



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Universidad
Andina
del Cusco**

TESIS

**INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA AL 10%,
15% Y 20% EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO
ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY-
CUSCO 2021**

Presentado por:

Bach. Pedro Gonzalo Mora Cortez

Bach. Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mag. Ing. Heber Darwin Gutiérrez Vallejo

Cusco – Perú

2024



METADATOS

DATOS DE AUTOR 01	
NOMBRES Y APELLIDOS	STEFANO RODRIGO CHOQUETINCO SUAREZ
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	72411314
URL DE ORCID	
DATOS DE AUTOR 02	
NOMBRES Y APELLIDOS	PEDRO GONZALO MORA CORTEZ
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	72260515
URL DE ORCID	
DATOS DE AUTOR 01	
NOMBRES Y APELLIDOS	HEBER GUTIERREZ VALLEJO
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	23921417
URL DE ORCID	
DATOS DEL JURADO	
PRESIDENTE DEL JURADO	
NOMBRES Y APELLIDOS	MARCO ANTONIO SILVA PALOMINO
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	23862951
JURADO 02	
NOMBRES Y APELLIDOS	JULIO BENJAMIN DEZA CAVERO
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	
JURADO 03	
NOMBRES Y APELLIDOS	JOSE CARLOS SOLIS TITO
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	
JURADO 04	
NOMBRES Y APELLIDOS	HEBERT JESUS ZEVALLOS GUZMAN
NUMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD	
DATOS DE LA INVESTIGACION	
LINEA DE INVESTIGACION DE LA ESCUELA PROFESIONAL	GEOTECNIA



TESIS

by STEFANO RODRIGO CHOQUETINCO SUAREZ

Submission date: 21-Oct-2023 08:18AM (UTC-0500)

Submission ID: 2202668038

File name: Copia_de_TESIS_FINAL_CHOQUETINCO_-_MORA.docx (28.44M)

Word count: 28112

Character count: 143605



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Universidad Andina del Cusco

TESIS

**INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA AL 10%,
15% Y 20% EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO
ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY,
CUSCO**

Presentado por:

Bach. Pedro Gonzalo Mora Cortez

Bach. Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Heber Darwin Gutiérrez Vallejo

Cusco – Perú

2023



15% Y 20% EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY, CUSCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

EN

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

semspub.epa.gov

Fuente de Internet

1%

2

repo.itera.ac.id

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

4

Submitted to Higher Education Commission
Pakistan

Trabajo del estudiante

<1%

5

soilworks.com

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad San Ignacio de
Loyola

Trabajo del estudiante

<1%

7

B. Jayo, Gary Duran. "Mechanical Behavior of
Low Plasticity Clay Soil Stabilized with Rice

<1%




Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	STEFANO RODRIGO CHOQUETINCO SUAREZ
Título del ejercicio:	REVISION DE TESIS
Título de la entrega:	INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA AL 10%, ...
Nombre del archivo:	Copia_de_TESIS_FINAL_CHOQUETINCO_-_MORA.docx_2_-NOV...
Tamaño del archivo:	6.64M
Total páginas:	182
Total de palabras:	40,721
Total de caracteres:	202,226
Fecha de entrega:	20-nov.-2023 10:36a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2202668038

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Universidad
Andina
del Cusco**

TESIS

INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA AL 10% ,
15% Y 20% EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO
ARCHILOSO, CARRETERA YAU RISQUE-SAN JUAN DE TARAY,
CUSCO

Presentado por:
Bach. Pedro Gonzalo Mora Cortez
Bach. Stefano Rodrigo Choquetirco Suárez

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:
Mg. Ing. Hober Darwin Gutiérrez Vallejo

Cusco - Perú
2023



DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios por acompañarme en todos los momentos de mi vida, en especial por darme la salud y la vida.

Agradezco también a mis padres por siempre ser el motor y motivo en mi vida, por orientarme a tomar las mejores decisiones en mi vida. A mi papá Pedro que algún día espero superar como persona y profesional, a mi mamá Ana Lilia que su gran corazón me inculco los mejores valores cristianos para esta vida. A mi hermana menor Nicol Paola que siempre espero ser el mejor modelo para ella y quiero que algún día me supere.

Y por último agradezco a todos mis familiares y amigos que me acompañaron en todo momento.

Pedro Gonzalo Mora Cortez

Agradecer a Dios, a la Virgen del Carmen y San Francisco de Asís por protegerme y bendecirme durante todo este proceso educativo y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres Raúl Jesús y Edith Guadalupe por ser el principal motor para la construcción de mi vida profesional, por estar ahí en las buenas y malas conmigo, encaminando mis pasos y por su inmenso amor y estar presente en cada instante de mi vida las cuales serán guía para mi vida futura. A mis hermanos Renato y Astrid por el eterno apoyo y amor que siempre me ofrecen.

Y en la memoria de mi tío Henry Suarez quien fue pieza fundamental en mi crecimiento educativo y profesional

Stefano Rodrigo Choquetinco Suarez



AGRADECIMIENTOS

A Dios que en su inmenso amor en todo momento nos acompañó en los mejores y peores momentos,

A nuestros padres que en todo momento nos apoyaron a culminar con esta etapa tan importante en nuestras vidas que es la vida universitaria

A nuestra casa de estudios que es la Universidad Andina del Cusco, a todos los docentes que nos enseñaron en todos estos años y nos compartieron sus experiencias laborales, siendo fuente de inspiración para fortalecer nuestros conocimientos y ser mejores profesionales cada día.

A nuestro asesor Ing. Heber D. Gutiérrez Vallejo, por el apoyo que nos dio en todo el tiempo que realizamos esta investigación y que fue de mucha ayuda para terminarla

Al ingeniero Julio Benjamín Deza Cavero que fue de gran ayuda en los aportes y observaciones para culminar nuestra investigación

A nuestros familiares y amigos que nos acompañaron a lo largo del trayecto de la vida universitaria

Pedro - Stefano



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal es de evaluar la influencia que tiene el aplicar ceniza de afrecho de cebada en diferentes porcentajes sobre las propiedades físico mecánicas a nivel de subrasante, en este caso concreto aplicado en la carretera Yaurisque-San Juan de Taray; verificando que el suelo cumpla con los requisitos mínimos para ser considerado material que puede ser utilizado a nivel de subrasante todo esto especificado en los parámetros de las normas peruanas. Nuestras hipótesis serán demostradas a través de ensayos de laboratorio, los cuales son: ensayos de límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), relación humedad-densidad (Proctor modificado) y capacidad de soporte de California CBR.

Además, se pudo demostrar que la presente investigación tuvo unos resultados satisfactorios, si bien la mejora no es mucha al fin al cabo el aditivo Ceniza de Afrecho de Cebada mejoro las propiedades físico-químicas del suelo sobre el cual fue aplicado.

Otra cosa que es importante señalar es que la Ceniza de Afrecho de Cebada se obtuvo como material reciclado producto del desperdicio que se tiene de las cervecerías artesanales de la ciudad del Cusco.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que los resultados obtenidos fueron analizados mediante cuantificadores de variable. Además, que todas las hipótesis se desarrollaron antes del desarrollo de los ensayos.

La presente investigación se centra solamente en las muestras del suelo obtenidas de la carretera de Yaurisque-San Juan de Taray, por lo que no se garantiza al 100% la efectividad de estos resultados sobre otros tipos de suelo. Se utilizo la ceniza de Afrecho de Cebada en diferentes porcentajes: 10%, 15% y 20%, teniendo como resultados mas favorables en la dosificación del 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada donde se aprecia el resultado mas alto para el CBR con un valor de 15.58%, sin embargo no fue suficiente para poder recategorizar la muestra manteniéndose como subrasante buena (S_3) según el Manual de Carreteras (2013)

Además, algo para remarcar es la alta presencia de sílice dentro de la ceniza de afrecho de cebada en un 58.30%, magnesio (10.90%), calcio (8.10%), aluminio (8.26%), hierro (3.20%) que favorecen en el mejoramiento de las propiedades físico químicas del suelo a nivel de subrasante.

Palabras claves: ceniza de afrecho de cebada, subrasante, CBR, propiedades físico-químicas, Proctor Modificado, límites de consistencia,



ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the influence of applying Barley Bran Ash in different percentages on the physical-mechanical properties at the subgrade level, in this specific case applied to the Yaurisque-San Juan de Taray highway; verifying that the soil meets the minimum requirements to be considered material that can be used at the subgrade level, all of this specified in the parameters of the Peruvian standards. Our hypotheses will be demonstrated through laboratory tests, which are: consistency limit tests (liquid limit, plastic limit and plasticity index), humidity-density relationship (Modified Proctor) and Support Capacity of California CBR.

Also, it was possible to demonstrate that the present investigation had satisfactory results, although the improvement is not much after all Barley Bran Ash additive improved physical-chemical properties of the soil about which it was applied.

Something else that is important to stand out is that Barley Bran Ash was obtained as recycled material from the waste from craft breweries in the city of Cusco.

The research has a quantitative approach, since the results obtained were analyzed using variable quantifiers. Furthermore, all hypotheses were developed before the development of the trials.

This research focuses only on soil samples obtained from the Yaurisque-San Juan de Taray highway, so the effectiveness of these results on other types of soil is not guaranteed. Barley Bran Ash was used in different percentages: 10%, 15% and 20%, with the most favorable results in the dosage of 10% barley bran ash where the highest result for the CBR is seen with a value of 15.58%, however it was not enough to be able to recategorize the sample, maintaining it as good subgrade (S3) according to the Peruvian Highway Manual (2013).

In addition, something to highlight is the high presence of silica within Barley Bran Ash at 58.30%, magnesium (10.90%), calcium (8.10%), aluminum (8.26%), iron (3.20%) that favor the improvement of the physical-chemical properties of the soil at the subgrade level.

Keywords: barley bran ash, subgrade, CBR, physical-chemical properties, Modified Proctor, limits of consistency,



INTRODUCCION

La infraestructura vial es un componente crítico para el desarrollo económico y social de una sociedad. Las carreteras y vías de comunicación conectan distritos, ciudades y regiones, facilitan el comercio, fomentan la integración y mejoran la calidad de vida en la sociedad. En este contexto, la subrasante, como la capa inferior de la estructura del pavimento, juega un papel fundamental en la distribución de cargas y en la estabilidad a largo plazo de las carreteras. Sin embargo, en zonas donde los suelos arcillosos prevalecen, la subrasante enfrenta desafíos geotécnicos particulares que pueden comprometer su eficiencia y durabilidad.

El suelo arcilloso es conocido por su baja capacidad de soporte y su alta susceptibilidad a la expansión y contracción con los cambios en la humedad. Esto puede resultar en deformaciones, asentamientos y fallas prematuras en la infraestructura vial. Para superar estas limitaciones y garantizar la integridad de las carreteras, la estabilización de suelos ha sido una estrategia ampliamente adoptada.

En este contexto, la incorporación de aditivos y materiales como la ceniza de afrecho de cebada ha sido objeto de interés en la mejora de suelos para aplicaciones de ingeniería vial. La ceniza de afrecho de cebada, un subproducto de la industria agrícola, ha demostrado propiedades que pueden contribuir al mejoramiento de las características geotécnicas de los suelos, incluida la subrasante. Sin embargo, la influencia específica de diferentes porcentajes de ceniza de afrecho de cebada en la mejora de la subrasante en suelos arcillosos no ha sido ampliamente investigada. La ceniza de afrecho de cebada, un subproducto de la industria agrícola, ha demostrado propiedades que podrían contribuir al mejoramiento de suelos arcillosos en la subrasante. Sin embargo, la comprensión precisa de cómo diferentes porcentajes de ceniza de afrecho de cebada afectan las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso en el contexto específico de la Ciudad de Cusco aún no ha sido plenamente explorada.

La tesis se estructura en cinco capítulos que abarcan de manera exhaustiva la investigación, y se divide en los siguientes capítulos. El Capítulo 1, identifica y describe la situación actual del suelo de la vía que se va estudiar, señalando la ubicación, ruta, el tipo de suelo que presenta, y de donde será traído el aditivo a usar. Por otro lado, se formulan las interrogantes, justificaciones, limitaciones y objetivos respecto al suelo que presenta la vía.

El Capítulo 2, se pone en conocimiento la recolección de antecedentes a nivel local, nacional e internacional y al finalizar contrastar con los resultados. A su vez, se facilita aspectos teóricos de cada concepto que involucra el estudio, para su mejor interpretación a través de su evaluación, indicando también el planteamiento de las hipótesis y variables: dependientes e independientes. Analiza investigaciones anteriores relacionadas con la estabilización de suelos, la influencia de materiales estabilizadores y la utilización de ceniza de afrecho de cebada en suelos.

El Capítulo 3, Metodología, detalla los métodos y procedimientos utilizados en el estudio, incluidos los ensayos geotécnicos y los análisis de laboratorio.



El Capítulo 4, Resultados y Análisis, presenta y discute los resultados obtenidos de los ensayos en relación con los diferentes porcentajes de ceniza de afrecho de cebada.

Finalmente, el Capítulo 5, Conclusiones y Recomendaciones, resume los hallazgos del estudio, discute sus implicaciones y ofrece recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. hace referencia a las discusiones difiriendo en los antecedentes y conceptos con los resultados que se han obtenido en cada uno de ellos de manera individual, expresando los resultados a través de las conclusiones logradas durante el transcurso de la investigación, y por último con el fin de mejorar la capacidad de soporte del suelo estudiado se propone una solución con los porcentajes correctos de los dos aditivos que se usaron para su correcta estabilización



Índice

Capítulo I: Planteamiento del Problema	1
1. Identificación del Problema	1
1.1. Descripción del problema	1
1.1.1. Formulación interrogativa del problema	4
1.1.1.1. Formulación interrogativa del problema general	4
1.1.1.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos	4
1.2. Justificación e Importancia de la investigación	5
1.2.1. Justificación técnica	5
1.2.2. Justificación social	6
1.2.3. Justificación por viabilidad	6
1.2.4. Justificación por relevancia	6
1.3. Limitaciones de la Investigación	6
1.3.1. Limitaciones Geográficas	6
1.3.2. Limitaciones de Diseño	7
1.3.3. Limitaciones de Información	7
1.4. Objetivo de la investigación	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos	8
Capítulo II: Marco Teórico	9
2.1 Antecedentes de la tesis	9
2.1.1 Antecedentes a Nivel Regional	9
2.1.2 Antecedentes a Nivel Nacional	10
2.1.3 Antecedentes a Nivel Internacional	11
2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes	12
2.2.1 Definición de suelo	12
2.2.2 Suelos arcillosos	12
2.2.3 Estabilización de suelos	12
2.2.3.1 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos	13
2.2.3.2 Métodos de estabilización	15
2.2.3.3 Esquema de la ejecución de las estabilizaciones de suelos	19
2.2.5 Subrasante	21
2.2.6 Ensayos de Laboratorio para suelos	22
2.2.6.1 Análisis Granulométrico de suelos por tamizado	22



2.2.6.2	Contenido de humedad de suelos	24
2.2.6.3	Límites de Consistencia de suelos	25
2.2.6.4	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)	27
2.2.6.5	CBR en suelos (Laboratorio)	29
2.2.7	Cebada	29
2.2.7.1	Composición química general del grano de cebada	30
2.2.7.2	Morfología del Grano de Cebada	31
2.3	Hipótesis	32
2.3.1	Hipótesis general	32
2.3.2	Sub hipótesis	32
2.4	Definición de Variables	33
2.4.1	Variables Independientes	33
2.4.2	Variables Dependientes	33
2.4.3	Cuadro de operacionalización de variables	34
Capítulo III: Metodología		36
3.1	Metodología de la investigación	36
3.1.1	Enfoque de la Investigación	36
3.1.1	Nivel o alcance de la investigación	36
3.1.2	Método de Investigación	36
3.2	Diseño de la investigación	37
3.2.1	Diseño Metodológico	37
3.2.1	Diseño de Ingeniería	38
3.3	Población y muestra:	39
3.3.1	Población:	39
3.3.1.1	Descripción de la población	39
3.3.1.2	Cuantificación de la población	39
3.3.2	Muestra	39
3.3.2.1	Descripción de la muestra	39
3.3.2.2	Cuantificación de la muestra	40
3.3.2.3	Método de muestreo	40
3.3.2.4	Criterios de evaluación de la muestra	41
3.3.3.5	Criterios de inclusión	41
3.4	Instrumentos	42
3.4.1	Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.	42
3.4.2	Instrumentos de Procesamiento de Datos	48



3.4.2.1	Ensayo de Análisis Granulométrico de agregado fino	48
3.4.2.2	Ensayo de Limites de consistencia	48
3.4.2.3	Ensayo de Proctor Modificado	48
3.4.2.4	Ensayo de CBR	49
3.5	Procedimiento de Recolección de Datos	49
3.5.1	Muestreo de suelos	49
3.5.2	Análisis de laboratorio de muestras	52
3.5.2.1	Determinación del Contenido de Humedad Natural	52
3.5.2.2	Análisis Granulométrico por tamizado:	53
3.5.2.3	Determinación del Limite liquido:	54
3.5.2.4	Determinación del Limite plástico y el índice de plasticidad:	57
3.5.2.5	Compactación de suelos con Proctor Modificado:	62
3.5.2.6	Determinación de capacidad de soporte CBR:	72
3.6	Procedimiento de Análisis de Datos	82
3.6.1	Determinación del Contenido de Humedad Natural	82
3.6.1.1	Procesamiento del ensayo	82
3.6.1.2	Diagrama del Ensayo	82
3.6.1.3	Análisis del ensayo	83
3.6.2	Determinación del Análisis granulométrico por Tamizado	84
3.6.2.1	Procesamiento del ensayo	84
3.6.2.2	Diagrama del Ensayo	85
3.6.2.3	Análisis del Ensayo	87
3.6.3	Determinación del Limite Liquido	88
3.6.3.1	Procesamiento del ensayo	88
3.6.3.2	Diagrama del Ensayo	88
3.6.3.3	Análisis del Ensayo	93
3.6.4	Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad	93
3.6.4.1	Procesamiento del ensayo	93
3.6.4.2	Diagramas de Ensayo	94
3.6.4.3	Análisis del Ensayo	98
3.6.5	Determinación de Clasificación de los Suelos	99
3.6.5.1	Procesamiento del ensayo	99
3.6.5.2	Diagramas de Ensayo	100
3.6.6	Compactación de suelos usando Energía Modificada	104
3.6.6.1	Procesamiento del ensayo	104



3.6.6.2	Diagramas de Ensayo	104
3.6.6.3	Análisis de Ensayo	112
3.6.7	Determinación de capacidad de soporte CBR	113
3.6.7.1	Procesamiento del ensayo	113
3.6.7.2	Diagramas de Ensayo	115
CAPITULO IV		137
4.	Resultados	137
4.1	Resultados de ensayos	137
4.1.1.	Ensayo de Contenido de Humedad	137
4.1.2.	Análisis Granulométrico	137
4.1.3.	Determinación del Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP)	139
4.1.3.1.	Límite Líquido	139
4.1.3.2	Límite Plástico	139
4.1.3.3.	Índice de Plasticidad	140
4.1.4.	Clasificación de Suelos	141
4.1.5.	Compactación de Suelos (Proctor Modificado)	141
4.1.6.	Ensayo de CBR en Laboratorio	143
CAPITULO V		146
5.	Discusión	146



Índice de Figuras

Gráfico 01 Mapa de ubicación de Yaurisque, Paruro, Cusco.....	2
Gráfico 02 Mapa Geológico de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray	3
Gráfico 04 Proceso para la identificación del tipo de suelo	14
Gráfico 05 Proceso de selección del tipo de estabilización.....	15
Gráfico 06 Esquema de la ejecución de una estabilización por mezcla in situ	20
Gráfico 07 Ensayo para determinar el Limite Liquido	26
Gráfico 08 Método hipotético-deductivo.....	37
Gráfico 09 Carretera Yaurisque-San Juan de Taray	39
Gráfico 10 Representación de una muestra como subgrupo.....	40
Gráfico 11 Excavación de calicatas	50
Gráfico 12 Estratigrafía (C-1)	50
Gráfico 13 Estratigrafía (C-2)	51
Gráfico 14 Horno industrial	51
Gráfico 15 Ensayo del límite plástico al suelo natural.....	58
Gráfico 16 Ensayo del límite plástico con ceniza al 10%	59
Gráfico 17 Ensayo del límite plástico con ceniza al 15%	59
Gráfico 18 Ensayo del límite plástico con ceniza al 20%	60
Gráfico 19 Puesta en el horno de las muestras del límite plástico	60
Gráfico 20 Mezclado de muestras y aditivos y separación en 5 capas para Proctor Modificado.....	65
Gráfico 21 Compactación de suelo usando el pisón para Proctor Modificado	65
Gráfico 22 Colocación de muestra representativa en una capsula para el ensayo de Proctor Modificado.....	66
Gráfico 23 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado + Molde.....	66
Gráfico 24 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado Suelo natural + 10% de CAC.....	67
Gráfico 25 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado Suelo natural + 15% de CAC.....	67
Gráfico 26 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado Suelo natural + 20% de CAC.....	68
Gráfico 27 Preparación de la muestra para el ensayo de CBR	74
Gráfico 28 Preparación de la Ceniza de Afrecho de Cebada para el ensayo de CBR	75
Gráfico 29 Preparación del Suelo Natural + CAC al 20% para el ensayo de CBR.....	75
Gráfico 30 Compactación de la muestra para el ensayo de CBR con suelo natural + CAC al 10% + agua	76
Gráfico 31 Enrasado de muestras de CBR	76



Gráfico 32-33 Muestras de CBR compactadas y con pesas.....	77
Gráfico 34-35 Muestras de CBR sumergidas en agua con trípode y dial	77
Gráfico 36 Gráfico de los porcentajes de Contenido de Humedad Natural del Suelo	84
Gráfico 37 Grafico de la Curva Granulométrica	87
Gráfico 38 Grafico de porcentajes de grava, arena y finos del ensayo de Granulometría del suelo natural.....	87
Gráfico 39 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural.....	89
Gráfico 40 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	90
Gráfico 41 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	91
Gráfico 42 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	92
Gráfico 43 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	93
Gráfico 44 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural	95
Gráfico 45 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	96
Gráfico 46 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	97
Gráfico 47 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	98
Gráfico 48 Gráfica de resultados de Ensayos de Limite Plástico - Ceniza de Afrecho de Cebada.....	98
Gráfico 49 Gráfica de resultados de Índice de Plasticidad - Ceniza de Afrecho de Cebada	99
Gráfico 50 Gráfica de Diagrama de clasificación por SUCS retención por tamiz N° 200 y N° 4	100
Gráfico 51 Gráfica de Gradación de suelos gruesos en SUCS.....	101
Gráfico 52 Gráfica de Carta de plasticidad de Casagrande para suelos finos y Clasificación del suelo por SUCS	101
Gráfico 53 Gráfica de Diagrama de clasificación por AASHTO porcentaje que pasa por tamiz N° 200 y N° 40	102
Gráfico 54 Gráfica de Carta de plasticidad de Casagrande para suelos finos Fuente: Elaboración Propia.....	103
Gráfico 55 Gráfica del ensayo Proctor Modificado del suelo natural	106
Gráfico 56 Gráfica del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	108
Gráfico 57 Gráfica del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	110
Gráfico 58 Gráfica del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	112



Gráfico 59 Gráfica de Densidad Máxima Seca (Proctor Modificado)	113
Gráfico 60 Gráfica de Contenido de Humedad Optimo (Proctor Modificado).....	113
Gráfico 61 Gráfica del ensayo de Expansión en CBR del suelo natural	118
Gráfico 62 Gráfico de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural.....	118
.....	118
Gráfico 63 Gráfico de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural.....	119
Gráfico 64 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	122
Gráfico 65 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	122
Gráfico 66 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	123
Gráfico 67 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	126
Gráfico 68 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	126
Gráfico 69 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	127
Gráfico 70 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	131
Gráfico 71 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	131
Gráfico 72 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	132
Gráfico 73 Gráfica de Contenido de Humedad del suelo	137
Gráfico 74 Gráfica de Composición Granulométrica del Suelo Natural	138
Gráfico 75 Curva Granulométrica del Suelo Natural	138
Gráfico 76 Grafico de Resultados del ensayo de Limite Liquido	139
Gráfico 77 Grafico de Resultados del ensayo de Límite Plástico.....	140
Gráfico 78 Grafico de Resultados de Índice de Plasticidad	140
Gráfico 79 Densidad Máxima Seca vs Adición de CAC	142
Gráfico 80 Contenido de Humedad Optimo vs Adición de CAC	142
Gráfico 81 Variación de CBR al 100% vs adición de CAC	143
Gráfico 82 Variación de CBR al 95% vs adición de CAC	144
Gráfico 83 Variación de Expansión en ensayo CBR vs adición de CAC respecto a la fuerza de compactación.....	145
Gráfico 84 Composición Química de la Ceniza de Afrecho de Cebada de San Juan de Taray.....	146
Gráfico 85 Análisis de Costos Unitarios para la obtención de la ceniza de afrecho de cebada	148



Gráfico 86 Variación de los resultados del CBR.....	152
Gráfico 87 Variación de los resultados del Límite Plástico.....	153
Gráfico 88 Variación de los resultados del Límite Líquido	154
Gráfico 89 Variación de los resultados del Índice de Plasticidad	154
Gráfico 74 Variación de los resultados del Densidad Máxima Seca.....	155
Gráfico 90 Variación de los resultados del Contenido de Humedad Optimo	156
Gráfico 91 Variación de los resultados del CBR.....	157
Gráfico 92 Variación de los resultados de % de Expansión en ensayo de CBR	158



Índice de Tablas

Tabla 01 Número de calicatas para exploración de suelos	22
Tabla 02 Tamices de malla cuadrada.....	23
Tabla 03 La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total.....	24
Tabla 04 Clasificación Taxonómica de la cebada.....	30
Tabla 05 Composición mineral del grano de cebada (mg/ 100 g de extracto seco)	31
Tabla 06 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	34
Tabla 07 Cantidad de ensayos a realizar.	41
Tabla 08 Ficha de toma de datos para el Contenido de Humedad.	43
Tabla 09 Ficha de toma de datos para el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado.....	44
Tabla 10 Ficha de toma de datos para el Limite liquido del Suelo	45
Tabla 11 Ficha de toma de datos para el Limite plástico del Suelo.....	46
Tabla 12 Ficha de toma de datos para el Proctor Modificado del Suelo.....	47
Tabla 13 Proceso de toma de datos Contenido de Humedad.....	53
Tabla 14 Proceso de toma de datos Análisis Granulométrico.....	54
Tabla 15 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural	56
Tabla 16 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	56
Tabla 17 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	56
Tabla 18 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	57
Tabla 19 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural	61
Tabla 20 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	61
Tabla 21 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	62
Tabla 22 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	62
Tabla 23 Proceso de uso de uno de los métodos por porcentajes retenidos en cada malla	63
Tabla 24 Tabla de cantidad de peso natural y del peso de la ceniza de afrecho de cebada.....	63
Tabla 25 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural.....	69
Tabla 26 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	70
Tabla 27 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	71



Tabla 28 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	72
Tabla 29 Tabla de cantidad de peso natural y del peso de la ceniza de afrecho de cebada para CBR	73
Tabla 30 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural.....	78
Tabla 31 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada .	79
Tabla 32 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada .	80
Tabla 33 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada .	81
Tabla 34 Procesamiento de Datos – Ensayo de Contenido de Humedad del suelo natural	83
Tabla 35 Procesamiento de Datos – Ensayo de Análisis granulométrico del suelo natural.....	86
Tabla 36 Procesamiento de Datos – Determinación de limite liquido del suelo natural.....	89
Tabla 37 Procesamiento de Datos – Determinación de límite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	90
Tabla 38 Procesamiento de Datos – Determinación de límite liquido del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	91
Tabla 39 Procesamiento de Datos – Determinación de límite liquido del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	92
Tabla 40 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural.....	94
Tabla 41 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	95
Tabla 42 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	96
Tabla 43 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	97
Tabla 44 Procesamiento de Datos para clasificación por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	100
Tabla 45 Procesamiento de Datos para Clasificación de suelos por AASHTO	102
Tabla 46 Procesamiento de Cálculo del índice de grupo y Clasificación del suelo por AASHTO.....	103
Tabla 47 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural.....	105
Tabla 48 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	107
Tabla 49 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	109
Tabla 50 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	111
Tabla 51 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural.....	116
Tabla 52 Procesamiento de Datos – Expansión de CBR del suelo natural	117



Tabla 53 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural	117
Tabla 54 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	120
Tabla 55 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	121
Tabla 56 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada	121
Tabla 57 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	124
Tabla 58 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	125
Tabla 59 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada	125
Tabla 60 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	128
Tabla 61 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	129
Tabla 62 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada	130
Tabla 63 Tabla de clasificación del suelo según AASHTO y SUCS	141
Tabla 64 Cuadro Comparativo de la variación de DMS y CHO	141
Tabla 65 Resumen de ensayo CBR al 100%	143
Tabla 66 Resumen de ensayo CBR al 100%	144
Tabla 67 Clasificación de Subrasante	146
Tabla 68 Resumen de los resultados obtenidos.....	152
Tabla 69 Cuadro Comparativo de DMS Y CHO según los porcentajes de CAC.....	155
Tabla 70 Cuadro Comparativo de CBR y DMS según los porcentajes de CAC.....	157
Tabla 71 Cuadro Comparativo del Porcentaje de Expansión según los porcentajes de CAC.....	158



Capítulo I: Planteamiento del Problema

1. Identificación del Problema

1.1. Descripción del problema

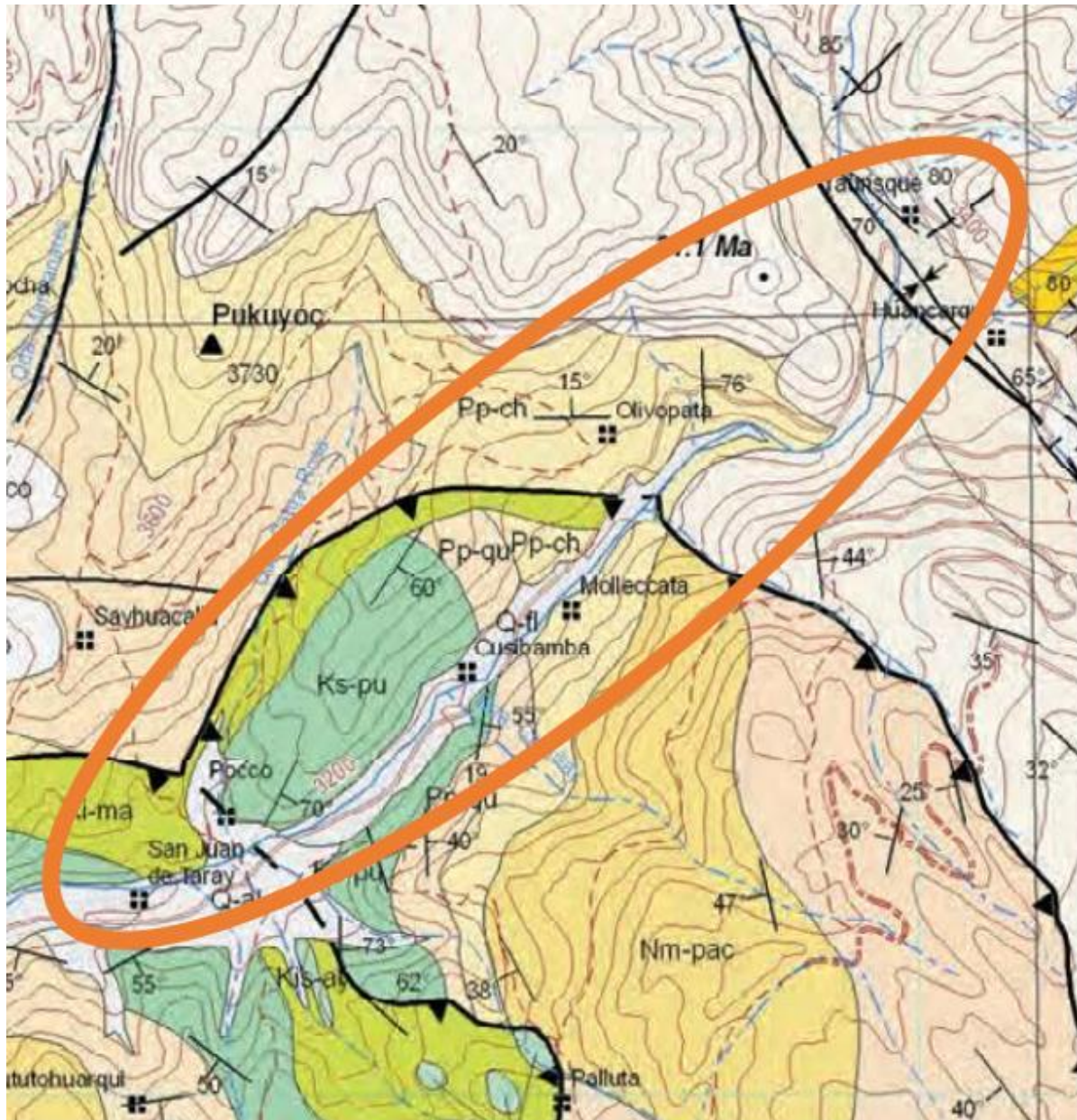
No todas las obras viales gozan de buen estado a nivel mundial, todas tienen problemas con el suelo de la subrasante producto del alto contenido de humedad existente por lluvias, inundaciones y suelos blandos; razón por la cual se ha ido diseñando a lo largo del tiempo métodos para poder disipar estos problemas.

En el Perú, las estructuras viales son afectadas en gran mayoría por el efecto de la napa freática presente en las subrasantes de estas; pero en la gran mayoría aún no se han previsto alternativas de solución para este problema. Las lluvias que están presentes en las regiones de la sierra peruana con mayor intensidad entre los meses de diciembre a abril (Ministerio del Ambiente, 2014), y durante el resto de meses de manera periódica; estos fenómenos naturales incrementan el nivel de deterioro de las obras viales, necesitando un método de aumento de la capacidad portante eficaz, salvaguardando de esta forma la vida útil de las carreteras, las vías de comunicación más utilizadas dentro del territorio son las terrestres.

En la actualidad existen muchas carreteras sin las condiciones mínimas necesarias para que la fluencia de los vehículos sea normal y sin que estas se deterioren fácilmente ya sea por lluvias o asentamientos que ocurren frecuentemente en la región de la sierra. Según el Centro de Comercio Exterior (CCEX) de la Cámara de Comercio, la Red Vial en el Perú está compuesta por 95 863 km y considera preocupante que solo el 16% se encuentre pavimentada (con una extensión de 15 496 km). El 84% restante se encuentra en estado afirmado o de trocha (con una extensión de 80 367 km) (Grupo DIGAMMA, 2016).

En consecuencia, a todo esto, la investigación puede indicar que en la mayoría de carreteras existe desplazamiento lateral, se refiere al movimiento horizontal de la capa de suelo adyacente a la vía. Este fenómeno puede ocurrir debido a una variedad de factores, como la erosión, la presión del agua, la vibración del tráfico u otros procesos geológicos.

Gráfico 02 Mapa Geológico de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray



Geología del cuadrángulo del Cusco (2011)

La formación de Paruro la cual es de Mioceno superior esta abarcado en los alrededores del poblado de Paruro, se prolonga al norte hasta Yaurisque y al sur hasta Cusibamba y noroeste de Acomayo, correspondiendo a la cuenca Paruro alargada. Esta cuenca está controlada por las fallas de Colcha-Coyabamba-Acomayo y Yaurisque-Papres-Acomayo. La Formación Paruro sobre yace en discordancia angular a las formaciones Muñani, Soncco, Punacancha y al Grupo Moho. Esta formación está dividida en dos miembros. El Miembro I está compuesta por lutitas y limolitas lacustres, areniscas fluviales y algunos conglomerados fluviales. El Miembro II está formado casi exclusivamente por conglomerados de conos aluviales formando una secuencia grano estratocreciente. Igualmente, en la base del Miembro I se tiene



un nivel de tobas volcánicas. En la parte basal también se han encontrado carofitas determinadas como *Chara sp.* y *Rhabdochara gr. langeri* indicando el Mioceno. Estas dos dataciones permiten asignar una edad del Mioceno superior para la Formación Paruro.

La longitud total de la vía para evaluar es de 1.58 km, pero el total de esta es de 8.65km. Además, el ancho promedio de la vía es de 6.35 m. Sobre del estado de la carretera se indica que este no cuenta con alguna pavimentación, drenaje de igual manera es nula debido a que solo es una carretera afirmada. Estos indicadores incluyen datos sobre la facilidad de acceso a los servicios básicos, centros de salud, educación, mercados y otros lugares importantes a lo largo de la vía. Dentro del IMD que analizamos se observó que es de 256.41 donde se incluye autos, pickup, combi rural, micro. Buses, camiones, semitrailers y tráilers.

En la provincia de Paruro según el Censo Nacional de Población y Vivienda de año 2017, la población económicamente activa (PEA), de 15 años y más años, es de 9,998 hab. Que equivale al 28.98% de la población total, de los cuales el 95.9% está en condición de ocupados y el 4.1% en calidad de desocupados. Respecto al tipo de actividad económica por la cantidad de población que se dedica la PEA se tiene, que la principal actividad económica es la agrícola a la cual se dedican el mayor de la población el 50.7%, seguido de la actividad trabajador no calificado 24.3% (peón, vendedor, ambulante y afines, otro) es el de trabajadores dedicados a las actividades de trabajos personales y vendedores de mercados con un 6.9%.

