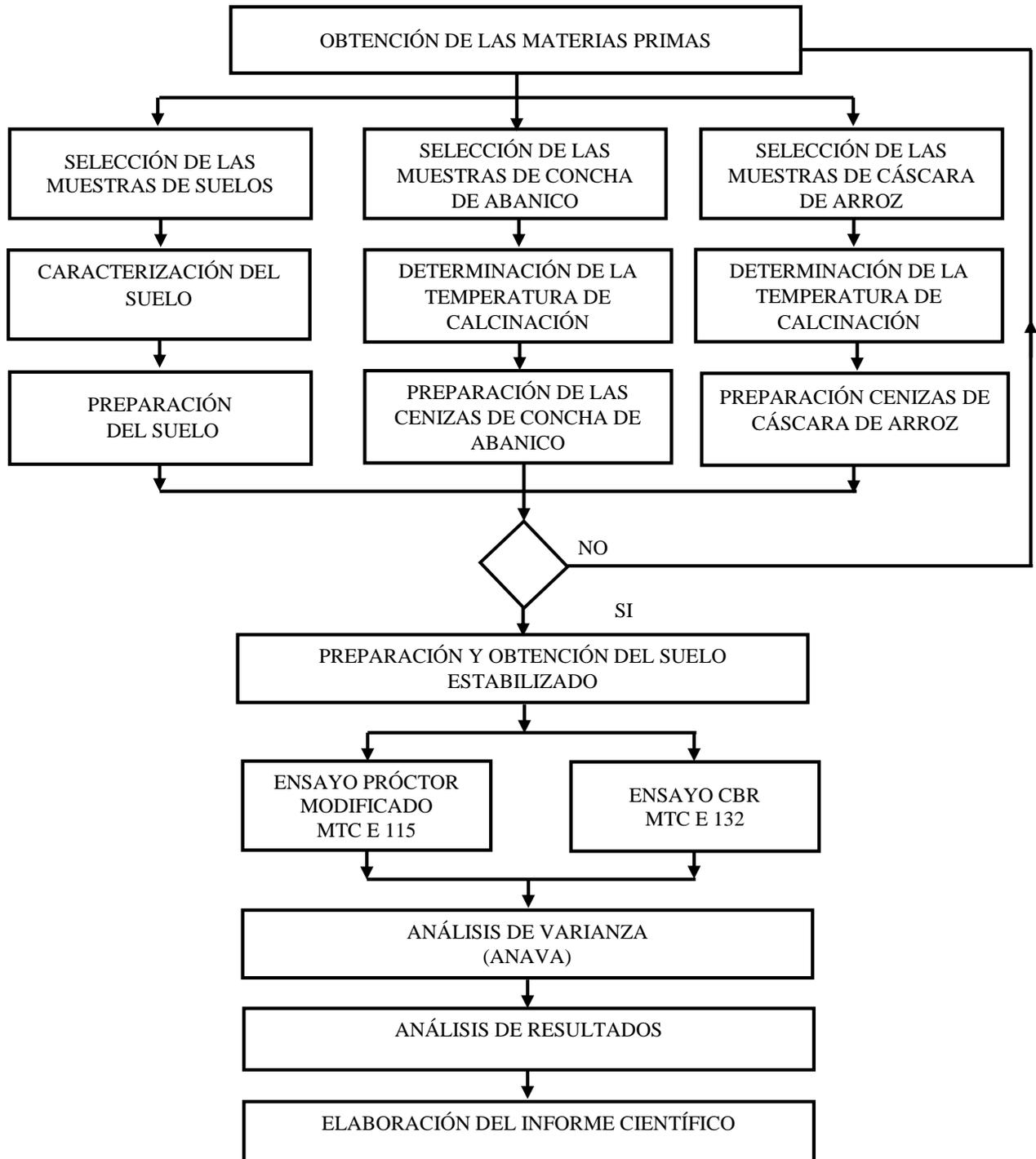
Equipos empleados para la realización de los distintos ensayos de caracterización como: cuchara casa grande, estufa, entre otras. Además, equipos para los ensayos de Próctor y CBR.

2.4.3. Método

Dentro de los métodos empleados, se realizaron ensayos para la clasificación del suelo, teniendo entre ellos:

- Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108)
- Límites líquidos de suelos (MTC E 110)
- Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E 111)
- Análisis Granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)
- Clasificación SUCS (ASTM D 2487)
- Clasificación AASHTO (ASTM D 3282)
- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (MTC E 115)
- CBR de suelos (MTC E 132)

2.5.Procedimiento



A) OBTENCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

Las materias primas, empleadas para la ejecución de la investigación, fueron: Suelo arcilloso, conchas de abanico y cáscara de arroz.

- El suelo arcilloso fue obtenido producto de la realización de calicatas a una profundidad de 3.00 metros. El material extraído fue colocado en sacos y embalado con papel film, para su posterior transporte (previamente fueron rotulados y codificados). Dichas muestras fueron almacenadas en bidones herméticos y colocados en ambientes frescos, para su posterior caracterización y realización de ensayos.
- Las conchas de abanico fueron obtenidas de terceros, el cual las obtuvo de la empresa ACUAPESCA, ubicada en la carretera Panamericana Norte kilómetro 3.83, en la ciudad de Casma, perteneciente a la Provincia de Casma y Departamento de Ancash.
- La cascará de arroz, fue obtenida del “Molino Samán”, ubicada en la carretera Auxiliar Panamericana Norte 13840, en la localidad Ciudad de Dios, Distrito de Guadalupe, en la Provincia de Pacasmayo perteneciente al Departamento La Libertad.

a. Ubicación del acceso al Centro Poblado San Rafael

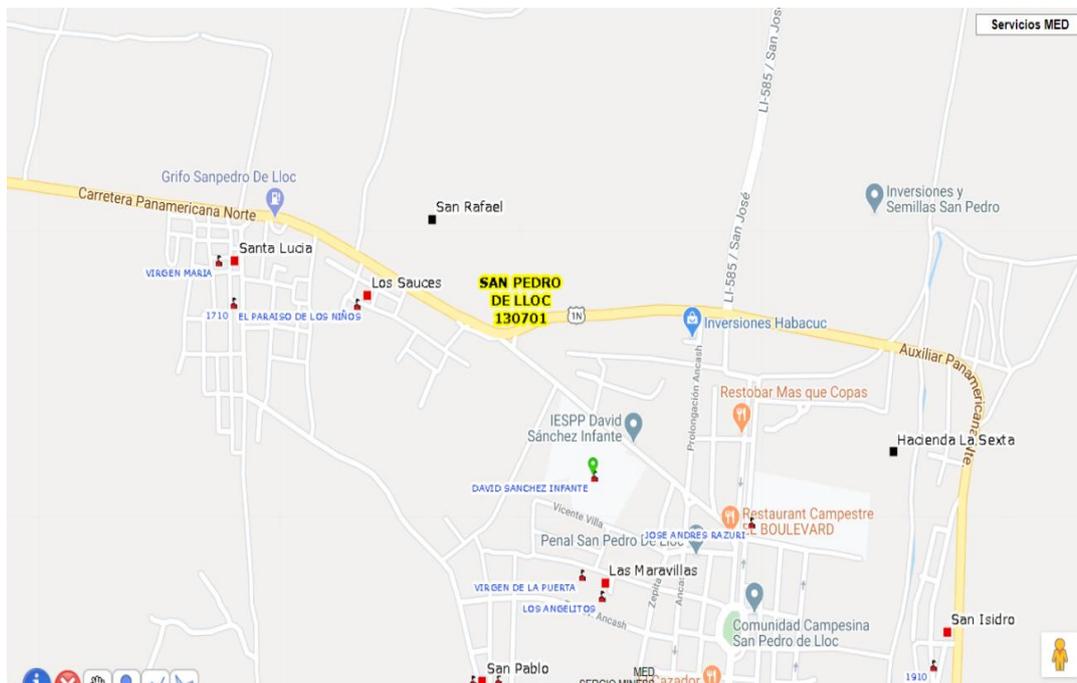


Figura N° 13: Ubicación del CP San Rafael

Fuente: Google Maps



Figura N° 14: Ubicación Satelital del acceso CP San Rafael

Fuente: Google Maps



Figura N° 15: Ubicación Satelital del CP San Rafael

Fuente: Google Maps



Figura N° 16: Carreteras de acceso CP San Rafael (Área de estudio)

Fuente: Google Maps

b. Ubicación de ACUAPESCA SAC

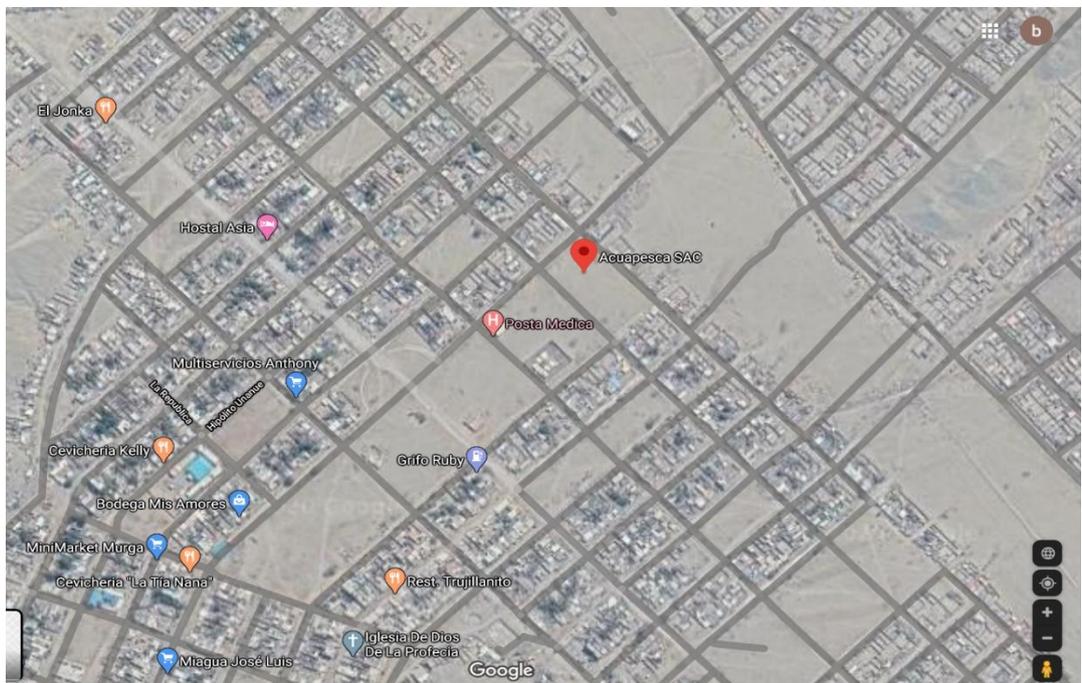


Figura N° 17: Ubicación Satelital de ACUAPESCA SAC

Fuente: Google Maps

c. Ubicación del Molino SAMAN (Pacasmayo)

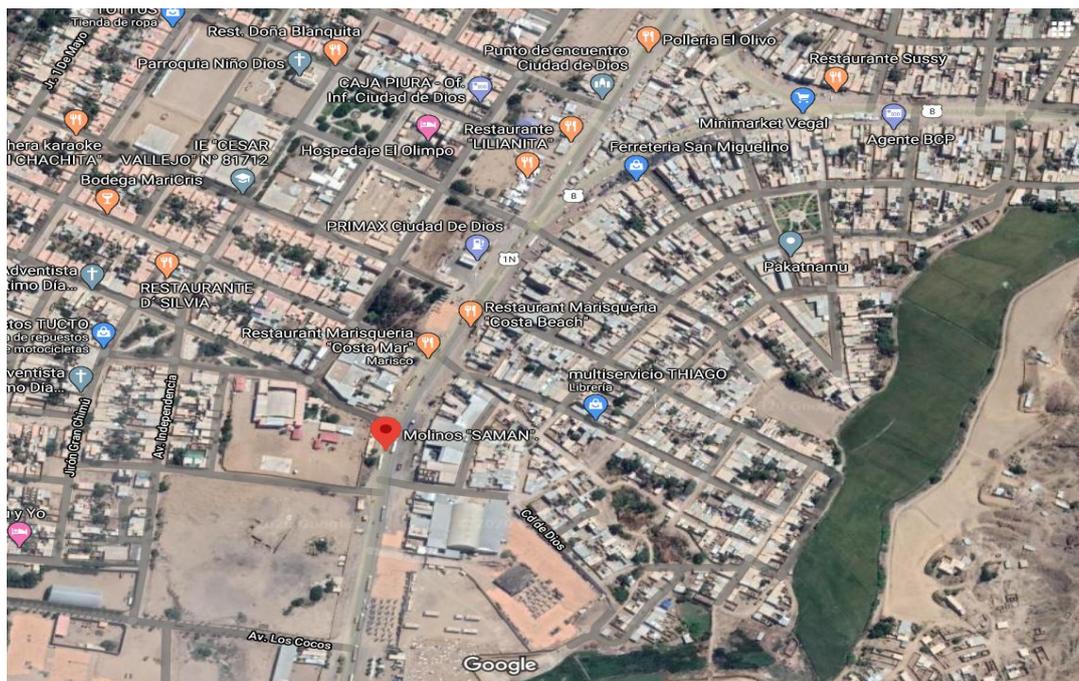


Figura N° 18: *Ubicación Satelital del Molino SAMAN*

Fuente: Google Maps

B) SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS

Las muestras de suelo fueron extraídas de las 04 calicatas elaboradas en el camino al Centro Poblado San Rafael en el distrito de San Pedro de Lloc, para lo cual se extrajo un aproximado de 250 kilogramos de material por cada calicata.

B.1.) Caracterización del suelo

Para la caracterización del suelo y posterior clasificación, fue necesario realizar los siguientes ensayos:

a) Análisis Granulométrico de suelos por tamizado (ASTM D 422, MTC E 107)

Para el análisis granulométrico, se empleó un juego de mallas, un equipo tamizador, una balanza con una sensibilidad mínima (± 0.01) y una estufa con temperatura regulable.