La Provincia de Paruro está ubicada en el ranking de IDH (Índice de Desarrollo Humano) por provincias en el puesto 144vo y en relación al ranking por distritos ocupa el puesto 1051vo lugar a nivel nacional, la esperanza de vida de 67.7 años promedio, la tasa de alfabetismo es de 72.17% de la población y un ingreso per cápita de S/.119.4 por mes.

1.1.1. Formulación interrogativa del problema

1.1.1.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cómo influye la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?

1.1.1.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema Específico 01: ¿Cómo varía el Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad con la adición de la ceniza de afrecho



de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?

Problema Específico 02: ¿Cómo varía la Densidad Máxima y la Humedad Óptima de suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?

Problema Específico 03: ¿De qué modo influye en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?

Problema Específico 04: ¿Cómo se altera la Expansión del suelo obtenido con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?

1.2. Justificación e Importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

A través de este estudio se busca evaluar los efectos de la ceniza de afrecho de cebada como un método alternativo para la estabilización de suelos arcillosos usando un residuo agrícola como la ceniza de cáscara de cebada para su utilización a nivel de subrasante del suelo.

Se busca realizar combinaciones para incrementar las mejoras de las propiedades y comprobar si las cenizas de afrecho de cebada funcionan como agente estabilizador secundario.

Se deben estabilizar todos los suelos que al perder su capacidad de carga o al tener deformaciones excesivas pongan en riesgo la vida humana, bienes materiales y el ambiente (CE 0.20 Estabilización de suelos y taludes, pág. 8).

El alto porcentaje de material silíceo presente en la cebada además de la presencia de calcio, potasio y magnesio promete ser un potencial agente estabilizador de suelos arcillosos ya que puede funcionar como un agente cementoso. El aditivo estabilizador debe emplearse en el tratamiento de superficies de suelos con materiales orgánicos o de granulometrías muy finas (zonas de lluvias torrenciales, etc.) (CE 0.20 Estabilización de suelos y taludes, pág. 8)



1.2.2. Justificación social

Actualmente la carretera Yaurisque-San Juan de Taray sirve de nexo para las comunidades de Yaurisque, San Juan de Taray, Pacaretambo, Huanoquite y Pocpo. Las principales actividades económicas en esta zona son las de agricultura y ganadería lechera. Además, las comunidades de Yaurisque y San Juan de Taray cuentan con centros educativos cada una por lo cual una gran cantidad de niños se verán beneficiados. Cabe mencionar que existen sitios arqueológicos que se encuentran cerca de esta zona, estos son Mauk'allaqta y Puma Orq'o, por lo cual el turismo se verá beneficiado.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación cuenta con viabilidad técnica puesto que se cuenta con acceso a la información técnica respecto al estudio y acceso al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Andina del Cusco que cuenta con todos los equipos necesarios para realizar los ensayos que se requieran.

Respecto a la viabilidad económica se cuenta con el financiamiento propio y de los familiares para realizar las diligencias pertinentes. Además, el acceso a los laboratorios de la Universidad es totalmente gratuito para los alumnos de esta casa de estudios.

1.2.4. Justificación por relevancia

El estudio de la presente tesis será de apoyo para futuras investigaciones académicas puesto que representa un estudio innovador en el área de ingeniería de transportes que usa como base un material reciclado para el mejoramiento de la subrasante de las carreteras.

El porcentaje de carreteras pavimentadas en el Perú es muy poco por lo que existe la necesidad de mejorar la calidad de las carreteras y es mejor si se usa materiales reciclados como la cáscara de cebada, pero en ceniza.

1.3. Limitaciones de la Investigación

1.3.1. Limitaciones Geográficas



- Los resultados de esta investigación se limitan únicamente a la carretera Yaurisque-San Juan de Taray

1.3.2. Limitaciones de Diseño

- Para la presente investigación el material de muestra se limita al suelo natural obtenido de la Carretera Yaurisque - San Juan de Taray, teniendo como guía de información las siguientes normativas:
 - Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos (2013).
 - Reglamento Nacional de Edificaciones “CE.020 Estabilización de suelos y taludes”
 - Manual de Ensayos de Laboratorio (2016).
- Como aditivo secundario se usará la Afrecho de Cebada (AC), con dosificaciones complementarias al aditivo principal, la cual no excederá del 20% en total.
- En esta investigación solo se limita al uso del afrecho en ceniza y no a la semilla entera
- El afrecho de cebada con la que se elaboró la ceniza fue traído de las cervecerías artesanales de la ciudad del Cusco

1.3.3. Limitaciones de Información

- La presente investigación se limita a suelos arcillosos con parámetros de índice de plasticidad mínimos
- Los ensayos que se realizará son los de Granulometría (NTP 339.128:1998), Límites de Consistencia (NTP 339.129:1998), CBR (NTP 339.145:1999) y Proctor Modificado (NTP 339.141:1999) para la estabilización de suelos arcillosos y su aplicación para subrasante de pavimentos
- Se utilizó únicamente las normas establecidas en la Norma Técnica Peruana y en el Manual de Carreteras dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Establecer la influencia de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%



1.4.2. Objetivos Específicos

Objetivo Específico 01: Determinar la variación del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad del suelo obtenido con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%

Objetivo Específico 02: Analizar la variación de la densidad máxima y humedad optima de suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%

Objetivo Específico 03: Analizar comparativamente la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%

Objetivo Específico 04: Evaluar la variación de la Expansión del suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%



Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes a Nivel Regional

- Aguilar, H & Bravo, J (2020) Evaluación de la ceniza de fondo para la Estabilización de suelos arcillosos provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco.

Universidad Andina del Cusco.

En esta investigación se logró demostrar la hipótesis general: “La adición de ceniza de fondo influirá positivamente en el proceso estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub- rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco”, debido a la adición de la ceniza de fondo de horno ladrillero, en proporciones de: 30%, 40% y 50% al suelo arcilloso de la zona de ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. Se concluye que ambas muestras de suelo pueden ser usadas para la estabilización a nivel subrasante, ya que cumplen satisfactoriamente con los parámetros de las normas, Norma Técnica Peruana CE.010 (Pavimentos Urbanos) & CE.020 188 (Estabilización de Suelos y Taludes). (Pág. 187-188)

- Argandoña, D & Palomino J (2019) Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido De La Apv. Kari Grande Vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente

Universidad Andina del Cusco

Los resultados de la siguiente tesis nos indica que cumple satisfactoriamente con la hipótesis general, la cual indica: Las Propiedades Físico Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco incrementaran al utilizar ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5%; respectivamente, con relación al agua de mezcla. Al añadir al suelo natural ceniza de cascara de arroz (CCA) para ser utilizado a nivel de subrasante, se observa una mejora notable entre los porcentajes: 7% de CCA + 5% de CAL y 12% de CCA + 5% de CAL con relación al agua de mezcla, donde se hace una comparación de CBR, DSM y CHO respecto a los distintos porcentajes de adición de ceniza de cascara de arroz y cal. De igual



manera se observa en la figura 58 que el máximo CBR es de 28.09% añadiendo 12% de CCA + 5% de CAL con relación al agua de mezcla, dicho CBR respecto al CBR natural, es casi 6.5 veces más de su valor inicial. (Pág.168)

2.1.2 Antecedentes a Nivel Nacional

- Castro, Axel (2017) Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante

Universidad Nacional de Ingenierías, Lima-Perú.

Los resultados obtenidos durante esta investigación mostraron que el suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz trae cambios favorables que hacen posible usar el material a nivel de subrasante. Sin embargo, los cambios más significativos se producen cuando se combina el suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz y cal. Debido a que las combinaciones de suelo arcilloso con estudio suelos arcillosos con alta plasticidad en la India, estabilizando con una mezcla de ceniza de cáscara de arroz y cemento. El suelo a estudiar presentaba un límite líquido de 50.4 y un índice de plasticidad de 22.8. Las observaciones que se realizaron en las propiedades de los suelos fueron la densidad máxima seca, el óptimo contenido de humedad, resistencia a la compresión no confinada y el valor de CBR. De acuerdo a su investigación, se observó que el máximo mejoramiento en resistencia, resultaba de mezclar ceniza de cáscara de arroz son limitadas para formar productos cementosos por la presencia de sílice reactiva con baja cantidad de contenido de calcio presente en el suelo. Por lo tanto, la ceniza de cáscara de arroz tiene mayores ventajas cuando son agentes estabilizadores secundarios(pág.109-pág.110).

- Rimachi, I & Sánchez, R (2019) Estabilización de suelos con adición de ceniza de cáscara de coco al 0.5%, 1.5%, 3%, 5% y 8%, a nivel de subrasante en el sector de Lampanin, Distrito de Cáceres del Perú Provincia del Santa, Ancash – 2019.

Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Se concluye de acuerdo a la investigación del objetivo general, si es factible la estabilización de suelos al adicionar las cenizas de cáscara de coco al 3%, a nivel de subrasante, donde mejora la propiedades mecánicas y físicas de suelos en el sector de Lampanin Distrito de Cáceres del Perú Provincia del Santa, Departamento de Ancash. Se determinó con la adición de la ceniza de cáscara de coco al 0.5 %, 1.5 %, y 3% donde aumenta su CBR 100 % de penetración con



0.1” al 16.54 % y su densidad seca llega al 1.952 % ayuda mejorar las propiedades de mecánica de suelo, pero por otro con los porcentajes 5%, y 8% no ayuda mucho para mejorar las propiedades de mecánica de suelos de acuerdo al estudio realizado en el laboratorio de mecánica de suelos.(pg.23).

2.1.3 Antecedentes a Nivel Internacional

- Barragán Garzón, C. A. & Cuervo Camacho, H. A. (2019). Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno -arcilloso.

Universidad Piloto de Colombia Sección Alto Magdalena

El contenido de 1% de adición de CCA al suelo areno arcilloso tiene una incidencia en el incremento de su resistencia, pero no es suficiente para elevarla significativamente teniendo en cuenta el valor mínimo de CBR admitido por el INVIAS para que la subrasante no sea intervenida y necesite estabilización, ya que el CBR de la muestra con la adición del 1% de CCA es de 1,9 con respecto al de la muestra natural el cual es 1,6 aumentando solo un 19%. La adición de la ceniza de cascara de arroz al 1% agregada a la muestra de suelo areno arcillosa disminuyo la densidad máxima seca en un 0,7% pasando de 1,726 gr/cm³ a 1,714 gr/cm³. Se pudo evidenciar que se necesita un 0,6% de humedad de más a la hora de compactar las probetas del suelo areno arcilloso con la adición del 1% de CCA para poder determinar su densidad máxima seca con respecto a la muestra natural. (pg.59).

- Bryan Ramos, M., & Illidge Quintero, D. F. (2017). Análisis de la modificación de un suelo altamente plástico con cascarilla de arroz y ceniza volante para subrasante de un pavimento.

Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Los resultados obtenidos son satisfactorios debido a que se logró comprobar que un suelo clasificado según ASSHTO como A-7-6 IG=248 al ser mezclado con los porcentajes óptimos de cascarilla de arroz A6 y ceniza volante A6C30, se obtuvo mejoras, aumentando parámetros de resistencia del suelo, una reducción en la plasticidad, reducción en las deformaciones y un aumento en la resistencia al momento de afrontar esfuerzos cíclicos, consecuentemente esta es una alternativa viable económica y ambiental para tratar diferentes problemáticas del área de la construcción. Los materiales utilizados en este trabajo de grado como alternativa



para el mejoramiento de los suelos altamente plásticos, son ideales debido a que son residuos agroindustriales que se pueden utilizar en cultivos, generando efectos positivos en la plantación ya que de acuerdo al resultado del pH (6-7) estos clasifican en valores óptimos para suelos básicos evitando que estos deterioran la capa de ozono y contribuyen a la contaminación del planeta. (pg.106-pg.107).

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1 Definición de suelo

Para Diaz desde el punto de vista de ingeniería civil o de carreteras define al suelo como cualquier material no consolidado formado por partículas sólidas discretas con líquidos y gases que ocupan los espacios entre ellas (2010, pág. 1).

El suelo está formado por tres fases: la líquida, la sólida y la gaseosa. En la mayor parte de los suelos, la fase sólida la forman partículas minerales que constituyen el esqueleto estructural en el que están adsorbidos el humus o las partículas orgánicas. Entre las partículas de la fase sólida existen espacios porosos. Los espacios porosos son llenados con la fase líquida y gaseosa, juntamente (Diaz Ospina, 2010, pág. 1).

2.2.2 Suelos arcillosos

Se define como suelos arcillosos aquellos que contienen partículas muy pequeñas con minúsculos espacios de poros o microporos. Dado que hay más espacios porosos, el arcilloso tiene un espacio total poroso general mayor que el del suelo arenoso, debido a lo cual el suelo absorbe y retiene más agua. Esto hace que esté mal aireado y el drenaje sea pobre. Incluso cuando el suelo se seca, la textura fina de sus partículas hace que se unan o formen terrones. Esto hace que sea muy difícil de trabajar, por lo tanto, el término “suelo pesado”. El término “pesado” o “liviano” se refiere al nivel de facilidad con el que puede ser trabajado y no indica su peso (GRUPO SACSA, 2015).

2.2.3 Estabilización de suelos

Se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Por lo general, se realiza en suelos en los suelos que tienen una subrasante pobre o inadecuada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).



El Ministerio de Transportes a través de su manual dice que la estabilización de suelos consiste en dotar a los suelos de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes (2014, pág. 92).

2.2.3.1 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo

Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolos, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm.

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada

En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Sí la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente, los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que, aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño

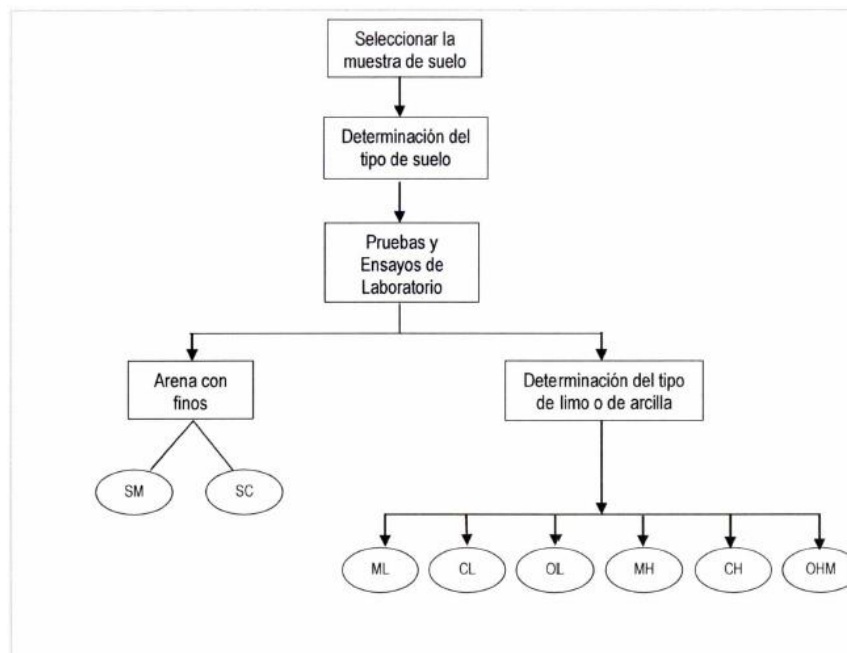
inferior a los 0.02 mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02mm.

Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, págs. 92-94)

Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- a) Tipo de suelo a estabilizar
- b) Uso propuesto del suelo estabilizado
- c) Tipo de adición estabilizador de suelos
- d) Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- e) Disponibilidad del tipo de adición estabilizador
- f) Disponibilidad del equipo adecuado
- g) Costos comparativos

Gráfico 04 *Proceso para la identificación del tipo de suelo*



Tomado del manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

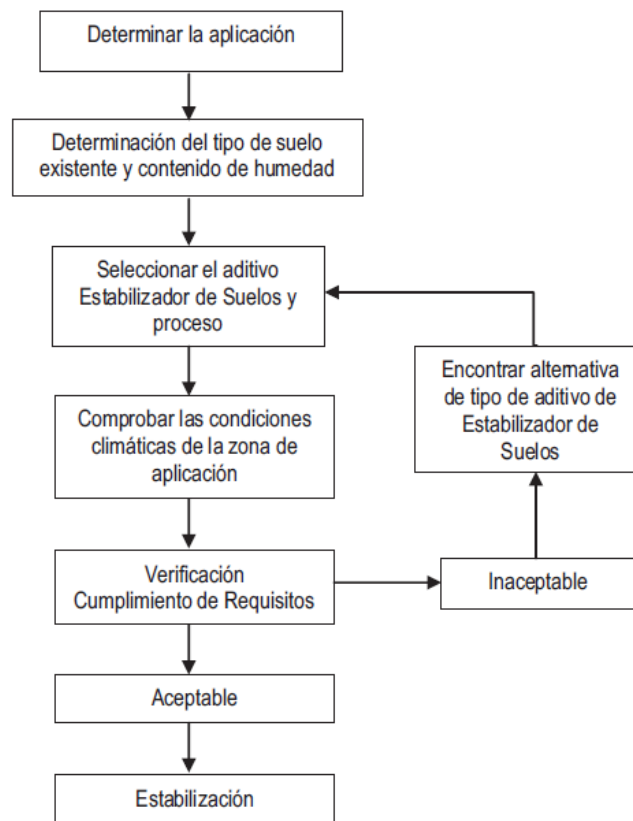
Lima, 2014, MTC



Los factores que se consideraran al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- a. Tipo de suelo a estabilizar
- b. Uso propuesto del suelo estabilizado
- c. Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicara
- e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
- f. Disponibilidad del equipo adecuado
- g. Costos comparativos

Gráfico 05 *Proceso de selección del tipo de estabilización*



Tomado del manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Lima, 2014, MTC

2.2.3.2 Métodos de estabilización

Estabilización de suelos mediante métodos mecánicas



Las estabilizaciones mecánicas se deberán realizar con un adecuado equipo mecánico, que debe ser dado por el profesional responsable.

a) Estabilización por compactación

El proceso de estabilización por compactación, se debe emplear en todas aquellas obras donde la materia prima es el suelo (base del corte de laderas, terraplenes, canales de agua, suelo de cimentación, rellenos artificiales, diques, terraplenes para vías, etc.). El proceso debe producir lo siguiente:

- Aumentar la resistencia al corte para mejorar la estabilidad del suelo.
- Disminuir la compresibilidad para reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos para reducir la permeabilidad y así mismo el potencial de expansión, contracción o exposición por congelamiento.

En todo momento se tendrá en cuenta la prueba de compactación Proctor estándar o modificado con energía de compactación, de laboratorio.

Estabilización de suelos mediante métodos Físicos:

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

- Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso, pero por sí sola no logra producir los efectos deseados, necesiándose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, las arcillas tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Geotextiles
- Vibroflotación (Mecánica de Suelos)



- Consolidación Previa

Estabilización de suelos mediante métodos químicos

Según la Norma CE 020, se aplican métodos químicos en la estabilización de suelos, en casos que:

- No cumpla con los requisitos mínimos de resistencia o deformación para sustentar obras de ingeniería civil.
- No pueda ser empleado en condiciones naturales.
- No pueda ser eliminado o reemplazado por otro.

Para aplicar métodos químicos, el Profesional Responsable deberá sustentar previamente mediante un estudio técnico, que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

Esta técnica, como los insumos usados, no deben generar ningún riesgo para el ser humano, seres vivos y el ambiente, o por lo que debe desarrollarse un Estudio de Impacto Ambiental.

En la tesis de pregrado de Leiva Gonzales, 2016, considera los métodos de estabilización los siguientes:

a) Suelos estabilizados con cal:

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

b) Suelos estabilizados con cemento:

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están



puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

c) Estabilización con escoria:

Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y subbase en los pavimentos, en la estabilización de sub rasantes, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales.

d) Estabilización con cloruro de sodio:

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo.

e) Estabilización con cloruro de calcio:

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.

f) Estabilización con cloruro de magnesio:

El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad.



g) Estabilización con productos asfálticos:

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad: Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo y una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

h) Estabilización con geosintéticos:

La experiencia internacional que se tiene hasta ahora de los geosintéticos, respecto al comportamiento frente a los agentes agresivos y respecto a su resistencia mecánica, ha permitido la diversificación funcional de los geosintéticos; así tenemos, que la función drenante y anticontaminante es la misión específica de los geotextiles; la función específica de armado o refuerzo del terreno (o de la explanada) o de los pavimentos, está en el ámbito de las geomallas; y, la función de impermeabilización o protección está en el campo de las geomembranas.

2.2.3.3 Esquema de la ejecución de las estabilizaciones de suelos

El suelo a estabilizar debe ser escarificado y pulverizado con anterioridad a la mezcla, la misma que se realizará in situ.

Se distribuirá el aditivo y el agua sobre el suelo extendido de la forma más uniforme posible. La mezcla puede realizarse con motoniveladora y se darán las pasadas y vueltas necesarias hasta conseguir una mezcla íntima de los materiales. También es posible realizar estabilizaciones con distribución manual y maquinaria agrícola.

Una vez extendida la mezcla uniformemente se procede a su compactación a contenido óptimo de agua. Para la compactación de suelos, la elección del equipo es un problema de eficacia y de rendimiento. Con suelos finos de cierta cohesión, se utilizarán preferentemente rodillos de pata de cabra y de neumáticos, mientras que los granulares podrían compactarse con rodillos vibratorios, de neumáticos, lisos, etc.

La compactación será enérgica hasta alcanzar las densidades especificadas, en general no inferiores al 95% ó 100% del Proctor modificado.

A continuación, se procederá al curado para que el producto colocado adquiera sus propiedades definitivas y, en todo caso, se esperará a extender la capa superior o dar el tráfico cuando el material haya alcanzado la suficiente resistencia. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Gráfico 06 Esquema de la ejecución de una estabilización por mezcla in situ



Tomado del manual del Manual de Carreteras no Pavimentadas de Bajo

Volumen de Tránsito

Lima, 2015, MTC

2.2.4 Pavimento

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por capa de rodadura, base y subbase. (SNIP, pág. 13)

a) **Capa de rodadura:**

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito (SNIP, 2015, pág. 13).

b) **Base:**

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que sostiene, distribuye y trasmite las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa sera de material granular drenante (CBR > 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento (SNIP, 2015, pág. 13).

c) **Subbase:**

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y



controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} > 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (SNIP, 2015, pág. 13)

2.2.5 Subrasante

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento - retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal. (Montejo Fonseca, 2010, pág. 9)

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m. de profundidad mínima, el número mínimo de calicatas por kilómetro estará de acuerdo al siguiente cuadro (SNIP, 2015, pág. 32).



Tabla 01 Número de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 600 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido 	
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 4 calicatas x km.	
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 3 calicatas x km.	
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 2 calicatas x km.	
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	• 1 calicata x km.	

Tomado de pautas metodológicas para alternativas técnicas de pavimentos en PIP de carreteras. Lima, 2015, SNIP

Las calicatas se ubican longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, si se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía. (SNIP, 2015, pág. 32)

2.2.6 Ensayos de Laboratorio para suelos

2.2.6.1 Análisis Granulométrico de suelos por tamizado

Este ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas en suelos. La distribución de tamaños de las partículas mayores a 75 μ m (retenidas en la malla 200) es determinado por tamizado, mientras que la distribución de tamaños de partículas



menores a 75 μ m es determinado por un proceso de sedimentación usando un hidrómetro para obtener los datos necesarios. (ASTM D-422-63, 1998, pág. 2)

Según El Manual de Materiales este afirma que este ensayo es un modo operativo que describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200). El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4.76° mm (N° 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos. (MTC, 2016, pág. 44-45)

Tabla 02 Tamices de malla cuadrada

Tamices	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	75,000

Tomado del Manual de Materiales 2016 del MTC.



2.2.6.2 Contenido de humedad de suelos

Contenido de agua (humedad de un material) –La razón, expresada como porcentaje, de la masa del agua contenida en los poros, o agua libre, en una masa dada de material con respecto a la masa del material sólido. Se usa una temperatura estándar de 110+- 5°C para determinar estas masas. Este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de agua(humedad) por masa en suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado. (ASTM D-2216, 1998) El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4.76° mm (Nº 4) será aproximadamente de 20 a 100 g para suelos arcillosos y limosos.

Este es un ensayo frecuente en laboratorio de suelos, el cual indicará la cantidad de agua presente en un suelo, en función de su peso seco, se puede expresar de la siguiente forma:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100(\%)$$

Donde: W_w = Peso del agua en la muestra de suelo, W_s = Peso de sólidos en la muestra suelo, dando como resultado w = Porcentaje del Contenido de Humedad en el suelo. (Bowles, 1981, pág. 11)

Tabla 03 La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Nota.- * Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

Tomado del Manual de Materiales 2016 del MTC.



2.2.6.3 Límites de Consistencia de suelos

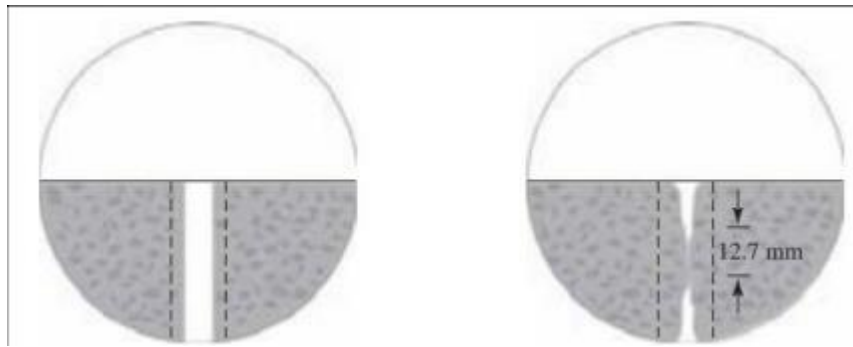
Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte (MTC, 2016, pág. 67)

Determinación del límite líquido de los suelos: El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo. Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425 μm (N° 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. (MTC, 2016, pág. 67-68)

Desde el punto de vista práctico, Das (2015) afirma: “El límite líquido es el porcentaje de contenido de humedad, que requiere un suelo para traslapar una distancia de 12.7 mm (en el ensayo del límite líquido) bajo ranura, la después de 25 golpes a una altura de 10 mm (pág. 65).



Gráfico 07 *Ensayo para determinar el Limite Liquido*



Tomado (Das, 2015).

Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos:

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. Los plásticos de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad. Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 μm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. (MTC, 2016, pág. 72)

El índice de plasticidad es la diferencia del Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP), y su resultado expresa la cantidad de arcilla que un suelo posee, un IP alto significa que el suelo es muy arcilloso, mientras un IP bajo significará que es suelo pobremente arcilloso. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad

LL = Límite Líquido

LP = Límite Plástico



Los resultados obtenidos se pueden interpretar en la tabla realizada por Casagrande (1932) y es de suma importancia para clasificar los suelos finos.

2.2.6.4 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 o 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado.

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg).

Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% o menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (¾ pulg).

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

Método "A"

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)



- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

Método "B"

- Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

Método "C"

- Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por Capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños. 2.4 Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción



gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718. La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg y para el Método C es aproximadamente 29 kg de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg y 45 kg respectivamente. (MTC, 2016, pág. 106)

2.2.6.5 CBR en suelos (Laboratorio)

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.

Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria. (MTC, 2016, pág. 248)

2.2.7 Cebada

La cebada pertenece a la familia *Gramineae* (gramíneas), está representada principalmente por dos especies cultivadas: *Hordeum distichum* L., que se emplea para la obtención de cerveza y *Hordeum hexastichon* L., que se utiliza básicamente



como forraje para la alimentación animal, ambas especies pueden agruparse bajo el nombre único de *Hordeum vulgare L. spp vulgare*. (Hernandez Madrigal, 2006, pág. 14)

La cebada ha sido cultivada por el hombre desde el año 2800 a.C. es originaria de Asia, donde era utilizada como alimento para las bestias y los hombres. Debido a su adaptabilidad a diferentes terrenos, su producción se ha extendido por diferentes países del mundo, en la actualidad la cebada se utiliza en países desarrollados en 75 a 80 por ciento para alimentación animal, con un 20 y 25 por ciento para la elaboración de malta, de alto consumo en la fabricación de cerveza.

Tabla 04 Clasificación Taxonómica de la cebada

REINO	VEGETAL
División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Pteropsidae</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Subclase	<i>Monocotiledoneae</i>
Grupo	<i>Gluminiflora</i>
Orden	<i>Graminales</i>
Familia	<i>Gramineae</i>
Genero	<i>Hordeum</i>
Especie	<i>Vulgare</i>

Tomado de Estudio de la composición química de la cebada cultivada en Zapotlan, Villa de Tezontepec y Tultengo, Hidalgo (tesis de pregrado). Pachuca, 2006, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

2.2.7.1 Composición química general del grano de cebada

Los elementos inorgánicos que más sobresalen son el fósforo, potasio, calcio, hierro, níquel, magnesio. Las sustancias de los cereales de grano desnudo (sin cáscara) y de grano vestido (con cáscara), están principalmente compuestas por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. En ellas, parte del fósforo se encuentra en forma de ácido fítico. La concentración mineral en el afrecho de cebada es superior a la de la semilla, siendo las cenizas particularmente ricas en silicio. (Hernandez Madrigal, 2006)



Tabla 05 Composición mineral del grano de cebada (mg/ 100 g de extracto seco)

Calcio	52.0
Fósforo	356.0
Potasio	534.0
Magnesio	145.0
Azufre	240.0
Hierro	4.6
Cobre	0.7
Manganeso	2.0
Sodio	49.0
Silicio	420.0
Zinc	3.1

Tomado de Estudio de la composición química de la cebada cultivada en Zapotlan, Villa de Tezontepec y Tultengo, Hidalgo (tesis de pregrado). Pachuca, 2006, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

2.2.7.2 Morfología del Grano de Cebada

El grano de cebada tiene una forma alargada, y se encuentra sujeto a la espiga por la parte del germen, consta principalmente de dos partes un germen y un albumen (tejido que envuelve el embrión de la semilla), rodeados por numerosas envolturas: la cascarilla, pericarpio, epicarpio y testa.

La cascarilla es la capa que se encuentra superficialmente, se encarga de proteger el grano y puede representar el 10% del peso del mismo, se caracteriza por ser rica en sílice (hasta un 65%), además contiene hemicelulosas: polisacáridos constituyentes de las paredes celulares de las plantas, proteínas: moléculas complejas imprescindibles para la estructura y función de las células, resinas (secreción orgánica de las plantas) y taninos (sustancias químicas naturales presentes en los compuestos vegetales). El pericarpio o parte exterior de la semilla y epicarpio o formadora del pericarpio se encargan de impedir el paso de compuestos solubles en agua, como las sales mientras que la testa



impide la difusión de azúcares, aminoácidos y otras moléculas solubilizados en agua.

Cuando la cebada es utilizada para el proceso de producción de cerveza, el grano no pierde sus propiedades y su composición no cambia de manera considerable, pero pasa de ser un insumo a ser un residuo, al cual se le denomina bagazo de cebada. Como se mencionó anteriormente la cascarilla de la cebada es rica en sílice, químicamente: dióxido de silicio (SiO_2). Estructuralmente, es una red tridimensional que se genera cuando todos los átomos de oxígeno de cada tetraedro son compartidos con tetraedros adyacentes.

Por consiguiente, el material es eléctricamente neutro y todos los átomos tienen estructuras electrónicas estables. En estas circunstancias, la relación entre los átomos del Si y O es 1:2. (Camacho Hoyos & Guerrero Gonzales, 2017)

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

La influencia en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco incrementaran al utilizar ceniza de afrecho de cebada en un porcentaje del 15%

2.3.2 Sub hipótesis

Subhipótesis 01: El suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco a nivel de subrasante, estabilizado con ceniza de afrecho de cebada; tendrá mejor limite plástico, menor limite líquido y aumentará el índice de plasticidad con la adición del 15% de la ceniza de afrecho de cebada.

Subhipótesis 02: La densidad del suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, disminuirá mientras más se añade ceniza de afrecho de cebada incrementará en el contenido óptimo de agua al agregar más ceniza de cáscara de afrecho.

Subhipótesis 03: La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, utilizado a nivel de subrasante aumentará más del 30% estabilizado con ceniza de afrecho de cebada en porcentajes 15%.



Subhipótesis 04: La Expansión Del Suelo Obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, utilizado a nivel de subrasante disminuirá progresivamente en el rango de 10%, 15% y 20% de ceniza de afrecho de cebada

2.4 Definición de Variables

2.4.1 Variables Independientes

Ceniza de afrecho de cebada

Suelos arcillosos

2.4.2 Variables Dependientes

Plasticidad del suelo arcilloso

Humedad del suelo arcilloso

Granulometría del suelo arcilloso

Capacidad de soporte CBR del suelo arcilloso

Expansión del suelo arcilloso

Densidad máxima del suelo arcilloso



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 06 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DENOMINACIÓN	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADOR	INSTRUMENTO	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL
VARIABLES INDEPENDIENTES					
CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA	Porcentaje más óptimo de ceniza de afrecho de cebada	porcentaje de ceniza de afrecho de cebada	ficha de datos	porcentaje 10%, 15% y 20%	cuantificar la cantidad de ceniza de afrecho de cebada
SUELO ARCILLOSO	Agrupar y clasificar los suelos por las semejanzas en sus comportamientos en dos sistemas SUCS y AASHTO	clasificación de Suelos	ficha de datos	SUCS AASHTO	clasificar el tipo de suelo.
VARIABLES DEPENDIENTES					
PLASTICIDAD DEL SUELO ARCILLOSO	el estado semilíquido a un estado plástico	límite líquido	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje del Límite Líquido
	estado semisólido que se rompe	límite plástico	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje del Límite Plástico
	diferencia entre límite líquido y límite plástico	Índice de plasticidad	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje de Índice de Plasticidad



HUMEDAD DEL SUELO ARCILLOSO	contenido de agua en un suelo	humedad óptima	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje de Humedad Óptima
GRANULOMETRIA DEL SUELO ARCILLOSO	distribución de los tamaños de partículas de un suelo	Granulometría	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje de suelo en cada malla granulométrica
CAPACIDAD DE SOPORTE CBR DE UN SUELO ARCILLOSO	resistencia al esfuerzo cortante de un suelo	CBR	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje de CBR
EXPANSIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO	expansión de un suelo	Expansión	ficha de recolección de datos de laboratorio	porcentaje (%)	cuantificar el porcentaje de expansión
DENSIDAD MAXIMA DE UN SUELO ARCILLOSO	máxima densidad seca de un suelo	Proctor modificado	ficha de recolección de datos de laboratorio	Peso/Volumen (gr/cm ³)	cuantificar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco del suelo

Fuente: Elaboración Propia



Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Enfoque de la Investigación

Según Hernández Sampieri el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 4)

Las investigaciones cuantitativas se supone que el fenómeno puede describirse objetivamente por lo que los datos provienen de diferentes tipos de mediciones (...) Generalmente busca la explicación mediante la prueba de una hipótesis o la construcción de un prototipo. (Colomé, 2018, pág. 14)

La presente investigación utiliza un enfoque cuantitativo ya que utiliza datos que se miden mediante números o se cuantifican. En base a estos datos cuantificados que previamente han sido recolectados se procederá a comprobar la veracidad de las hipótesis planteadas en base a un análisis estadístico.

3.1.1 Nivel o alcance de la investigación

Los estudios descriptivos buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 92)

Las investigaciones descriptivas son aquellas que buscan describir cualitativa y/o cuantitativamente grupos homogéneos de fenómenos utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto la estructura o comportamientos análogos de los mismo (...) En el caso de investigación cuantitativa la descripción del objeto permite determinar tanto las características medibles del objeto como los instrumentos y los modos de medición (Colomé, 2018, pág. 13)

Los estudios correlacionales buscan conocer la relación o el grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto particular (...) La utilidad principal de los estudios correlacionales es saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014, págs. 93,94)

La presente investigación presente un alcance descriptivo-correlacional ya que busca establecer la relación entre suelos arcillosos y ceniza de afrecho de cebada en diferentes porcentajes para la estabilización de subrasantes.

3.1.2 Método de Investigación

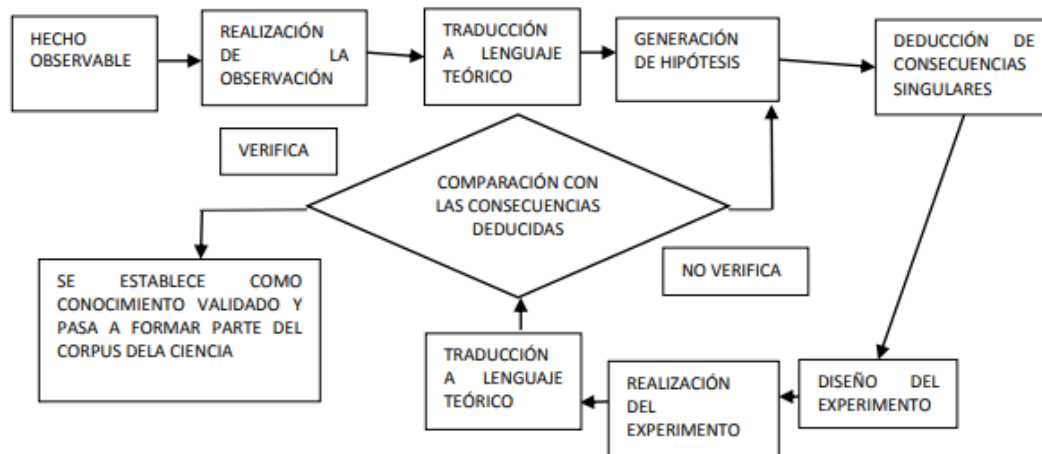
La presente investigación usa el método científico como método general. El cual consiste en una serie de etapas que se debe recorrer con el fin de alcanzar

un conocimiento válido desde una perspectiva científica, haciendo uso de instrumentos que resulten fiables. Este método minimiza la influencia de la subjetividad. (Cuadros Surichaqui, 2017)

El método hipotético-deductivo el procedimiento de investigación que consiste a partir de la observación de unos pocos casos, deducir consecuencias de esa hipótesis y verificarla. Si la hipótesis es comprobada se convierte en conocimiento valido, en caso contrario se formula una nueva hipótesis. (Colomé, 2018, pág. 9)

Será del tipo hipotético-deductivo ya que presenta varios pasos especiales como: observación del fenómeno, creación de hipótesis, deducción de hipótesis y comprobación de la verdad de los enunciados

Gráfico 08 Método hipotético-deductivo



Fuente: (Colomé, 2018)

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño Metodológico

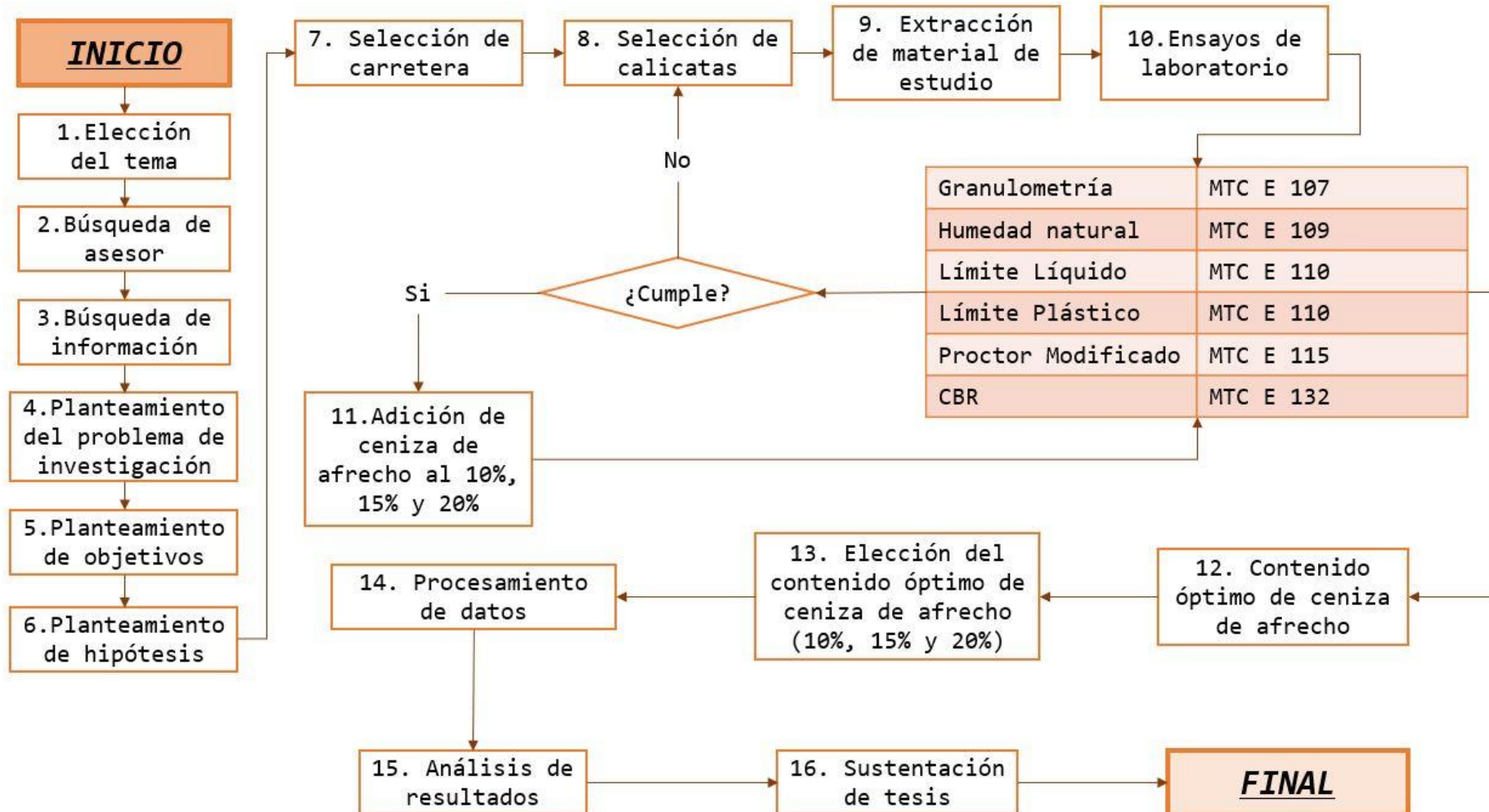
El diseño de la investigación será experimental ya que se manipula la variable independiente (ceniza de afrecho de cebada en diferentes proporciones) y como este influye en la variable dependiente (propiedades físico-mecánicas del sueño), con un diseño específico de “cuasi experimental”.

Los diseños cuasiexperimentales manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Según el diseño estadístico de demostración de hipótesis es estadística paramétrica ya que es aplicable a datos cuantitativos.



3.2.1 Diseño de Ingeniería



3.3 Población y muestra:

3.3.1 Población:

3.3.1.1 Descripción de la población

Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 174)

Para la presente investigación la población se delimita a todos los suelos arcillosos de la carretera Yaurisque - San Juan de Taray en el tramo del km 2+790 al 4+290

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población será conformada por todos los suelos arcillosos que sean denominados arcillas de baja plasticidad (CL) en el sistema SUCS o se encuentren en los rangos A-5, A-6 y A-7 en el sistema AASHTO

Gráfico 09 Carretera Yaurisque-San Juan de Taray



Fuente: Google Earth

3.3.2 Muestra

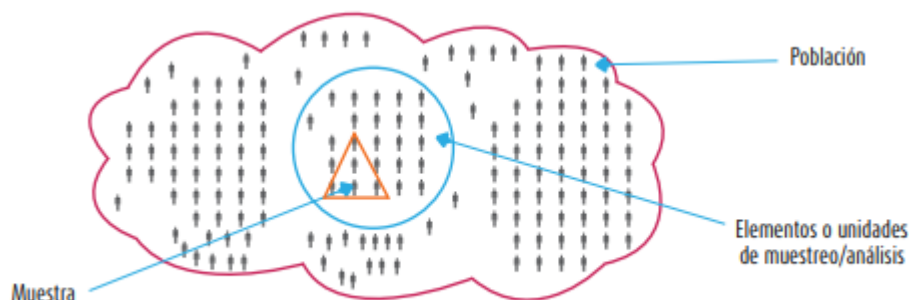
3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra es un subgrupo de la población que se utiliza por economía de tiempo y recursos, implica definir la unidad de análisis y requiere delimitar la población para generalizar resultados y establecer parámetros.



(Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 213)

Gráfico 10 Representación de una muestra como subgrupo



Fuente: (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

La muestra para la presente investigación serán los suelos arcillosos provenientes de las calicatas realizadas en lugares distintos del tramo de carretera sujeto a estudio. Vease Tabla 07

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

El Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” menciona que para carreteras con bajo volumen de tránsito de una calzada solo es necesario una calicata por kilómetro (pág. 31, 2014).

La elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 176)

La cantidad de elementos que forman parte de la muestra para la presente investigación serán todos los ensayos de laboratorio que se realizarán en el suelo añadiendo la ceniza de afrecho de cebada en proporciones distintas

Las muestras serán finitas y sacadas por la ejecución de calicatas (02) con 1.5 metros de profundidad en suelos arcillosos en puntos previamente seleccionados. Según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y Pavimentos menciona que para carreteras con un bajo volumen de tránsito con IMDA 200 veh/día se debe realizar mínimo 01 calicata x km, la presente investigación tiene como longitud del tramo 1.5 km lo cual correspondería 02 calicatas a realizarse. Véase tabla 06

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo que se definió para la presente investigación será el de no probabilístico de conveniencia.

Las calicatas de donde se extraerá el suelo serán elegidas de manera intencional con la finalidad de no perjudicar la accesibilidad a la zona y



facilidad de sacar las muestras sin perjudicar a las personas que utilizan la vía.

Dentro del cual se obtendrá el material el cual servirá para la elaboración de los ensayos, se usará la siguiente cantidad de ensayos y cantidad de material requerido para cada ensayo:

3.3.2.4 Criterios de evaluación de la muestra

La muestra extraída y seleccionada proveniente de las calicatas será evaluada bajo diversos ensayos de laboratorio que son: granulometría (NTP 339.128:1998), límites de consistencia (NTP 339.129:1998), CBR (NTP 339.145:1999), Proctor modificado (NTP 339.141:1999). Para la presente investigación se realizó dos calicatas, en base a esto se calculó la cantidad de ensayos que se realizaran para cumplir con los objetivos establecidos.

Tabla 07 Cantidad de ensayos a realizar.

CANTIDAD DE ENSAYOS DE LA SUBRASANTE						
ENSAYOS	NORMA	SUELO NATURAL	AFRECHO DE CEBADA			TOTAL
			10%	15%	20%	
PROPIEDADES FISICAS						
Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 107-2016	1	0	0	0	1
Límites de Consistencia	MTC E 110 - 2016 MTC E 111 - 2016	6	6	6	6	24
PROPIEDADES MECANICAS						
Proctor Modificado	MTC E 115- 2016	4	4	4	4	16
Relación de Soporte (CBR)	MTC E 132- 2016	3	3	3	3	12
TOTAL, DE ENSAYOS						53

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3.5 Criterios de inclusión

3.3.3.5.1 Criterios de Inclusión de la Muestra de Suelo

- Los especímenes muestrales serán extraídos de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray, específicamente del tramo no afirmado del estrato arcilloso de una zona aledaña a la vía principal. Con los ensayos de laboratorio se determinará el tipo de suelo, la granulometría, el contenido



de humedad, los límites de consistencia, la densidad máxima, y la capacidad de soporte del suelo natural, con lo cual podremos tener un contraste para realizar la comparativa respecto al suelo estabilizado con los distintos porcentajes.

3.3.3.5.2 Criterios de Inclusión de los Aditivos Estabilizantes

- Los especímenes muestrales serán elaborados con ceniza de afrecho de cebada proveniente de las cervecerías artesanales de la ciudad del Cusco
- El material que es sujeto a estudio tendrá que cumplir las indicaciones que están estipulados en la NTP y en el manual del MTC para subrasante
- El aditivo con el que se trabajó es la ceniza de afrecho de cebada en porcentajes de 10%, 15% y 20%
- Los especímenes muestrales se trabajarán con agua potable

3.4 Instrumentos

Se utilizará la recolección de datos de ensayos de laboratorio para su procesamiento en gabinete para los nuevos diseños de la ceniza de cascara de cebada con la subrasante y para ellos se usarán los datos de entrada de los diseños iniciales: Contenido de Humedad, Granulometría, Límites de Consistencia, Proctor modificado y CBR.

3.4.1 Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.

a) Formatos de Recolección de Datos



- Contenido de Humedad

Tabla 08 Ficha de toma de datos para el Contenido de Humedad.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"				
ENSAYO:	Determinación del Contenido de Humedad			
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray			
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez			
MUESTRA:	Material Arcilloso			
FECHA:				
<u>Contenido de Humedad Natural</u>				
MTC E 108, Basado en Norma ASTM D-2216				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

- Granulometría

Tabla 09 Ficha de toma de datos para el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"							
ENSAYO:	Análisis Granulométrico de Suelo por tamizado							
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray							
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez							
MUESTRA:	Material Arcilloso							
FECHA:								
<p>Análisis Granulométrico de Suelo por tamizado MTC E 107, Basado en Norma ASTM D-422</p>								
MATERIAL NO LAVADO			MATERIAL LAVADO					
Peso total de muestra:			Peso del mat. antes de lavado:					
Peso del material no lavado:			Peso del mat. desp de lavado:					
Peso del material lavado:			% del material lavado:					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN MATERIAL LAVADO	CORRECCION EN MATERIAL LAVADO	% RETENIDO CORRREGIDO EN MATERIAL LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100							
3"	75							
2"	50							
1 1/2"	3705							
1"	25							
3/4"	19							
3/8"	9.5							
N° 4	4.75							
N° 10	2							
N° 20	0.85							
N° 40	0.425							
N° 60	0.25							
N° 100	0.106							
N° 200	0.075							
Cazuela	--							
Lavado	--							
Fraccion Retenida en Lavado								
Total								

Fuente: Elaboración Propia



- Limite Liquido

Tabla 10 Ficha de toma de datos para el Limite liquido del Suelo

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<p>TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"</p> <p>ENSAYO: Determinación del Limite Liquido de los Suelos (LL)</p> <p>UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray</p> <p>RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez</p> <p>MUESTRA: Material Arcilloso</p> <p>FECHA:</p>				
<p>Límite Líquido MTC E 110 Basado en Norma ASTM D-4318</p>				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

- Limite Plástico



Tabla 11 Ficha de toma de datos para el Limite plástico del Suelo

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<p>TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"</p> <p>ENSAYO: Determinación del Limite Plastico de los Suelos (LP)</p> <p>UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray</p> <p>RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez</p> <p>MUESTRA: Material Arcilloso</p> <p>FECHA:</p>			
<p><u>Límite Plástico</u></p> <p>MTC E 111 Basado en Norma ASTM D-4318</p>			
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso de Agua (gr)			
Peso de Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

- Proctor Modificado



Tabla 12 Ficha de toma de datos para el Proctor Modificado del Suelo

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<p>TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"</p> <p>ENSAYO: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado</p> <p>UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray</p> <p>RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez</p> <p>MUESTRA: Material Arcilloso</p> <p>FECHA:</p>				
<p><u>Compactacion de suelos en laboratorio, utilizando energía modificada</u> MTC E 115, Basado en Norma ASTM D-1557</p>				
DATOS PRELIMINARES				
		Metodo:		
		Numero de capas:		
		Numero de golpes por capa:		
		Masa de pisón:		
		Altura de caída del pisón:		
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	
Numero de proctor utilizado				
Diámetro del molde (cm)				
Altura del molde (cm)				
Volumen del molde (cm ³)				
Peso del Molde (gr)				
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)				
Peso de la muestra húmeda (gr)				
Peso de la muestra seca (gr)				
Densidad Seca (gr/cm ³)				
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia



3.4.2 Instrumentos de Procesamiento de Datos

En esta investigación que se realizará presenta varios instrumentos de ingeniería que se realizaran en campo para la toma de datos, siendo necesarios los equipos y herramientas en cada ensayo desarrollado en laboratorio.

3.4.2.1 Ensayo de Análisis Granulométrico de agregado fino

- Formatos de recolección de datos
- Tamices
- Material Extraído
- Laptop
- Bandeja
- Hojas de Cálculo (Excel)
- Espátula
- Balanza de precisión con sensibilidad de 0.1%.
- Serie de tamices: N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200
- Agitador mecánico de tamices
- Horno de una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{c}$

3.4.2.2 Ensayo de Limites de consistencia

Limite Liquido

- Aparato de Casa Grande
- Ranurador
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,1 g o 0,1 % del peso de la muestra.
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz N° 40 (425 μm).

Limite Plástico

- Espátula: debe ser de hoja flexible con una longitud que oscile entre 75-100 mm y un ancho de 20 mm.
- Capsula para Evaporación: preferiblemente de porcelana.
- Capsulas para determinar el contenido de humedad
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,01 g
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Calibrador: debe trabajar con aproximación de 0,1 cm

3.4.2.3 Ensayo de Proctor Modificado

- Molde cilíndrico de compactación normalmente de acero o aluminio
- Martillo de compactación
- Regla metálica
- Horno de secado
- Balanza de precisión
- Tamiz $\frac{3}{4}$ "



- Aparato agitador: un agitador mecánico que permita realizar el proceso de tamizado.
- Horno de una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

3.4.2.4 Ensayo de CBR

- Máquina de compresión
- Molde cilíndrico de compactación
- Martillo de compactación
- Placa de metal perforada de aprox. 150 mm de diámetro
- Sobrecargas metálicas
- Deformímetro
- Cilindro de Penetración
- Tamices: se debe contar con tamices No. 4 y $\frac{3}{4}$ ".
- Horno de secado
- Recipientes de muestreo
- Guantes contra altas temperaturas o herramientas para manejar los recipientes.
- Balanza de precisión

3.5 Procedimiento de Recolección de Datos

3.5.1 Muestreo de suelos

- La Carretera de Yaurisque San Juan de Taray, se encuentra ubicada en los distritos de Yaurisque, provincia del Calca, Departamento del Cusco; esta tiene una longitud aproximada de 5 Km dada la longitud de la vía se tomó la decisión de evaluar y determinar el tipo de suelo de 250 metros.
- Para determinar la zona de estudio, se hará un reconocimiento de campo por toda la carretera para poder encontrar las zonas más afectadas, el tipo de material necesario para hacer la estabilización y al mismo tiempo encontrar zonas donde sea fácil la extracción de muestras, es decir zonas donde sea posible la habilitación de calicatas. En este proceso se pudo observar que la zona que cumplía con los requisitos antes mencionados era el tramo 01+000 Km – 05+000 Km, ya que esta parte no está pavimentada, existía presencia de material arcilloso (reconocimiento que se hizo mediante la observación de la coloración, y comprobado mediante un ensayo preliminar) y no factible habilitar calicatas. Para lo cual se extraerá un total de 500 Kg aproximadamente, para realizar los ensayos que se detallan en el presente trabajo de investigación.

Gráfico 11 *Excavación de calicatas*



Fuente: Propia

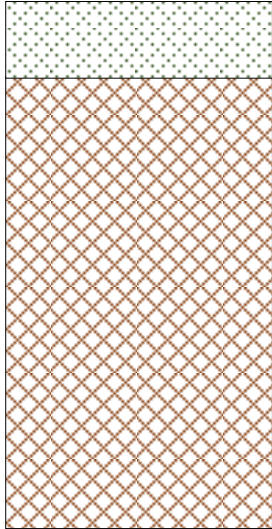
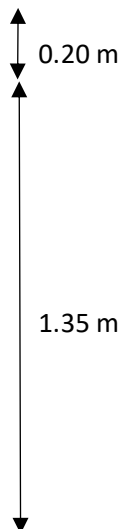
- Se determinaron perfiles estratigráficos para el detalle del tipo de material encontrado en las calicatas hechas en campo para sus respectivos estudios. Las cuales son las siguientes:

Gráfico 12 *Estratigrafía (C-1)*

ESTRATIGRAFIA DE CALICATA 01		
REPRESENTACION GRAFICA	PROFUNDIDAD	TIPO DE SUELO
	0.25 m 1.25 m	MATERIAL ORGANICO ARCILLA LIMOSA

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 13 Estratigrafía (C-2)

ESTRATIGRAFIA DE CALICATA 02		
REPRESENTACION GRAFICA	PROFUNDIDAD	TIPO DE SUELO
		MATERIAL ORGANICO ARCILLA LIMOSA

Fuente: Elaboración Propia

- Se utilizó como agente estabilizador la ceniza de afrecho de cebada para la obtención de esta ceniza se utilizó un horno industrial el cual nos sirvió para que no se pierda la ceniza por la acción de algún viento.

Gráfico 14 Horno industrial



Fuente: Elaboración Propia



- Durante el proceso de la quema de este material se realizó aproximadamente a unos 400°
- C de temperatura, seguidamente se procedió al enfriamiento con una duración de medio día por la gran cantidad de ceniza. Al final esta ceniza paso por un proceso de tamizado para que este pueda ser mezclado con mayor facilidad con el suelo natural.

3.5.2 Análisis de laboratorio de muestras

- En cada caso de los ensayos de laboratorio se tienen formatos los cuales se usarán para la recolección de datos de laboratorio. El presente estudio trata sobre la recolección y análisis de los cambios en nuestro ambiente físico como la subrasante de la carretera Yaurisque- San Juan de Taray. Este elemento de la ciencia se aplica en la vida cotidiana junto con dispositivos de control los cuales son los cuadros de toma de datos. Estos sirven para asegurar que los estudios estén totalmente correctos.

3.5.2.1 Determinación del Contenido de Humedad Natural

a) Equipos y herramientas:

- Balanza con sensibilidad de 0.01 g.
- Taras o capsulas.
- Horno de secado con una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Cucharón metálico
- Espátula
- Brochas

b) Procedimiento:

- Se procede a pesar las taras metálicas en la balanza de precisión de $\pm 0.01\text{g}$, y registrar el número de recipiente en la ficha de toma de datos.
- Se hace un proceso de cuarteo del material tomado de la calicata a estudiar, para seleccionar las muestras.
- Se añade muestras de la tierra húmeda en las taras y se procede a pesar.
- Se registran los datos del peso de la tara y la muestra húmeda.
- Las taras ingresan al horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura por 24 horas, pasado este tiempo se procede a pesar las taras con las muestras secas.
- Se registran los pesos en la balanza de precisión de 0.01g de las muestras en la ficha de datos.

c) Toma de Datos:

- Se realizo la siguiente toma de datos:



Tabla 13 Proceso de toma de datos Contenido de Humedad

DESCRIPCION	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
Peso de Capsula (gr)	30.42	32.01	31.56
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	245.41	239.89	240.78
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	236.02	230.75	231.66
Peso de Agua (gr)	9.39	9.14	9.12
Peso de Muestra Seca (gr)	205.6	198.74	200.1

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.2 Análisis Granulométrico por tamizado:

a) Equipos y herramientas:

- Balanza con sensibilidad de 0.01 g.
- Horno de secado con una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Tamices: 19.00 mm (3/4”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N°4), 2.00 mm (N°10), 0.850mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.250 mm (N°60), 0.106 mm (N°140), 0.075 (N°200).
- Tamizador vibratorio.
- Envases y fuentes para el material.
- Cepillo metálico
- Brocha para la limpieza de los tamices

b) Procedimiento:

- Se realizo un cuarteo del material para tener las muestras más homogéneas del suelo.
- La muestra obtenida fue pesada y saturada durante 24 horas, con el fin de obtener una masa constante.
- Después de ello se realizó el lavado de la muestra, teniendo cuidado de no desperdiciar material, usando la malla #200 (75 mm), con el fin de separar los finos del suelo y conservando el material que quede en la malla #200.
- Se ingresan al horno de 110 ± 5 °C de temperatura por 24 horas, pasado este tiempo cuando el material está seco, se procede a pesar y determinar la pérdida por lavado.
- El material seco se pone en la serie de tamices: 75 mm (3”), 50.0 mm (2”), 37.5 mm (1 ½”), 25.0 mm (1”), 19.00 mm (3/4”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N°4), 2.00 mm (N°10), 0.850mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.250 mm (N°60), 0.106 mm (N°140), 0.075 (N°200), teniendo un orden de abertura descendente. Una vez colocado, se procede a encender la tamizadora mecánica para obtener las fracciones retenidas en cada malla.



- Se registra el peso retenido en cada tamiz y con la balanza de precisión. Cabe resaltar que la sumatoria de los pesos retenidos y el peso inicial o debe variar en más de 1%.
- Finalmente se procede a graficar los datos en la curva granulométrica.

c) Toma de Datos:

- Se realizó la siguiente toma de datos:

Tabla 14 Proceso de toma de datos Análisis Granulométrico

		MATERIAL NO LAVADO			MATERIAL LAVADO			
		Peso total de muestra:	2779.65		Peso del mat. antes de lavado:	2779.65		
		Peso del material no lavado:	0		Peso del mat. desp de lavado:	1381.34		
		Peso del material lavado:	2779.65		% del material lavado:	100.00%		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN MATERIAL LAVADO	CORRECCION EN MATERIAL LAVADO	% RETENIDO CORREGIDO EN MATERIAL LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00						
3"	75	0.00						
2"	50	0.00						
1 1/2"	37.5	94.41						
1"	25	143.58						
3/4"	19	16.73						
3/8"	9.5	101.13						
N° 4	4.75	88.36						
N° 10	2	86.36						
N° 20	0.85	56.52						
N° 40	0.425	63.71						
N° 60	0.25	137.31						
N° 100	0.106	502.44						
N° 200	0.075	77.11						
Cazuela	--	12.67						
Lavado	--	1398.31						
Fraccion Retenida en Lavado		1380.33						
Total		2778.64						

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.3 Determinación del Limite liquido:

a) Equipos y herramientas:

- Equipo de cuchara de Casa Grande.
- Recipiente Metálico
- Ranurador.
- Calibrador.



- Recipientes Metálicos
- Brocha para la limpieza
- Pipeta.
- Tamiz N°40.
- Horno con una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Espátula curva de hoja flexible.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 g

b) Procedimiento:

- Para la preparación de muestra, se obtiene una porción de muestra representativa de 100 a 250 gr. de material que pase por la malla N° 40.
- La muestra representativa se mezcla con agua en un recipiente de porcelana, con la ayuda de la espátula curva se llegará a tener una consistencia pegajosa homogénea.
- Se coloca el material mezclado en la cuchara de Casa Grande, aproximadamente 1 cm de espesor y dándole un acabado nivelado con superficie regular, es importante tratar de pasar la menor cantidad de veces con la espátula.
- Con el ranurador hacemos una línea por el medio de la cuchara, esta línea debe ser limpia, separando el material de la cuchara en dos partes.
- Girando la manija del aparato de Casa Grande, a una velocidad constante, la cuchara se elevará 1 cm y caerá golpeándola, esto generará que el material separado por el acanalador se junte, siendo el número de golpes necesario para juntar el material el dato que se procede a registrar.
- Se toma una porción de muestra, perpendicular a la ranura, de aproximadamente una pulgada de ancho y se coloca en un recipiente metálico, el cual pesaremos y registraremos para determinar el contenido de humedad.
- El proceso se repite con el material restante, hasta tener los datos necesarios para cumplir los intervalos de golpes que requiere la ficha de toma de datos, se puede agregar o quitar humedad del material según sea conveniente.
- Se registrará los números de golpes y se extraerá la muestra representativa de cada ensayo, las cuales se procederán a pesar y secar en el horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas, para poder determinar el contenido de humedad.

c) Toma de Datos:

- a. Se realizó la siguiente toma de datos:



Tabla 15 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	5.79	8.04	9.12	7.84
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	24.91	28.55	28.14	30.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	20.18	23.41	23.26	24.19
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	34	26	19	12
Peso de Capsula (gr)	8.36	6.47	9.53	9.39
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	27.15	31.12	31.14	32.5
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.75	24.01	24.65	25.28
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	33	26	20	14
Peso de Capsula (gr)	6.14	9.57	7.95	8.24
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	28.01	31.11	29.34	32.07
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.91	24.91	23.16	24.96
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 18 Proceso de toma de datos Determinación del Limite liquido del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	32	25	18	11
Peso de Capsula (gr)	7.98	8.24	9.24	8.12
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	26.83	35.09	34.46	33.57
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.54	27.43	27.1	25.83
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.4 Determinación del Limite plástico y el índice de plasticidad:

a) Equipos y herramientas:

- Recipiente Metálico
- Capsulas o taras
- Vidrio esmerilado
- Vasija de porcelana para almacenado
- Brocha para la limpieza
- Pipeta.
- Tamiz N°40.
- Horno con una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Espátula curva de hoja flexible.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 g

b) Procedimiento:

- Con la muestra del ensayo de límite líquido (en las mismas dosificaciones de ceniza de afrecho de cebada), se procede a tomar muestras de 1.0 a 2.0 gr.
- Las muestras se deslizan en el vidrio esmerilado, usando los dedos se dan forma de cilindros de aproximadamente 3.0 mm a 3.2 mm y verificando que sean uniformes de inicio a fin.
- Al perder humedad los cilindros se desmoronarán aproximadamente en su diámetro total de 3.2 mm.
- Se hará el mismo procedimiento hasta tener el peso adecuado en las capsulas; y lo mismo se hará con la otra mitad de material para tener dos muestras agregando agua de ser necesario.
- Se pesará las cápsulas y se registrarán tales datos, luego se procede a secar las muestras durante 24 horas en el horno de a una temperatura de 110 ± 5 °C.



- Pasadas las 24 horas se toma registro del peso seco y se procede a determinar el contenido de humedad.

Gráfico 15 *Ensayo del límite plástico al suelo natural*



Fuente: elaboración propia



Gráfico 16 Ensayo del límite plástico con ceniza al 10%



Fuente: elaboración propia

Gráfico 17 Ensayo del límite plástico con ceniza al 15%



Fuente: elaboración propia



Gráfico 18 Ensayo del límite plástico con ceniza al 20%



Fuente: elaboración propia

Gráfico 19 Puesta en el horno de las muestras del límite plástico



Fuente: elaboración propia



c) **Toma de Datos:**

a. Se realizó la siguiente toma de datos:

Tabla 19 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	7.82	5.8	8.03
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	17.09	13.84	17.03
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.54	12.47	15.41
Peso de Agua (gr)			
Peso de Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.48	8.14	8.03
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	16.3	15.02	14.95
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.95	13.65	13.57
Peso de Agua (gr)			
Peso de Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 21 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.28	8.03	11.61
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	15.11	13.97	17.88
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	13.91	12.73	16.54
Peso de Agua (gr)			
Peso de Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22 Proceso de toma de datos Determinación del Limite Plástico del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	8.02	9.02	6.35
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	13.64	14.34	13.07
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.34	13.17	11.41
Peso de Agua (gr)			
Peso de Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.5 Compactación de suelos con Proctor Modificado:

a) Equipos y herramientas:

- Recipiente Metálico
- Molde de 6".
- Pisón o martillo para Proctor modificado.
- Horno con una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Bandeja metálica.
- Extractor de muestras.
- Cucharón y espátula
- Regla metálica o enrasador.
- Tamices $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N°4.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 g



b) Procedimiento:

- Primero se debe determinar el método a usar dependiendo las características del suelo, para lo cual haremos secar muestra en el horno a 110 ± 5 °C, y la tamizaremos en las mallas 3/4", 3/8" y N° 4.
- Se determina los porcentajes retenidos en cada malla mencionada anteriormente, y se procede a elegir el método a partir de la siguiente tabla:

Tabla 23 Proceso de uso de uno de los métodos por porcentajes retenidos en cada malla

ENSAYO	% ACUMULADO RETENIDO EN TAMIZ N° 04	% ACUMULADO RETENIDO EN TAMIZ N° 3/8"	% ACUMULADO RETENIDO EN TAMIZ N° 3/4"	MATERIAL AL USAR
A	≤ 20%			Pasa N° 04
B	> 20%	≤ 20%		Pasa 3/8"
C	-	> 20%	≤ 30%	Pasa 3/4"

Fuente: Elaboración Propia

- Con la tabla anterior se pudo determinar que el método de ensayo será el "A" dado que es un material con alta presencia de finos.
- Se procede a secar el suelo y a pesarlo (aproximadamente 6 kg por punto de Proctor), así mismo, se registrará los pesos de los moldes que se usarán para el ensayo. También se pesará los porcentajes en gramos de cal y ceniza de mazorca de maíz, como se indica en la siguiente tabla

Tabla 24 Tabla de cantidad de peso natural y del peso de la ceniza de afrecho de cebada

ENSAYO	PESO SUELO NATURAL SECO (gr)	% DE CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA	PESO DE CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA (gr)
Proctor Modificado de Suelo Natural	6000.00	0.00%	0.00
Proctor Modificado de Suelo Natural + 10 % CAC	6000.00	10.00%	600.00
Proctor Modificado de Suelo Natural + 15 % CAC	6000.00	15.00%	900.00
Proctor Modificado de Suelo Natural + 20 % CAC	6000.00	20.00%	1200.00

Fuente: Elaboración Propia



- Al tener el peso del suelo seco y los porcentajes que se usarán de CAC, se agrega agua en diferentes porcentajes (en arcillas el contenido de humedad varía entre 10% y 17%) para elaborar cada punto del Proctor, se procede a mezclar la muestra en una bandeja metálica, hasta que la muestra quede homogénea.
- Una vez mezclada la muestra se procede a dividir en 5 partes iguales, haciendo uso del cucharón, lo que nos servirá para agregar a los moldes (molde + collarín) en 5 capas.
- Se agrega las muestras separadas anteriormente en el molde y se procede a la compactación con el pisón, se dan 56 golpes por cada capa, hasta cumplir con las 5 capas. Es recomendable extender y acomodar con el pisón para formar una capa uniforme antes de compactar.
- Al terminar las 5 capas se procede a retirar el collarín de extensión, y a enrasar el material que quedo en el molde con una regla metálica dejando una superficie plana en la parte superior e inferior, se rellena cualquier hoyo o hueco que tenga, con el material del collarín, siempre procurando dejar la superficie plana.
- Se extrae una muestra representativa y compactada del molde (axialmente) de la parte central, con la cual determinaremos el contenido de humedad (Obtener el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127), tales muestras serán pesadas en recipientes metálicos y registradas.
- Se secarán las muestran durante 24 horas en un horno de 110 ± 5 °C y se pesará en estado seco para determinar su contenido de humedad.
- Se repetirá este proceso para determinar los 4 puntos del ensayo de Proctor y así poder realizar la curva de compactación (Densidad seca / Humedad).



Gráfico 20 Mezclado de muestras y aditivos y separación en 5 capas para Proctor
Modificado



Fuente: elaboración propia

Gráfico 21 Compactación de suelo usando el pisón para Proctor Modificado



Fuente: elaboración propia



Gráfico 22 Colocación de muestra representativa en una capsula para el ensayo de Proctor

Modificado



Fuente: elaboración propia

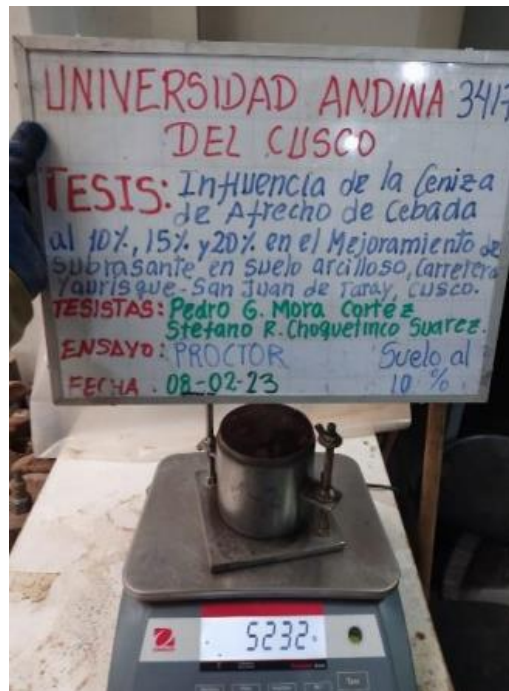
Gráfico 23 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado + Molde



Fuente: elaboración propia



Gráfico 24 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado Suelo natural + 10% de CAC



Fuente: elaboración propia

Gráfico 25 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado Suelo natural + 15% de CAC



Fuente: elaboración propia



Gráfico 26 Toma del peso de las muestras para el ensayo de Proctor Modificado Suelo natural + 20% de CAC



Fuente: elaboración propia

c) Toma de Datos:

- Se realizó la siguiente toma de datos:



Tabla 25 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural

DATOS PRELIMINARES				
		Método: A		
		Numero de capas: 5		
		Numero de golpes por capa: 25		
		Masa de pisón: 4.54 kg		
		Altura de caída del pisón: 45.72 cm		
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5469.00	5535.00	5544.00	5512.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	1901.00	1967.00	1976.00	1944.00
Peso de la muestra seca (gr)	1705.41	1747.84	1728.17	1663.38
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.81	1.85	1.83	1.76
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	16.51	10.47	11.85	19.27
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	81.92	71.59	74.12	82.31
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	75.19	64.78	66.31	73.21
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 26 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DATOS PRELIMINARES					
Método:		A			
Numero de capas:		5			
Numero de golpes por capa:		25			
Masa de pisón:		4.54 kg			
Altura de caída del pisón:		45.72 cm			
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Numero de Proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69	943.69
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5116.00	5252.00	5287.00	5281.00	5203.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	1548.00	1684.00	1719.00	1713.00	1635.00
Peso de la muestra seca (gr)	1376.33	1472.6	1459.67	1437.45	1341.14
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.46	1.56	1.55	1.52	1.42
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	15.72	19.02	16.45	15.77	19.33
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	68.56	94.18	72.13	63.39	72.42
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	62.7	84.75	63.73	55.73	62.86
Peso de Agua (gr)					
Peso de Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					

Fuente: *Elaboración Propia*



Tabla 27 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DATOS PRELIMINARES				
		Método:	A	
		Numero de capas:	5	
		Numero de golpes por capa:	25	
		Masa de pisón:	4.54 kg	
		Altura de caída del pisón:	45.72 cm	
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5102.00	5232.00	5278.00	5223.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	1534.00	1664.00	1710.00	1655.00
Peso de la muestra seca (gr)	1302.62	1361.94	1344.8	1252.76
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.38	1.44	1.43	1.33
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	15.34	10.49	18.88	15.58
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	75.87	72.85	88.1	70.92
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	66.74	61.53	73.32	57.47
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28 Proceso de toma de datos Proctor Modificado del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DATOS PRELIMINARES				
		Método:	A	
		Numero de capas:	5	
		Numero de golpes por capa:	25	
		Masa de pisón:	4.54 kg	
		Altura de caída del pisón:	45.72 cm	
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5102.00	5162.00	5203.00	5179.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	1534.00	1594.00	1635.00	1611.00
Peso de la muestra seca (gr)	1206.48	1219.1	1227.71	1194.32
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.28	1.29	1.30	1.27
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	19.08	16.54	16.89	20.05
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	70.6	69.39	73.01	78.16
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	59.6	56.96	59.03	63.13
Peso de Agua (gr)				
Peso de Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.6 Determinación de capacidad de soporte CBR:

a) Equipos y herramientas:

- Pisón de compactación.
- Molde de metal de 6" con collarín.
- Tamices N° 4, ¾" y 2".
- Cucharón y enrasador.
- Disco espaciador de metal, con forma circular.
- Equipo medidor de expansión para CBR de 2.71 kg.
- Placa de expansión.
- Pesas ranuradas de metal de 2.293 kg.
- Trípode de expansión para CBR y diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001").
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica con anillo de carga. $V = 0.05$ pulg/min.
- Pozo de agua.