Lo primero fue obtener una muestra representativa para lo cual se empleó la técnica del cuarteo manual, la cantidad mínima a emplear para este ensayo está dada por la normativa MTC E 107, en el contexto 5.3.1.

Después la muestra fue colocada dentro de la estufa para el secado, en un

periodo de 24 horas. Luego de transcurrido el tiempo, se retiró la muestra de la estufa y se dejó secar a temperatura ambiente, paralelamente se preparó el juego de mallas ordenadas de mayor a menor abertura, las mallas empleadas están dadas en la normativa antes mencionada, la cual consta de los siguientes tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y se determinara su masa en la balanza. Posteriormente, se colocó la muestra dentro de las mallas y se agito levemente para que este pase las aberturas de los tamices y descartar aquellas mallas que no contienen material, con los tamices sobrantes, se realizó el tamizado por aproximadamente 7 minutos. Finalmente se dejó reposar el juego de tamices por 5 minutos para evitar que las partículas pequeñas se dispersen. Finalmente se determinó y registro la masa de cada tamiz en la balanza. Con dichos pesos se calculó el porcentaje pasante y con ayuda de los diámetros de los tamices se construyó la curva granulométrica, la cual representa la distribución de tamaños que poseen las muestras, y con ayuda del agrupamiento de tamices se puede determinar decir las proporciones de arena, limo y arcilla. Para determinar el porcentaje pasante de cada tamiz, fue necesario la Tabla N° 06.

Tabla N° 9: *Guía matriz para el análisis granulométrico*

Muestra Inicial: P0						
Tamiz	Muestra 01					
N°	W_M	W_{M+M}	W_R	% W_R	% W_{RA}	% QP
4	A	D	D - A = G	G/Po = J	J	100 - J
8	B	E	E - B = H	H/Po = K	J + K = M	100 - M
16	C	F	F - C = I	I/Po = L	J + K + L = N	100 - N
30						
50						
100						
200						
Fondo						
Total						

En donde:

- W_M : Masa de la malla. (g)
 W_{M+M} : Masa de la malla más la muestra. (g)
 W_R : Masa retenida en la malla. (g)
 $\% W_R$: Porcentaje de la masa retenida en la malla. (%)
 $\% W_{RA}$: Porcentaje de la masa retenida acumulado en la malla. (%)
 $\% QP$: Porcentaje que pasa. (%)
 P_0 : Masa inicial. (g)

b) Contenido de humedad de un suelo (ASTM D 2216, MTC E 108)

Para hallar el contenido de humedad de un suelo, se empleó un contenedor seco y limpio, una balanza con una sensibilidad mínima (± 0.01) y una estufa con temperatura regulable.

Lo primero, fue seleccionar la muestra a ensayar, dicha muestra debe ser representativa, la cantidad mínima a emplear dependa del tamaño máximo de partícula tal y como lo menciona la normativa MTC E 108, en contexto 6.1.2, además la muestra debes estar en las mismas condiciones de humedad en las que fue extraída. Segundo, se determinó y registro la masa del contenedor previamente rotulado, y luego se colocó la muestra representativa para registrar una segunda masa del contenedor más la muestra. Tercero, se removió la tapa y se colocó al contenedor en la estufa para determinar la cantidad de agua que ha perdido, el cual será registrada cuando la masa de esta sea constante; la estufa debe mantener el secado a una temperatura de 110 ± 5 °C. Luego de transcurrido el tiempo, se removió el contenedor tapado y se deja enfriar a temperatura ambiente, para posteriormente registrar una tercera masa.

La ecuación a emplear para el cálculo del contenido de humedad es la siguiente:

$$W(\%) = \frac{M_W}{M_S} \times 100 = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 01}$$

En donde:

- W** : Contenido de humedad. (%)
- Mcws** : Peso del contenedor más el suelo húmedo. (g)
- Mcs** : Peso del contenedor más el suelo secado en horno. (g)
- Mc** : Peso del contenedor. (g)
- Mw** : Peso del agua. (g)
- Ms** : Peso de las partículas sólidas. (g)

Tabla N° 10: *Guía matriz para el contenido de humedad*

MATERIAL			
Contenedor	C-1	C-2	C-3
Mcws			
Mcs			
Mc			
Mw			
Ms			
Contenido de Humedad			
Contenido de Humedad promedio			

c) Límites líquidos de suelos (ASTM D 4318, MTC E 110)

Para hallar el límite líquido de un suelo, se empleó una espátula, un recipiente de porcelana, agua destilada, balanza con una sensibilidad mínima (± 0.01), estufa con temperatura regulable, calibrador y el equipo “Cuchara Casa Grande”.

Para realizar el ensayo, primero fue necesario obtener la muestra, para lo cual fue necesario tamizar la muestra por la malla N° 40 (0.425 mm.) y de lo pasante se extrajo aproximadamente entre 150 a 200 gamos. Luego fue colocado en el recipiente de porcelana, agregando agua destilada periódicamente (inicio de agua 10% del peso), se mezcló con ayuda de la espátula hasta obtener una mezcla ligosa, de no visualizar con la consistencia, se agregó agua entre 1 a 3 mililitros de agua destilada, hasta obtener una mezcla pastosa, por cada adición de agua se debe de agitar con la espátula con el fin de garantizar la homogeneidad de la mezcla. Luego

de visualizar la consistencia antes mencionada, se colocó una porción de la mezcla en el plato de la Cuchara Casagrande (previamente calibrada), con ayuda de la espátula se comprimirá hacia abajo, con el fin de extender el suelo y obtener la forma del plato; cuando se logró lo mencionado, se niveló con la espátula tratando de emparejar la mezcla para obtener una profundidad de 1 centímetro hasta el punto más bajo del plato. Inmediatamente con el acanalador se dividió al suelo en dos partes iguales, al realizar dos pasadas firmes a lo largo del diámetro del plato, dejando una ranura limpia. Posteriormente con ayuda de la manivela se elevó y golpeo el plato de bronce, manteniendo una velocidad constante de 2 golpes por segundo, se giró hasta que la ranura desaparezca, para registrar el número de golpes. Se repitió tantas veces hasta obtener 3 muestras que se encuentren entre los rangos de 15 a 25 golpes, 20 a 30 golpes y 25 a 35 golpes. Para cada uno de estos rangos se retirará una pequeña porción para determinar el contenido de humedad.

Tabla N° 11: *Guía matriz para el límite líquido*

Rango	N°	Mc	Mcws	Mcs	Mw	Ms	W	L.L
Golpes	Golpes							
15 a 25								
20 a 30								
25 a 35								

En donde:

- W** : Contenido de humedad. (%)
- Mcws** : Peso del contenedor más el suelo húmedo. (g)
- Mcs** : Peso del contenedor más el suelo secado en horno. (g)
- Mc** : Peso del contenedor. (g)
- Mw** : Peso del agua. (g)
- Ms** : Peso de las partículas sólidas. (g)
- L.L** : Límite Líquido (%)

d) Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (ASTM D 41318, MTC E 111)

Para hallar el límite plástico de un suelo, se empleó una espátula, un recipiente de porcelana, agua destilada, balanza con una sensibilidad mínima (± 0.01), estufa con temperatura regulable y un vidrio.

Para realizar el ensayo, primero fue necesario obtener la muestra, para lo cual es necesario tamizarla por la malla N°40 (0.425 mm.) y de lo pasante se extrajo aproximadamente entre 20 a 50 gamos. Luego será colocado en el recipiente de porcelana, agregando agua destilada periódicamente (inicio de agua 10% del peso), se amasa la mezcla hasta obtener una forma esférica. Posteriormente se moldeo la mitad de la muestra para darle forma elipsoidal de 3.2 mm de diámetro y con ayuda de las manos se rodó en el vidrio ejerciendo la fuerza necesaria para desmoronarlo, de no desmoronarse y con un diámetro menor al antes mencionado, se repite el proceso las veces que sean necesarias. Para cada cilindro de suelo, fue determinado el contenido de humedad. El límite plástico es el promedio de las humedades. Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Tabla N° 12: *Guía matriz para el límite plástico*

Rango	N°	Mc	Mcws	Mcs	Mw	Ms	W	L.P	I.P
Golpes	Golpes								
15 a 25									
20 a 30									
25 a 35									

En donde:

- W** : Contenido de humedad. (%)
- Mcws** : Peso del contenedor más el suelo húmedo. (g)
- Mcs** : Peso del contenedor más el suelo secado en horno. (g)
- Mc** : Peso del contenedor. (g)

- M_w** : Peso del agua. (g)
M_s : Peso de las partículas sólidas. (g)
L.P : Límite Plástico (%)
I.P : Índice de Plasticidad (%)

e) **Clasificación de suelos**

Existe una gran variedad de suelos, por lo que en el transcurrir del tiempo se han desarrollado métodos para clasificarlos, cada clasificación tiene su propio campo de aplicación según la necesidad y el uso.

Las principales clasificaciones empleadas en las investigaciones son SUCS y AASHTO.

La clasificación de suelos con fines de cimentación empleada la clasificación Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Y la clasificación con propósito de construcción de carreteras, emplea el sistema American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO)

Clasificación SUCS (ASTM D 2487)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos o llamado también clasificación SUCS, es la clasificación de suelos más usada, desde el punto de vista de la mecánica de suelos.

Esta clasificación describe el comportamiento mecánico del suelo, cuya aplicación depende de dos grandes grupos, suelos granulares gruesos y suelos granulares finos, cada uno de estos grupos contiene divisiones y subgrupos; para determinar a qué grupo pertenece el material, se debe evaluar si más de la mitad del material es retenido o pasa la malla N° 200. (Para esta investigación el suelo pertenece a un suelo de grano fino).

Los suelos de grano fino contienen 2 subgrupos diferenciados en si el límite líquido es mayor o menos al 50%. (Para esta investigación el límite líquido es menor a 50) Dentro de este sub grupo existen tres simbologías ML, CL y OL, cada simbología tiene un significado, representado en la tabla N°14.

Para cual es necesario emplear la Carta de Plasticidad, dependiente del Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de plasticidad y La Granulometría.

Para clasificar a un suelo por el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (S.U.C.S), son necesarios los ensayos de caracterización como:

- **Granulometría**

Es necesario determinar si más de la mitad del suelo está retenido en el tamiz N° 200, de ser ese el caso el material pertenecería al grupo de suelos de grano grueso, de lo contrario pertenecería a los suelos de grano fino.

Dentro del grupo de suelos de grano grueso existen dos grandes grupos, siendo estos el grupo de gravas (más de la mitad de la muestra está retenida en el tamiz N° 4) y el grupo de las arenas. En el primer grupo existen 2 sub grupos: gravas limpias y gravas con finos; en el segundo grupo también existen 2 sub grupos: arenas limpias y arenas con finas. Cada uno de estos sub grupos tiene clases de suelos diferenciados por la simbología que cada uno representa.

- **Límite Líquido**

Lo límites de Atterberg, en especial el límite líquido (LL), sirve para diferenciar los sub grupos que contiene el grupo suelos de grano fino, esto se puede determinar con ayuda de la carta de plasticidad, que diferencia dos partes diferenciadas cuando el límite líquido es mayor o menor a 50.

- **Límite Plástico**

El límite plástico (LP), nos ayuda a calcular el índice de plasticidad (IP), el cual es necesario para determinar el tipo de suelo con la carta de plasticidad.

Tabla N° 13: Sistema de clasificación de suelos unificado (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5%->GW,GP,SW,SP. >12%->GM,GC,SM,SC. 5 al 12%->casos límite que requieren usar doble símbolo. Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.	
		(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS Más de la mitad del material grueso pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		(pocos o sin finos)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
		Limos y arcillas:			Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad.
		Limos y arcillas:			Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
SUELOS DE GRANO FINO	Límite líquido menor de 50	ML	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
		CL	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
		OL	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
	Límite líquido mayor de 50	MH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
		CH	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		
		OH			
		PT			
Suelos muy orgánicos					



Clasificación AASHTO (ASTM D 3282)

Esta clasificación divide a los suelos en dos grandes grupos, materiales granulares con 35% o menos de material pasante el tamiz N°200, Materiales limosos y arcillosos con más de 35% de material pasante el tamiz N° 200.

En esta clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en siete grupos desde A-1 hasta A-7, estos también se dividen en sub grupos llegando a existir doce subgrupos.

Además, se calculó el índice de grupo, con ayuda de una ecuación:

$$IG = (F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10) \dots \text{Ecuación 02}$$

Siendo:

- F : Porcentaje que pasa el tamiz ASTM N° 200
- LL : Límite Líquido
- IP : Índice de Plasticidad

Para los subgrupos A-2-6 y A-2-7, se empleó la siguiente ecuación:

$$IG = 0.01 * (F - 15) * (IP - 10) \dots \dots \dots \text{Ecuación 03}$$

Tabla N° 14: Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx			- - 36 mín				
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

(1): No plástico
(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

B.2.) Preparación del suelo

Dado que el material en una proporción se encuentra en tamaños de 5 cm de diámetro, se procedió a triturarlo con la ayuda de un martillo de goma, teniendo el cuidado de que no se contamine la muestra, luego con ayuda de un rodillo, se redujo el tamaño de partícula hasta obtener una apariencia de polvo. Posteriormente se colocará en una estufa a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 24 horas para que perdiera todo rastro de humedad.

C) SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCHA DE ABANICO

C.1) Determinación de la temperatura de calcinación

Para determinar la temperatura de calcinación fue necesario realizar el análisis térmico diferencial (ATD), cuya grafica tiene simas que representan las pérdidas de masa en función de la temperatura. Con dicha grafica se pudo determinar la temperatura de calcinación apropiada para los residuos de concha de abanico.