- Papel filtro
- Balanza con sensibilidad de 0.01 g

b) Procedimiento:

- Se debe tener el contenido de humedad óptimo, del ensayo de Proctor modificado, para el tipo de suelo que ensayaremos, esto variará dependiendo los porcentajes de Ceniza de Afrecho de Cebada que usaremos. Así mismo, analizar el contenido de humedad natural y calcular el ajuste de humedad para cada ensayo de CBR.
- Se usará 6.5 kg de suelo que será el 100% para cada ensayo de CBR, y los porcentajes de CAC se usarán en proporciones como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 29 Tabla de cantidad de peso natural y del peso de la ceniza de afrecho de cebada para CBR

ENSAYO	PESO SUELO NATURAL SECO (gr)	% DE CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA	PESO DE CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA (gr)
CBR de Suelo Natural	6500.00	0.00%	0.00
CBR de Suelo Natural + 10 % CAC	6500.00	10.00%	650.00
CBR de Suelo Natural + 15 % CAC	6500.00	15.00%	975.00
CBR de Suelo Natural + 20 % CAC	6500.00	20.00%	1300.00

Fuente: Elaboración Propia

- Se procede a pesar a preparar los moldes para el ensayo, colocando el disco, espaciador y el papel filtro en los moldes de CBR.
- Se preparan las muestras en una bandeja metálica, mezclando el suelo con la Ceniza de Afrecho de Cebada en sus diferentes porcentajes, y agregando agua en el caso lo requiera para cumplir con el contenido de humedad óptimo
- La muestra mezclada y homogeneizada en la bandeja se divide en 5 porciones iguales, esas servirán para llenar las 5 capas del molde. Este proceso se repartirá 3 veces con una muestra de 6500 gr como el 100% hasta completar los 3 ensayos de CBR (12, 25 y 56 golpes) por cada dosificación de suelo natural, cal y ceniza de mazorca de maíz
- Cuando las muestras fueron compactadas con el determinado número de golpes, se procede a separar del collarín y enrasar con una regla metálica, se gira el molde de modo que la parte superior quede abajo, y asegurándolo con a la base y se retira el disco espaciador, donde luego entrarán las sobrecargas (pesas).



- Se registra el peso de la muestra compacta con la base y molde.
- Se coloca papel filtro en la parte superior de la muestra, luego se pondrá la placa perforada con vástago ajustable y sobre ella se coloca las pesas de sobrecarga
- Se procede a hacer la lectura con el trípode y el dial, marcando los puntos en los cuales se apoyó el trípode.
- Las muestras se sumergen en agua, saturándose durante 4 días, a lo largo de este tiempo se tomará las variaciones de volumen que tendrá la muestra usando el trípode y el dial, teniendo en cuenta que las patas del trípode estén puestas en los puntos marcados.
- Después de 4 días se sacan las muestras del pozo de inmersión, y se deja drenar durante 15 minutos, se retira el vástago y la placa, quedando las pesas puestas en la muestra.
- Se procede a hacer el ensayo de penetración en el equipo de CBR, verificando que el dial de presión (carga) y el de deformación estén en cero.
- La velocidad de penetración será de 0.05 pulgadas por minuto, y registrando los datos de presión a 0.00, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas de penetración
- Finalmente se retira la muestra del equipo de CBR y se quitan las sobrecargas de la muestra (pesas), para tomar una muestra del suelo ensayado y determinar la humedad final

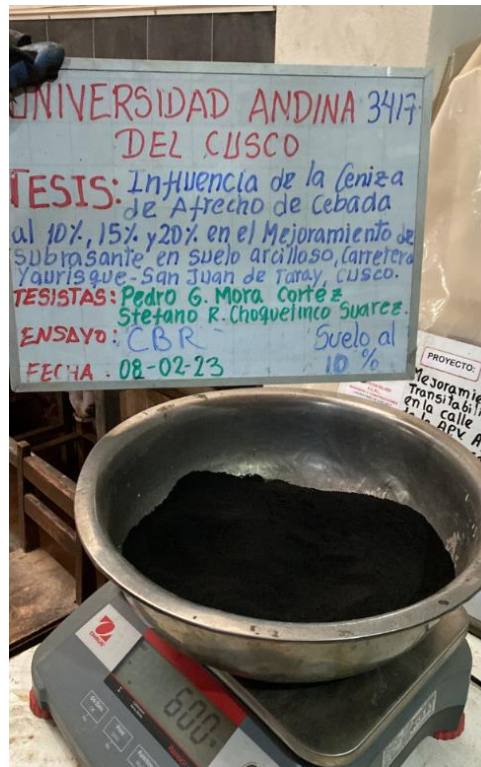
Gráfico 27 Preparación de la muestra para el ensayo de CBR



Fuente: elaboración propia



Gráfico 28 Preparación de la Ceniza de Afrecho de Cebada para el ensayo de CBR



Fuente: elaboración propia

Gráfico 29 Preparación del Suelo Natural + CAC al 20% para el ensayo de CBR



Fuente: elaboración propia



Gráfico 30 Compactación de la muestra para el ensayo de CBR con suelo natural + CAC al 10% + agua



Fuente: elaboración propia

Gráfico 31 Enrasado de muestras de CBR



Fuente: elaboración propia

Gráfico 32-33 Muestras de CBR compactadas y con pesas



Fuente: elaboración propia

Gráfico 34-35 Muestras de CBR sumergidas en agua con trípode y dial



Fuente: elaboración propia

c) Toma de Datos:

- Se realizó la siguiente toma de datos:



Tabla 30 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	14.96	16.13	19.25	11.65	18.67	15.93
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	67.8	80.36	80.98	75.11	69.52	82.72
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	61.74	70.04	73.81	64.36	63.7	70.52
Peso de Agua (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Prcentage de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7033		7284		7685	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11453	11640	11504	11777	11669	12023
Peso de la muestra humeda (gr)	4420	4607	4220	4493	3984	4338
Peso de la muestra seca (gr)						
Peso del agua absorbida (gr)						
Porcentaje de absorcion						
Densidad humeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	3.5				0				0			
0.125	3 hor 00 min	1				0				0			
0.25	6 hor 00 min	2				0				3			
0.5	12 hor 00 min	2				0				3			
1	24 hor 00 min	2				0				4			
2	48 hor 00 min	2				0				4			
4	96 hor 00 min	2				0				4			

ENSAYO DE PETRACION														
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	4				6				3			
	50	1.270	15				13				6			
	75	1.905	25				20				9			
70.31	100	2.540	34				27				12			
	125	3.175	45				34				14			
	150	3.810	52				38				16			
105.46	200	5.080	64				46				20			
	300	7.620	82				57				26			
	400	10.160	93				67				32			
	500	12.700	104				76				36			

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 31 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural +10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.36	19.12	15.99	18.24	19.12	18.02
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	79.53	74.39	74.58	77.07	83.79	79.75
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	71.12	62.47	66.35	64.39	74.82	64.61
Peso de Agua (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Prcentage de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7329		7414		7105	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11235	11324	11080	11335	10513	10844
Peso de la muestra humeda (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Peso del agua absorvida (gr)						
Porcentaje de absorcion						
Densidad humeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
TIEMPO TRANSCURRIDO	DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de	
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	3.5				0				0			
0.125	3 hor 00 min	1				0				0			
0.25	6 hor 00 min	2				0				3			
0.5	12 hor 00 min	2				0				3			
1	24 hor 00 min	2				0				4			
2	48 hor 00 min	2				0				4			
4	96 hor 00 min	2				0				4			

ENSAYO DE PETRACION														
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %
	*0.001"													
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	9				7				7			
	50	1.270	23				15				11			
	75	1.905	40				26				18			
70.31	100	2.540	56				35				22			
	125	3.175	71				42				26			
	150	3.810	6				49				29			
105.46	200	5.080	115				59				36			
	300	7.620	159				76				44			
	400	10.160	196				91				52			
	500	12.700	229				107				59			

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 32 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural +15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.30	15.60	15.65	19.27	19.00	11.86
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	79.29	69.38	73.26	74.32	95.74	70.5
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	67.85	58.77	62.32	63.36	81.21	58.44
Peso de Agua (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Prcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	6861		7294		7672	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10639	10692	11004	11092	11333	11489
Peso de la muestra humeda (gr)	3778	3831	3710	3798	3661	3817
Peso de la muestra seca (gr)						
Peso del agua absorbida (gr)						
Porcentaje de absorcion						
Densidad humeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	2				2				4			
0.125	3 hor 00 min	3				3				8			
0.25	6 hor 00 min	11				12				19			
0.5	12 hor 00 min	14				15				20			
1	24 hor 00 min	18				20				23			
2	48 hor 00 min	24				26				27			
4	96 hor 00 min	31.5				34.5				33			

ENSAYO DE PETRACION														
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	6				6				6			
	50	1.270	15				15				14			
	75	1.905	28				25				22			
70.31	100	2.540	41				35				29			
	125	3.175	55				44				36			
	150	3.810	67				53				42			
105.46	200	5.080	92				72				53			
	300	7.620	135				101				71			
	400	10.160	174				126				84			
	500	12.700	208				147				95			

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 33 Proceso de toma de datos CBR del suelo natural +20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	18.84	19.19	16.21	11.58	19.09	18.51
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	69.58	84.62	75.58	69.59	81.99	88.97
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	57.15	67.71	61.17	54.5	66.43	69.98
Peso de Agua (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Prcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7392		7470		7348	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11090	11114	11073	11111	10903	10956
Peso de la muestra humeda (gr)	3698	3722	3603	3641	3555	3608
Peso de la muestra seca (gr)						
Peso del agua absorvida (gr)						
Porcentaje de absorcion						
Densidad humeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	1				0				0			
0.125	3 hor 00 min	1				0				0			
0.25	6 hor 00 min	3				0				3			
0.5	12 hor 00 min	13				0				3			
1	24 hor 00 min	20				0				4			
2	48 hor 00 min	33				0				4			
4	96 hor 00 min	35				0				4			

ENSAYO DE PETRACION														
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	3				2				2			
	50	1.270	7				4				4			
	75	1.905	11				6				5			
70.31	100	2.540	15				9				6			
	125	3.175	19				11				8			
	150	3.810	23				14				10			
105.46	200	5.080	28				18				13			
	300	7.620	39				27				20			
	400	10.160	48				36				25			
	500	12.700	56				45				31			

Fuente: Elaboración Propia



3.6 Procedimiento de Análisis de Datos

El proceso de Análisis de datos conlleva la recolección el cual se explica en el punto 3.4, transformación la cual se usa en programas de computación como Excel el cual se analizará, modelado de datos con el objetivo de descubrir información útil y trascendente para los intereses de la organización.

Los resultados obtenidos se darán a raíz de los estudios experimentales y el análisis en el Excel, se sugieren conclusiones para cada tipo de ensayos los cuales se compararán respecto al suelo con aditivo de ceniza afrecho de cebada y se usan para apoyar la toma de decisiones respecto a usar el aditivo natural.

3.6.1 Determinación del Contenido de Humedad Natural

3.6.1.1 Procesamiento del ensayo

- Contenido de humedad: se emplea la siguiente fórmula:

$$W = \frac{Ww}{Ws} \times 100$$

Donde:

W: Contenido de Humedad (%).


Ww: Peso del Agua (gr).

Ws: Peso del Materia. (gr)

3.6.1.2 Diagrama del Ensayo



Tabla 34 Procesamiento de Datos – Ensayo de Contenido de Humedad del suelo natural

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 				
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"				
ENSAYO: Determinación del Contenido de Humedad				
UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray				
RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez				
MUESTRA: Material Arcilloso				
FECHA:				
Contenido de Humedad Natural				
MTC E 108, Basado en Norma ASTM D-2216				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
Peso de Capsula (gr)	30.42	32.01	31.56	31.33
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	245.41	239.89	240.78	242.03
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	236.02	230.75	231.66	232.81
Peso de Agua (gr)	9.39	9.14	9.12	9.22
Peso de Muestra Seca (gr)	205.6	198.74	200.1	201.48
Contenido de Humedad	4.57%	4.60%	4.56%	4.57%

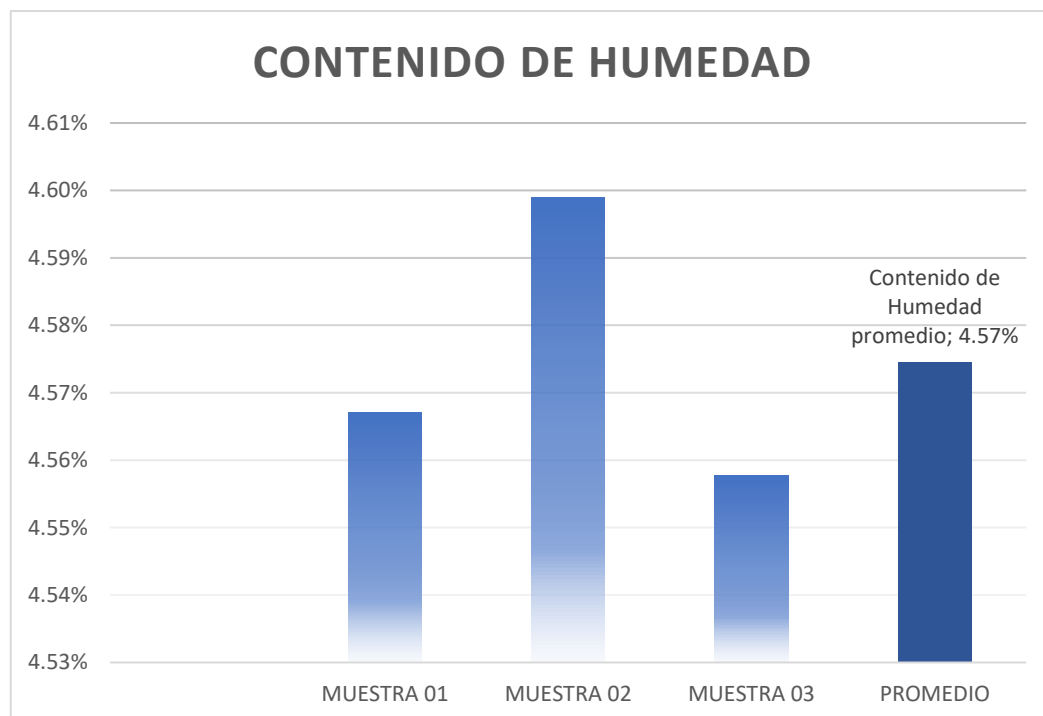
Fuente: Elaboración Propia

3.6.1.3 Análisis del ensayo

De acuerdo a los datos obtenidos en las cuatro muestras se determinó un contenido de humedad promedio, siendo 4.57% como se aprecia a continuación



Gráfico 36 Gráfico de los porcentajes de Contenido de Humedad Natural del Suelo



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2 Determinación del Análisis granulométrico por Tamizado

3.6.2.1 Procesamiento del ensayo

- Porcentaje Retenidos, con la siguiente ecuación se determinó el porcentaje retenido en cada uno de los tamices:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido e el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Porcentaje Retenido Acumulado: Se determinó usando la sumatoria de los porcentajes retenidos en cada tamiz, de la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \Sigma \% \text{ Retenidos en los tamices anteriores}$$

- Porcentaje que Pasa: se calcula la cantidad (en %) de material fino que pasa, en forma acumulativa del 100% en cada tamiz, usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pasa} = 100 \% - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

- Porcentaje de Error: se usó para determinar la aceptabilidad del ensayo, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Error} = \frac{(PMS - \Sigma \text{ Pesos Retenidos})}{PMS} \times 100$$



Donde:

PMS = Peso de la muestra Seca (antes del ensayo).

\sum Pesos Retenidos = Sumatoria de pesos retenidos en los tamices, incluyendo la pérdida por lavado y fondo (cazuela).

- Coeficiente de Uniformidad (Cu): determinará la uniformidad y variación del tamaño de las partículas del suelo a estudiar, se usa la siguiente relación:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Donde:

D60 = Tamaño de abertura en el que pasa el 60% de la muestra.

D10 = Tamaño de abertura en el que pasa el 10% de la muestra

- Coeficiente de Concavidad (Cc): nos proporciona información de la gradación del suelo y determinará si es bien gradado o mal gradado, con la siguiente relación:

$$Cc = \frac{D^2_{30}}{\left(\frac{D60}{D10}\right)}$$

Donde:

D60 = Tamaño de abertura en el que pasa el 60% de la muestra.

D30 = Tamaño de abertura en el que pasa el 30% de la muestra

D10 = Tamaño de abertura en el que pasa el 10% de la muestra

3.6.2.2 Diagrama del Ensayo

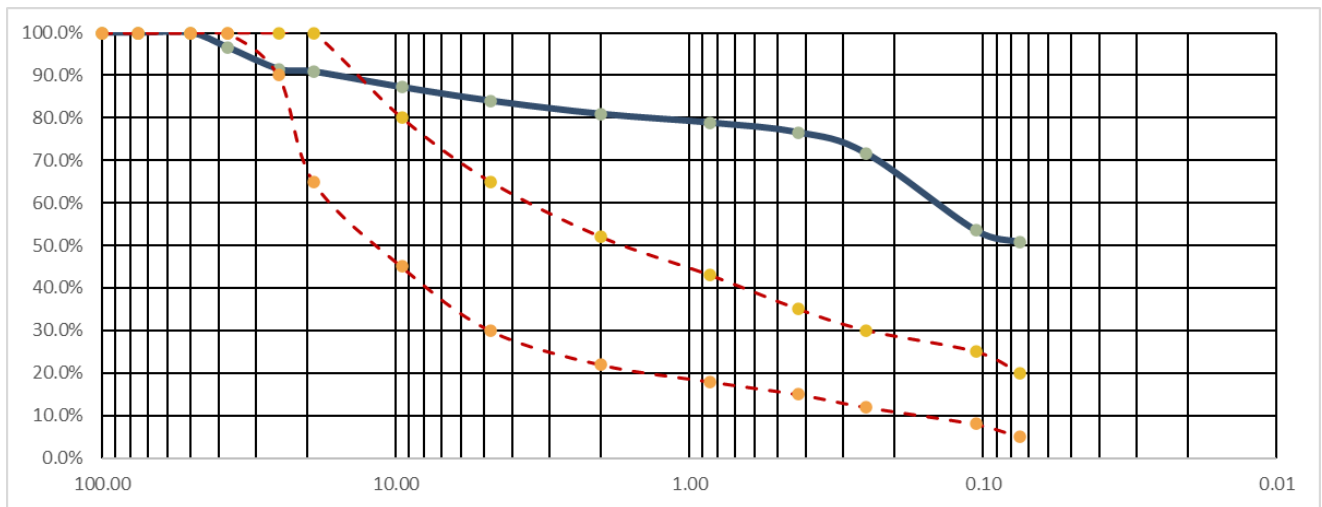
Tabla 35 Procesamiento de Datos – Ensayo de Análisis granulométrico del suelo natural

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"							
ENSAYO:	Análisis Granulométrico de Suelo por tamizado							
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray							
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez							
MUESTRA:	Material Arcilloso							
FECHA:								
Análisis Granulométrico de Suelo por tamizado								
MTC E 107, Basado en Norma ASTM D-422								
MATERIAL NO LAVADO			MATERIAL LAVADO					
Peso total de muestra:			2779.65					
Peso del material no lavado:			0					
Peso del material lavado:			2779.65					
			Peso del mat. antes de lavado:					
			2779.65					
			Peso del mat. desp de lavado:					
			1381.34					
			% del material lavado:					
			100.00%					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN MATERIAL LAVADO	CORRECCION EN MATERIAL LAVADO	% RETENIDO CORREGIDO EN MATERIAL LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	94.41	6.83%	0.01%	6.84%	3.40%	3.40%	96.60%
1"	25	143.58	10.39%	0.01%	10.40%	5.17%	8.57%	91.43%
3/4"	19	16.73	1.21%	0.00%	1.21%	0.60%	9.17%	90.83%
3/8"	9.5	101.13	7.32%	0.01%	7.33%	3.64%	12.81%	87.19%
N° 4	4.75	88.36	6.40%	0.00%	6.40%	3.18%	15.99%	84.01%
N° 10	2	86.36	6.25%	0.00%	6.26%	3.11%	19.10%	80.90%
N° 20	0.85	56.52	4.09%	0.00%	4.09%	2.03%	21.13%	78.87%
N° 40	0.425	63.71	4.61%	0.00%	4.62%	2.29%	23.42%	76.58%
N° 60	0.25	137.31	9.94%	0.01%	9.95%	4.94%	28.36%	71.64%
N° 100	0.106	502.44	36.37%	0.03%	36.40%	18.09%	46.45%	53.55%
N° 200	0.075	77.11	5.58%	0.00%	5.59%	2.78%	49.23%	50.77%
Cazuela	--	12.67	0.92%	0.00%	0.92%	0.46%	49.69%	
Lavado	--	1398.31				50.31%	100.00%	
Fraccion Retenida en Lavado		1380.33				49.69%		
Total		2778.64				100.00%		

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 37 Grafico de la Curva Granulométrica

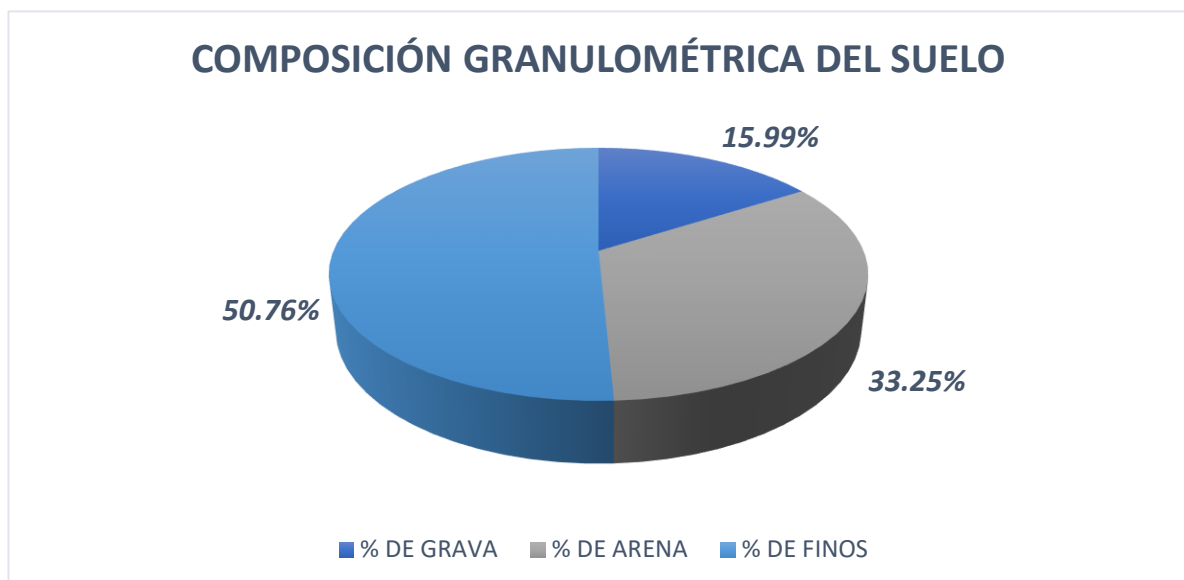


Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.3 Análisis del Ensayo

De acuerdo a la curva granulométrica podemos afirmar que, el suelo ensayado, obtenido de la Yaurisque a San Juan de Taray, presenta en su gran mayoría material fino que pasa la malla #200, siendo este el porcentaje más representativo, teniendo un 50.76% del total, como se aprecia en el siguiente gráfico

Gráfico 38 Grafico de porcentajes de grava, arena y finos del ensayo de Granulometría del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia



De acuerdo a la curva granulométrica, podemos apreciar que la muestra ensayada no presenta D60, D30 y D10, por lo que, no se puede determinar el Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Concavidad.

3.6.3 Determinación del Limite Liquido

3.6.3.1 Procesamiento del ensayo

- Determinación del contenido de Humedad: al realizar el ensayo en la cuchara de Casagrande los datos se procesaron usando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} \times 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).



PR = Peso de recipiente (gr).

- Se procede a graficar en las ordenadas el porcentaje de humedad de la muestra y en las abscisas el número de golpes, determinando el porcentaje de humedad a los 25 golpes cuando intercepta con la curva de tendencia.

3.6.3.2 Diagrama del Ensayo

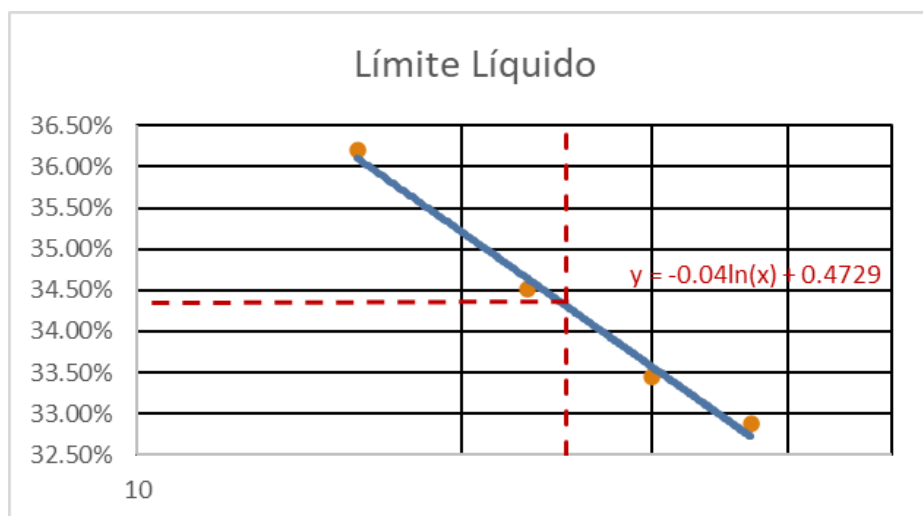


Tabla 36 Procesamiento de Datos – Determinación de limite liquido del suelo natural.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 				
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"				
ENSAYO:	Determinación del Limite Liquido de los Suelos (LL)			
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray			
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez			
MUESTRA:	Material Arcilloso			
FECHA:				
Límite Líquido MTC E 110 Basado en Norma ASTM D-4318				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	5.79	8.04	9.12	7.84
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	24.91	28.55	28.14	30.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	20.18	23.41	23.26	24.19
Peso de Agua (gr)	4.73	5.14	4.88	5.92
Peso de Muestra Seca (gr)	14.39	15.37	14.14	16.35
Contenido de Humedad	32.87%	33.44%	34.51%	36.21%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 39 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia

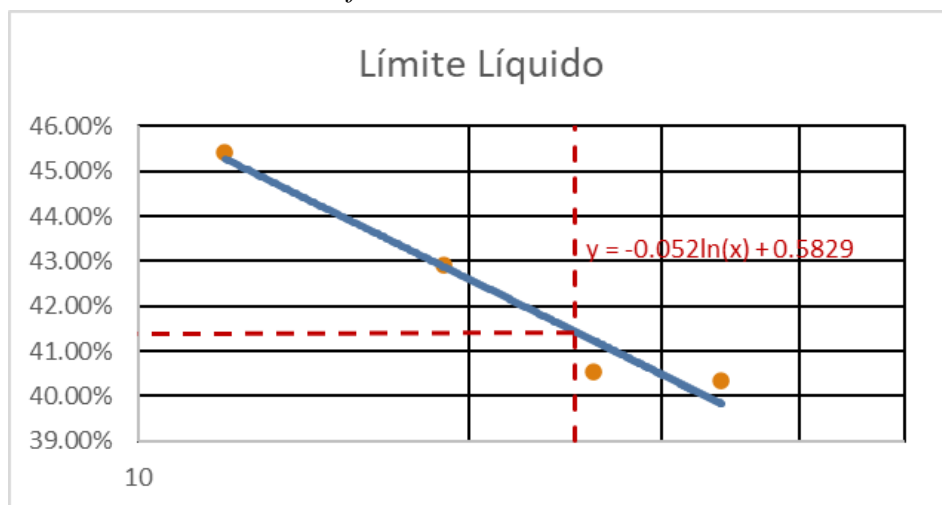


Tabla 37 Procesamiento de Datos – Determinación de límite líquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<p>TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"</p> <p>ENSAYO: Determinación del Limite Líquido de los Suelos (LL)</p> <p>UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray</p> <p>RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez</p> <p>MUESTRA: Material Arcilloso</p> <p>FECHA:</p>				
<p>Límite Líquido MTC E 110 Basado en Norma ASTM D-4318</p>				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	34	26	19	12
Peso de Capsula (gr)	8.36	6.47	9.53	9.39
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	27.15	31.12	31.14	32.5
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.75	24.01	24.65	25.28
Peso de Agua (gr)	5.4	7.11	6.49	7.22
Peso de Muestra Seca (gr)	13.39	17.54	15.12	15.89
Contenido de Humedad	40.33%	40.54%	42.92%	45.44%

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 40 Gráfica del ensayo de limite líquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

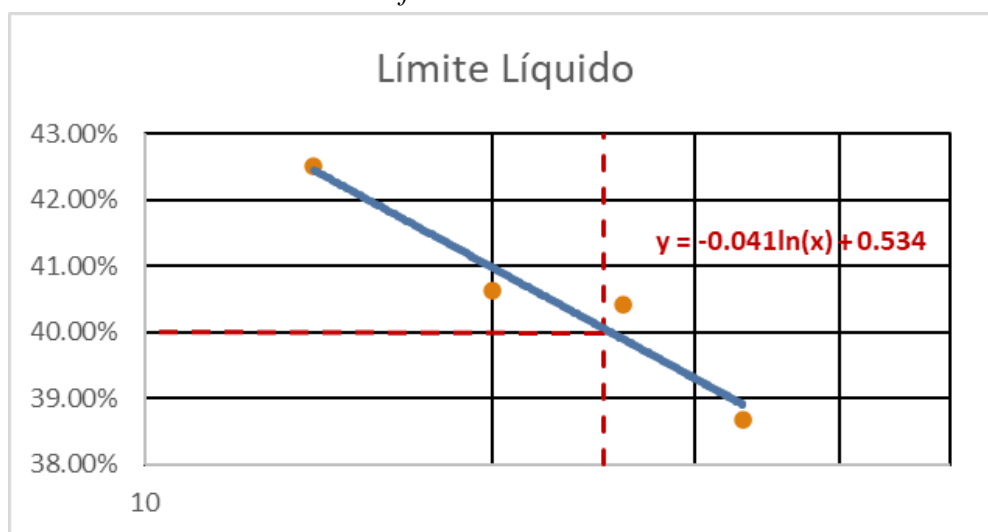


Tabla 38 Procesamiento de Datos – Determinación de límite líquido del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 				
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"				
ENSAYO:	Determinación del Límite Líquido de los Suelos (LL)			
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray			
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez			
MUESTRA:	Material Arcilloso			
FECHA:				
Límite Líquido MTC E 110 Basado en Norma ASTM D-4318				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Numero de golpes	33	26	20	14
Peso de Capsula (gr)	6.14	9.57	7.95	8.24
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	28.01	31.11	29.34	32.07
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.91	24.91	23.16	24.96
Peso de Agua (gr)	6.1	6.2	6.18	7.11
Peso de Muestra Seca (gr)	15.77	15.34	15.21	16.72
Contenido de Humedad	38.68%	40.42%	40.63%	42.52%

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 41 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

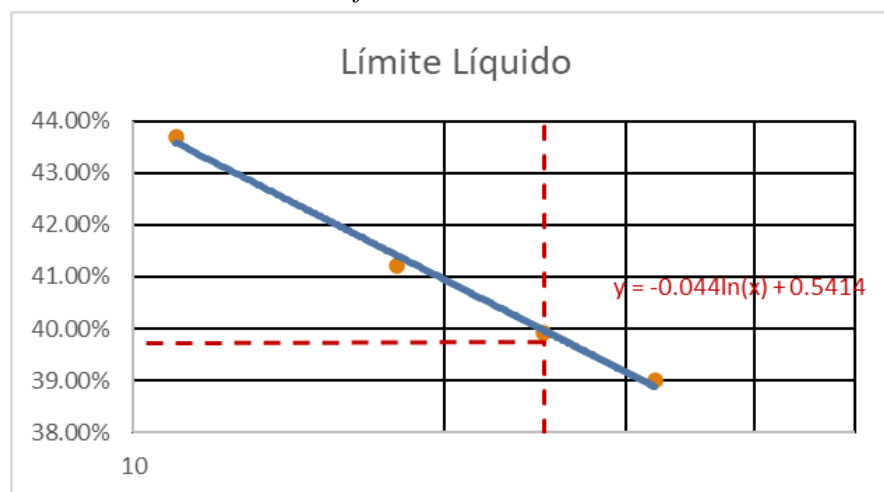


Tabla 39 Procesamiento de Datos – Determinación de límite líquido del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA			
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
					
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"					
ENSAYO: Determinación del Limite Líquido de los Suelos (LL)					
UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray					
RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez					
MUESTRA: Material Arcilloso - Ceniza al 20%					
FECHA:					
Límite Líquido					
MTC E 110 Basado en Norma ASTM D-4318					
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	
Numero de golpes	32	25	18	11	
Peso de Capsula (gr)	7.98	8.24	9.24	8.12	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	26.83	35.09	34.46	33.57	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.54	27.43	27.1	25.83	
Peso de Agua (gr)	5.29	7.66	7.36	7.74	
Peso de Muestra Seca (gr)	13.56	19.19	17.86	17.71	
Contenido de Humedad	39.01%	39.92%	41.21%	43.70%	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 42 Gráfica del ensayo de limite líquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

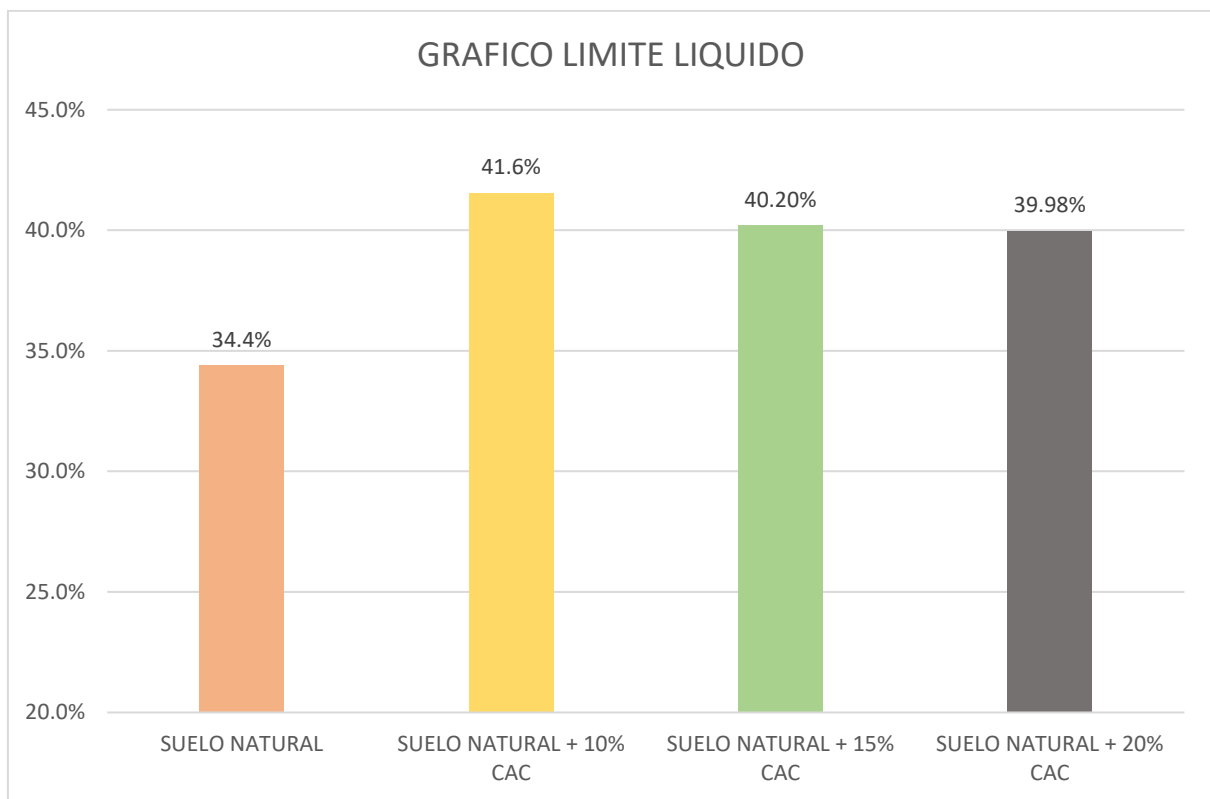


3.6.3.3 Análisis del Ensayo

Con el ensayo se pudo determinar que el límite líquido del suelo natural es de 34.40%, tal porcentaje se tuvo una significativa reducción al agregarle los aditivos estabilizadores en los porcentajes propuestos, de la siguiente manera:

- Límite Líquido del Suelo Natural: 34.4%
- Límite Líquido del Suelo Natural + 10% de CAC: 41.6%
- Límite Líquido del Suelo Natural + 15% de CAC: 40.2%
- Límite Líquido del Suelo Natural + 20% de CAC: 39.98%

Gráfico 43 Gráfica del ensayo de limite liquido del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

3.6.4 Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad

3.6.4.1 Procesamiento del ensayo

- Determinación del contenido de Humedad: al realizar el ensayo en la cuchara de Casagrande los datos se procesaron usando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} \times 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).