C.2) Preparación de la ceniza de residuos de concha de abanico

Las conchas de abanicos contienen residuos sólidos y orgánicos, por lo que se realizó una limpieza. Para la limpieza, se colocó en un recipiente lleno de agua, se dejó reposar las conchas de abanico por aproximadamente 24 horas, para disgregar algún residuo presente. Posteriormente se dejó secar a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas. Luego se trituro las conchas de abanico, para reducir el tamaño a lo mínimo posible, con ayuda del martillo de goma y teniendo la precaución de no contaminarlas. Posteriormente, se colocó las muestras trituradas en recipientes cerámicos para colocarlas en el horno a 890°C por un periodo de 2 horas. Transcurrido el tiempo, reposo el horno hasta temperatura ambiente para proceder al retiro de las muestras calcinadas. Finalmente, se tamizará la muestra por el tamiz N°200, garantizando un tamaño de partícula de $75\ \mu\text{m}$ y almacenadas en bolsas herméticas.

D) SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CÁSCARA DE ARROZ

Para la selección de las muestras de cáscaras de arroz, se tuvo el cuidado de que las muestras no tuvieran ningún tipo de material ajeno a la cáscara de arroz.

D.1) Determinación de la temperatura de calcinación

Para determinar la temperatura de calcinación fue necesario realizar el análisis térmico diferencial (ATD), cuya grafica tiene simas que representan las pérdidas de masa en función de la temperatura. Con dicha grafica se pudo determinar la temperatura de calcinación apropiada para la cascará de arroz.

D.2) Preparación ceniza de cáscara de arroz

Para la preparación de la ceniza de cáscara de arroz, primero se colocó la cascará de arroz en recipientes cerámicos, para ser colocadas dentro del horno a 420 °C por un periodo de 2 horas. Transcurrido el tiempo, reposara el horno hasta temperatura ambiente para proceder al retiro de las muestras calcinadas. Finalmente, se tamizará la muestra por el tamiz N°200, garantizando un tamaño de partícula de 75 µm y almacenadas en bolsas herméticas.

E) PREPARACIÓN Y OBTENCIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO

Para la preparación del suelo estabilizado, con las materias primas preparadas, se procedió a realizar las mezclas del suelo con las cenizas de cáscara de arroz (CCA) y cenizas de concha de abanico (RCCA), de la siguiente manera:

Tabla N° 15: *Porcentajes de cáscara de arroz y concha de abanico*

		Porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz (CCA)		
		4	6	8
Porcentaje de residuos de conchas de abanico (RCCA)	1	4% CCA	6% CCA	8% CCA
		1% RCCA	1% RCCA	1% RCCA
	2	4% CCA	6% CCA	8% CCA
		2% RCCA	2% RCCA	2% RCCA
	3	4% CCA	6% CCA	8% CCA
		3% RCCA	3% RCCA	3% RCCA

Las cantidades, fueron porcentaje en peso dependiendo de la cantidad de suelo empleado para cada ensayo. Para la mezcla se colocó en un recipiente plástico el suelo arcilloso, CCA, RCCA y añadiendo porcentaje de agua dependiendo de cada ensayo, la mezcla se hizo con ayuda de un badilejo hasta obtener una mezcla homogénea.

F) ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Para realizar el ensayo de Próctor modificado, se empleó un molde cilíndrico normado, un pisón, balanza con sensibilidad mínima de 1 gramo, una estufa, regla metálica, tamices, badilejo y recipiente plástico. El primer paso para la realización de este ensayo, consiste en secar la muestra (suelo) a usar a una temperatura de 110 °C por un tiempo de 24 horas. Con el suelo seco, se procedió a determinar el método que se empleará con ayuda de los tamices N°4, 3/8” o 3/4”, cuando más del 20% del suelo es retenido una de las mallas se emplea el método A, B o C, respectivamente. Determinado el método, se procedió al ensamblado del molde cilíndrico previamente se registró la masa del mismo; paralelamente se colocó la muestra en el recipiente plástico y se agregó agua para mezclar y homogenizar, cuando se haya logrado la consistencia deseada, se colocó la mezcla en molde cilíndrico y se empleó el pisón manual para compactarlo con una cantidad de 25 o 56 golpes en forma de espiral dependiendo del método a emplear, este proceso se ejecutará en 5 capas. Posteriormente, se retiró el seguro y el collar, con ayuda de la regla metálica se enrasó el suelo sobrante encima del molde, para su posterior registro de masa. Finalmente se retiró la muestra compactada y se determinó el contenido de humedad a una porción del suelo. Este proceso se repetirá aumentando la cantidad de agua al suelo hasta que la curva decline, para poder determinar el contenido máximo de humedad y la densidad máxima. El ensayo se repetirá para el suelo, y para el suelo más cada mezcla de ceniza de cañar de arroz y ceniza residuo de concha de abanico, como se indicó anteriormente. Cabe recalcar que no se puede reutilizar el suelo ya compactado.

Se puede determinar la densidad máxima y humedad máxima con ayuda de la siguiente tabla para el llenado de datos.

Tabla N° 16: *Guía matriz para Próctor modificado*

Muestra N°	1	2	3	4	5
W _m					
W _{m+h}					
W _h					
D _m					
H _m					

En donde:

- W_m** : Peso del molde. (g)
W_{m+h} : Peso del molde más el suelo húmedo. (g)
M_h : Peso del suelo húmedo. (g)
D_m : Diámetro del molde. (cm)
H_m : Altura del molde. (cm)

G) ENSAYO CBR (ASTM 1833, MTC E 132)

Para realizar el ensayo Índice CBR, se utilizó un molde metálico cilíndrico, disco espaciador de metal, pisón manual, aparato medido de expansión, pesas, tanque de agua, balanza con sensibilidad mínima de 0.1 gramo, tamices y equipo para CBR. Las muestras de suelo fueron necesarias secarlas a una temperatura de 110 °C por un tiempo de 24 horas, culminado el tiempo se dejará reposar dentro de la estufa para su enfriamiento. Con el suelo seco, se procedió a registrar la masa del molde con la base, luego se colocará el collar, el disco espaciador y el papel filtro recortado al diámetro del molde cilíndrico; paralelamente se colocó el suelo en el recipiente plástico y se añadirá la cantidad de agua que indica la humedad del ensayo anterior, se mezcló hasta quedar una mezcla homogénea, para poder ser colocado y compactado en 5 capas con el apisonador, la cantidad de golpes será de 12, 26 y 55 por cada molde, es decir se repetirá el procedimiento 3 veces, la primera se compacto en 5 capas con 12 golpes el forma de espiral por capa, el siguiente con 26 golpes y el otro con 55 golpes. Luego en la etapa de sumergido, se colocó agua en un recipiente hasta una altura superior por 30 centímetros a la altura del molde, al sumergirá la muestra invertida la placa perforada y sobre esta, se colocarán los pesos (anillos) necesarios para completar la sobrecarga. Transcurrido el tiempo

indicado en la norma, se registró la primera lectura con ayuda del reloj digital y un trípode metálico, para determinar el hinchamiento, luego se volvió a sumergir y se dejó por 96 horas, con el cuidado diario de que el nivel de agua no descienda. Transcurrido el tiempo se volvió a medir la lectura con ayuda del reloj y el trípode, tratando de que el trípode se colocara en el mismo lugar donde se tomara la primera lectura, para ser retirado el molde con la muestra y las pesas del agua, se dejara reposar por 15 minutos al aire libre, e inmediatamente se registró la masa sin los anillos de peso, para posteriormente realizar en ensayo de penetración. Se puede determinar el índice CBR con ayuda de la siguiente tabla para el llenado de datos.

Tabla N° 17: *Guía matriz para ensayo CBR*

Muestra N°	1	2	3
N° golpes	12	25	56
W_m			
W_{m+h}			
W_h			
D_m			
H_m			

En donde:

- W_m** : Peso del molde. (g)
 W_{m+h} : Peso del molde más el suelo húmedo. (g)
 M_h : Peso del suelo húmedo. (g)
 D_m : Diámetro del molde. (cm)
 H_m : Altura del molde. (cm)

H) ANÁLISIS DE VARIANZA (ANAVA)

Culminado el ensayo de Índice CBR, se procedió a realizar en análisis de varianza, llamado también ANAVA, es un método estadístico cuyo procedimiento se utiliza para contrastar la hipótesis en esta investigación.

I) ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalizados los ensayos de caracterización, clasificado el suelo por la clasificación SUCS y AASHTO, y concluido los ensayos de Próctor Modificado y CBR; se realizó, el análisis de resultados, comparándolos con el suelo estabilizado y sin estabilizar.

J) ELABORACIÓN DEL INFORME CIENTÍFICO

Con todos los datos obtenidos, se elaboró un informe científico.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterizaciones del suelo

3.1.1. Contenido de humedad

Los contenidos de humedad expresados en porcentajes, se muestra en la siguiente tabla, teniendo en consideración que fueron realizadas 04 calicatas y por cada calicata se repitió el ensayo tres veces.

Tabla N° 18: *Resumen de contenidos de humedad*

Calicata	Contenido de Humedad (%)
01	3.90
02	8.30
03	9.10
04	9.50

3.1.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg consistieron en la realización de los Límites Líquidos y Límites Plásticos del suelo extraído de cada calicata.

Tabla N° 19: *Resumen de límites líquidos*

Calicata	Límite Líquido
01	19.60
02	21.20
03	34.40
04	25.70

Tabla N° 20: *Resumen de límites plásticos*

Calicata	Límite Plástico
01	5.7
02	7.00
03	19.50
04	11.40

Tabla N° 21: *Resumen de índices de plasticidad*

Calicata	Índice de Plasticidad
01	13.90
02	14.20
03	14.90
04	14.30

3.1.3. Análisis Granulométrico

Para el análisis granulométrico se analizó con ayuda de tablas con sus respectivas graficas que representa el comportamiento según el tamaño de partícula del suelo; además se determinó la clasificación granulométrica del suelo presente en cada calicata.

Calicata 01

Tabla N° 22: *Granulometría - Calicata 01*

MALLA	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75.000	100.00
2"	50.000	100.00
1 1/2"	37.500	100.00
1"	25.000	100.00
3/4"	19.000	100.00
1/2"	12.500	100.00
3/8"	9.500	100.00
N°4	4.750	99.82
N°10	2.000	99.27
N°16	1.100	97.41
N°30	0.600	94.97
N°40	0.425	93.87
N°50	0.297	88.00
N°100	0.149	52.26
N°200	0.075	42.56

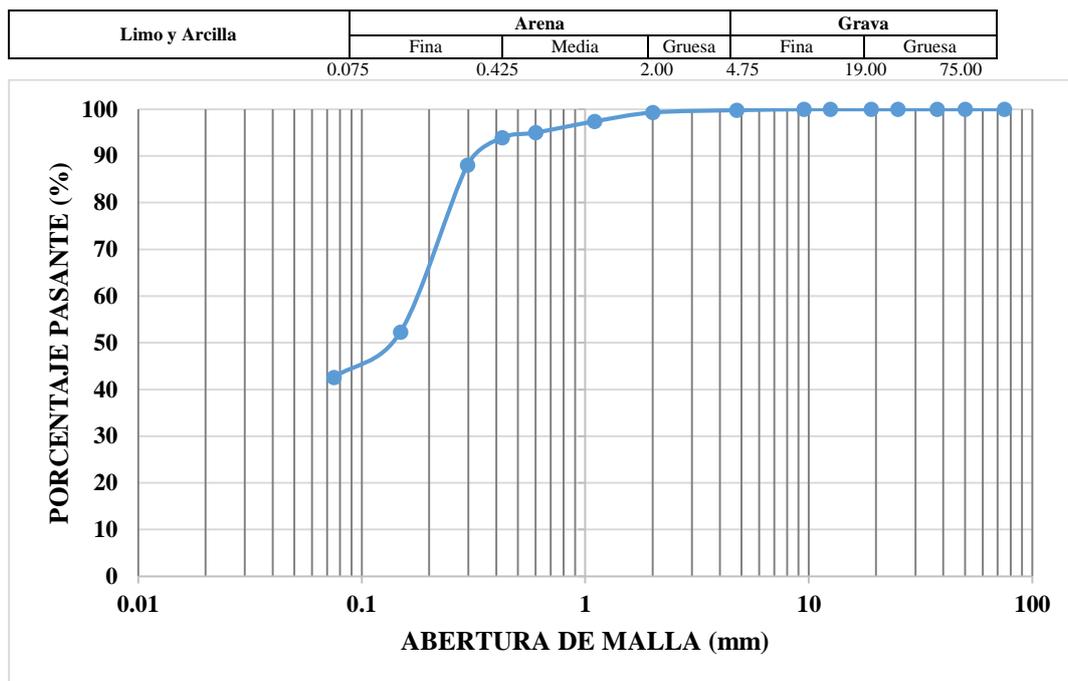


Figura N° 19: Curva granulométrica - Calicata 01

Calicata 02

Tabla N° 23: Granulometría - Calicata 02

MALLA	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75.000	100.00
2"	50.000	100.00
1 1/2"	37.500	100.00
1"	25.000	100.00
3/4"	19.000	100.00
1/2"	12.500	100.00
3/8"	9.500	100.00
N°4	4.750	99.82
N°10	2.000	98.67
N°16	1.100	95.81
N°30	0.600	92.57
N°40	0.425	90.08
N°50	0.297	83.40
N°100	0.149	66.24
N°200	0.075	51.96