PMH = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).

PR = Peso de recipiente (gr).

- Índice de Plasticidad: El índice de plasticidad será la diferencia del Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP), tal resultado está sujeto a una aceptabilidad propuesta por la norma técnica peruana.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Contenido de Humedad (%).

LP = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

LL = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).

3.6.4.2 Diagramas de Ensayo

Tabla 40 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural

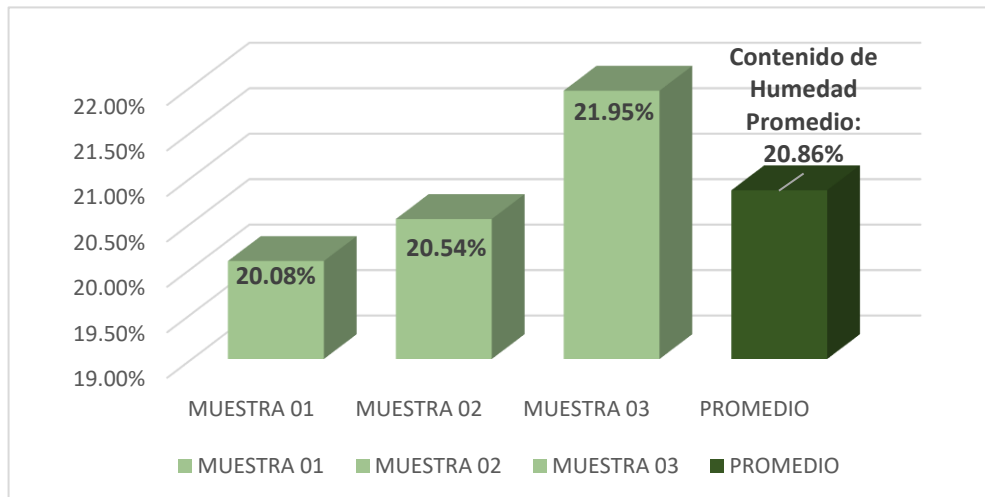
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"					
ENSAYO: Determinación del Limite Plastico de los Suelos (LP)					
UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray					
RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez					
MUESTRA: Material Arcilloso					
FECHA:					
<u>Límite Plastico</u>					
MTC E 111 Basado en Norma ASTM D-4318					
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO	
Peso de Capsula (gr)	7.82	5.8	8.03		
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	17.09	13.84	17.03		
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.54	12.47	15.41		
Peso de Agua (gr)	1.55	1.37	1.62		
Peso de Muestra Seca (gr)	7.72	6.67	7.38		
Contenido de Humedad	20.08%	20.54%	21.95%	20.86%	

Límite Liquido	34.41%
Limite Plástico	20.86%
Indice de Plasticidad	13.56%

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 44 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia

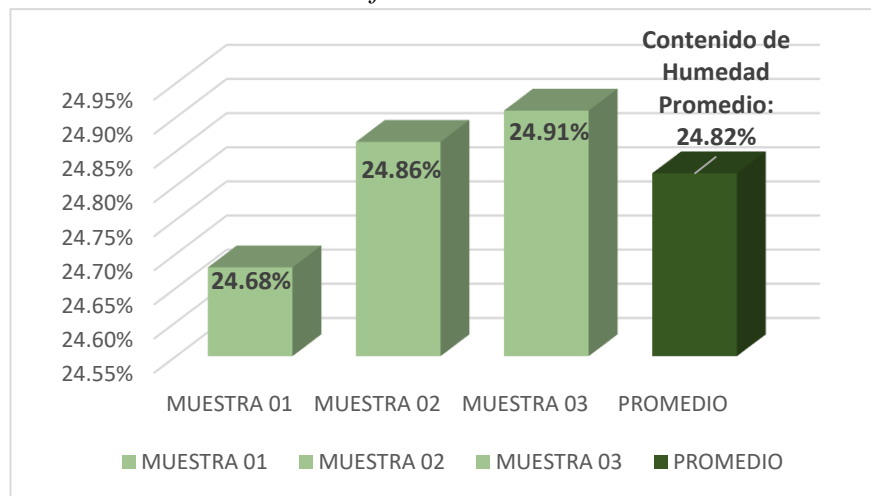
Tabla 41 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"			
ENSAYO:	Determinación del Limite Plastico de los Suelos (LP)			
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray			
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez			
MUESTRA:	Material Arcilloso			
FECHA:				
Límite Plástico				
MTC E 111 Basado en Norma ASTM D-4318				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
Peso de Capsula (gr)	9.48	8.14	8.03	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	16.3	15.02	14.95	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.95	13.65	13.57	
Peso de Agua (gr)	1.35	1.37	1.38	
Peso de Muestra Seca (gr)	5.47	5.51	5.54	
Contenido de Humedad	24.68%	24.86%	24.91%	24.82%

Límite Liquido	41.55%
Limite Plástico	24.82%
Indice de Plasticidad	16.73%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 45 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

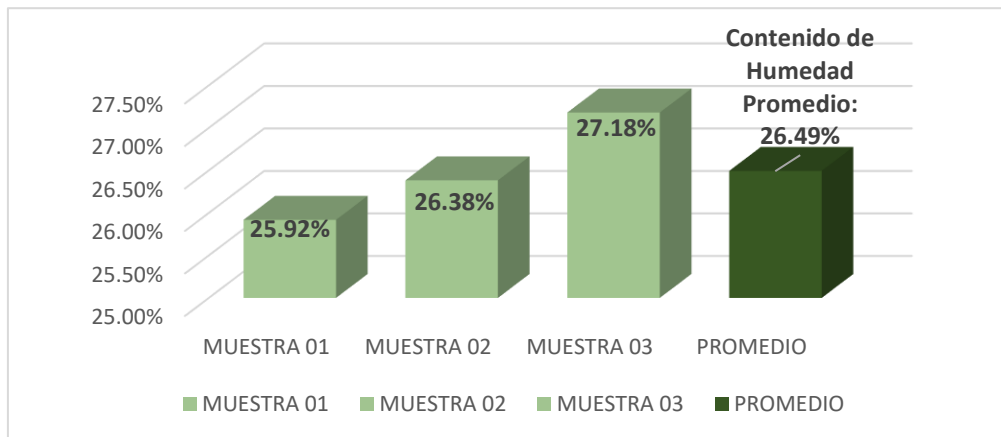
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"			
ENSAYO:	Determinación del Limite Plastico de los Suelos (LP)			
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray			
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez			
MUESTRA:	Material Arcilloso			
FECHA:				
<u>Límite Plástico</u>				
MTC E 111 Basado en Norma ASTM D-4318				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
Peso de Capsula (gr)	9.28	8.03	11.61	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	15.11	13.97	17.88	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	13.91	12.73	16.54	
Peso de Agua (gr)	1.2	1.24	1.34	
Peso de Muestra Seca (gr)	4.63	4.7	4.93	
Contenido de Humedad	25.92%	26.38%	27.18%	26.49%

Límite Liquido	40.20%
Limite Plástico	26.49%
Indice de Plasticidad	13.71%

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 46 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43 Procesamiento de Datos – Determinación de límite Plástico del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

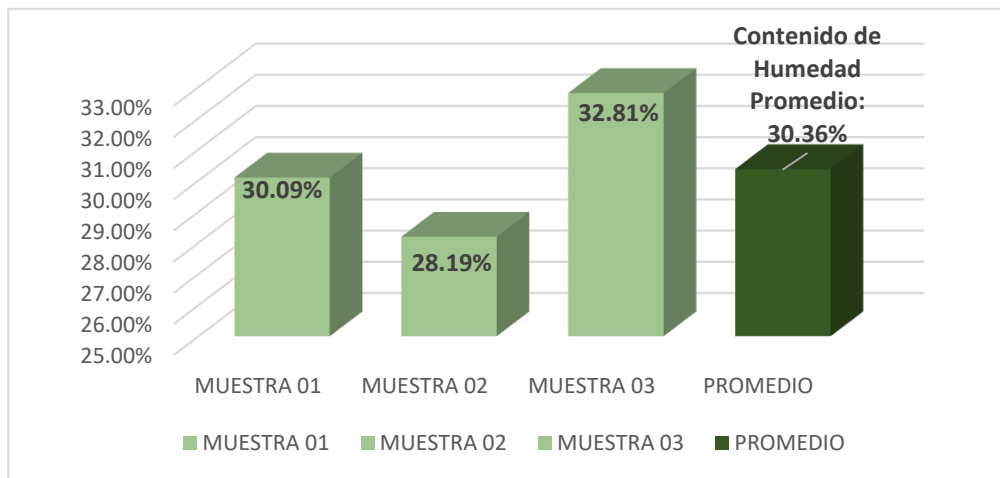
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"			
ENSAYO:	Determinación del Limite Plastico de los Suelos (LP)			
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray			
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez			
MUESTRA:	Material Arcilloso			
FECHA:				
Límite Plástico				
MTC E 111 Basado en Norma ASTM D-4318				
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
Peso de Capsula (gr)	8.02	9.02	6.35	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	13.64	14.34	13.07	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.34	13.17	11.41	
Peso de Agua (gr)	1.3	1.17	1.66	
Peso de Muestra Seca (gr)	4.32	4.15	5.06	
Contenido de Humedad	30.09%	28.19%	32.81%	30.36%

Límite Líquido	39.98%
Limite Plástico	30.36%
Índice de Plasticidad	9.61%

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 47 Gráfica del ensayo de limite Plástico del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

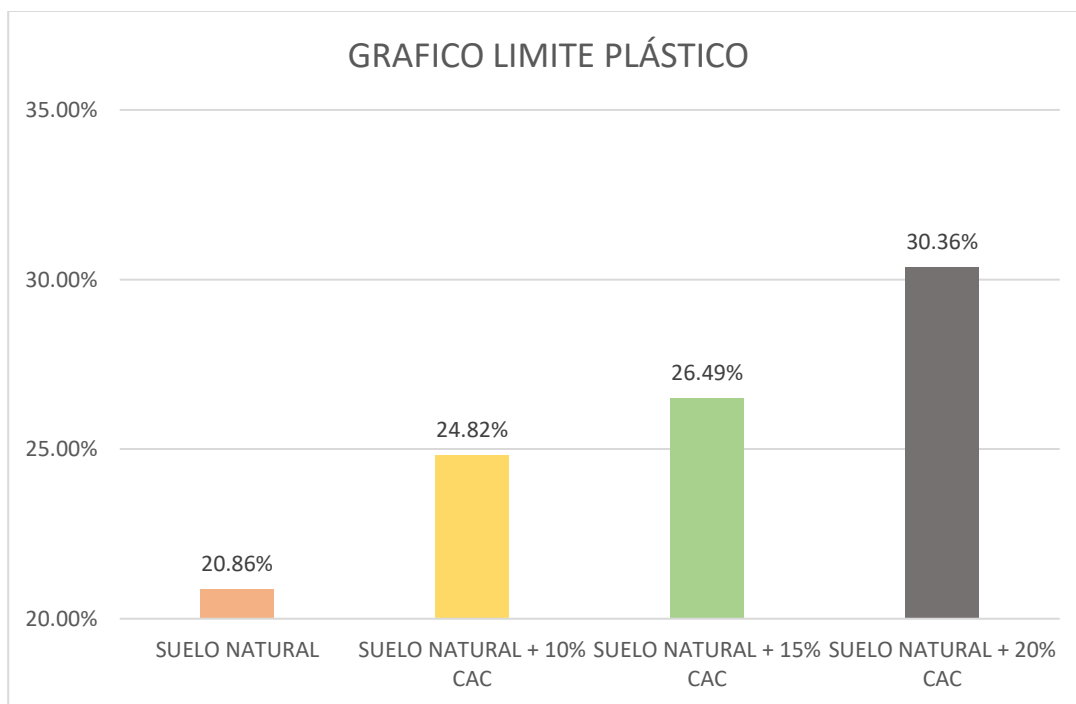


Fuente: Elaboración Propia

3.6.4.3 Análisis del Ensayo

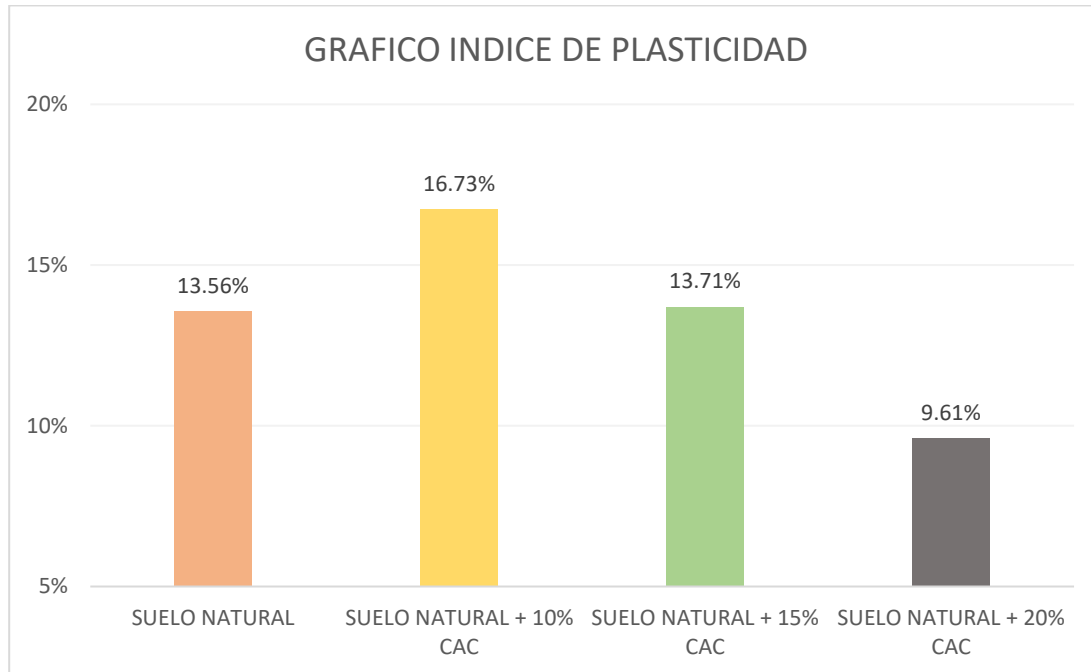
Se puede observar según los resultados de los ensayos, que, la ceniza de afrecho de cebada incrementa la plasticidad del suelo natural, lo cual podemos traducir como una mejora a la comprensibilidad del suelo, además el límite plástico influye de manera directa con el índice de plasticidad, por lo que se notó la mejora en la dosificación de suelo natural + 10% de Ceniza de afrecho de cebada donde, su índice plástico es bajo:

Gráfico 48 Gráfica de resultados de Ensayos de Limite Plástico - Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 49 Gráfica de resultados de Índice de Plasticidad - Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

3.6.5 Determinación de Clasificación de los Suelos

3.6.5.1 Procesamiento del ensayo

- Para determinar el tipo de suelo que se encontró en las calicatas que se realizó, se utilizó dos metodologías que son: AASTHO y SUCS; para ambos casos se necesita del ensayo de granulometría, límites líquido, límite plástico e índice de plasticidad, pero para en el caso de la metodología AASTHO se recomienda que se especifique el índice de grupo (IG), esto en caso el ensayo sea para subrasante. El índice de grupo se calcula de la siguiente forma:

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

Donde:

F = Porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad.

-

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Contenido de Humedad (%).

LP = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

LL = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).



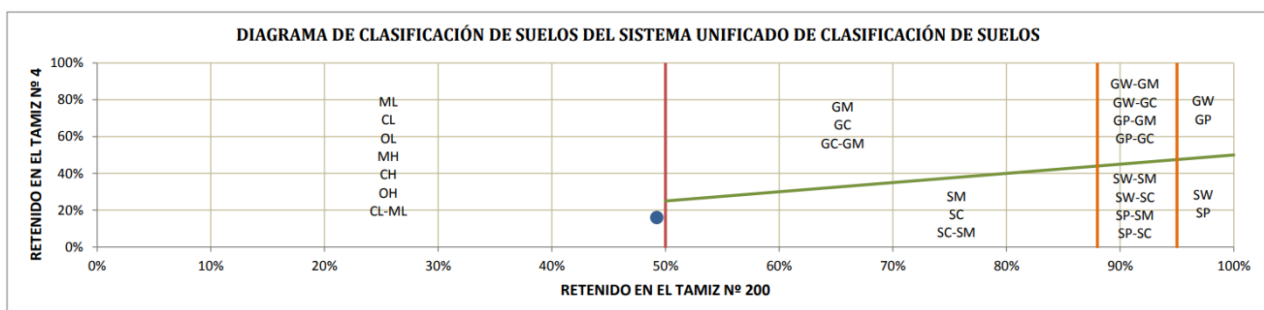
3.6.5.2 Diagramas de Ensayo

Tabla 44 Procesamiento de Datos para clasificación por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos	49.24%
% de Finos	50.76%
Total	100.00%
% de Grava	15.99%
% de Arena	33.25%
Total	49.24%
Fracción Gruesa	
% de Grava	32.48%
% de Arena	67.52%
Total	100.00%
Coefficientes	
Cu	-
Cc	-
De límites de Consistencia	
LL	34.30%
LP	20.86%
IP	13.44%
Otros Datos	
Tipo	Inorgánico

Fuente: Elaboración Propia

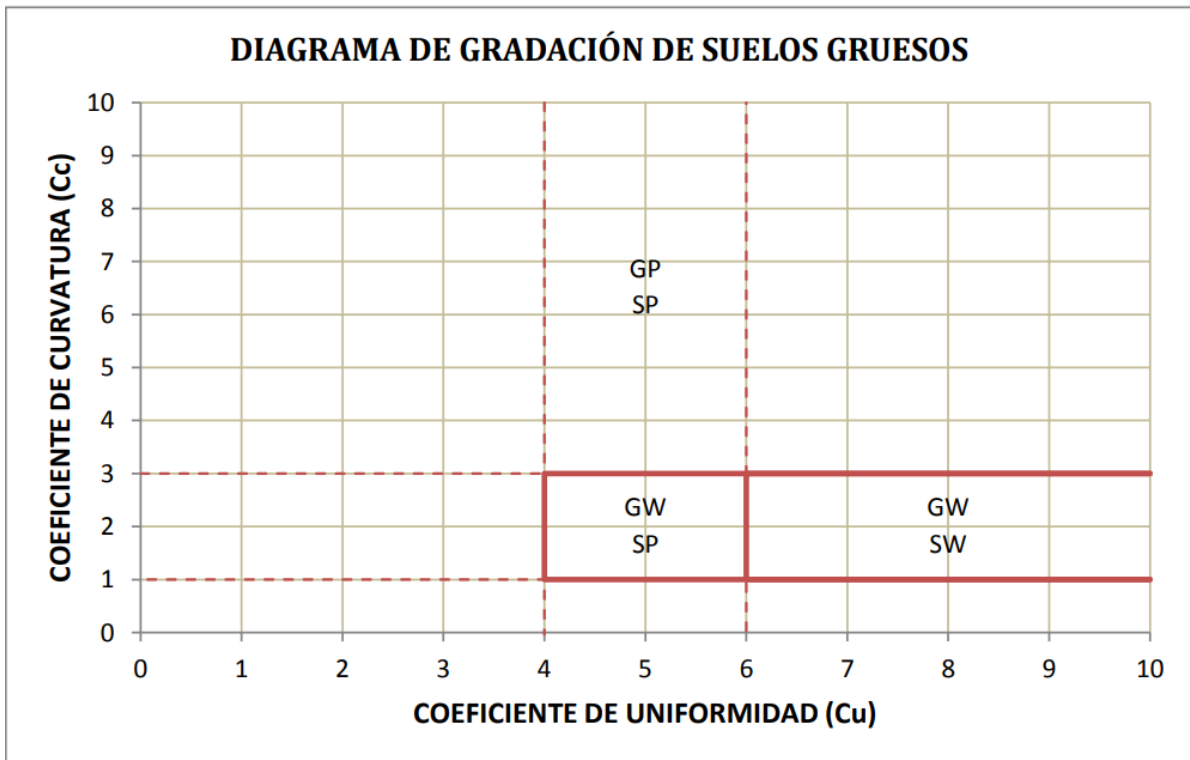
Gráfico 50 Gráfica de Diagrama de clasificación por SUCS retención por tamiz N° 200 y N° 4



Fuente: Elaboración Propia

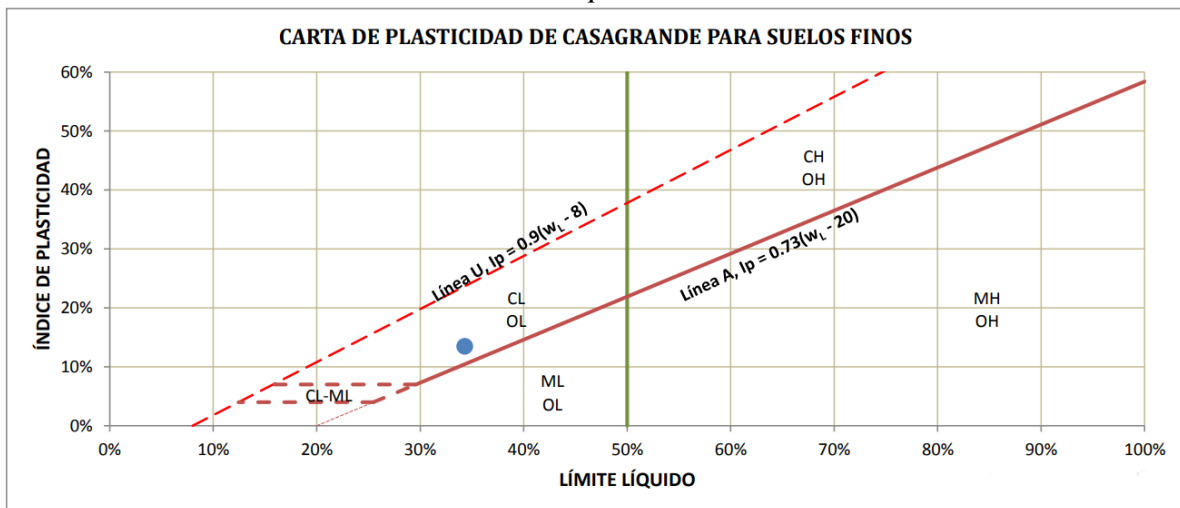


Gráfico 51 Gráfica de Gradación de suelos gruesos en SUCS



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 52 Gráfica de Carta de plasticidad de Casagrande para suelos finos y Clasificación del suelo por SUCS



CL= Arcilla ligera de baja plasticidad arenosa con grava



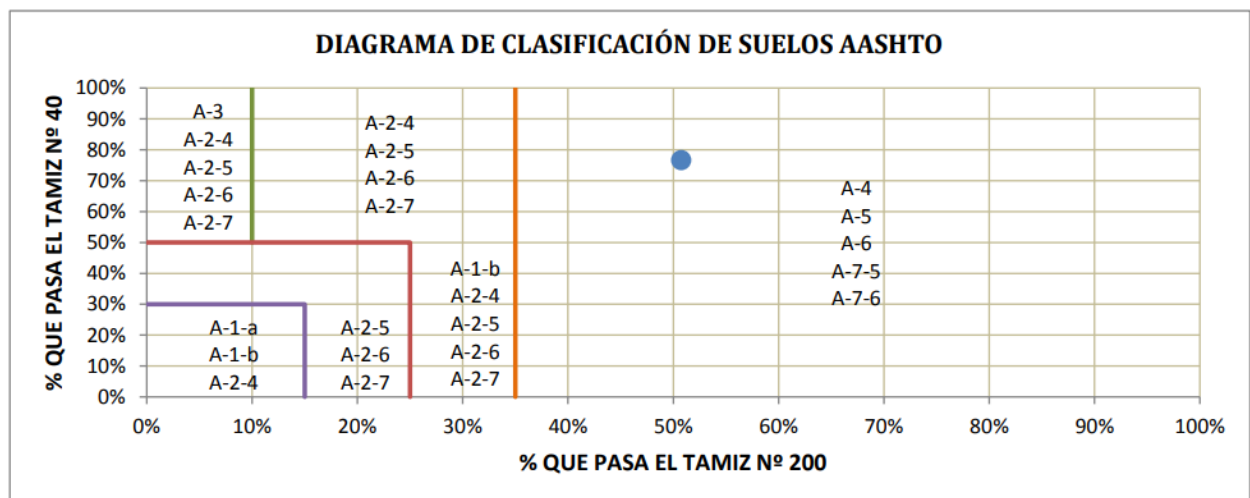
Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 45 Procesamiento de Datos para Clasificación de suelos por AASHTO

DATOS PARA CLASIFICACION					
DE GRANULOMETRIA		DE LIMITES DE CONSISTENCIA		OTROS DATOS	
% que pasa el tamiz N°10	80.90%	LL	34.30%	TIPO	INORGNICO
% que pasa el tamiz N°40	76.57%	LP	20.86%		
% que pasa el tamiz N°200	50.76%	IP	13.45%		

Fuente: *Elaboración Propia*

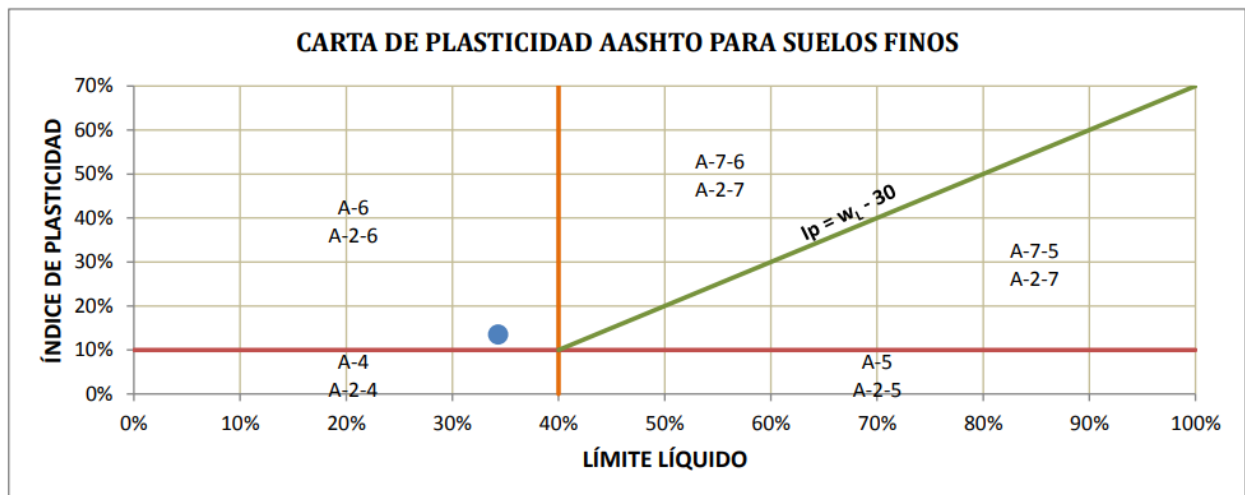
Gráfico 53 Gráfica de Diagrama de clasificación por AASHTO porcentaje que pasa por tamiz N° 200 y N° 40



Fuente: *Elaboración Propia*



Gráfico 54 Gráfica de Carta de plasticidad de Casagrande para suelos finos Fuente:



Elaboración Propia

Tabla 46 Procesamiento de Cálculo del índice de grupo y Clasificación del suelo por AASHTO

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO	
F = 50.76	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N.º 200
WL = 34.30	WL = Límite líquido
Ip = 13.45	Ip = Índice de plasticidad

$a = F - 35$	$a = 15.76$	$a = 15.76$
$b = F - 15$	$b = 35.76$	$b = 35.76$
$c = wL - 40$	$c = -5.70$	$c = 0.00$
$d = Ip - 10$	$d = 3.45$	$d = 3.45$

$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$
$IG = 4$

A-6 (4) = Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo

Fuente: Elaboración Propia



3.6.6 Compactación de suelos usando Energía Modificada

3.6.6.1 Procesamiento del ensayo

- Determinación del contenido de Humedad: al realizar el ensayo en la cuchara de Casagrande los datos se procesaron usando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} \times 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).

PR = Peso de recipiente (Gr).

- Densidad Húmeda: servirá para determinar la densidad de los especímenes antes de ser secados, en estado húmedo, usando la siguiente fórmula:

$$\rho_m = \frac{1}{VM} \times PMH$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

VM = Volumen de Molde (cm³).

PMH = Peso de Muestra Húmeda (gr).

- Densidad Seca:

$$\rho_d = \frac{(100 \times \rho_m)}{(100 + W)}$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

ρ_d = Densidad Seca (gr/cm³).



W = Contenido de Humedad (%).

- Las densidades secas serán graficadas como ordenadas y el contenido de humedad de cada una, como abscisas, para permitirnos tener una curva de tendencia polinómica de grado 6, con la cual podremos determinar la densidad máxima seca y el contenido de humedad óptimo. Los ensayos fueron realizados en base al “Manual de Ensayos de Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016

3.6.6.2 Diagramas de Ensayo



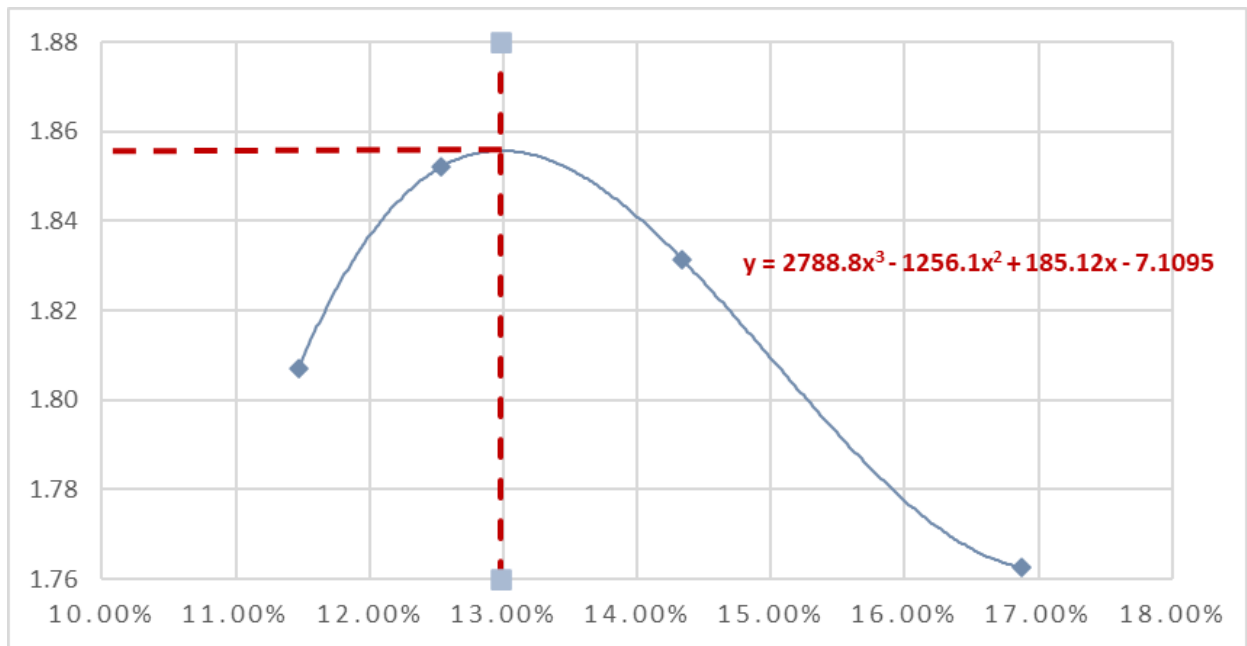
Tabla 47 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"						
ENSAYO: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado						
UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray						
RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez						
MUESTRA: Material Arcilloso						
FECHA:						
<u>Compactacion de suelos en laboratorio, utilizando energía modificada</u>						
MTC E 115, Basado en Norma ASTM D-1557						
DATOS PRELIMINARES						
		Metodo: A				
		Numero de capas: 5				
		Numero de golpes por capa: 25				
		Masa de pisón: 4.54 kg				
		Altura de caída del pisón: 45.72 cm				
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04		
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	P-6	
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69	943.69	
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00	
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5469.00	5535.00	5544.00	5512.00	5512.00	
Peso de la muestra húmeda (gr)	1901.00	1967.00	1976.00	1944.00	1944.00	
Peso de la muestra seca (gr)	1705.41	1747.84	1728.17	1663.38	1663.38	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.81	1.85	1.83	1.76	1.76	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio		
Peso de Capsula (gr)	16.51	10.47	11.85	19.27	19.27	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	81.92	71.59	74.12	82.31	82.31	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	75.19	64.78	66.31	73.21	73.21	
Peso de Agua (gr)	6.73	6.81	7.81	9.1	9.1	
Peso de Muestra Seca (gr)	58.68	54.31	54.46	53.94	53.94	
Contenido de Humedad	11.47%	12.54%	14.34%	16.87%	16.87%	

Fuente: Elaboración Propia





Gráfico 55 Gráfica del ensayo Proctor Modificado del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia



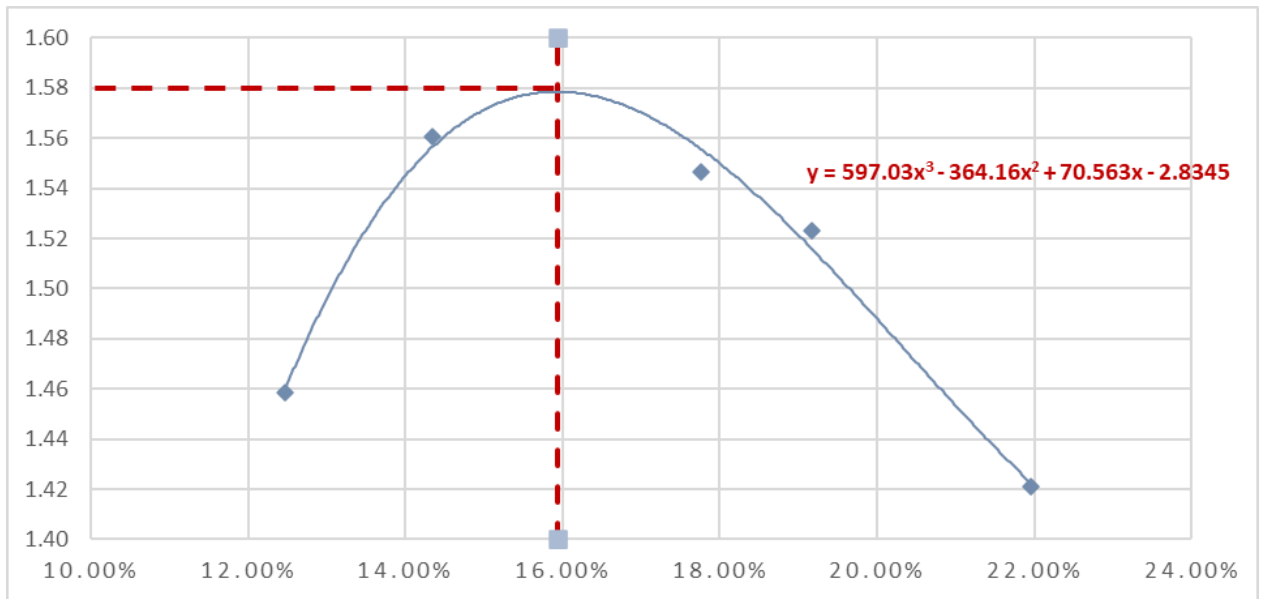
Tabla 48 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS:						
"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"						
ENSAYO: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado						
UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray						
RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez						
MUESTRA: Material Arcilloso						
FECHA:						
Compactacion de suelos en laboratorio, utilizando energía modificada						
MTC E 115, Basado en Norma ASTM D-1557						
DATOS PRELIMINARES						
Metodo: A						
Numero de capas: 5						
Numero de golpes por capa: 25						
Masa de pisón: 4.54 kg						
Altura de caída del pisón: 45.72 cm						
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	P-6	
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69	943.69	
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00	
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5116.00	5252.00	5287.00	5281.00	5203.00	
Peso de la muestra húmeda (gr)	1548.00	1684.00	1719.00	1713.00	1635.00	
Peso de la muestra seca (gr)	1376.33	1472.6	1459.67	1437.45	1341.14	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.46	1.56	1.55	1.52	1.42	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	
Peso de Capsula (gr)	15.72	19.02	16.45	15.77	19.33	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	68.56	94.18	72.13	63.39	72.42	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	62.7	84.75	63.73	55.73	62.86	
Peso de Agua (gr)	5.86	9.43	8.4	7.66	9.56	
Peso de Muestra Seca (gr)	46.98	65.73	47.28	39.96	43.53	
Contenido de Humedad	12.47%	14.35%	17.77%	19.17%	21.96%	

Fuente: Elaboración Propia



*Gráfico 56 Gráfica del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural + 10% de
Ceniza de Afrecho de Cebada*



Fuente: Elaboración Propia

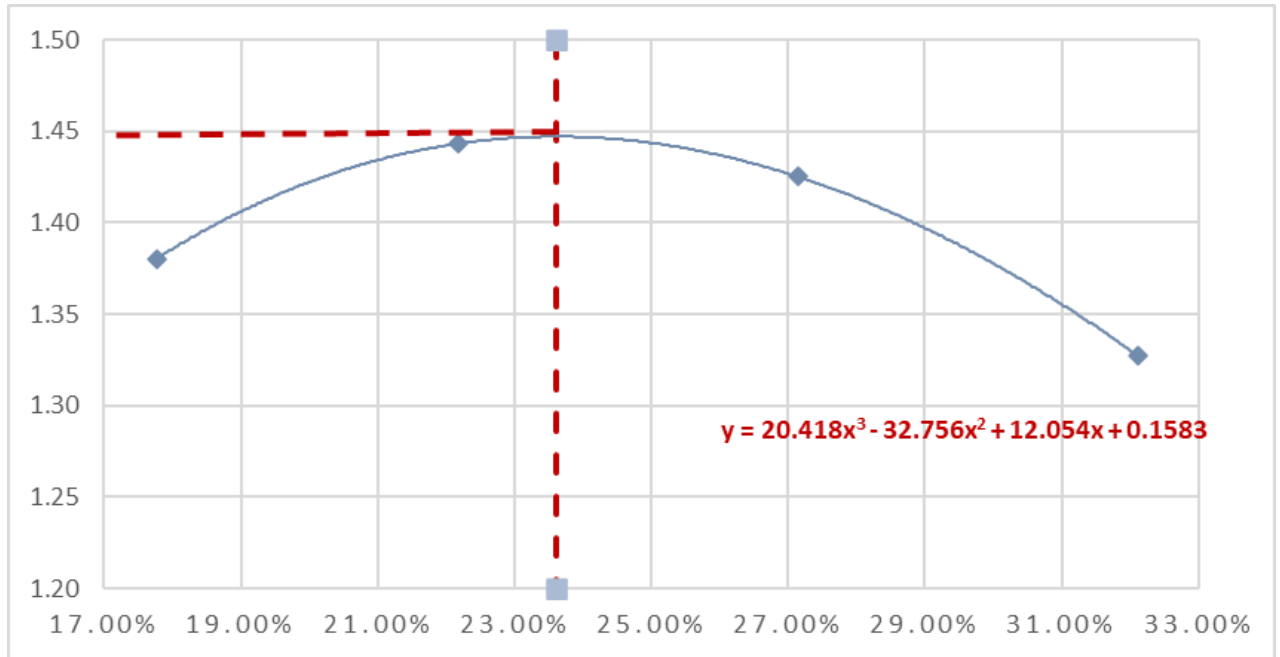
Tabla 49 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"						
ENSAYO: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado						
UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray						
RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez						
MUESTRA: Material Arcilloso						
FECHA:						
<u>Compactacion de suelos en laboratorio, utilizando energía modificada</u> MTC E 115, Basado en Norma ASTM D-1557						
DATOS PRELIMINARES						
		Metodo: A				
		Numero de capas: 5				
		Numero de golpes por capa: 25				
		Masa de pisón: 4.54 kg				
		Altura de caída del pisón: 45.72 cm				
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04		
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6		
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16		
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64		
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69		
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00		
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5102.00	5232.00	5278.00	5223.00		
Peso de la muestra húmeda (gr)	1534.00	1664.00	1710.00	1655.00		
Peso de la muestra seca (gr)	1302.62	1361.94	1344.8	1252.76		
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.38	1.44	1.43	1.33		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio		
Peso de Capsula (gr)	15.34	10.49	18.88	15.58		
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	75.87	72.85	88.1	70.92		
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	66.74	61.53	73.32	57.47		
Peso de Agua (gr)	9.13	11.32	14.78	13.45		
Peso de Muestra Seca (gr)	51.4	51.04	54.44	41.89		
Contenido de Humedad	17.76%	22.18%	27.15%	32.11%		

Fuente: Elaboración Propia



*Gráfico 57 Gráfica del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural + 15% de
Ceniza de Afrecho de Cebada*



Fuente: Elaboración Propia



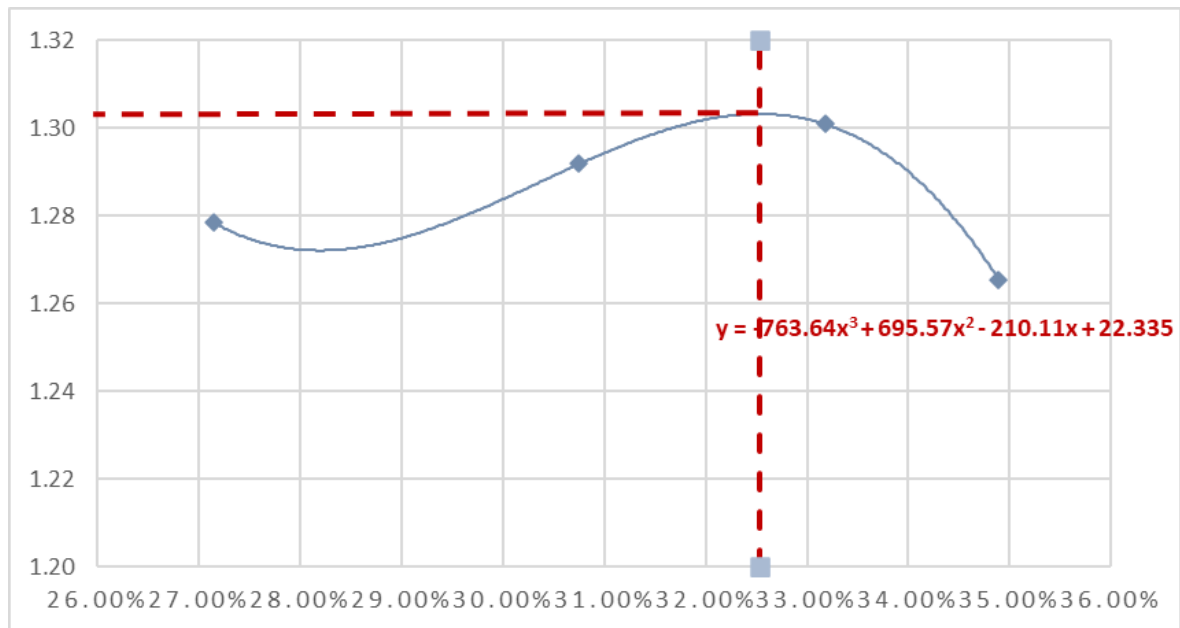
Tabla 50 Procesamiento de Datos – Determinación de Proctor Modificado del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<p>TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"</p> <p>ENSAYO: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado</p> <p>UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray</p> <p>RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez</p> <p>MUESTRA: Material Arcilloso</p> <p>FECHA:</p>					
<p>Compactación de suelos en laboratorio, utilizando energía modificada MTC E 115, Basado en Norma ASTM D-1557</p>					
DATOS PRELIMINARES					
Metodo: A					
Numero de capas: 5					
Numero de golpes por capa: 25					
Masa de pisón: 4.54 kg					
Altura de caída del pisón: 45.72 cm					
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	
Numero de proctor utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	
Volumen del molde (cm ³)	943.69	943.69	943.69	943.69	
Peso del Molde (gr)	3568.00	3568.00	3568.00	3568.00	
Peso del Molde + muestra húmeda (gr)	5102.00	5162.00	5203.00	5179.00	
Peso de la muestra húmeda (gr)	1534.00	1594.00	1635.00	1611.00	
Peso de la muestra seca (gr)	1206.48	1219.1	1227.71	1194.32	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.28	1.29	1.30	1.27	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio	
Peso de Capsula (gr)	19.08	16.54	16.89	20.05	
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	70.6	69.39	73.01	78.16	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	59.6	56.96	59.03	63.13	
Peso de Agua (gr)	11	12.43	13.98	15.03	
Peso de Muestra Seca (gr)	40.52	40.42	42.14	43.08	
Contenido de Humedad	27.15%	30.75%	33.18%	34.89%	

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 58 Gráfica del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

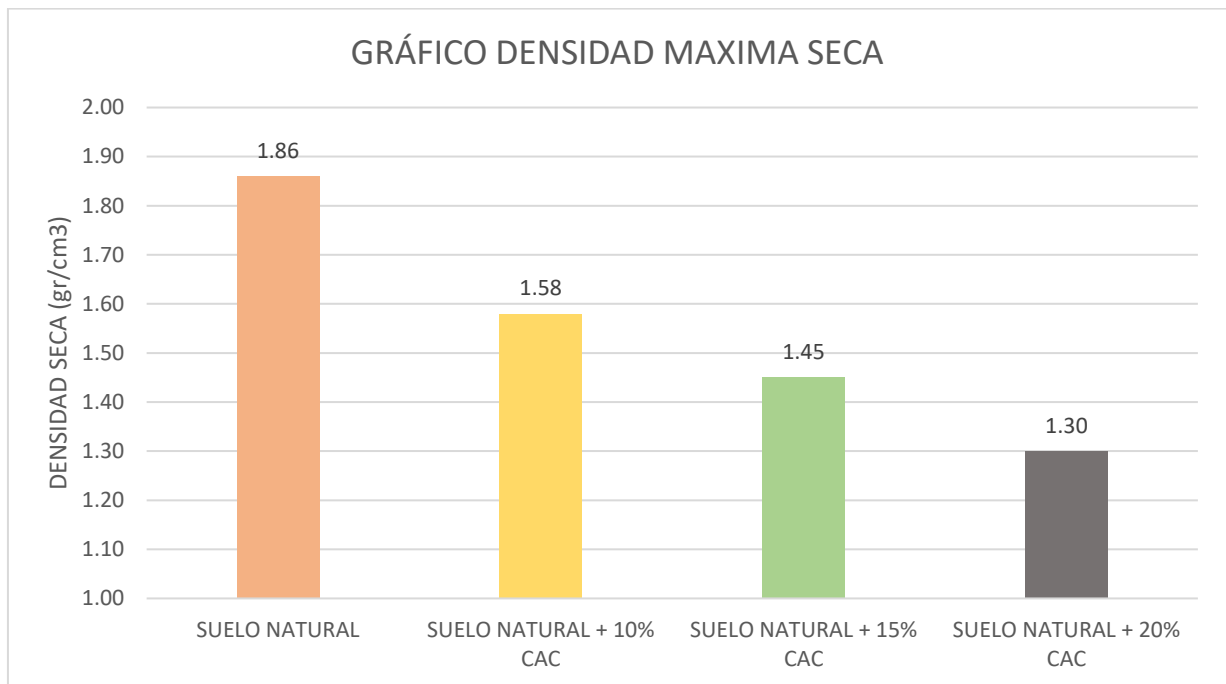
3.6.6.3 Análisis de Ensayo

Se hizo el método A del Proctor Modificado, ya que, al ser un material tan fino, menos del 20% del peso del material fue retenido en la malla N° 4, con las características del Método C (5 capas, 56 golpes, 6 pulgadas de diámetro), dado que, según el MTC Manual de Ensayos: “Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C” (2016, pág. 105).

El suelo Natural tiene una densidad seca máxima de 1.86 gr/cm³ y con un contenido de humedad óptimo de 12.98%.

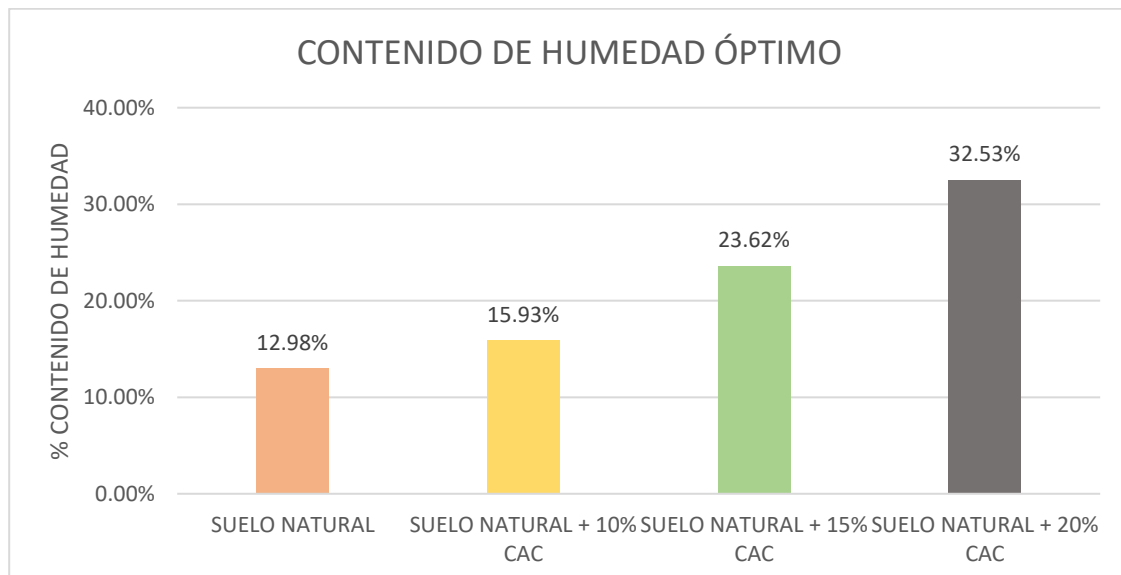
Al agregar Ceniza de Afrecho de Cebada en porcentajes de 10%, 15% y 20% la máxima densidad seca disminuyó progresivamente, alcanzando valores de 1.58 gr/cm³, 1.45 gr/cm³ y 1.30 gr/cm³ respectivamente. Además, se observa que el contenido de humedad óptimo incrementó progresivamente con valores de 15.93%, 23.62% y 32.53% respectivamente.

Gráfico 59 Gráfica de Densidad Máxima Seca (Proctor Modificado)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 60 Gráfica de Contenido de Humedad Optimo (Proctor Modificado)



Fuente: Elaboración Propia

3.6.7 Determinación de capacidad de soporte CBR

3.6.7.1 Procesamiento del ensayo



- Determinación del contenido de Humedad: al realizar el ensayo se procesaron usando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} \times 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).

PR = Peso de recipiente (Gr).

- Densidad Húmeda: servirá para determinar la densidad de los especímenes antes de ser secados, en estado húmedo, usando la siguiente fórmula:

$$\rho_m = \frac{1}{VM} \times PMH$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

VM = Volumen de Molde (cm³).

PMH = Peso de Muestra Húmeda (gr).

- Densidad Seca:

$$\rho_d = \frac{(100 \times \rho_m)}{(100 + W)}$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

ρ_d = Densidad Seca (gr/cm³).

W = Contenido de Humedad (%).

- Valor de la Relación de Soporte: indicador de CBR en porcentaje:

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria del Patrón}} \times 100$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

ρ_d = Densidad Seca (gr/cm³).

W = Contenido de Humedad (%).

- Ecuación de Ensayo de Penetración: la ecuación utilizada, propuesta por el proveedor del equipo de Penetración, para determinar la carga (kgf) con las lecturas del dial, es la siguiente

$$F = (A_0 + (A_1 \times X) + (A_2 \times X^2) + (A_3 \times X^3)) \times 101.97$$

Donde:

F = Carga de penetración (kgf).

X = Lectura del Dial.

A₀ = -0.32433



$$A1 = 0.05875$$

$$A2 = -5.69324 \times E-06$$

$$A3 = 2.26861 \times E-09$$

* las cargas resultantes negativas serán reemplazadas por 0 kgf.

- El esfuerzo, va de la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo (kg/cm²).

F = Carga de Penetración (kgf)

A = Área de Pisón (cm)

- Porcentaje de Expansión: la expansión del suelo se determina usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Exp} = \frac{L2 - L1}{\text{Altura de Molde} - \text{Altura de Disco Espaciador}} \times 100$$

Donde:

$\% \text{ Exp}$ = Porcentaje de Expansión (%).

$L1$ = Lectura Inicial (mm)

$L2$ = Lectura Final (mm)

3.6.7.2 Diagramas de Ensayo



Tabla 51 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TEMA DE TESIS: ENSAYO: UBICACIÓN: RESPONSABLES: MUESTRA: FECHA:	<p>"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"</p> <p>Determinación del Ensayo de Proctor Modificado Carretera Yaurisque - San Juan de Taray Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez Material Arcilloso</p>	
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193		
DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION	DATOS DEL MOLDE
Densidad seca Maxima = 1.86 cm3 Contenido de Humedad Optimo = 12.98% Contenido de Humedad Natural = 4.57%	Peso del martillo = 4.54 kg Altura de caída del martillo = 45.72 cm Numero de Capas = 5	Diametro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la muestra = 11.64 cm Area = 182.41 cm Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = $-3.05E+00 + 3.3E+00 * X - 9.00E-05 * X^2 + 0.0E+00 * X^3$ (KN) Área del Pistón = 19.35 cm2		

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	14.96	16.13	19.25	11.65	18.67	15.93
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	67.8	80.36	80.98	75.11	69.52	82.72
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	61.74	70.04	73.81	64.36	63.7	70.52
Peso de Agua (gr)	6.06	10.32	7.17	10.75	5.82	12.2
Peso de la muestra seca (gr)	46.78	53.91	54.56	52.71	45.03	54.59
Contenido de Humedad	12.95%	19.14%	13.14%	20.39%	12.92%	22.35%
Prcentage de Absorción		6.19%		7.25%		9.42%
Peso del Molde (gr)	7033		7284		7685	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11453	11640	11504	11777	11669	12023
Peso de la muestra humeda (gr)	4420	4607	4220	4493	3984	4338
Peso de la muestra seca (gr)	3913.09		3729.84		3528.01	
Peso del agua absorbida (gr)		187		273		354
Porcentaje de absorcion		4.78%		7.32%		10.03%
Densidad humeda (gr/cm3)	2.08	2.17	1.99	2.12	1.88	2.04
Densidad Seca (gr/cm3)	1.84		1.76		1.66	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52 Procesamiento de Datos – Expansión de CBR del suelo natural

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	1	0.001	0.025	0.02%	8	0.008	0.203	0.17%	1	0.001	0.025	0.02%
0.125	3 hor 00 min	9	0.009	0.229	0.20%	17	0.017	0.432	0.37%	4	0.004	0.102	0.09%
0.25	6 hor 00 min	15	0.015	0.381	0.33%	21	0.021	0.533	0.46%	6	0.006	0.152	0.13%
0.5	12 hor 00 min	24	0.024	0.610	0.52%	29	0.029	0.737	0.63%	16	0.016	0.406	0.35%
1	24 hor 00 min	37	0.037	0.940	0.81%	31	0.031	0.787	0.68%	36	0.036	0.914	0.79%
2	48 hor 00 min	40	0.04	1.016	0.87%	42	0.042	1.067	0.92%	38	0.038	0.965	0.83%
4	96 hor 00 min	45	0.045	1.143	0.98%	48	0.048	1.219	1.05%	45	0.045	1.143	0.98%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural

ENSAYO DE PETRACION															
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	
0	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		
25	0.635		4	10.22	0.53		6	16.85	0.87		3	6.90	0.36		
50	1.270		15	46.68	2.41		13	40.05	2.07		6	16.85	0.87		
75	1.905		25	79.82	4.12		20	63.25	3.27		9	26.79	1.38		
70.31	100	2.540	34	109.62	5.66	8.06%	27	86.44	4.47	8.06%	12	36.74	1.90	8.06%	
125	3.175		45	146.03	7.54		34	109.62	5.66		14	43.37	2.24		
150	3.810		52	169.19	8.74		38	122.87	6.35		16	50.00	2.58		
105.46	200	5.080	64	208.87	10.79	10.23%	46	149.34	7.72	10.23%	20	63.25	3.27	10.23%	
300	7.620		82	268.34	13.86		57	185.73	9.60		26	83.13	4.30		
400	10.160		93	304.65	15.74		67	218.78	11.30		32	103.00	5.32		
500	12.700		104	340.94	17.62		76	248.52	12.84		36	116.24	6.01		

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.915	6.78	9.64	2.714	4.79	6.82	2.540	1.90	2.70
105.46	5.455	11.25	10.66	5.254	7.84	7.44	5.080	3.27	3.10

NUMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	9.64%	10.66%	1.84
26	6.82%	7.44%	1.76
12	2.70%	3.10%	1.66

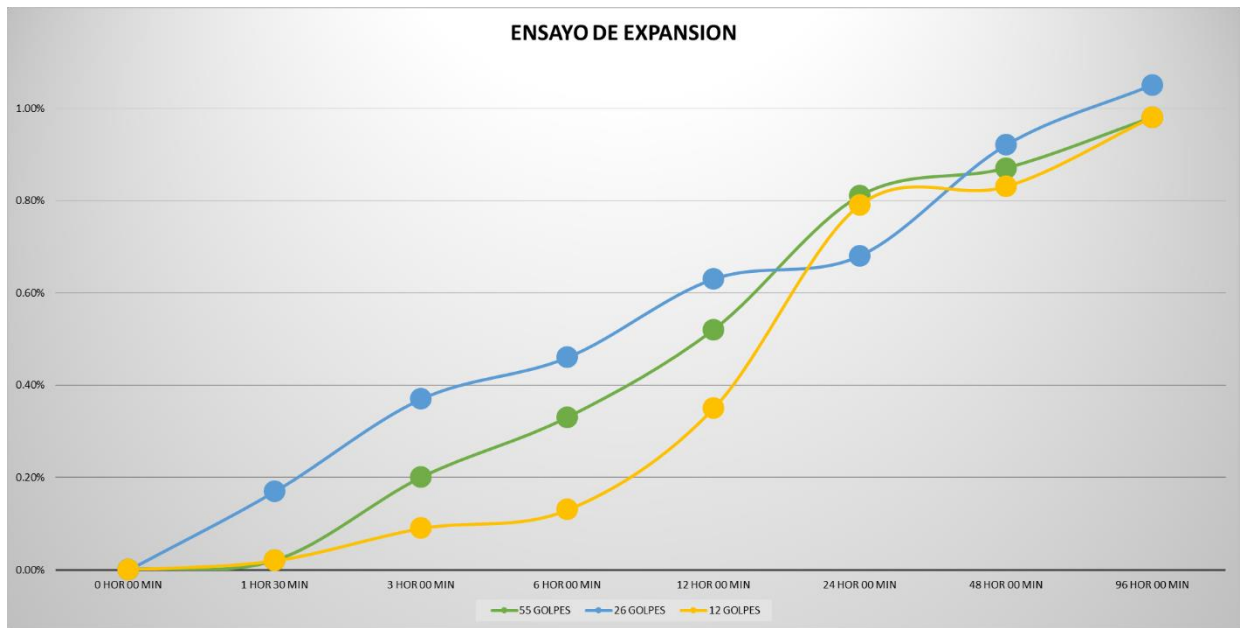
	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA DMS	10.01%	11.10%
CBR AL 95% DE LA DMS	7.04%	7.69%

Densidad Seca Maxima (gr/cm3)	1.86
95% de la DSM (gr/cm3)	1.76

Fuente: Elaboración Propia

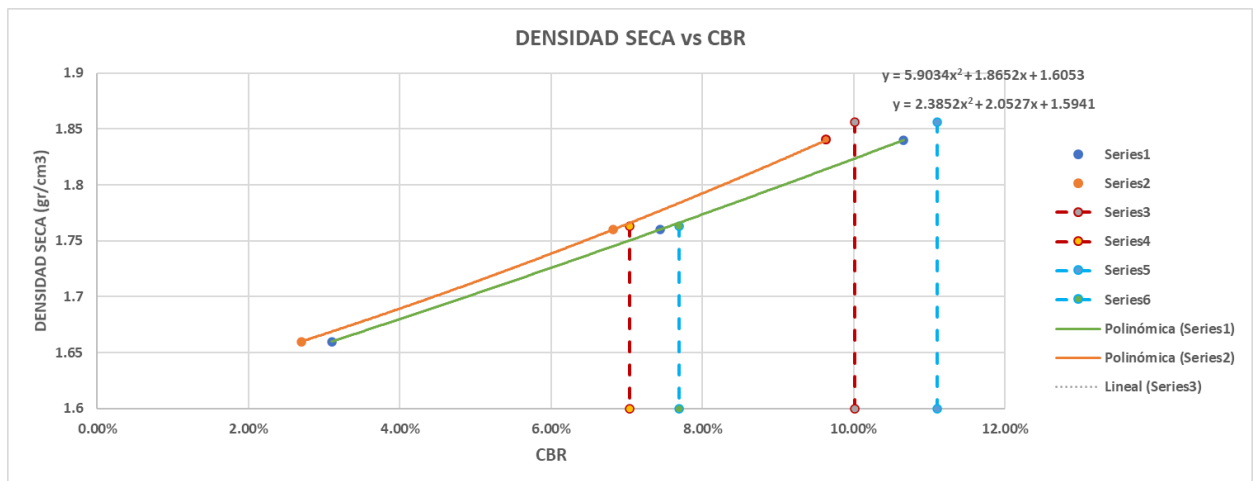


Gráfico 61 Gráfica del ensayo de Expansión en CBR del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia

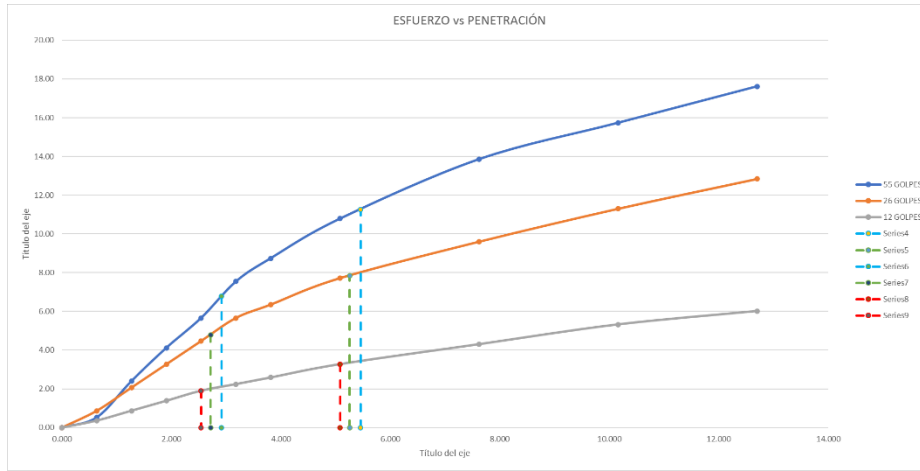
Gráfico 62 Gráfico de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 63 Gráfico de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural



Fuente: Elaboración Propia



Tabla 54 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"					
ENSAYO:	Determinación del Ensayo de Proctor Modificado					
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray					
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez					
MUESTRA:	Material Arcilloso +10% Ceniza de Afrecho de Cebada					
FECHA:						
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193						
DATOS PRELIMINARES						
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION	DATOS DEL MOLDE				
Densidad seca Maxima = 1.58 cm ³ Contenido de Humedad Optimo = 15.93 % Contenido de Humedad Natural = 4.57%	Peso del martillo = 4.54 kg Altura de caída del martillo = 45.72 cm Numero de Capas = 5	Diametro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la muestra = 11.64 cm Area = 182.41 cm ² Volumen = 2123.92 cm ³				
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN						
Constante del Anillo de Carga = -3.05E+00 +3.3E+00 *X -9.00E-05 *X ² +0.0E+00 *X ³ (KN)						
Área del Pistón = 19.35 cm ²						
DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.36	19.12	15.99	18.24	19.12	18.02
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	79.53	74.39	74.58	77.07	83.79	79.75
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	71.12	62.47	66.35	64.39	74.82	64.61
Peso de Agua (gr)	8.41	11.92	8.23	12.68	8.97	15.14
Peso de la muestra seca (gr)	51.76	43.35	50.36	46.15	55.7	46.59
Contenido de Humedad	16.25%	27.50%	16.34%	27.48%	16.10%	32.50%
Prcentage de Absorción		11.25%		11.13%		16.39%
Peso del Molde (gr)	7329		7414		7105	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11235	11324	11080	11335	10513	10844
Peso de la muestra humeda (gr)	3906	3995	3666	3921	3408	3739
Peso de la muestra seca (gr)	3360.06		3151.05		2915.3	
Peso del agua absorbida (gr)		89		255		331
Porcentaje de absorcion		2.65%		8.09%		11.35%
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.84	1.88	1.73	1.85	1.60	1.76
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.58		1.48		1.37	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 55 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	5	0.005	0.127	0.11%	2	0.002	0.051	0.04%	8	0.008	0.203	0.17%
0.125	3 hor 00 min	10	0.01	0.254	0.22%	9	0.009	0.229	0.20%	11	0.011	0.279	0.24%
0.25	6 hor 00 min	20	0.02	0.508	0.44%	14	0.014	0.356	0.31%	13	0.013	0.330	0.28%
0.5	12 hor 00 min	25	0.025	0.635	0.55%	20	0.02	0.508	0.44%	26	0.026	0.660	0.57%
1	24 hor 00 min	28	0.028	0.711	0.61%	35	0.035	0.889	0.76%	30	0.03	0.762	0.65%
2	48 hor 00 min	30	0.03	0.762	0.65%	37	0.037	0.940	0.81%	35	0.035	0.889	0.76%
4	96 hor 00 min	37	0.037	0.940	0.81%	41	0.041	1.041	0.89%	38	0.038	0.965	0.83%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE PETRACION															
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		
	25	0.635	9	26.79	1.39		7	20.16	1.04		7	20.16	1.04		
	50	1.270	23	73.19	3.79		15	46.68	2.41		11	33.43	1.73		
	75	1.905	40	129.49	6.69		26	83.13	4.30		18	56.63	2.93		
70.31	100	2.540	56	182.42	9.42	13.41%	35	112.93	5.83	8.30%	22	69.88	3.61	5.14%	
	125	3.175	71	232.00	11.99		42	136.10	7.03		26	83.13	4.30		
	150	3.810	6	281.55	14.55		49	159.27	8.23		29	93.07	4.81		
105.46	200	5.080	115	377.21	19.49	18.48%	59	192.34	9.94	9.42%	36	116.24	6.01	5.69%	
	300	7.620	159	522.08	26.97		76	248.52	12.84		44	1422.00	7.37		
	400	10.160	196	643.62	33.25		91	298.05	15.40		52	169.19	8.74		
	500	12.700	229	751.82	38.84		107	350.84	18.13		59	192.34	9.94		

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.984	11.22	15.96	2.997	6.70	9.52	2.540	3.61	5.14
105.46	5.524	20.8	19.72	5.537	10.46	9.92	5.080	6.01	5.69

NUMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	15.96%	19.72%	1.58
26	9.52%	9.92%	1.48
12	5.14%	5.69%	1.38

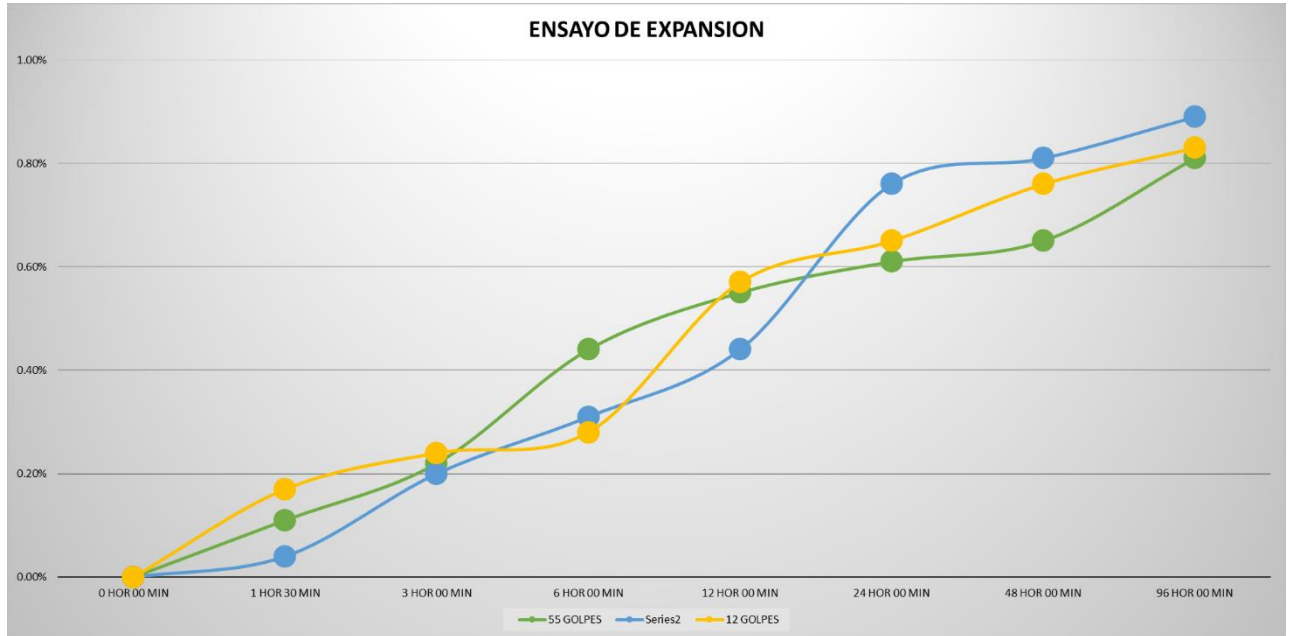
	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA DMS	15.55%	17.82%
CBR AL 95% DE LA DMS	10.32%	10.73%

Densidad Seca Maxima (gr/cm3)	1.58
95% de la DSM (gr/cm3)	1.50

Fuente: Elaboración Propia

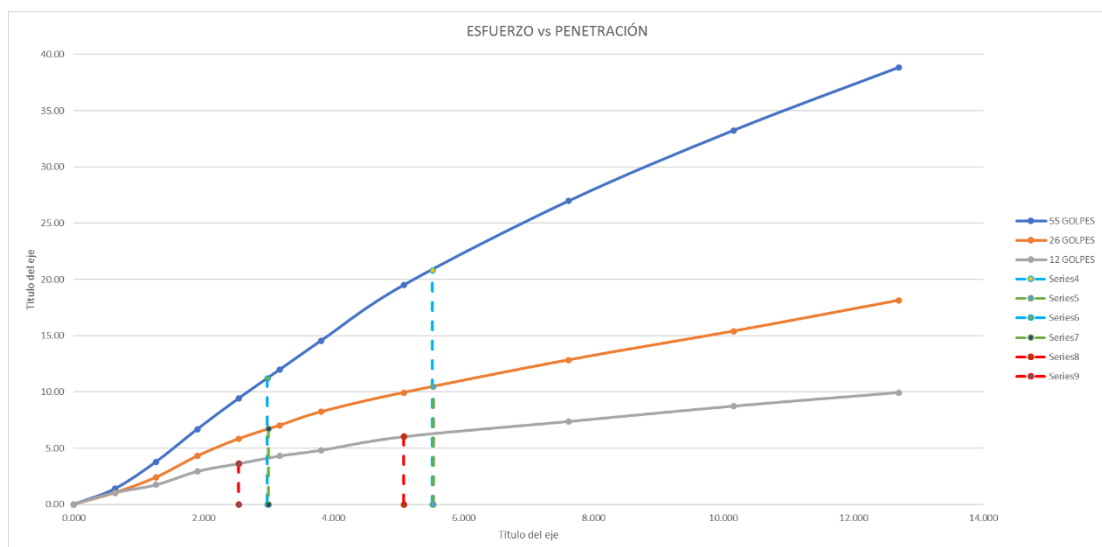


Gráfico 64 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

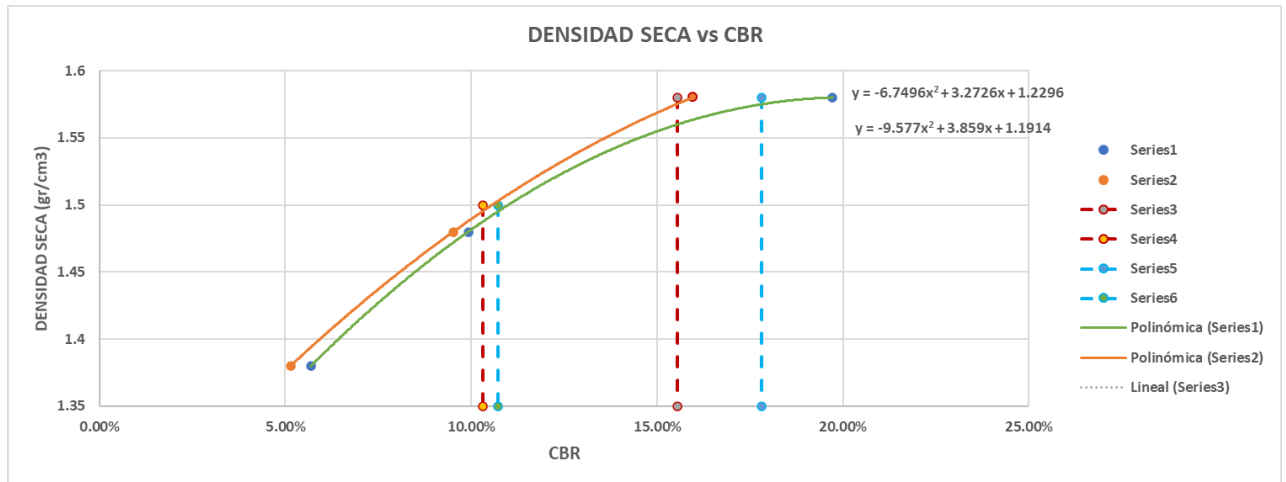
Gráfico 65 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 66 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 10% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TEMA DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"		
ENSAYO: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado UBICACIÓN: Carretera Yaurisque - San Juan de Taray RESPONSABLES: Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez MUESTRA: Material Arcilloso +15% Ceniza de Afrecho de Cebada FECHA:		
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193		
DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION	DATOS DEL MOLDE
Densidad seca Maxima = 1.86 cm3 Contenido de Humedad Optimo = 12.98% Contenido de Humedad Natural = 4.57%	Peso del martillo =4.54 kg Altura de caída del martillo = 45.72 cm Numero de Capas = 5	Diametro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la muestra = 11.64 cm Area = 182.41 cm Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = -3.05E+00 +3.3E+00 *X -9.00E-05 *X2 +0.0E+00 *X3 (KN) Área del Pistón = 19.35 cm2		