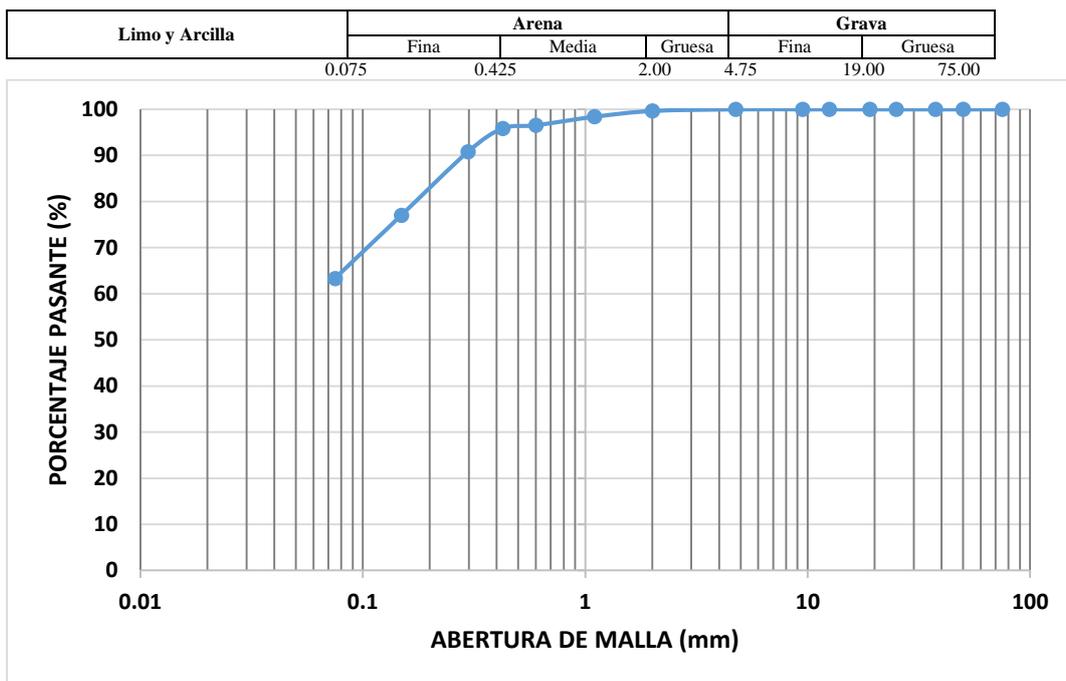


Figura N° 20: Curva granulométrica - Calicata 02

Calicata 03

Tabla N° 24: Granulometría – Calicata 03

MALLA	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75.000	100.00
2"	50.000	100.00
1 1/2"	37.500	100.00
1"	25.000	100.00
3/4"	19.000	100.00
1/2"	12.500	100.00
3/8"	9.500	100.00
N°4	4.750	99.82
N°10	2.000	99.07
N°16	1.100	97.81
N°30	0.600	95.96
N°40	0.425	93.66
N°50	0.297	87.37
N°100	0.149	71.38
N°200	0.075	57.66

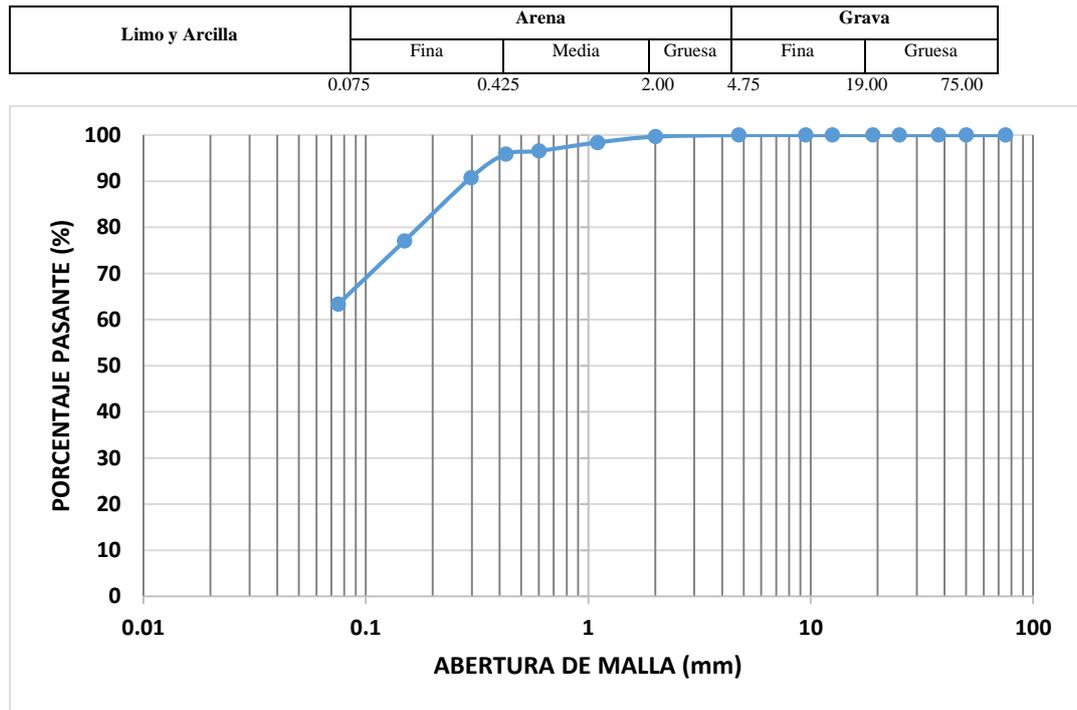


Figura N° 21: Curva granulométrica - Calicata 03

Calicata 04

Tabla N° 25: Granulometría - Calicata 04

MALLA	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75.000	100.00
2"	50.000	100.00
1 1/2"	37.500	100.00
1"	25.000	100.00
3/4"	19.000	100.00
1/2"	12.500	100.00
3/8"	9.500	100.00
N°4	4.750	100.00
N°10	2.000	99.65
N°16	1.100	98.40
N°30	0.600	96.55
N°40	0.425	95.85
N°50	0.297	90.78
N°100	0.149	77.02
N°200	0.075	63.33

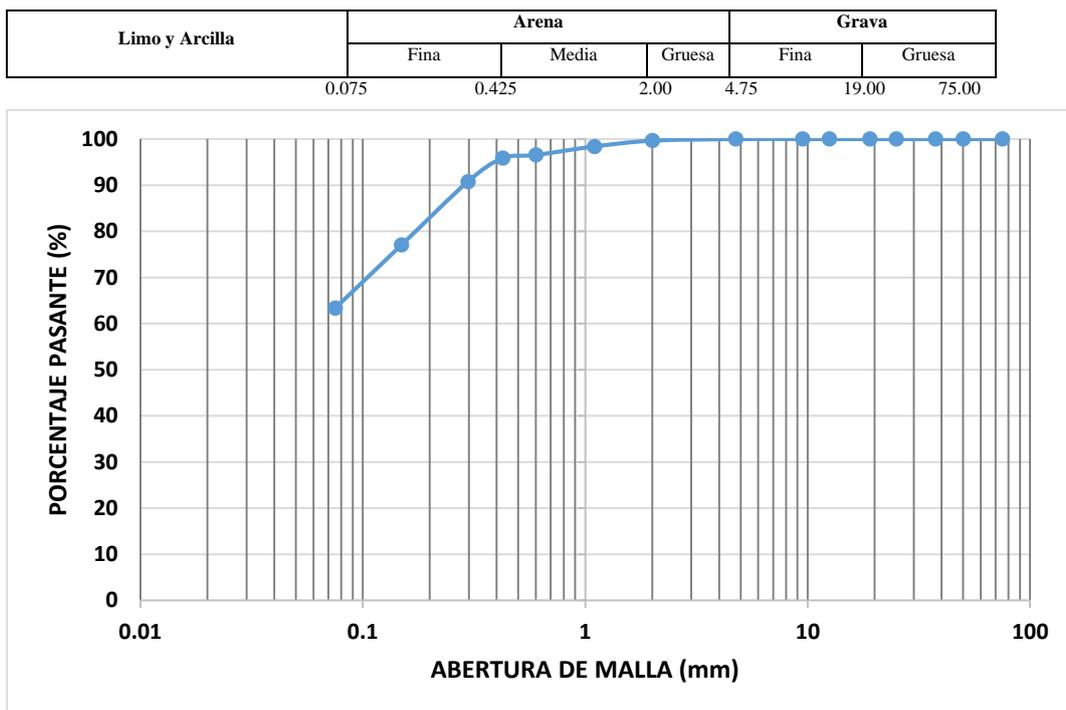


Figura N° 22: Curva granulométrica - Calicata 04

Clasificación granulométrica

Para el análisis granulométrico se analizó con ayuda de tablas con sus respectivas graficas que representa el comportamiento según el tamaño de partícula del suelo; además se determinó la clasificación granulométrica del suelo presente en cada calicata.

Tabla N° 26: Clasificación granulométrica

Clasificación Granulométrica	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03	Calicata 04
Gravas (%)	00.00	00.00	00.00	00.00
Arenas (%)	42.60	48.00	42.30	36.70
Finos (%)	57.40	52.00	57.70	63.30

3.1.4. Clasificación S.U.C.S.

Para la clasificarlo por el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado, lo primero es determinar a qué grupo pertenecen: Para este caso: Suelos de grano fino. Especificado el grupo de suelo, con ayuda de la siguiente tabla y la carta de plasticidad se determinó el tipo de suelo al que pertenece las muestras de las calicatas.

Tabla N° 27: Resumen datos para clasificación SUCS

Calicata	Código	L.L (%)	I.P(%)
01	●	19.60	13.90
02	●	21.20	14.20
03	●	34.40	14.90
04	●	25.70	14.30

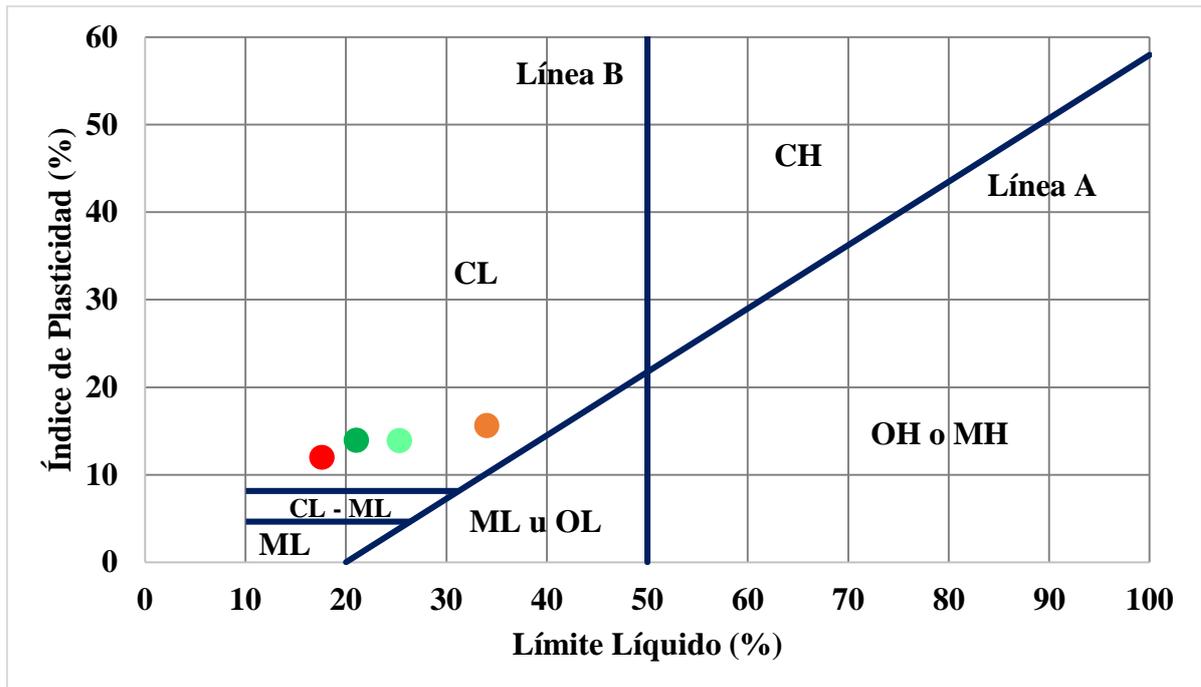


Figura N° 23: Carta de plasticidad

Para el suelo estudiado y extraído de las cuatro calicatas, las muestras pertenecen a Suelos de grano fino, sub grupo limos y arcillas con símbolo de grupo “CL”

3.1.5. Clasificación AASHTO

Para la clasificarlo por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes; lo primero es determinar a qué grupo pertenecen: Para este caso: Materiales limoso arcilloso, dado que más de 35% de la muestra pasa el tamiz N° 200. Especificado el grupo de suelo, con ayuda de la Tabla N°24 y la gráfica de clasificación fracción limosos-arcillo, se determinó el tipo de suelo al que pertenece las muestras de las calicatas.