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.30	15.60	15.65	19.27	19.00	11.86
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	79.29	69.38	73.26	74.32	95.74	70.5
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	67.85	58.77	62.32	63.36	81.21	58.44
Peso de Agua (gr)	11.44	10.61	10.94	10.96	14.53	12.06
Peso de la muestra seca (gr)	48.55	43.17	46.67	44.09	62.21	46.58
Contenido de Humedad	23.56%	24.58%	23.44%	24.86%	23.36%	25.89%
Prcentage de Absorción		1.01%		1.42%		2.53%
Peso del Molde (gr)	6861		7294		7672	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10639	10692	11004	11092	11333	11489
Peso de la muestra humeda (gr)	3778	3831	3710	3798	3661	3817
Peso de la muestra seca (gr)	3057.54		3005.48		2967.82	
Peso del agua absorvida (gr)		53		88		156
Porcentaje de absorcion		1.73%		2.93%		5.26%
Densidad humeda (gr/cm3)	1.78	1.80	1.75	1.79	1.72	1.80
Densidad Seca (gr/cm3)	1.44		1.42		1.40	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 58 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2	0.002	0.051	0.04%	2	0.002	0.051	0.04%	4	0.004	0.102	0.09%
0.125	3 hor 00 min	3	0.003	0.076	0.07%	3	0.003	0.076	0.07%	8	0.008	0.203	0.17%
0.25	6 hor 00 min	11	0.011	0.279	0.24%	12	0.012	0.305	0.26%	19	0.019	0.483	0.41%
0.5	12 hor 00 min	14	0.014	0.356	0.31%	15	0.015	0.381	0.33%	20	0.020	0.508	0.44%
1	24 hor 00 min	18	0.018	0.457	0.39%	20	0.020	0.508	0.44%	23	0.023	0.584	0.50%
2	48 hor 00 min	24	0.024	0.610	0.52%	26	0.026	0.660	0.57%	27	0.027	0.686	0.59%
4	96 hor 00 min	31.5	0.0315	0.800	0.69%	34.5	0.0345	0.876	0.75%	33	0.033	0.838	0.72%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE PETRACION															
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
carga unitaria patron (kg/cm2)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	
0	0.000	0	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		
25	0.635	6	6	16.50	0.87		6	16.85	0.87		6	16.85	0.87		
50	1.270	15	15	46.68	2.41		15	46.68	2.41		14	43.37	2.24		
75	1.905	28	28	89.75	4.64		25	79.82	4.12		22	69.88	3.61		
70.31	100	2.540	41	132.79	6.86	9.76%	35	112.93	5.83	8.30%	29	93.07	4.81	684.00%	
125	3.175	55	55	179.11	9.25		44	142.72	7.37		36	116.24	6.01		
150	3.810	67	67	218.78	11.30		53	172.50	8.91		42	136.10	7.03		
105.46	200	5.080	92	301.35	15.57	14.76%	72	235.31	12.16	11.53%	53	172.50	8.91	8.45%	
300	7.620	135	135	443.10	22.89		101	331.05	17.10		71	232.00	11.99		
400	10.160	174	174	571.38	29.52		126	413.46	21.36		84	274.94	14.21		
500	12.700	208	208	682.99	35.29		147	482.60	24.93		95	311.25	16.08		

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	3.122	9.05	12.88	2.915	6.74	9.59	2.771	5.24	7.46
105.46	5.662	17.25	16.35	5.455	12.89	12.22	5.311	9.19	8.72

NUMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	12.88%	16.35%	1.44
26	9.59%	12.22%	1.42
12	7.46%	8.72%	1.4

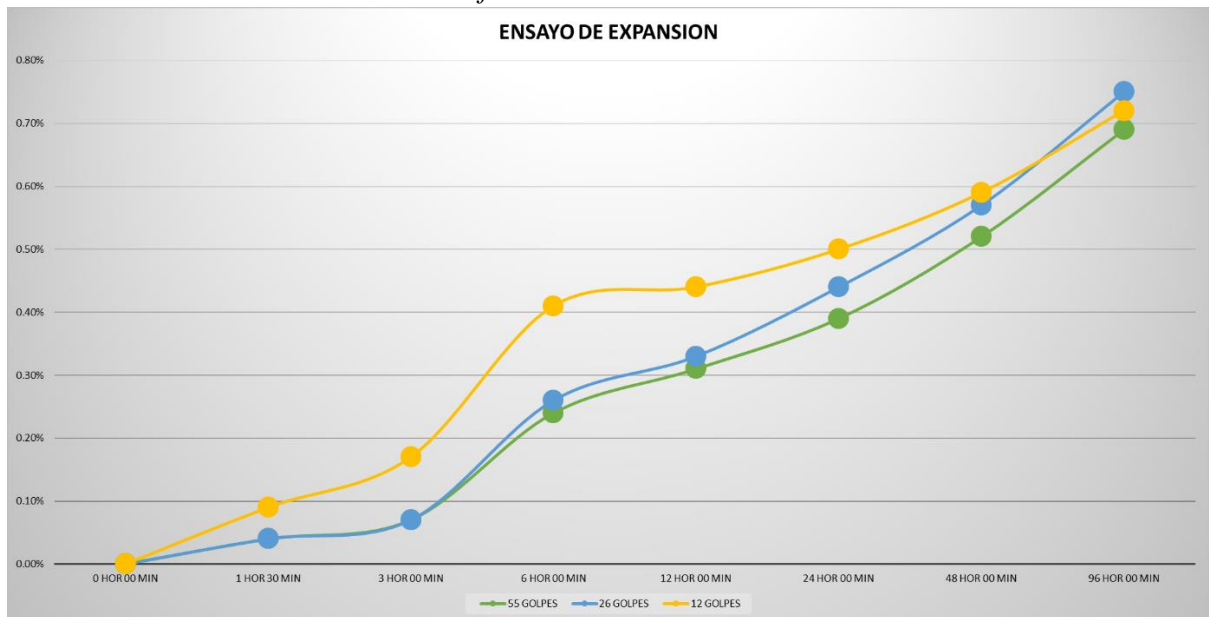
	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA DMS	13.92%	17.44%
CBR AL 95% DE LA DMS	4.91%	2.96%

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.45
95% de la DSM (gr/cm3)	1.37

Fuente: Elaboración Propia

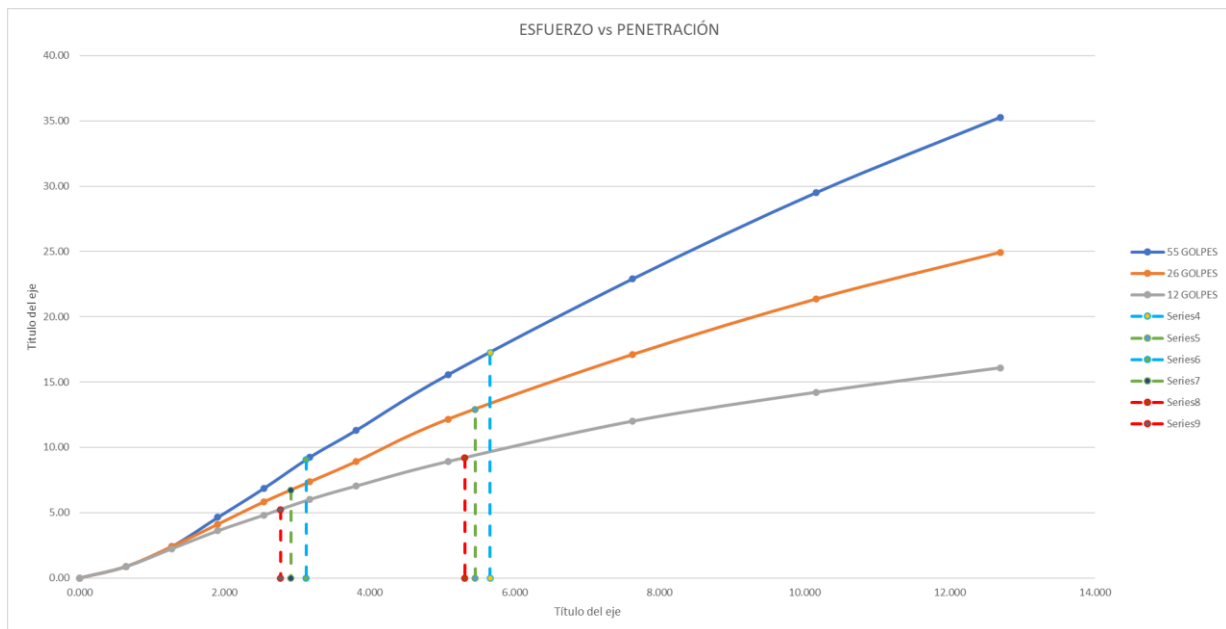


Gráfico 67 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

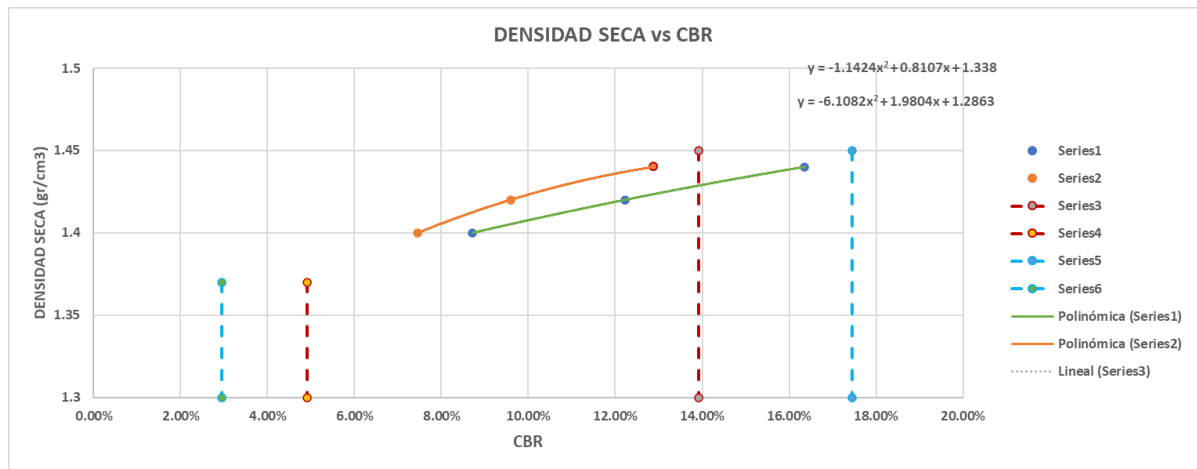
Gráfico 68 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 69 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 15% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia



Tabla 60 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"					
ENSAYO:	Determinación del Ensayo de Proctor Modificado					
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray					
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez					
MUESTRA:	Material Arcilloso					
FECHA:						
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193						
DATOS PRELIMINARES						
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION	DATOS DEL MOLDE				
Densidad seca Maxima = 1.306 cm3 Contenido de Humedad Optimo = 32.53% Contenido de Humedad Natural = 4.57%	Peso del martillo = 4.54 kg Altura de caída del martillo = 45.72 cm Numero de Capas = 5	Diametro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la muestra = 11.64 cm Area = 182.41 cm Volumen = 2123.92 cm3				
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN						
Constante del Anillo de Carga = -3.05E+00 +3.3E+00 *X -9.00E-05 *X2 +0.0E+00 *X3 (KN) Área del Pistón = 19.35 cm2						
DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	18.84	19.19	16.21	11.58	19.09	18.51
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	69.58	84.62	75.58	69.59	81.99	88.97
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	57.15	67.71	61.17	54.5	66.43	69.98
Peso de Agua (gr)	12.43	16.91	14.41	15.09	15.56	18.99
Peso de la muestra seca (gr)	38.31	48.52	44.96	42.92	47.34	51.47
Contenido de Humedad	32.45%	34.85%	32.05%	35.16%	32.87%	36.90%
Porcentaje de Absorción		2.41%		3.11%		4.03%
Peso del Molde (gr)	7392		7470		7348	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11090	11114	11073	11111	10903	10956
Peso de la muestra humeda (gr)	3698	3722	3603	3641	3555	3608
Peso de la muestra seca (gr)	2792.08		2728.5		2675.58	
Peso del agua absorbida (gr)		24		38		53
Porcentaje de absorcion		0.86%		1.39%		1.98%
Densidad humeda (gr/cm3)	1.74	1.75	1.70	1.71	1.67	1.70
Densidad Seca (gr/cm3)	1.31		1.28		1.26	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 61 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de	DIAL	Deform		% de
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans	*0.001"	pulg	mm	expans
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	1	0.001	0.025	0.02%	0	0	0.000	0.02%	0	0	0.000	0.09%
0.125	3 hor 00 min	1	0.001	0.025	0.02%	0	0	0.000	0.02%	0	0	0.000	0.11%
0.25	6 hor 00 min	3	0.003	0.076	0.07%	0	0	0.000	0.03%	3	0.003	0.076	0.26%
0.5	12 hor 00 min	13	0.013	0.330	0.28%	0	0	0.000	0.09%	3	0.003	0.076	0.33%
1	24 hor 00 min	20	0.02	0.508	0.44%	0	0	0.000	0.26%	4	0.004	0.102	0.41%
2	48 hor 00 min	33	0.033	0.838	0.72%	0	0	0.000	0.35%	4	0.004	0.102	0.52%
4	96 hor 00 min	35	0.035	0.889	0.76%	0	0	0.000	0.48%	4	0.004	0.102	0.61%

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 62 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE PETRACION															
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
carga unitaria patron (kg/cm ²)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		
	25	0.635	3	6.90	0.36		2	3.58	0.19		2	3.58	0.19		
	50	1.270	7	20.16	1.04		4	10.22	0.53		4	10.22	0.53		
	75	1.905	11	33.43	1.73		6	16.85	0.87		5	13.53	0.70		
70.31	100	2.540	15	46.68	2.41	3.43%	9	26.79	1.38	1.97%	6	16.85	0.87	1.24%	
	125	3.175	19	59.94	3.10		11	33.46	1.73		8	23.48	1.21		
	150	3.810	23	73.19	3.78		14	43.37	2.24		10	30.11	1.56		
105.46	200	5.080	28	89.75	4.64	4.40%	18	56.63	2.93	2.27%	13	40.05	2.07	1.96%	
	300	7.620	39	126.18	6.52		27	86.44	4.47		20	63.25	3.27		
	400	10.160	48	155.96	8.06		36	116.24	6.01		25	79.82	4.12		
	500	12.700	56	182.42	9.42		45	146.03	7.54		31	99.69	5.15		

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%
70.31	2.845	2.74	3.9	2.54	1.38	1.97	2.540	0.87	1.24
105.46	5.385	4.86	4.61	5.08	2.93	2.77	5.080	2.07	1.96

NUMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	3.90%	4.61%	1.31
26	1.97%	2.77%	1.28
12	1.24%	1.96%	1.26

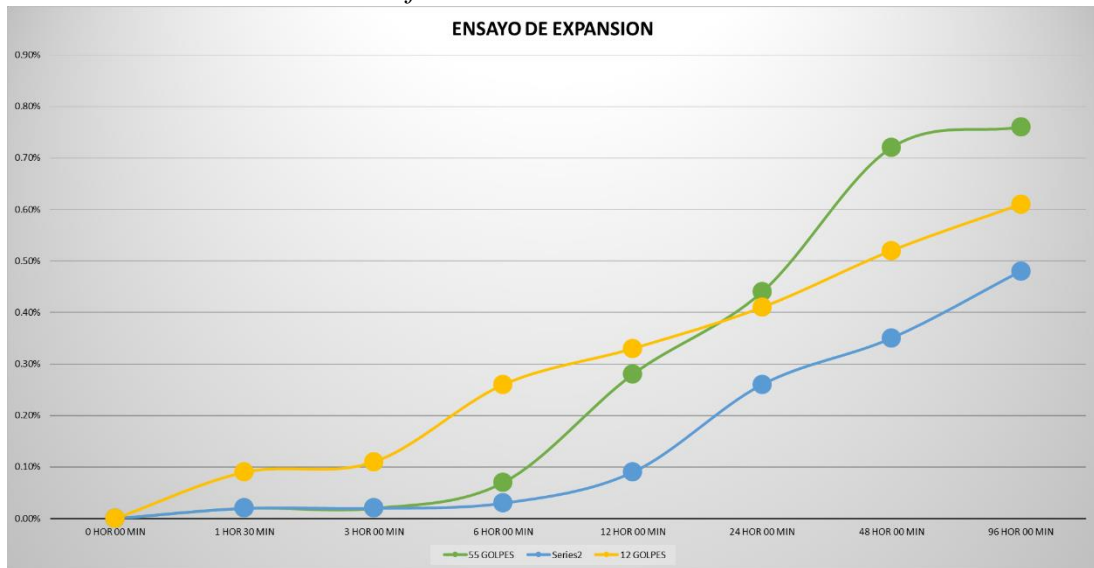
	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA DMS	2.74%	3.61%
CBR AL 95% DE LA DMS	0.72%	1.39%

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.30
95% de la DSM (gr/cm ³)	1.24

Fuente: Elaboración Propia

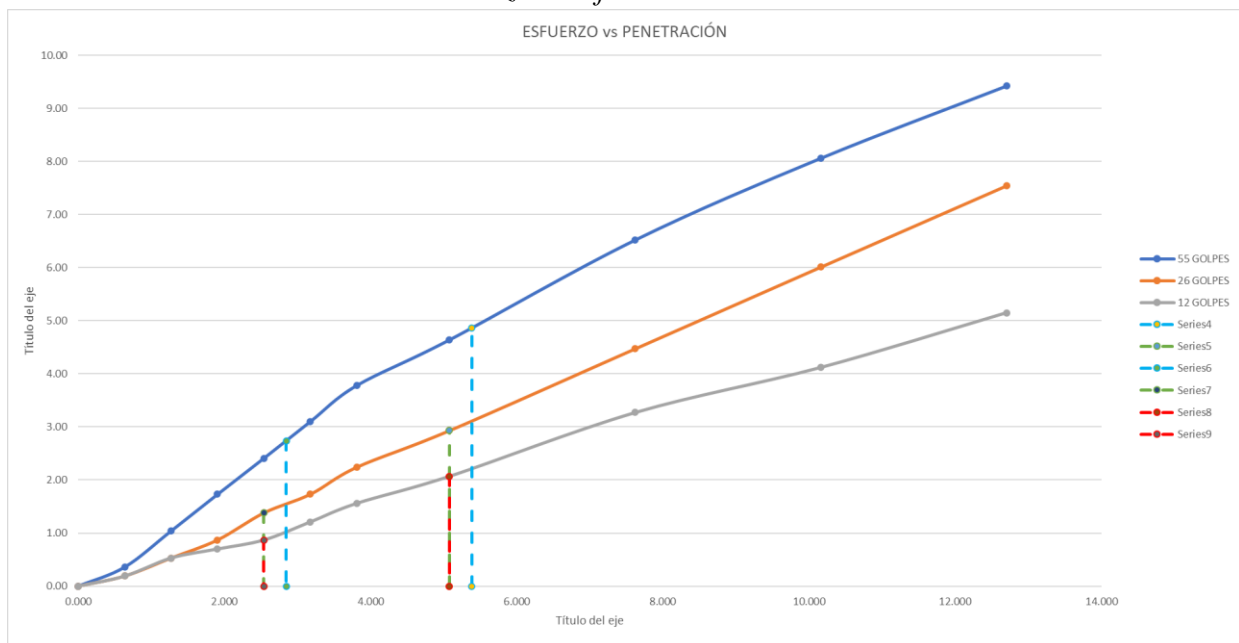


Gráfico 70 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

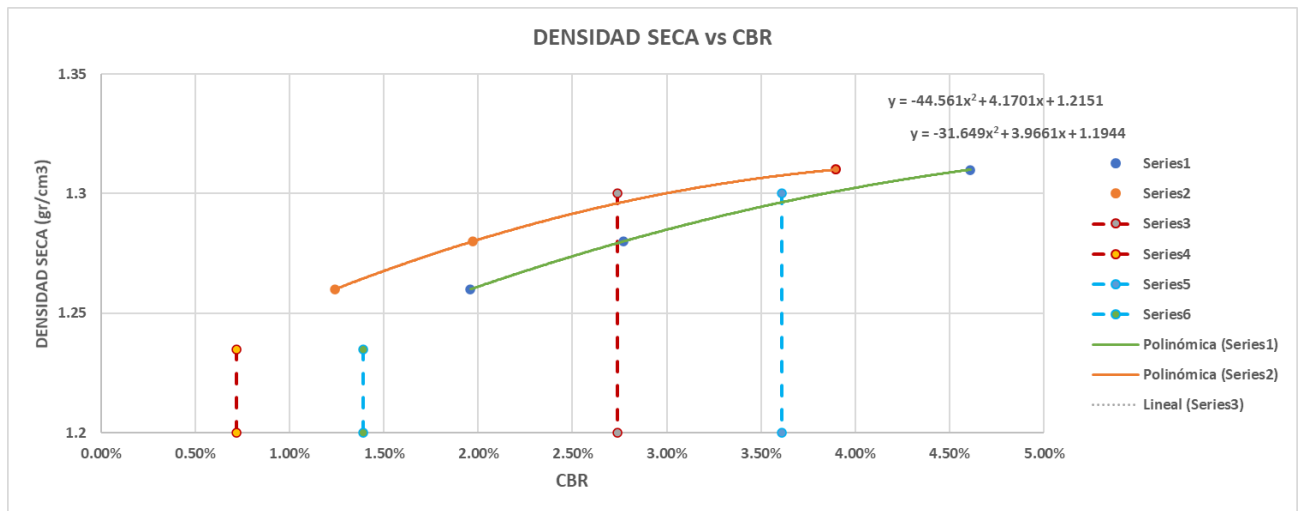
Gráfico 71 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 72 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 20% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente se realizó un ensayo de CBR al 5% de CAC para verificar si el CBR optimo escogido era el adecuado

Tabla 63 Procesamiento de Datos – Determinación de CBR del suelo natural +5% de Ceniza de Afrecho de Cebada

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TEMA DE TESIS:	"INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAUQUISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"	
ENSAYO:	Determinación del Ensayo de Proctor Modificado	
UBICACIÓN:	Carretera Yaurisque - San Juan de Taray	
RESPONSABLES:	Stefano Rodrigo Choquetinco Suárez // Pedro Gonzalo Mora Cortez	
MUESTRA:	Material Arcilloso + 5% DE CAC	
FECHA:		
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)		
MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193		
DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGIA DE COMPACTACION	DATOS DEL MOLDE
Densidad seca Maxima = 1.58 cm3 Contenido de Humedad Optimo = 15.93 % Contenido de Humedad Natural = 4.57%	Peso del martillo =4.54 kg Altura de caída del martillo = 45.72 cm Numero de Capas = 5	Diametro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		Area = 182.41 cm Volumen = 2123.92 cm3
Constante del Anillo de Carga = -3.05E+00 +3.3E+00 *X -9.00E-05 *X2 +0.0E+00 *X3 (KN) Área del Pistón = 19.35 cm2		
MUESTRA		



DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.34	19.10	15.95	18.21	19.09	17.99
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	79.49	74.35	74.54	76.96	83.74	79.71
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	71.06	62.39	66.31	64.35	74.79	64.58
Peso de Agua (gr)	8.43	11.96	8.23	12.61	8.95	15.13
Peso de la muestra seca (gr)	51.72	43.29	50.36	46.14	55.7	46.59
Contenido de Humedad	16.30%	27.63%	16.34%	27.33%	16.07%	32.47%
Prcentaje de Absorción		11.33%		10.99%		16.41%
Peso del Molde (gr)	7278		7458		7123	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11235	11324	11080	11335	10513	10844
Peso de la muestra humeda (gr)	3740	3826	3690	3747	3612	3786
Peso de la muestra seca (gr)	3045.14		3000.36		2913.45	
Peso del agua absorvida (gr)		86		57		174
Porcentaje de absorcion		2.82%		1.90%		5.97%
Densidad humeda (gr/cm3)	1.76	1.80	1.74	1.76	1.70	1.78
Densidad Seca (gr/cm3)	1.43		1.41		1.37	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 64 Procesamiento de Datos – Expansión para CBR del suelo natural + 5% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
MUESTRA		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
TIEMPO TRANSCURRIDO		DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans	DIAL	Deform		% de expans
DIAS	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	1	0.001	0.025	0.02%	0	0	0.000	0.02%	0	0	0.000	0.09%
0.125	3 hor 00 min	1	0.001	0.025	0.02%	0	0	0.000	0.02%	0	0	0.000	0.11%
0.25	6 hor 00 min	3	0.003	0.076	0.07%	0	0	0.000	0.03%	3	0.003	0.076	0.26%
0.5	12 hor 00 min	13	0.013	0.330	0.28%	0	0	0.000	0.09%	3	0.003	0.076	0.33%
1	24 hor 00 min	20	0.02	0.508	0.44%	0	0	0.000	0.26%	4	0.004	0.102	0.41%
2	48 hor 00 min	33	0.033	0.838	0.72%	0	0	0.000	0.35%	4	0.004	0.102	0.52%
4	96 hor 00 min	35	0.035	0.889	0.76%	0	0	0.000	0.48%	4	0.004	0.102	0.61%

DATOS PRELIMINARES						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Numero de golpes por capa	55		26		12	
Condiciones de Muestra	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada	Cont Humd Optimo	Saturada
Ubicacion del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	18.84	19.19	16.21	11.58	19.09	18.51
Peso de Capsula (gr) +Muestra Humeda (gr)	69.58	84.62	75.58	69.59	81.99	88.97
Peso de Capsula (gr) +Muestra Seca (gr)	57.15	67.71	61.17	54.5	66.43	69.98
Peso de Agua (gr)	12.43	16.91	14.41	15.09	15.56	18.99
Peso de la muestra seca (gr)	38.31	48.52	44.96	42.92	47.34	51.47
Contenido de Humedad	32.45%	34.85%	32.05%	35.16%	32.87%	36.90%
Prcentaje de Absorción		2.41%		3.11%		4.03%
Peso del Molde (gr)	7392		7470		7348	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11090	11114	11073	11111	10903	10956
Peso de la muestra humeda (gr)	3698	3722	3603	3641	3555	3608
Peso de la muestra seca (gr)	2792.08		2728.5		2675.58	
Peso del agua absorvida (gr)		24		38		53
Porcentaje de absorcion		0.86%		1.39%		1.98%
Densidad humeda (gr/cm3)	1.74	1.75	1.70	1.71	1.67	1.70
Densidad Seca (gr/cm3)	1.31		1.28		1.26	

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 65 Procesamiento de Datos – Penetración para CBR del suelo natural + 5% de Ceniza de Afrecho de Cebada

ENSAYO DE PETRACION														
MUESTRA			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
carga unitaria patron (kg/cm ²)	DIAL *0.001"	Penetración mm	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %	DIAL	Fuerza kg	Esfuer mm	CBR %
0	0.000	0	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	6	6	16.50	0.85		6	16.85	0.87		6	16.85	0.87	
50	1.270	15	15	46.68	2.41		15	46.68	2.41		14	43.37	2.24	
75	1.905	28	28	89.75	4.64		25	79.82	4.13		22	69.88	3.61	
70.31	100	2.540	41	132.79	6.87	13.41%	35	112.93	5.84	8.30%	29	93.07	4.81	5.14%
	125	3.175	55	179.11	9.26		44	142.72	7.38		36	116.24	6.01	
	150	3.810	67	218.78	11.31		53	172.50	8.92		42	136.10	7.04	
105.46	200	5.080	92	301.35	15.58	18.48%	72	235.31	12.17	9.42%	53	172.50	8.92	5.69%
	300	7.620	135	443.10	22.91		101	331.05	17.12		71	232.00	11.99	
	400	10.160	174	571.38	29.54		126	413.46	21.38		84	274.94	14.21	
	500	12.700	208	682.99	35.31		147	482.60	24.95		95	311.25	16.09	

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%
70.31	3.012	9.01	12.45	2.910	6.71	9.52	2.762	5.21	7.39
105.46	5.658	17.16	16.29	5.412	12.82	12.16	5.301	9.15	8.61

NUMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	12.90%	16.40%	1.44
26	9.63%	12.31%	1.42
12	7.53%	8.81%	1.4

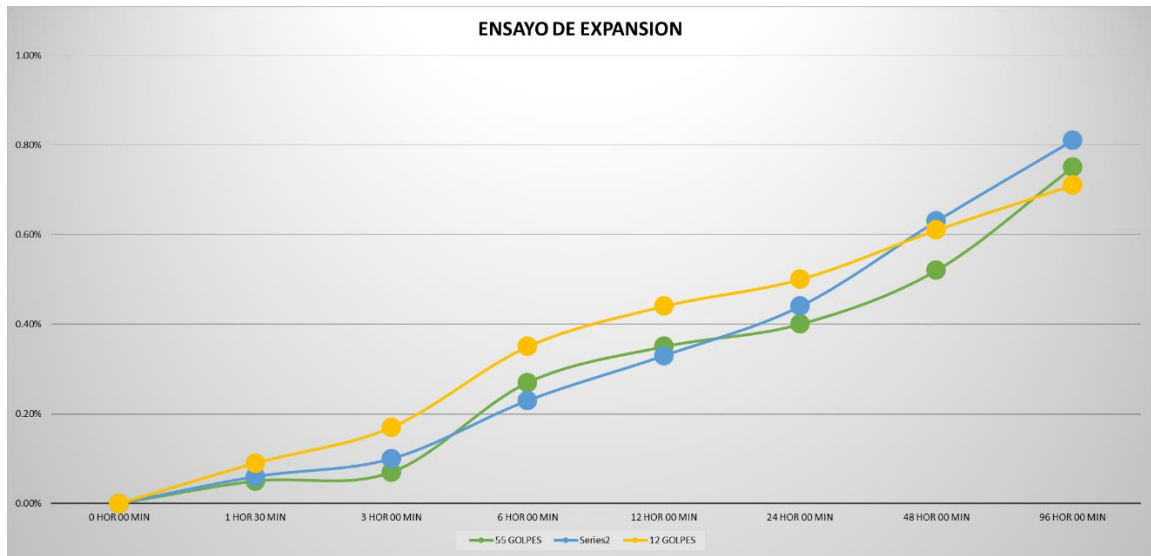
	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA DMS	13.05%	15.13%
CBR AL 95% DE LA DMS	6.13%	8.58%

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.48
95% de la DSM (gr/cm ³)	1.39

Fuente: Elaboración Propia

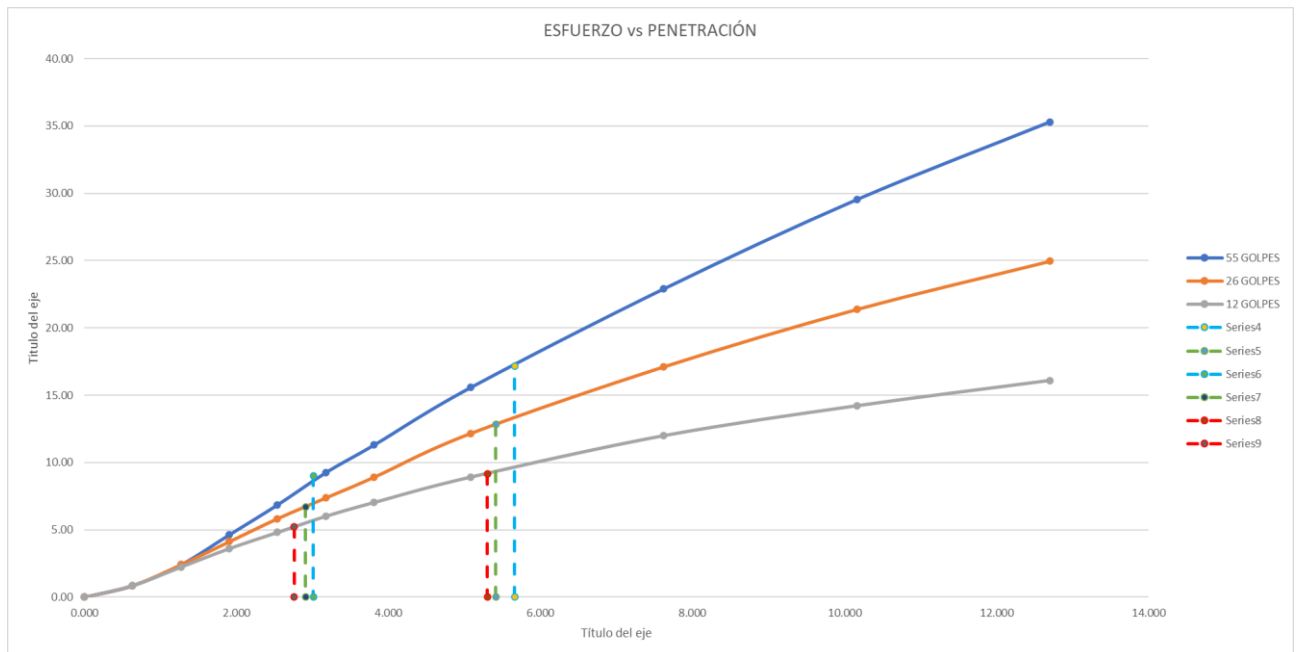


Gráfico 74 Gráfica del ensayo de expansión en el CBR del suelo natural + 5% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia

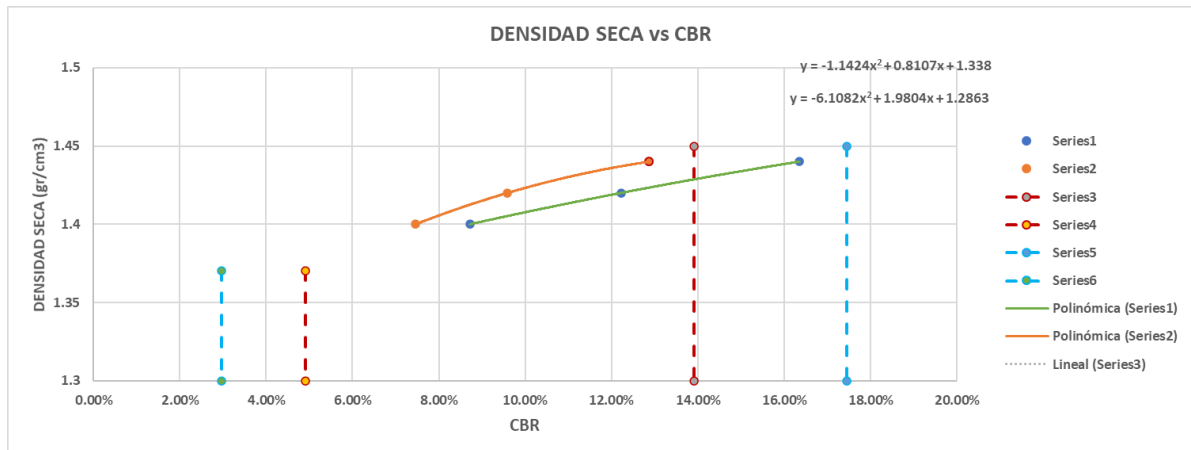
Gráfico 75 Gráfica de Curva de Esfuerzo vs Penetración de CBR del suelo natural + 5% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 76 Gráfica de Curva de Densidad Seca vs CBR del suelo natural + 5% de Ceniza de Afrecho de Cebada



Fuente: Elaboración Propia



CAPITULO IV

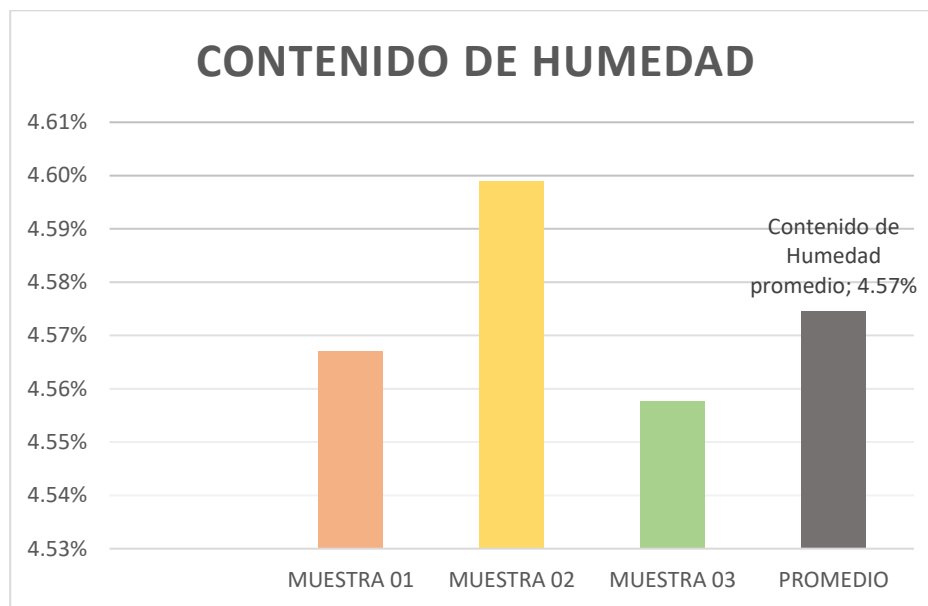
4. Resultados

4.1 Resultados de ensayos

4.1.1. Ensayo de Contenido de Humedad

Después, de haber realizado los ensayos para determinar el contenido de humedad de la muestra tomada de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray, se pudo determinar que el contenido de humedad promedio es de 4.57%, este es un resultado del promedio de las 03 muestras ensayadas

Gráfico 73 Gráfica de Contenido de Humedad del suelo



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Análisis Granulométrico

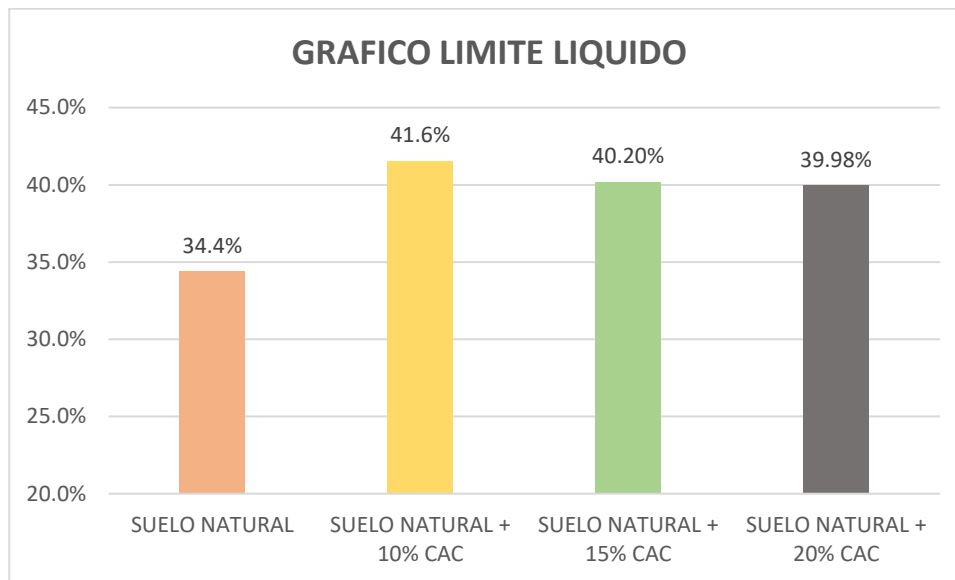
Con la muestra tomada de campo, se realizó el ensayo de “Análisis Granulométrico por Tamizado”, presenta en su mayoría contenido de finos (50.76 %), con una considerable cantidad de arena (33.25 %) y una pequeña cantidad de grava (15.99 %), a continuación, se detalla en el siguiente cuadro

4.1.3. Determinación del Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP)

4.1.3.1. Límite Líquido

Después de haber realizado los ensayos correspondientes se puede determinar el valor para el Límite Líquido, para la presente investigación se tiene un valor de 34.4% para lo que es el suelo en estado natural. Sin embargo, al agregar la Ceniza de Afrecho de Cebada los valores del límite líquido se incrementan respecto al suelo en estado natural, teniendo como valor más alto el de 41.6% que corresponde al 10% de CAC.