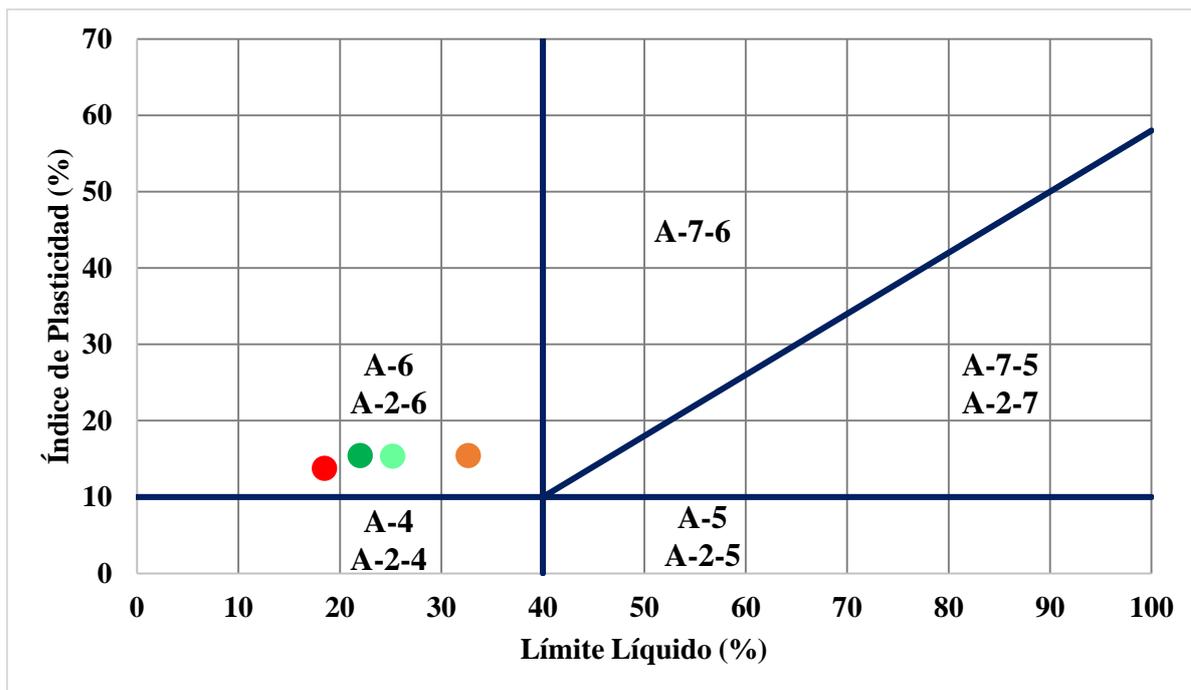


Figura N° 24: Clasificación fracción limoso-arcillosa

Para el suelo estudiado y extraído de las cuatro calicatas, las muestras pertenecen a Materiales limoso arcilloso, grupo “A-6”, constituyente principal suelo arcilloso con características como sub grado pobre a malo.

3.2. Próctor modificado

Para el ensayo de Próctor modificado se ensayó al suelo sin ningún tipo de adición y también se realizó en ensayo para cada mezcla de concha de abanico y cascarilla de arroz como se indica en la Tabla N° 12. Además, dicho ensayo se repitió 3 veces para garantizar la efectividad y la corroboración de resultados.

3.2.1. Próctor modificado para suelo

Tabla N° 28: Proctor modificado para suelo original

Repetición	Densidad Máxima (g/cm ³)	Humedad Máxima (%)
01	1.644	7.00
02	1.623	7.00
03	1.644	7.00

3.2.2. Próctor modificado para suelo con adición de cenizas de cáscara de arroz (CCA) y cenizas de residuos de concha de abanico (RCCA)

Tabla N° 29: *Próctor modificado para las combinaciones de suelo con CCA y RRCA*

Combinación	Repetición	Densidad Máxima (g/cm³)	Humedad Máxima (%)
Suelo Natural	01	1.765	8.00
+			
1% RCCA	02	1.782	8.00
+			
4%CCA	03	1.770	7.70
Suelo Natural	01	1.776	8.40
+			
1% RCCA	02	1.787	8.50
+			
6%CCA	03	1.780	8.50
Suelo Natural	01	1.840	8.80
+			
1% RCCA	02	1.830	8.89
+			
8%CCA	03	1.840	8.80
Suelo Natural	01	1.694	8.40
+			
2% RCCA	02	1.698	7.90
+			
4%CCA	03	1.690	8.25
Suelo Natural	01	1.764	8.70
+			
2% RCCA	02	1.760	8.80
+			
6%CCA	03	1.750	8.80
Suelo Natural	01	1.817	9.20
+			
2% RCCA	02	1.800	9.50
+			
8%CCA	03	1.810	9.50

Suelo Natural	01	1.743	8.40
+			
3% RCCA	02	1.738	8.50
+			
4%CCA	03	1.735	8.30
<hr/>			
Suelo Natural	01	1.820	9.00
+			
3% RCCA	02	1.825	9.40
+			
6%CCA	03	1.829	9.70
<hr/>			
Suelo Natural	01	1.935	10.00
+			
3% RCCA	02	1.960	10.00
+			
8%CCA	03	1.963	10.00
<hr/>			

Para el análisis de resultados se determinó el promedio de densidad máxima y humedad máxima por cada combinación y para el suelo natural.

Tabla N° 30: *Promedio de densidad máxima y humedad máxima*

Combinación	Densidad Máxima (g/cm³)	Humedad Máxima (%)
Suelo Natural	1.637	7.00
Suelo Natural + 1% RCCA + 4%CCA	1.772	7.90
Suelo Natural + 1% RCCA + 6%CCA	1.781	8.47
Suelo Natural + 1% RCCA + 8%CCA	1.837	8.83
Suelo Natural + 2% RCCA + 4%CCA	1.694	8.18
Suelo Natural + 2% RCCA	1.758	8.77

+ 6% CCA		
Suelo Natural		
+ 2% RCCA	1.809	9.40
+ 8% CCA		
Suelo Natural		
+ 3% RCCA	1.739	8.40
+ 4% CCA		
Suelo Natural		
+ 3% RCCA	1.825	9.37
+ 6% CCA		
Suelo Natural		
+ 3% RCCA	1.953	10.00
+ 8% CCA		

3.3. Índice CBR

Para el ensayo de índice CBR se ensayó al suelo sin ningún tipo de adición y también se realizó en ensayo para cada mezcla de concha de abanico y cascarilla de arroz como se indica en la Tabla N° 12. Además, dicho ensayo se repitió 3 vez para garantizar la efectividad y la corroboración de resultados.

3.3.1. Índice CBR para suelo

Tabla N° 31: *Índice CBR, suelo original*

Repetición	CBR (MDS)	
	0.1"	0.2"
01	8.30	8.80
02	8.20	8.70
03	8.10	8.60

3.3.2. Próctor modificado para suelo con adición de cenizas de cáscara de arroz (CCA) y cenizas de residuos de concha de abanico (RCCA)

Tabla N° 32: Índice CBR para las combinaciones de suelo con CCA y RRCA

Combinación	Repetición	CBR (MDS)	
		0.1" (%)	0.2" (%)
Suelo Natural	01	20.00	21.30
+ 1% RCCA	02	20.00	21.50
+ 4% CCA	03	20.00	21.50
Suelo Natural	01	24.10	25.20
+ 1% RCCA	02	24.30	25.40
+ 6% CCA	03	24.40	25.40
Suelo Natural	01	27.80	29.00
+ 1% RCCA	02	24.20	29.00
+ 8% CCA	03	27.80	29.00
Suelo Natural	01	25.20	26.40
+ 2% RCCA	02	25.20	26.50
+ 4% CCA	03	25.00	26.30
Suelo Natural	01	31.80	33.00
+ 2% RCCA	02	33.00	34.60
+ 6% CCA	03	32.10	33.00
Suelo Natural	01	33.60	34.90
+ 2% RCCA	02	36.60	37.60
+ 8% CCA	03	33.80	34.50

Suelo Natural	01	38.10	38.90
+			
3% RCCA	02	38.20	39.20
+			
4% CCA	03	38.10	38.80
<hr/>			
Suelo Natural	01	45.20	46.20
+			
3% RCCA	02	44.10	45.20
+			
6% CCA	03	15.10	46.40
<hr/>			
Suelo Natural	01	51.50	52.80
+			
3% RCCA	02	51.00	52.00
+			
8% CCA	03	51.60	53.00
<hr/>			

Tabla N° 33: Promedio de los valores para Índice CBR

Combinación	PROMEDIOS	
	CBR (MDS)	CBR (MDS)
	0.1" (%)	0.2" (%)
Suelo Natural	8.13	8.63
Suelo Natural		
+ 1% RCCA	20.00	21.43
+ 4% CCA		
Suelo Natural		
+ 1% RCCA	24.27	25.33
+ 6% CCA		
Suelo Natural		
+ 1% RCCA	26.60	29.00
+ 8% CCA		
Suelo Natural		
+ 2% RCCA	25.13	26.40
+ 4% CCA		

Suelo Natural		
+ 2% RCCA	32.30	33.53
+ 6% CCA		
Suelo Natural		
+ 2% RCCA	34.67	35.67
+ 8% CCA		
Suelo Natural		
+ 3% RCCA	38.13	38.97
+ 4% CCA		
Suelo Natural		
+ 3% RCCA	44.80	45.93
+ 6% CCA		
Suelo Natural		
+ 3% RCCA	51.37	52.60
+ 8% CCA		

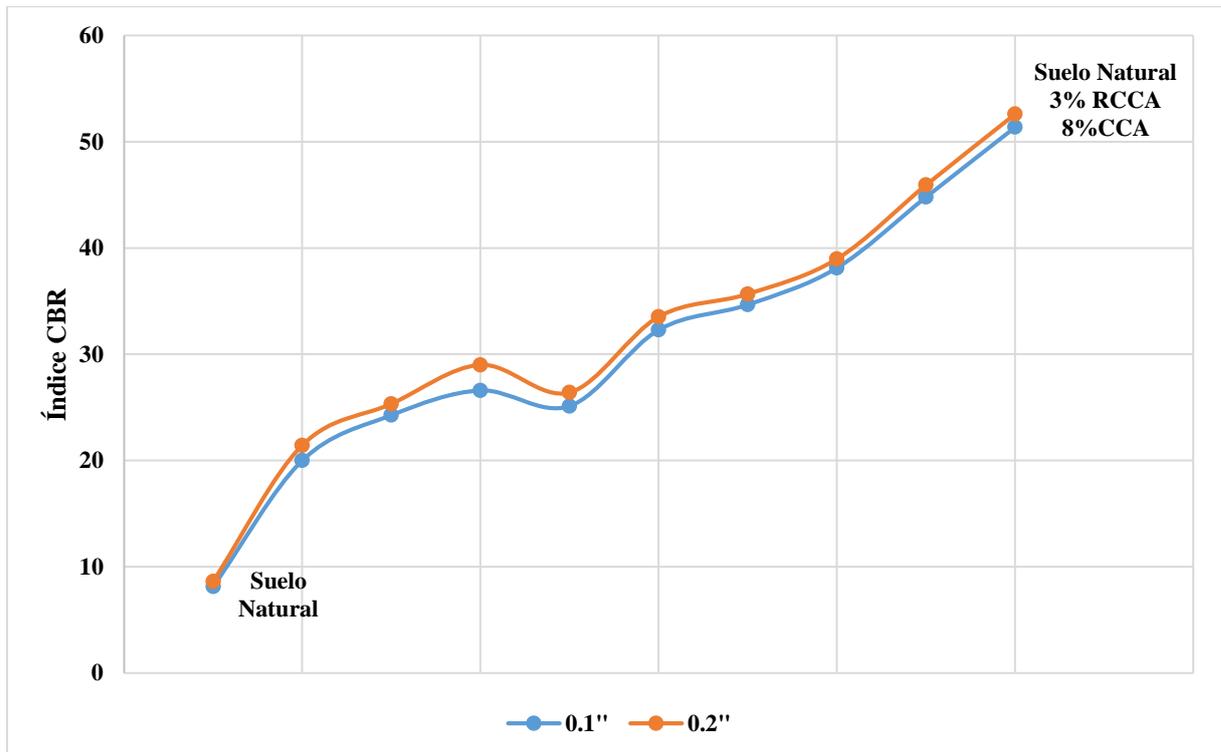


Figura N° 25: Comparación de índices CBR para 0.1" y 0.2"

3.4. Análisis térmico diferencial (ATD)

3.4.1. Análisis térmico diferencial para los residuos de concha de abanico

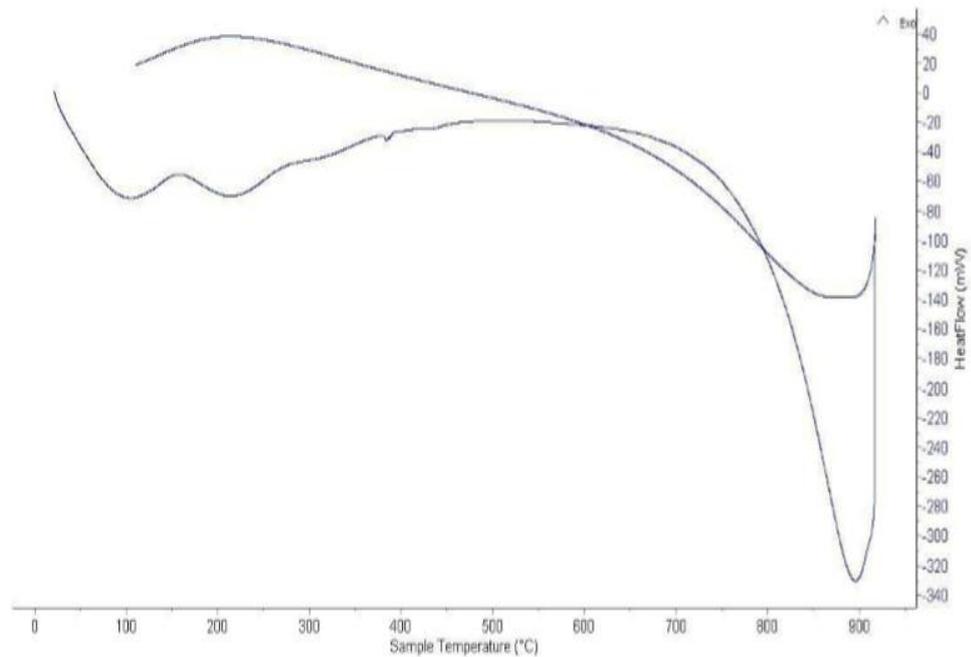


Figura N° 26: ATD para concha de abanico

Fuente: Laboratorio de Polímeros – UNT

En la figura anterior, se muestra un análisis térmico diferencial para los residuos de concha de abanico, observándose un proceso endotérmico con un cambio de fase a 890 °C.

3.4.2. Análisis térmico diferencial para la cáscara de arroz

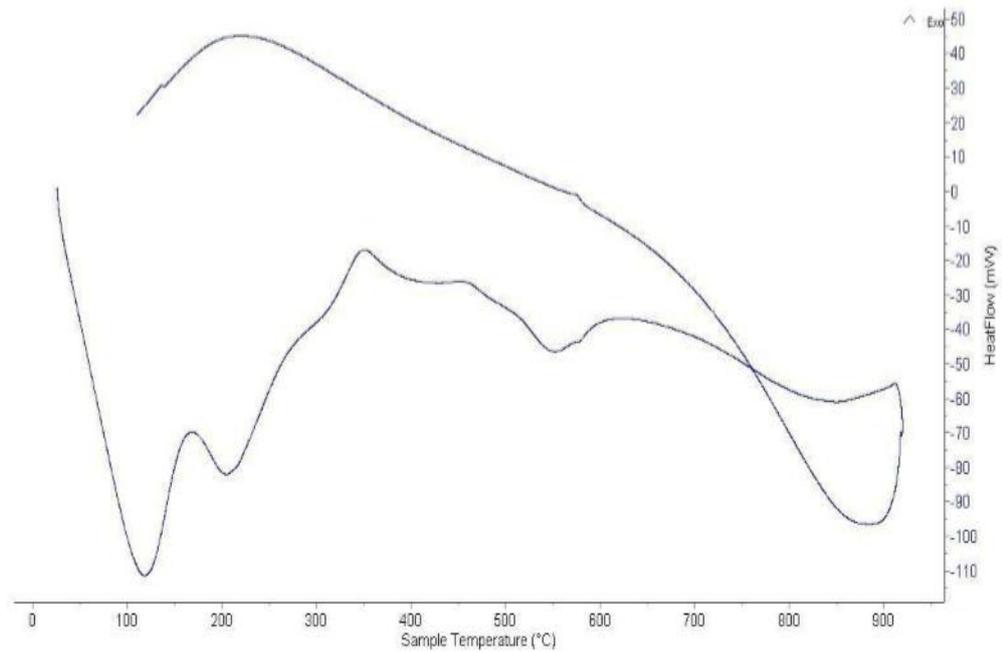


Figura N° 27: ATD para cáscara de arroz

Fuente: Laboratorio de Polímeros - UNT

En la figura anterior, se muestra un análisis térmico diferencial para la cáscara de arroz, observándose un proceso endotérmico con 3 picos pronunciados.

3.5. Análisis termo gravimétrico (ATG)

3.5.1. Análisis termo gravimétrico para los residuos de concha de abanico

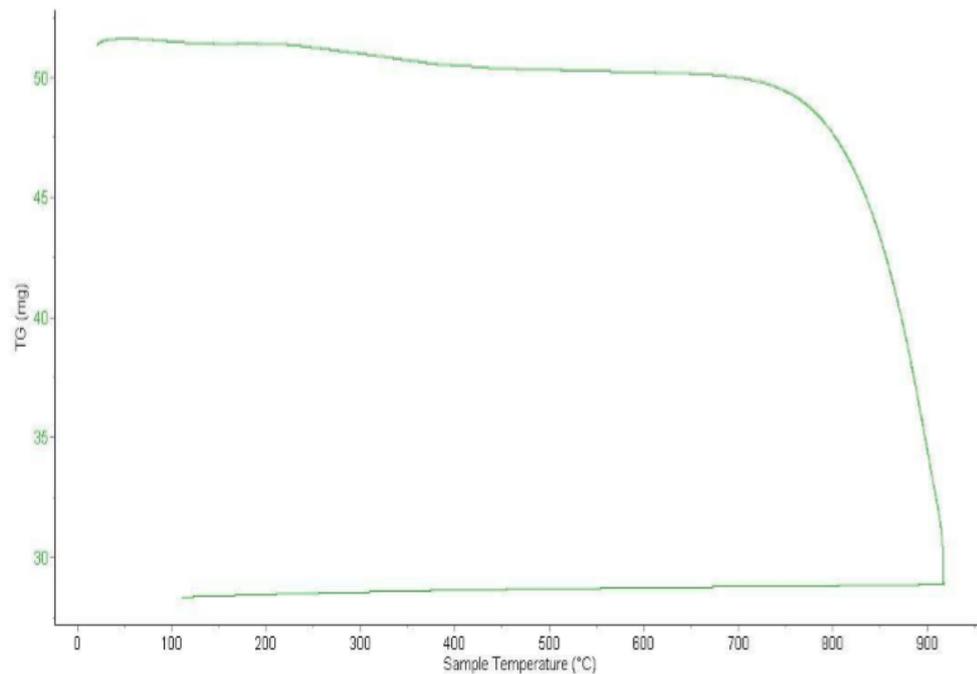


Figura N° 28: ATG para concha de abanico

Fuente: Laboratorio de Polímeros - UNT

En la figura anterior, se muestra un análisis termo gravimétrico para los residuos de concha de abanico, observándose la pérdida de masa a partir de 800 °C aproximadamente.

3.5.2. Análisis termo gravimétrico para la cáscara de arroz

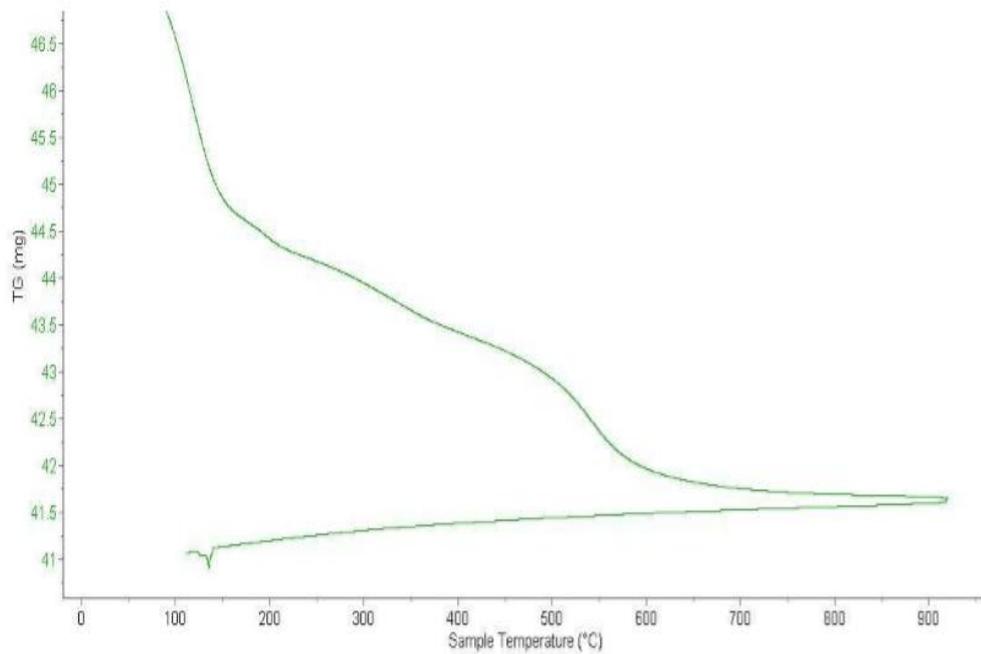


Figura N° 29: ATG para concha de abanico

Fuente: Laboratorio de Polímeros – UNT

En la figura anterior, se muestra un análisis termo gravimétrico para la cáscara de arroz, observándose la pérdida de masa a partir de 100 °C aproximadamente y manteniendo una masa constante a los 700 °C aproximadamente.

3.6. Difracción de rayos X (DRX)

3.6.1. Difracción de rayos X para los residuos de concha de abanico

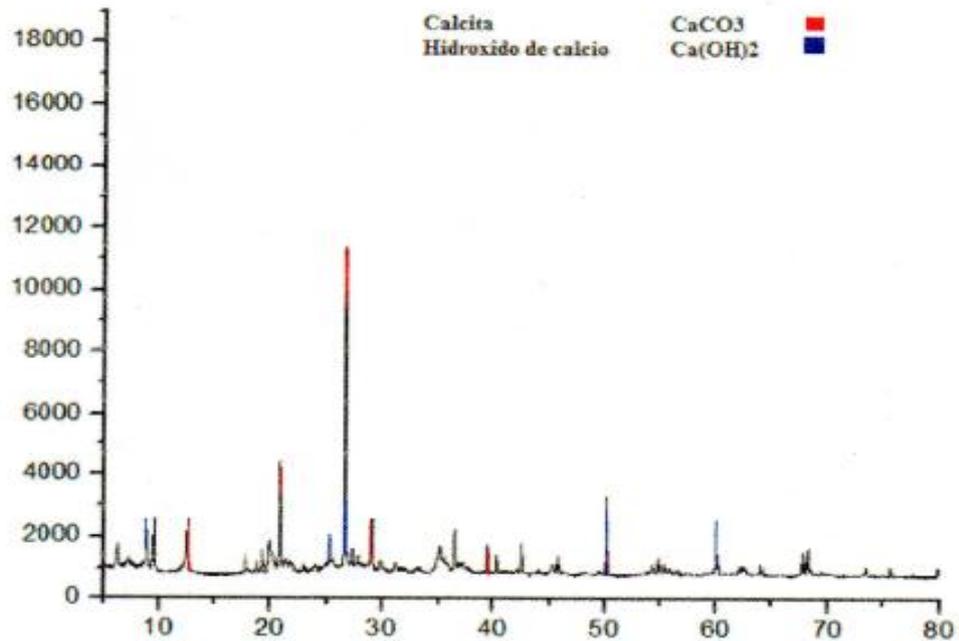


Figura N° 30: DRX para conchas de abanico calcinadas

Fuente: Laboratorio de Materiales Cerámicos - UNT

En la figura anterior, se muestra la difracción de rayos X para los residuos de concha de abanico calcinadas, observándose mayormente picos de Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), siendo los picos representativos los ángulos 2θ de 28° , 50° y 60° aproximadamente.

3.6.2. Difracción de rayos X para los residuos de concha de abanico calcinados

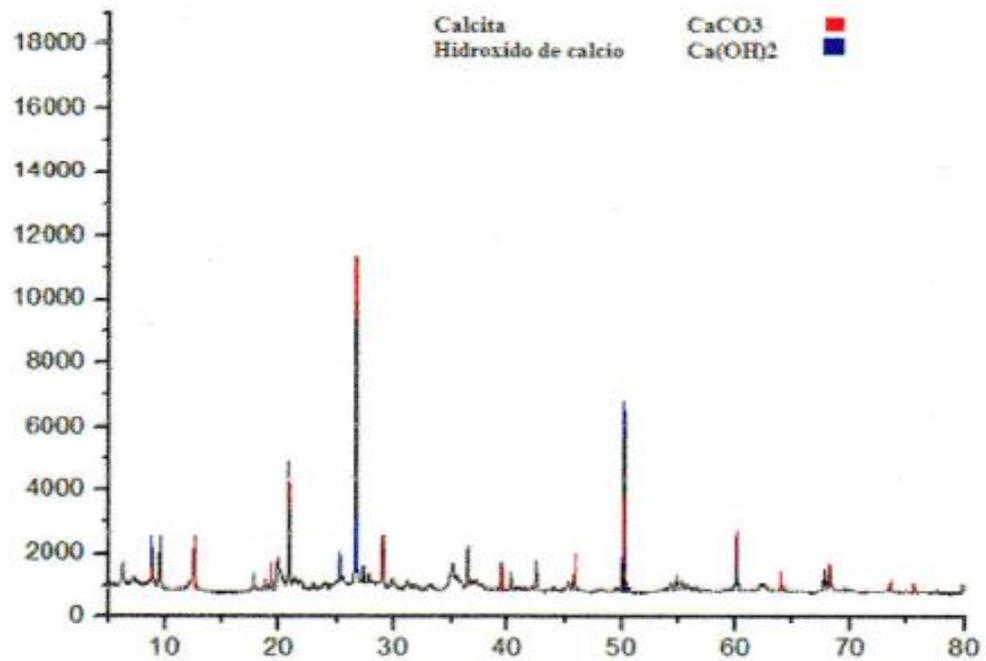


Figura N° 31: DRX para conchas de abanico

Fuente: Laboratorio de Materiales Cerámicos - UNT

En la figura anterior, se muestra la difracción de rayos X para los residuos de concha de abanico, observándose mayormente picos de Carbonato de calcio (CaCO_3), siendo los picos representativos los ángulos 2θ de 15° , 22° , 28° , 50° y 60° aproximadamente.

3.6.3. Difracción de rayos X para cáscaras de arroz

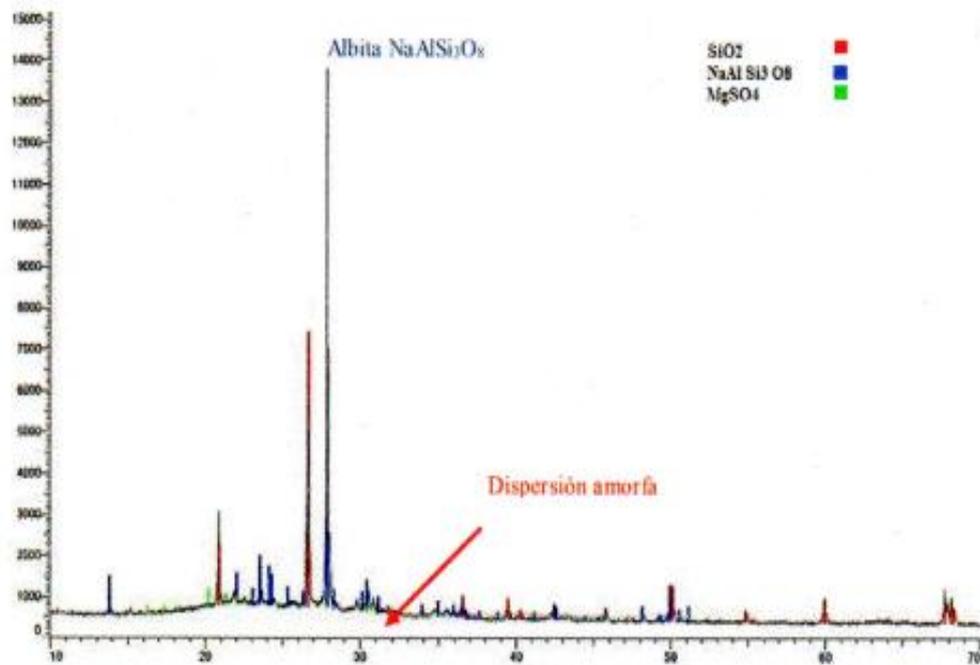


Figura N° 32: DRX para cáscaras de arroz

Fuente: Laboratorio de Materiales Cerámicos - UNT

En la figura anterior, se muestra la difracción de rayos X para la cáscara de arroz, observándose mayormente picos de dióxido de silicio (SiO₂), siendo los picos representativos los ángulos 2θ de 21° y 27° aproximadamente a una intensidad de 7000 aproximadamente, además se observa una dispersión amorfa.

3.6.4. Difracción de rayos X para ceniza de cáscaras de arroz

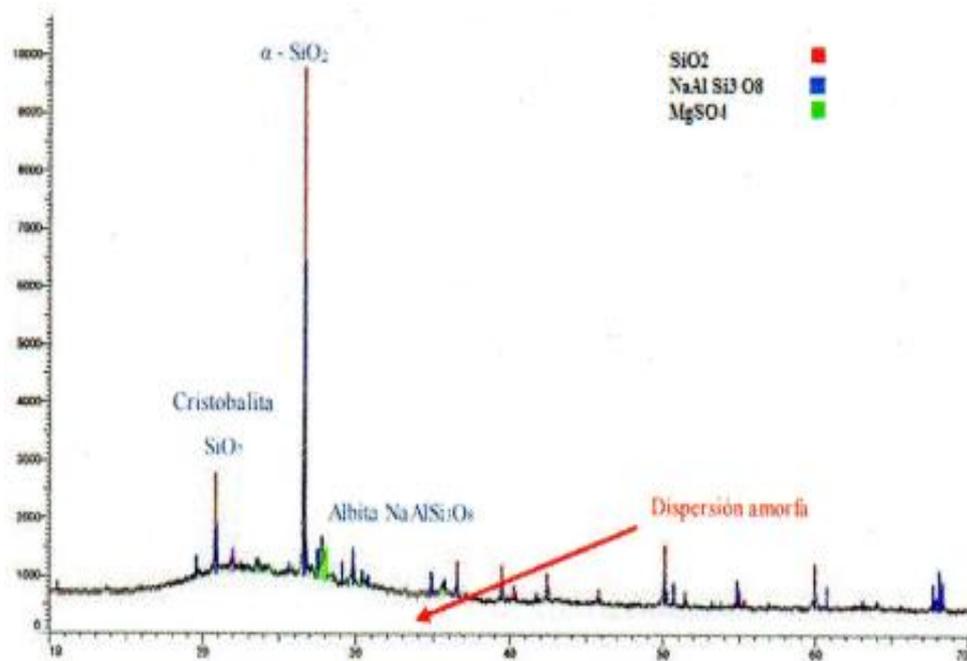


Figura N° 33: DRX para ceniza de cáscaras de arroz

Fuente: Laboratorio de Materiales Cerámicos - UNT

En la figura anterior, se muestra la difracción de rayos X para la cáscara de arroz, observándose mayormente picos de alfa - dióxido de silicio (α - SiO₂), siendo los picos representativos los ángulos 2θ de 21° y 27° aproximadamente a una intensidad de 10000 aproximadamente, además se observa una dispersión amorfa.

3.7. Análisis de Varianza (ANOVA)

3.7.1. ANOVA para CBR 0.1”

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grado de Libertad	Media de Cuadrados	Fo (Experimental)	Probabilidad	F Teórico
A	438.98	2	219.49	245.80	0.0000000000000085579	3.555
B	2085.16	2	1042.58	1167.55	0.000000000000000008968	3.555
Interacción AxB	38.76	4	9.69	10.85	0.000117649	2.928
Error	16.07	18	0.89			

3.7.2. ANOVA para CBR 0.2”

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grado de Libertad	Media de Cuadrados	Fo (Experimental)	Probabilidad	F Teórico
A	469.21	2	234.61	472.36	0.000000000000002792191	3.555
B	1986.66	2	993.33	1999.99	0.0000000000000000007267	3.555
Interacción AxB	36.85	4	9.21	18.55	0.000003397	2.928
Error	8.94	18	0.497			

Para un nivel de significancia del 5%, y dado que **F_{EXPERIMENTAL}**, es mayor que **F_{TEORICO}**.

➤ **Se acepta: H1**

H1: A medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y aumenta el porcentaje de residuos de conchas de abanico, aumenta el índice de CBR.

➤ **Y se rechaza: H0**

H0: A medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y aumenta el porcentaje de residuos de conchas de abanico, no influye en el índice de CBR.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1.1. Discusión

- En contenido de humedad del suelo de cada calicata esta expresado en la Tabla N° 18, del cual podemos deducir una humedad promedio de 8.90 %, contenido de humedad relativamente alto para un suelo de clasificación “CL” en la estación de verano de nuestro país, pudiendo llegar a 35 °C en un día muy caluroso, el porcentaje de humedad que presenta el suelo puede atribuirse a que el Centro Poblado San Rafael en el distrito de San Pedro de Lloc, es una zona productora de caña de azúcar por lo que el suelo esta humedecido por el constante flujo de agua que los pobladores ejercen en sus chacras, además la carretera de acceso al Centro Poblado San Rafael está ubicada al medio de los sembríos, donde los pobladores han seccionado el suelo dándole forma de cuentas para el transporte de agua, lo que generaría que el suelo este húmedo, lo mencionado anteriormente se puede visualizar en la Figura N° 17 de la presente investigación.
- Los Límites de Atterberg para el suelo extraído de las 04 calicatas están descritas en las Tablas N° 19 y 20, cuyos valores de límites líquidos están entre 19.60 % y 34.40 %, valores que corroboran el tipo de suelo, dado que el nivel de ligosidad del suelo con adición de agua es alto; esto se debe a que el suelo contiene más de la mitad de su composición, material fino como arcillas y limos; teniendo estas como característica principal la absorción de altas cantidad de agua ya sea por absorción o adsorción de sus partículas, además al ser partículas finas menores a 0.075 milímetros de diámetros, estas son partículas poca densas que al comparar la absorción con otro tipo de material, las partículas finas tendrían en mayor volumen generando que al compararlo con otro material, tengan mayor capacidad de retención de agua. Por otro lado, la baja densidad de las partículas finas hace que sea de fácil transporte por el aire, generando que las plantaciones estén cubiertas de polvo lo cual de cierta manera perjudica a las plantas, además este material fino por el hecho de ser fácil de transportar por vientos puede conllevar a generar enfermedades respiratorias en los pobladores.

- En las figuras N° 19, 20, 21 y 22, están representadas las curvas granulométricas de las muestras extraídas del suelo de la carrera de acceso al Centro Poblado San Rafael, en dichas curvas se puede visualizar que el punto de inicio no se encuentra exactamente en el “X” sino en un punto (x, y), lo que significa la presencia de material fino como limos y arcillas, también se observa que la curva en cierto punto se empieza a volver constante en línea recta paralela al eje “X”, lo cual significa que no hay presencia de agregado grueso. Lo último mencionado se puede corroborar con ayuda de las Tablas 22,23, 24 y 25, donde se representa el porcentaje pasante de cada tamiz, siendo el 100% un porcentaje que deja pasar a las partículas de suelo en su totalidad, por lo que se puede inferir de dichas tablas que no existe agregado grueso debido a que a partir del tamiz 3/8” (9.50 mm) hacia arriba el material pasa sin ningún problema. Todo lo antes mencionado se puede percibir en la Tabla N° 26, donde se calculó el porcentaje de gravas, arenas y finos, pudiendo concluir de las 4 muestras que presentan mayor cantidad de finos (mayor al 50%) y que no presenta gravas.
- Existen diferentes maneras de clasificar a un suelo dependiendo del uso que se desee dar, entre todas ellas hay dos maneras clasificatorias más usadas, una es el sistema de clasificación SUCS y la otra AASHTO, para cualquiera de las dos clasificaciones es necesario determinar la granulometría y los límites de Atterberg. En la figura N° 23, se puede observar claramente que las muestras de suelos pertenecen al tipo de suelo “CL”, lo que significa: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas. Además, según la clasificación SUCS este tipo de suelos tiene:
 - Facilidad de tratamiento en obra: Alta
 - Resistencia al corte: Moderada
 - Condiciones de drenaje: Baja permeabilidad
 - Compresibilidad: Media
 - Condiciones de compactación: Regular a buena

La clasificación AASHTO se puede observar en la figura N° 24, que las muestras pertenecen a suelo de clasificación “A-6”, lo que significa que es un suelo arcilloso cuyo comportamiento general como sub rasante es de aceptable a malo. Además, según la clasificación AASHTO este tipo de suelos tiene:

- Permeabilidad: Muy baja
 - Elasticidad: Deficiente
 - Cambio de volumen: Muy alto
 - Capilaridad: Muy alta
 - Base de pavimentos: Baja
 - Bus bases: Baja
 - Terraplenes: Deficiente
-
- En la Tabla N° 30, se resumen los valores promedios de densidad máxima (g/cm^3) y humedad máxima (%) según el ensayo de Próctor modificado para el suelo en estudio y suelos con adición de cenizas de residuos de concha de abanico (RCCA) y cenizas de cascarilla de arroz (CCA). Obteniendo valores de densidad entre 1.637 g/cm^3 y 1.953 g/cm^3 para suelo natural y el suelo con máximas adiciones de RCCA y CCA, también valores de humedad máxima de 7.00% y 10.00% para suelo natural y el suelo con los mayores porcentajes de RCCA (3%) y CCA 8(%). El ensayo de Próctor modificado sirve para analizar la conducta física del suelo natural y el suelo con diferentes adiciones de RCCA y CCA, al ser mezcladas con agua y compactadas con un peso constante; esta compactación ocasiona que la cantidad de agua a emplear aumente y a la vez disminuya la tensión capilar, generando que con la misma energía de compactación se origine resultados superiores.

 - En la Tabla N°33, se resumen los valores promedios del índice CBR (%) a 0.1” y 0.2”, según el ensayo de Próctor modificado para el suelo en estudio y suelos con adición de cenizas de residuos de concha de abanico (RCCA) y cenizas de cascarilla de arroz (CCA). Para el suelo natural se alcanzó un índice CBR de 8.13% y 8.63% para 0.1 pulgadas 0.2 pulgadas, respectivamente; para la mezcla de suelo natural y las adiciones de ceniza, se obtuvieron los mejores resultados con la adición de 3% RCCA y 8% CCA, con capacidades de soporte de 51.37 % y 52.60 % para 0.1 pulgadas y 0.2 pulgadas. En general los resultados de índices CBR representan la interacción del esfuerzo con la penetración del pistón del equipo.

En la Figura N° 25, se observan los índices CBR del suelo natural y las adiciones de la ceniza de los residuos de concha de abanico y ceniza de cáscara de arroz. Por lo que el comportamiento más resistente alcanzado fue para combinación de 3% RCCA y 8% CCA. De forma general los valores de capacidad de soporte a diferentes combinaciones de las cenizas muestran una tendencia creciente a comparación del suelo natural. Las bases teóricas indican que el progresivo aumento visualizado en la figura N° 25, se le atribuye a que el suelo arcilloso presenta una baja capacidad de soporte, por lo que son perjudiciales para cualquier tipo construcción, también este tipo de suelos se caracterizan principalmente por las propiedades de expansión y contracción, al ser un material retenedor de agua. Estos motivos, generan la necesidad de estabilizar a los suelos arcillosos para mejores las propiedades físicas, químicas y mecánicas; cuya estabilización se logra adicionando materiales que contrarresten las deficiencias del suelo, para lograr un aumento de la densidad y capacidad de soporte, evitando la remoción y sustitución del mismo.

La tendencia creciente de la curva observada en la Figura N° 25, puede corroborar la hipótesis de la presente investigación, indicando que a “A medida que aumenta el porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y aumenta el porcentaje de residuos de conchas de abanico, aumenta el índice CBR”. Esto indica una mejora en la capacidad de soporte de carga de 8.63% del suelo natural a 52.60% con adición de 3% RCCA y 8% CCA, corroborando lo investigado con Barragan y Cuervo en año 2019, quienes incrementaron la resistencia del suelo hasta en un 19%, por lo cual en esta investigación se empleó ceniza de cáscara de arroz a partir del 4%, según lo recomendado por los investigadores. Otra investigación que se tomó en referencia fue la ejecutada por el estudioso Farfán en el año 2015, quien determino que para aumentar el índice CBR es necesario disminuir el tamaño de partícula de la concha de abanico, por lo que se empleó ceniza en residuos de concha de abanico de 0.075 milímetros de diámetro (tamiz N° 200), influyendo en gran medida en nuestros resultados. Además, Alvarado y Guerra en el 2018, determinaron que la influencia de materiales ricos en sílice depende de la activación del material, por lo que, para la ejecución de la estabilización del suelo arcilloso de la carretera de acceso al Centro Poblado San Rafael, se utilizó temperaturas de 890 °C para RCCA y 420 °C para CCA, avalando una activación

térmica de las mismas. También en la ciudad de Cusco en el año 2016, Santos realizo estudios en la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz como estabilizante de un suelo arcilloso, concluyendo que este componente incrementa hasta un 80% la resistencia del suelo, lo cual corrobora los resultados obtenidos en esta investigación al usar ceniza de cáscara de arroz.

El comportamiento que se muestra en la figura antes mencionada se puede atribuir a que los suelos arcillosos presentan índices CBR bajos, el efecto de la mezcla de la Cenizas de cáscaras de arroz (CCA) y los residuos de conchas de abanico (RCCA) generan un material cementante que endurecen a la matriz de suelo, este hecho da como resultado el incremento del índice CBR.

También, la sílice amorfa de la CCA reacciona con el óxido de calcio obtenido de RCCA durante la etapa de hidratación y dan lugar a la formación de silicatos cálcicos, esto hace que la muestra endurezca lo que también mejora sus propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos demuestran que un exceso de CCA a bajas cantidades de RCCA se genera una reacción puzolánica entre la sílice y el hidróxido de calcio (resultado de combinar el residuo calcáreo con agua de la mezcla), provocando la formación del gel C-S-H (silicato cálcico hidratado lo cual ocasiona cristales de Etringita que se entrecruzan en el tiempo. La cinética de reacción muestra que al aumentar los puntos de contacto entre la CCA y el RCCA se producen más fases conglomerantes, incrementándose de esta manera la resistencia.

De forma concluyente, se podría decir que la combinación de residuos de concha de abanico y las cenizas de cáscara de arroz, forman un tipo de cemento ecológico que a la reacción con las partículas de agua aumentan los niveles de resistencia preestablecidos por el suelo natural; esto se debe a la composición que presenta RCCA y CCA, porque según el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) el endurecimiento del cemento se le atribuye esencialmente a la hidratación de los silicatos de calcio y las proporción de óxido de calcio (CaO) con el 62% y dióxido de silicio (SiO₂) con el 20% del total de componentes, lo representaría el 82% de todos los componentes que conforman el cemento. Con lo que esta investigación a utilizar conchas de abanico con un 99% de carbonato de calcio (CaCO₃) que al calcinarlas genera un material rico en óxido de calcio

(CaO); así como las cáscaras de arroz al calcinarlas producen una ceniza con altos porcentajes de dióxido de silicio (SiO_2); y al ser estos dos elementos los principales para la elaboración de los cementos, los materiales que se ha empleado RCCA y CCA podrían generar el mismo efecto de endurecimiento que un cemento.

- En la Figura N° 26, se muestra el análisis térmico diferencial de los residuos de concha de abanico, el cual muestra cuatro picos endotérmicos.

En la curva ATD, se observa claramente, que hay un cambio de fase pronunciado, es decir, existe un cambio de fase, ya que hay un pico pronunciado, a comparación, del primer pico que muestra unas pequeñas bandas endotérmicas a 100 y 200 °C lo cual representa la pérdida de agua superficial, que indica la pérdida de agua.

La curva ATD, registra el calor absorbido (endotérmico), a medida que se incrementa la temperatura, en dicha curva se observan cuatro picos, el primero de estos aproximadamente a 110 °C, al cual se le atribuye la pérdida de agua adsorbida; el segundo, a 220 °C, lo cual se debe a la descomposición de materia orgánica o al agua adsorbida y al agua interlaminar. Posteriormente se muestra un importante pico endotérmico a 400 °C aproximadamente que anuncia una posible transición de fase, que corresponde a la descomposición del mineral y a la eliminación de los grupos hidroxilos como agua, en otras palabras, a esta temperatura se elimina el agua química presente en la muestra, y finalmente el último pico endotérmico a 890 °C. En otras palabras, este análisis nos muestra la temperatura ideal de activación de los residuos de concha de abanico de 890 °C.

En la Figura N °27, se muestra el análisis térmico diferencial de las cáscaras de arroz, el cual muestra cinco picos endotérmicos.

En la curva ATD, se observa claramente, que hay un cambio de fase pronunciado, es decir, existe un cambio de fase, ya que hay un pico pronunciado, a comparación, del primer pico que muestra unas pequeñas bandas endotérmicas a 80 y 120 °C lo cual representa la pérdida de agua superficial, que indica la pérdida de agua.

La curva ATD, registra el calor absorbido (endotérmico), a medida que se incrementa la temperatura, en dicha curva se observan cuatro picos, el primero de estos aproximadamente a 120 °C, al cual se le atribuye la pérdida de agua adsorbida; el segundo, a 210 °C, lo cual se debe a la descomposición de materia

orgánica o al agua adsorbida y al agua interlaminar. Posteriormente se muestra un importante pico endotérmico a 420 °C aproximadamente que anuncia una posible transición de fase, que corresponde a la descomposición del mineral y a la eliminación de los grupos hidroxilos como agua, en otras palabras, a esta temperatura se elimina el agua química presente en la muestra, posteriormente un ligero pico endotérmico a 560 °C habiendo gran probabilidad de existir algún cambio estructural del material y finalmente el último pico endotérmico a 890 °C. En otras palabras, este análisis nos muestra la temperatura ideal de activación de ceniza de cáscaras de arroz es de 420 °C. Cabe recalcar que para este caso no se busca el cambio de fase completo, si no a existencia de sílice - α , la cual es la ideal para la aplicación deseada.

- En la Figura N° 28, se muestra el análisis termo gravimétrico de los residuos de concha de abanico, el cual según el análisis Termo gravimétrico se muestra una importante estabilidad térmica hasta alcanzar los 710 °C, en la cual posteriormente la caída de la masa es en forma intensa, manifestando una pérdida total de aproximadamente 44 % respecto a su masa inicial cuando se alcanza la máxima temperatura de ensayo.

En la Figura N° 29, se muestra el análisis termo gravimétrico para las cáscaras de arroz, el cual según el análisis. Según el análisis Termo gravimétrico se muestra la descomposición térmica a través de la pérdida de masa en función a la temperatura indicando dos regiones donde se hace más intensa la pérdida, la primera en un rango entre 80 y 120 °C y la segunda menos intensa entre 400 y 500 °C, posteriormente la pérdida es gradual. El material llega a perder un aproximado de 12% de masa, respecto a su masa inicial a la temperatura máxima de ensayo.

- En la Figura N° 30 y 31, se visualiza las difracciones de rayos X, para los residuos de conchas de abanico calcinadas y concha de abanico natural tamizadas por la malla N° 200, respectivamente.

De las figuras se puede observar claramente que al calcinar el material en mención existe mayor cantidad de Ca(OH)_2 dado que existe mayor presencia de picos de color azul, los que representan a dicho compuesto.

En la Figura N° 32 y 33, se visualiza las difracciones de rayos X, para las cáscaras de arroz pre calcinadas y para las cenizas de cáscaras de arroz tamizadas por la malla N° 200, respectivamente.

De las figuras se puede observar claramente que al calcinar al material en mención existe mayor cantidad de $\text{SiO}_2\text{-}\alpha$ dado que existe mayor presencia de picos de color rojo, los que representan a dicho compuesto.

1.2. Conclusiones

- Se determinó la influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc, diagnosticando que el mejor porcentaje de ambas cenizas son de 3% y 8%. respectivamente.
- Se determinó la caracterización de materiales para el suelo del camino de acceso al Centro Poblado San Rafael, en el distrito de San Pedro de Lloc, tipificándolo como un Suelo de clasificación Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media (CL) debido a que el índice de plasticidad en promedio es 14.32% y está entre los rangos de 5% a 20%, dentro la clasificación también puede considerarse arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, según la clasificación SUCS. Y un suelo arcilloso cuyo comportamiento general como sub rasante es de aceptable a malo (A-6), según la clasificación AASHTO.
- Se definió el análisis térmico diferencial (ATD) y análisis termogravimétrico (ATG) para la cáscara de arroz y concha de abanico, identificando las temperaturas optimas de calcinación de 890 °C para RCCA y 420 °C para CCA; además se estableció el porcentaje de pérdida en peso a dichas temperaturas cuyos valores corresponde a 44% y 12 %, respetivamente.
- Se comparo la difracción de rayos X de la cáscara de arroz y concha de abanico sin ningún proceso térmico con los materiales luego de las calcinaciones, observando un aumento de los picos que representa a $\text{SiO}_2\text{-}\alpha$ y Ca(OH)_2 para cada material correspondiente; significando un aumento en la composición química de dichos compuestos para la cáscara de arroz y concha de abanico, respectivamente.

- Se evaluó la comparación de los parámetros de compactación del suelo arcilloso como patrón con las dosificaciones de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico, obteniendo resultados en el ensayo Próctor modificado de 1.637 g/cm^3 de densidad máxima para el suelo natural y 1.953 g/cm^3 para la mejor mezcla de suelo natural, residuos de conchas de abanico (3%) y ceniza de cáscara de arroz (8%).
- Se determinó el índice CBR del suelo arcilloso como patrón y estabilizado con ceniza de cáscara de arroz y residuo de conchas de abanico, obteniendo valores de capacidad de soporte de 8.13% y 8.63% para CBR 0.1” y CBR 0.2”, respectivamente. Para la mejor mezcla de suelo natural, residuos de conchas de abanico (3%) y ceniza de cáscara de arroz (8%), se obtuvo valores de 51.37% y 52.60% en la capacidad de soporte para CBR 0.1” y CBR 0.2”, respectivamente.
- Se estableció la mejor combinación en porcentajes de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico, para generar un mayor índice CBR, siendo la mejor dosificación la mezcla de 3% de residuos de conchas de abanico y 8% de ceniza de cáscara de arroz.

REFERENCIAS

Alvarado C. y Guerra A. (2018) *Influencia de la adición de ceniza de cáscara de arroz activada alcalinamente sobre la estabilización ecológica de la mezcla suelo - sedimento en la provincia de Viru*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo

Andina (2016) *La Libertad: declaran al distrito de Guadalupe como “Capital del Arroz”*. Obtenido de: <https://andina.pe/agencia/noticia-la-libertad-declaran-al-distritoguadalupe-como-capital-del-arroz-615711.aspx>

Agencia Agraria Pacasmayo. (2012) *Boletín informativo “El Labrador”*.

Barragan, C. y Cuervo, H. (2019) *Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno - arcilloso*. Girardor: Cundinamarca

Barrantes, J. y Holguin, R. (2015) *Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo

Cabrera, J. (2015) *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de biocemento a partir de ceniza de cascarilla de arroz*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Cerón, S. (2012) *Uso eficiente de la cascarilla del arroz mediante la implantación de un sistema de comercialización orientado al sector público y privado en el cantón de Babahoyo*.

Consortio Raymondi y otros (2010). *Plan de acondicionamiento territorial: Provincia de Pacasmayo*

Estela M. (2019). *Suelo*. Obtenido de: <https://concepto.de/suelo/>.

Farfan, P. (2015) *Uso de concha de abanico triturada para mejoramiento de sub rasantes arenosas*. Piura: Universidad de Piura

Ferreira A. y Silveira A. (1997). *Ceniza de cáscara de arroz: Posibilidades de utilización como insumo en materiales de construcción*. ANTAC, 6.

Gamarra, B., Potal G. (2018) *Evaluación en la fabricación de bionanofiltros a base de concha-arcilla-almidón, para la purificación de aguas superficiales del Rio Tablachac*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo

Gobierno Regional de la Libertad GRLL. (2017) *Aplican cloruro de calcio para el control de polvo en vías costeras de La Libertad*. Obtenido de: <http://www.regionlalibertad.gob.pe/noticias/regionales/7713-aplican-cloruro-de-calcio-para-el-control-de-polvo-en-vias-costeras-de-la-libertad>

Guevara D. (2014). *Estabilización e suelos pavimentos*. Obtenido de: <http://laultimaresistencia.weebly.com/uploads/6/8/2/7/6827657/35580425-estabilizacion-de-suelos>

Grupo SACSA (2015). *Características del suelo arcilloso*. Obtenido de: <http://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/>

Gutiérrez, C. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bichiofita) frente al cloruro de calcio*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

INFOPRES (2010). *Conchas de abanico argopecten*. Obtenido de: <http://tumi.lamolina.edu.pe/infopes/?product=concha-de-abanicoargopecten-purpuratus>

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). *Componentes y propiedades del cemento*. Obtenido de: <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>

Koyama, N., Sosaya, K. y Okuda, S. (2003) *Bionic Design of the Scallop Shell Development of New Products that Apply Its Function.*

Liplat (2013) *Estabilización de suelos.* Obtenido de:
<http://www.liplata.pe/web/servicios/estabilizacion-quimica>

Lopez J. y Ortiz G. (2018) *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la sub rasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay.* Abancay: Universidad Tecnológica de los andes Hatun Yachay Wasi

Marcelo D. (2016) *Suelos arcillosos características y cuidados.* Obtenido de:

<https://tendencias.com/hogar/suelos-arcillosos-caracteristicas-y-cuidados/>

Ministerio de transportes y comunicaciones (2016). *Manual de ensayos de materiales.*

Ministerio de Agricultura y Riego. *Línea de Base y el Análisis de los Procesos Productivos y Cadena de Valor de las Plantaciones Forestales en la Región La Libertad*

Molina, E. (2010) *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto.* Costa Rica: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

Musso, et. al. (2003). *Subrasantes expansivas en Rutas Nacionales: ¿mito o realidad?* Uruguay: Congreso de la Vialidad Uruguaya.

Palomino, Y. (2016) *Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice california bearing ratio (cbr) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016.* Cajamarca: Universidad Privada del Norte

Presidencia del Consejo De Ministros y el Gobierno Regional La Libertad (2007). *Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la Provincia Pacasmayo*

Super Foods Perú (2011). *Conchas de abanico.* Obtenido de: <https://peru.info/es-pe/superfoods/detalle/super-conchas-de-abanico>

Santos, C. y Sarmiento, G.. (2016) *Incidencia de la adición de ceniza de cascarilla de arroz en la estabilización de suelo arcilloso, propuesto como material de subrasante de la via fundo Molleray San Sebastián – Cusco*. Cusco: Universidad Andica del Cusco

Xinyu L., Xiaodong C., Liu Y., Hongzhuo C., Yumei T., & Zichen W. (2015). *A review on recent advances in the comprehensive application of rice husk ash*. China: Res Chem Intermed.

Yepes, V. (2014). *Estabilización de suelos*. Obtenido de:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/>

YRUPAILLA, C. (2010). *Uso de la cáscara de arroz como fuente de energía en la fabricación de ladrillos cerámicos*.