Gráfico 76 Gráfico de Resultados del ensayo de Límite Líquido

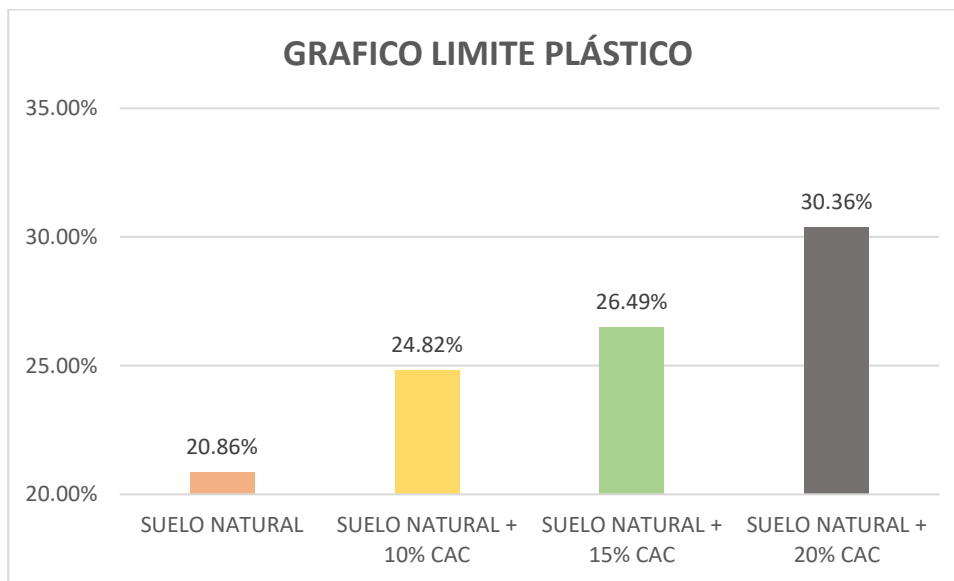


Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.2 Límite Plástico

Para el caso del límite plástico tenemos que un incremento progresivo en los resultados. Teniendo en cuenta que el límite plástico para el suelo en estado natural es de 20.86%, pero al agregar el aditivo CAC en porcentajes de 10%, 15% y 20% el límite plástico toma valores de 24.82%, 26.49% y 30.36% respectivamente

Gráfico 77 Grafico de Resultados del ensayo de Límite Plástico



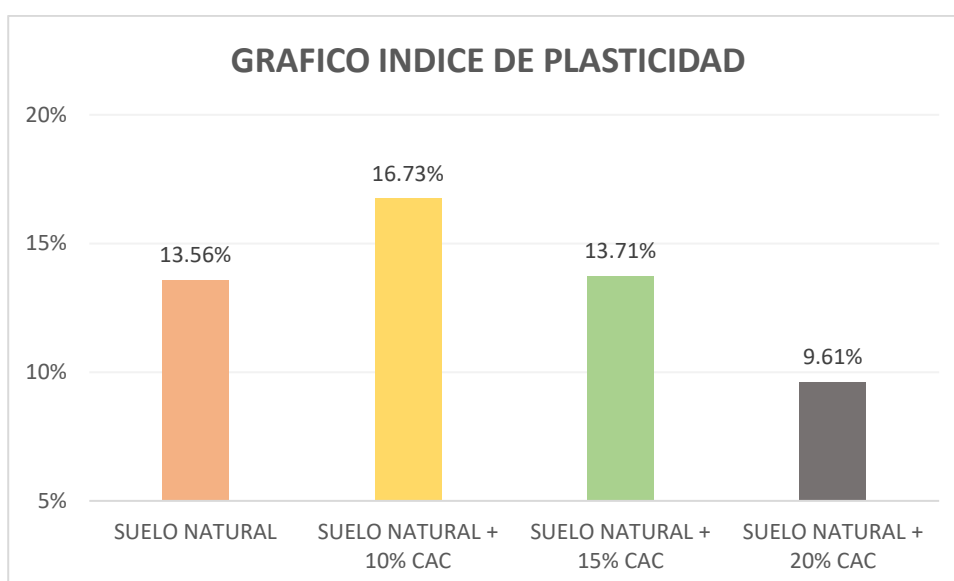
Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.3. Índice de Plasticidad

Los índices plasticidad indican que cuanto más alto es los suelos son más arcillosos, sin embargo, si el índice de plasticidad es bajo indica que el suelo es poco arcilloso

Según los resultados obtenidos, el índice de plasticidad al agregar 10% de CAC incrementó en 3.17% lo que indica que la plasticidad del suelo aumento. Caso contrario sucede al agregar 20% de CAC, el índice de plasticidad disminuye en un 3.95% lo que significa que la plasticidad del suelo disminuyó.

Gráfico 78 Grafico de Resultados de Índice de Plasticidad



Fuente: Elaboración Propia



4.1.4. Clasificación de Suelos

Tabla 63 Tabla de clasificación del suelo según AASHTO y SUCS

CLASIFICACIÓN DEL SUELO NATURAL	
AASHTO	SUCS
A-6 (4)	CL
Contiene partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo	Arcilla ligera de baja plasticidad arenosa con grava

Fuente: Elaboración Propia

Según la norma AASHTO, el suelo extraído de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray se puede considerar como suelo muy pobre para ser utilizado en subrasante

4.1.5. Compactación de Suelos (Proctor Modificado)

Después de realizado los ensayos se tiene que el suelo proveniente de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray cuenta con una densidad máxima seca de 1.86 gr/cm³ y un contenido de humedad óptimo de 12.98%, todo esto es solo del suelo natural sin adicionar CAC.

Tabla 64 Cuadro Comparativo de la variación de DMS y CHO

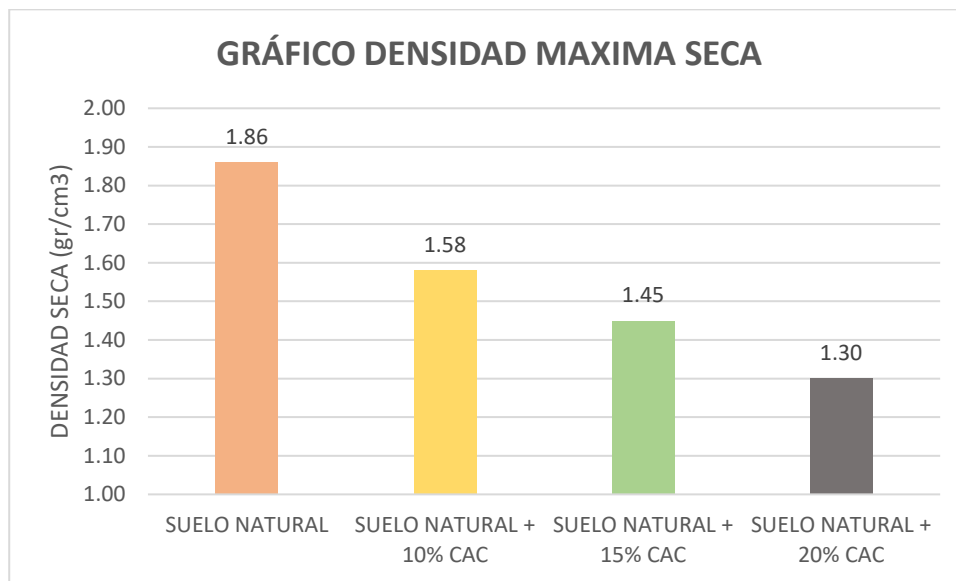
MUESTRAS	DENSIDAD MÁXIMA SECA	HUMEDAD OPTIMA (%)
SUELO NATURAL	1.86	12.98%
SUELO NATURAL + 10% CAC	1.58	15.93%
SUELO NATURAL + 15% CAC	1.45	23.62%
SUELO NATURAL + 20% CAC	1.30	32.53%

Fuente: Elaboración Propia

Cuando agregamos CAC en diferentes porcentajes (10%, 15% y 20%) al suelo en estado natural, vemos que la densidad máxima presenta una tendencia a decrecer progresivamente como se observa en el grafico N° 79. De todos los resultados se tiene que al agregar 10% de CAC al suelo natural se alcanza una densidad máxima de 1.58 gr/cm³, esta es menor a la densidad del suelo natural pero sin embargo es la mayor comparando con las otras dosificaciones.



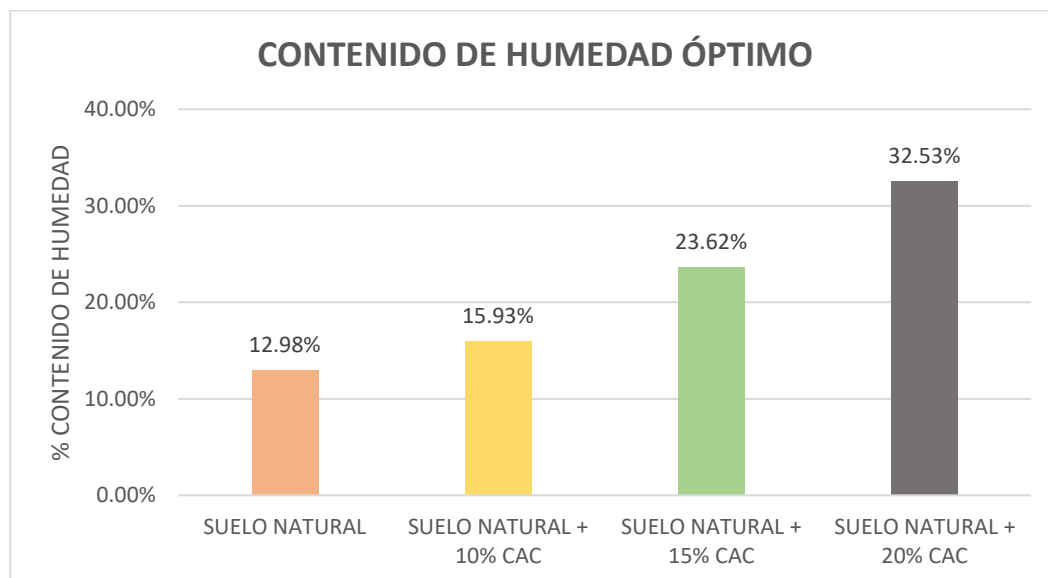
Gráfico 79 Densidad Máxima Seca vs Adición de CAC



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 80 se puede apreciar que los resultados del contenido de humedad óptimo se incrementan progresivamente en función a la adición de CAC (10%, 15% y 20%). Se observa que se alcanza un máximo valor 32.53% del contenido óptimo de humedad al agregar 20% de CAC.

Gráfico 80 Contenido de Humedad Óptimo vs Adición de CAC

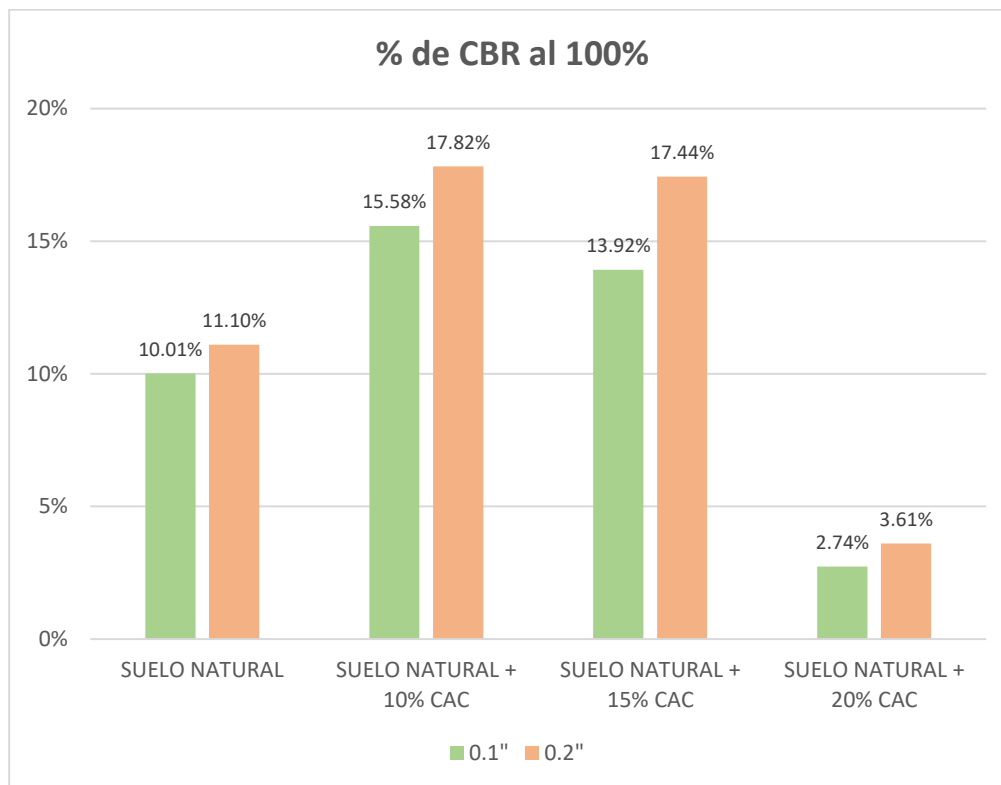


Fuente: Elaboración Propia

4.1.6. Ensayo de CBR en Laboratorio

El ensayo de capacidad de soporte se hizo con distintos números de golpes en diferentes capas variando el porcentaje de adición de ceniza de afrecho de cebada. Los porcentajes de CBR al 100% fueron medidos al 0.1" y 0.2" de penetración. La norma ASTM dice que se considera como resultado valido siempre y cuando el resultado de la penetración a 0.1" sea menor al resultado a 0.2" de penetración. La presente investigación considera los dos resultados a modo de contraste de resultados.

Gráfico 81 Variación de CBR al 100% vs adición de CAC



Fuente: Elaboración Propia

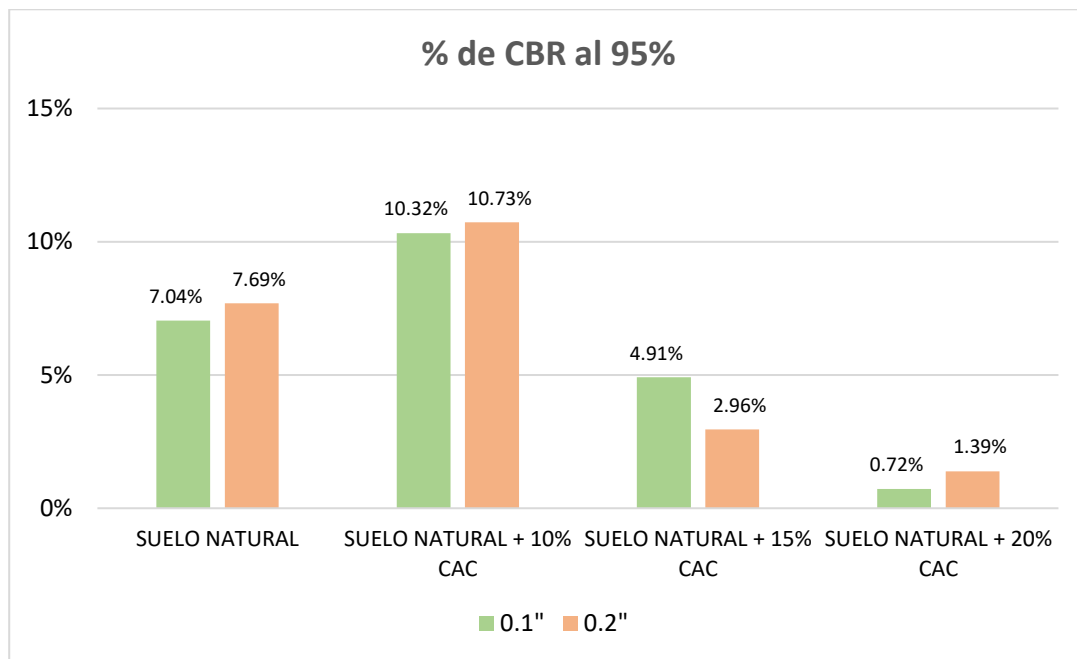
Tabla 65 Resumen de ensayo CBR al 100%

CBR (%) AL 100%			
MUESTRAS	0.1"	0.2"	DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm ²)
SUELO NATURAL	10.01%	11.10%	1.86
SUELO NATURAL + 10% CAC	15.58%	17.82%	1.58
SUELO NATURAL + 15% CAC	13.92%	17.44%	1.45
SUELO NATURAL + 20% CAC	2.74%	3.61%	1.30

Fuente: Elaboración Propia

Después de haber realizado el ensayo de capacidad de soporte CBR, se observa que existe un patrón de mejora en el CBR para los porcentajes de 10% y 15% de CAC (15.58% y 13.92% respectivamente). Comparando los resultados con el CBR del suelo natural existe una diferencia de 5.57% con el máximo valor de CBR obtenido. Sin embargo, al agregar un 20% de CAC el valor del CBR disminuye drásticamente comparándolo con el CBR del suelo en estado natural estando 7.27% por debajo. Según el manual de carreteras el CBR del suelo natural se puede considerar como buena, al agregar el 10% de CAC que es el máximo valor de CBR obtenido se sigue considerando la subrasante bueno por lo que su clasificación no cambia

Gráfico 82 Variación de CBR al 95% vs adición de CAC



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 66 Resumen de ensayo CBR al 100%

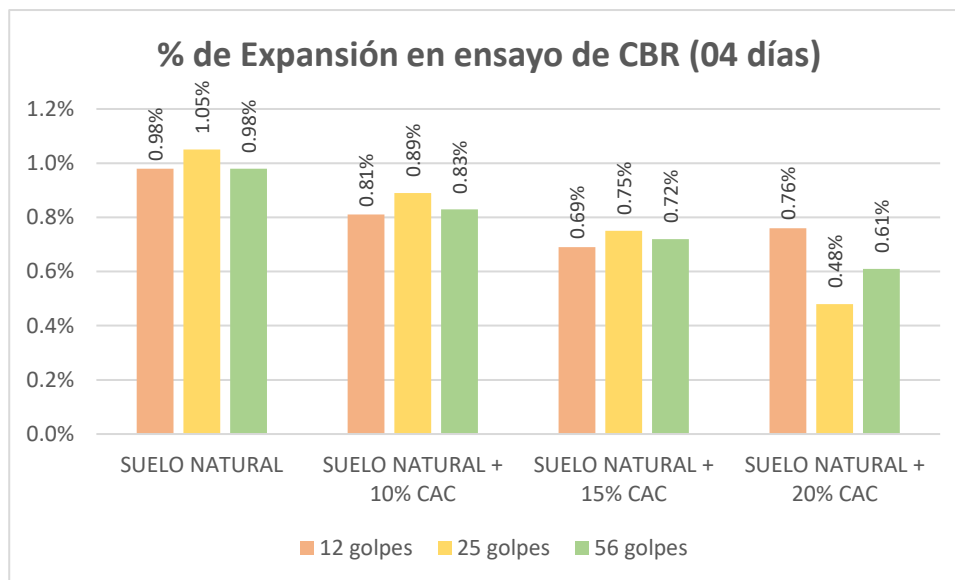
CBR (%) AL 95%			
MUESTRAS	0.1"	0.2"	95% DE LA DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm ²)
SUELO NATURAL	7.04%	7.69%	1.76
SUELO NATURAL + 10% CAC	10.32%	10.73%	1.50
SUELO NATURAL + 15% CAC	4.91%	2.96%	1.37
SUELO NATURAL + 20% CAC	0.72%	1.39%	1.24

Fuente: Elaboración Propia



Para fines comparativos se realizó el ensayo de capacidad de soporte CBR al 95% con la finalidad de comparar los resultados para la presente investigación los cuales son menores a los resultados del CBR al 100% pero mantienen la misma tendencia, lo cual significa que la adición de 10% de CAC tiene mayor CBR.

Gráfico 83 Variación de Expansión en ensayo CBR vs adición de CAC respecto a la fuerza de compactación



Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo de expansión, todos los resultados fueron tomados a los 4 días (96 horas) de haber sido sumergidos en agua. Se observa que disminuye la expansión del suelo agregando CAC en diferentes porcentajes (10%, 15% y 20%) comparándolo con la expansión del suelo en estado natural. Por lo cual se deduce que la ceniza de afrecho de cebada reduce la expansión de los suelos teniendo su valor más notable a los 12 golpes del 15% de CAC con una expansión de 0.69%. El suelo natural que se ensaya presenta una expansión baja, ya que el porcentaje de expansión a los 12 golpes es de 0.98%



CAPITULO V

5. Discusión

- a. Contraste de resultados con referentes al marco teórico

¿El suelo procedente de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray es un material que necesita alguna estabilización para mejorar sus propiedades físico-mecánicas a nivel subrasante?

Si bien nuestro suelo presenta un CBR de 10.01 % al 100% de la DSM (saturado). Esto según el “Manual de Carreteras” del MTC (2016) y la NTP C.E. 010 Pavimentos Urbanos se clasifica como Subrasante Buena (S₃), después de adicionar CAC podemos observar un ligero incremento en el CBR al alcanzar el 15.58%, pero no lo suficiente para poder alcanzar la siguiente categoría de Subrasante Muy Buena (S₄)

Tabla 67 Clasificación de Subrasante

CLASIFICACIÓN DE SUBRASANTE	CBR %
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%

Fuente: Manual de Carreteras MTC (2016)

¿De qué manera se utilizó la ceniza de afrecho de cebada en suelo natural?

La ceniza de afrecho de cebada es un estabilizador no convencional que se utilizará en diferentes porcentajes 10%, 15% y 20% respectivamente

¿De alguna manera el tipo de suelo varia cuando se le adiciona la CAC?

No se verá afectando puesto que el suelo estabilizado alberga la misma granulometría, por lo que mantiene la misma clasificación de suelos, lo único que varía sería sus propiedades.

¿Cuál es la composición química de la ceniza de afrecho de cebada del poblado de San Juan Taray de la provincia de Paruro departamento del Cusco?

Dentro de la composición química de la ceniza de afrecho de cebada tenemos un componente que es muy importante para la presente investigación que es el SiO₂ en un porcentaje de 58.30 %, el ensayo realizado fue el de análisis físico-químico mediante el método gravimétrico realizado en un Laboratorio de Química

Gráfico 84 Composición Química de la Ceniza de Afrecho de Cebada de San Juan de Taray



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
 Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS
 Nº0035-23-LAQ

SOLICITANTE: PEDRO GONZALO MORA CORTEZ
 STEFANO RODRIGO CHOQUETINCO SUAREZ

INSTITUCION: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

MUESTRA : CENIZA (AFRECHO DE CEBADA)

FECHA : 07/02/2023

RESULTADO ANALISIS:

SiO ₂ % (Silicio)	58.30
CaO % (Calcio)	8.10
MgO % (Magnesio)	10.90
Al ₂ O ₃ % (Aluminio)	8.26
Fe ₂ O ₃ % (Hierro)	3.20

ANÁLISIS DE TRAZAS, FOTOMETRICOS, J. Fries
 Cusco, 14 de Febrero 2023

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
 M. Ferrero Arceles
 IN-CUSAAC DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Fuente: Unidad de prestaciones deservicio de análisis químico- departamento académico de química - UNSAAC

¿La clasificación de suelo cambia, al ser estabilizada CAC, respecto al suelo natural?

Al añadir ceniza de afrecho de cebada en diferentes porcentajes no afecta la granulometría del suelo. Esto se debe a que los agentes estabilizadores pasan por el tamiz N° 200. Lo único que se ve afectado son los límites de consistencia del suelo alterado.

¿Qué costo represento la obtención de la ceniza de afrecho de cebada con la cual se trabajó?

Se realizo un análisis de costos unitarios para determinar el costo total de la obtención de la ceniza de afrecho de cebada



Gráfico 85 Análisis de Costos Unitarios para la obtención de la ceniza de afrecho de cebada

Presupuesto	0202004 TESIS						Fecha presupuesto	04/10/2007
Subpresupuesto	001 TESIS							
Paída	OBTENCION DEL AFRECHO DE CEBADA							
Rendimiento	kg/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000				Costo unitario directo por : kg	1.20
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
0210020003	Materiales AFRECHO DE CEBADA	m3		1.0000	1.20	1.20	1.20	
Paída	OBTENCION DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA							
Rendimiento	kg/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000				Costo unitario directo por : kg	6.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
0410010014	Subcontratos SC QUEMADO DE LA CENIZA	glb		1.0000	6.00	6.00	6.00	
Paída	TRANSPORTE DE MATERIAL							
Rendimiento	glb/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000				Costo unitario directo por : glb	101.10
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
03012200030005	Equipos CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.2500	10.0000	10.11	101.10	101.10	

Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene un costo total de S/. 108.30 por m3. Este valor sirve como referencia para la obtención de ceniza de afrecho de cebada para la elaboración de la presente investigación

b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

¿Cuál es la dosificación óptima de Ceniza de Afrecho de Cebada con la cual se tiene el mayor incremento de las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso?

Después de haber realizado los ensayos en la presente investigación, se observa que la dosificación más óptima viene a ser del 10% de ceniza de afrecho de cebada. El CBR del suelo natural + 10% CAC incrementa casi un 5.6 % comparándolo con el CBR de solo el suelo natural. Sin embargo, no es suficiente como para ser reclasificado en el rango de subrasante Muy Buena (S₄).

c) Comentario de la demostración de la hipótesis

¿Se reafirmo la hipótesis general?

Después de haber realizado los ensayos se pudo observar que las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray se ven incrementada. La diferencia no es mucha, pero si se ve influenciada positivamente el suelo estudiado

¿El incremento del CBR es directamente proporcional al porcentaje de CAC utilizado en suelo?



Como se puede observar después haber realizado los ensayos el mayor CBR se presenta al añadir 10% de CAC al suelo. Al aplicar 15% de CAC el CBR disminuye un poco. Sin embargo, lo más notorio sucede al aplicar 20% de CAC, el CBR disminuye drásticamente incluso estando por debajo del CBR del suelo en estado natural.

¿Cuál es el efecto de la ceniza de afrecho de cebada en la densidad del suelo estudiado?

Las cenizas volantes por lo general presentan un volumen considerablemente mayor a su peso. Esto genera que los suelos pierdan su densidad por lo cual tendrá mayor índice de vacíos.

- d) Aporte de la investigación

¿Qué aporte brinda esta investigación?

Todos los aportes de la presente investigación tienen lugar en la rama Geotecnia, debido a que se utiliza un aditivo no convencional soluble en agua cuyo principal fin es estabilizar la subrasante de un suelo arcilloso. Se evalúa las propiedades físico-mecánicas del suelo proveniente de la carretera Yaurisque - San Juan de Taray, estabilizando con ceniza de afrecho de cebada en distintos porcentajes.

- d) Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerando dentro de los objetivos de la investigación

¿El uso del presente aditivo (ceniza de afrecho de cebada) solo se limita al uso de la subrasante?

No, la ceniza de afrecho de cebada puede ser usado también en la estabilización de la subbase, esta hipótesis es en base al alto contenido de sílice que presenta en su estructura. Adicionalmente, se podría utilizar como aditivo junto al cemento para mejorar la resistencia del concreto siendo un complemento para los materiales de construcción.



GLOSARIO

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

ADITIVO: Sustancia o elemento que modifica las características de un cuerpo, para mejorar sus propiedades intrínsecas.

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para ensayos de Materiales.

CHO: Contenido de Humedad Optimo.

CAC: Ceniza de Afrecho de Cebada.

COHESIÓN: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal

COMPACTACIÓN: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

DEGRADACIÓN: Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla

DENSIDAD: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

DMS: Densidad Máxima Seca del Suelo.

ENERGÍA MODIFICADA: Energía de compactación equivalente a la del ensayo de Proctor Modificado

EQUIPO DE COMPACTACIÓN PESADO: Equipo de compactación como rodillos lisos y vibratorios sobre neumáticos, entre otros. Estos aplican una energía de compactación mayor que la brindada por los equipos comercializados antes de la segunda guerra mundial y representada en laboratorio, mediante el ensayo de Proctor Modificado

GS: Gravedad Especifica del Suelo.

HUMEDAD RELATIVA: Porcentaje de agua presente en el aire a una determinada temperatura.

MATERIAL FINO: Porción del Suelo que pasa por el tamiz N° 04.

MATERIAL TRATADO: Definición de material estabilizado con alguna adición que cumplirá una finalidad estructural.

MDS: Máxima Densidad Seca del Suelo.

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

NTP: Norma Técnica Peruana.



SUB RASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno) sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUCS: Unified Soil Classification System (USCS) o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

SUELOS ESTABILIZADOS: Son suelos pobres o inadecuados de baja estabilidad a los cuales es necesario adicionarle u estabilizador como cal, cemento o aditivo químico, iónico o no convencional.

TAMIZ: Aparato en un laboratorio usado para separar tamaños de material y donde las aberturas son cuadradas



CONCLUSIONES

Conclusión N° 01.

La hipótesis general se cumplió satisfactoriamente, que indica lo siguiente:

La adición de ceniza de afrecho de cebada como único agente estabilizador influye significativamente en el mejoramiento de subrasante con suelos arcillosos de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray mejorando las propiedades físico-mecánicas del suelo en estado natural

Después de añadir ceniza de afrecho de cebada (CAC) a la subrasante de suelo natural, se puede observar una ligera mejora en el CBR del suelo especialmente entre los porcentajes (10% de CAC y 15 % de CAC) respecto a su estado inicial. Si bien la diferencia no es mucha se podría considerar que la hipótesis fue cumplida.

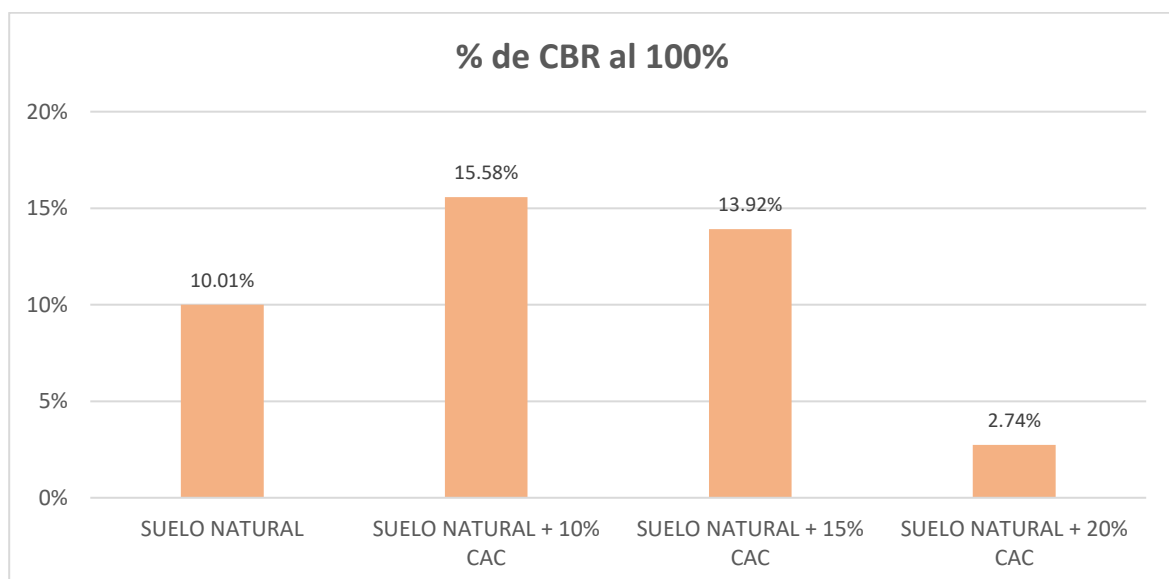
Además se puede observar que el máximo CBR es de 15.58% añadiendo 10% de CAC, este CBR comparándolo al CBR del suelo en estado natural es casi 1.5 veces más que su valor inicial

Tabla 68 Resumen de los resultados obtenidos

MUESTRAS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	PROCTOR MODIFICADO		CBR AL 100%		EXPANSIÓN
				DENIDAD MÁXIMA SECA	HUMEDAD OPTIMA (%)	0.1"	0.2"	56 GOLPES
SUELO NATURAL	34.41%	20.86%	13.56%	1.86	12.98%	10.01%	11.10%	0.54%
SUELO NATURAL + 10% CAC	41.55%	24.82%	16.73%	1.58	15.93%	15.58%	17.82%	0.87%
SUELO NATURAL + 15% CAC	40.20%	26.49%	13.71%	1.45	23.62%	13.92%	17.44%	0.72%
SUELO NATURAL + 20% CAC	39.98%	30.36%	9.61%	1.30	32.53%	2.74%	3.61%	0.61%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 86 Variación de los resultados del CBR



Fuente: Elaboración propia



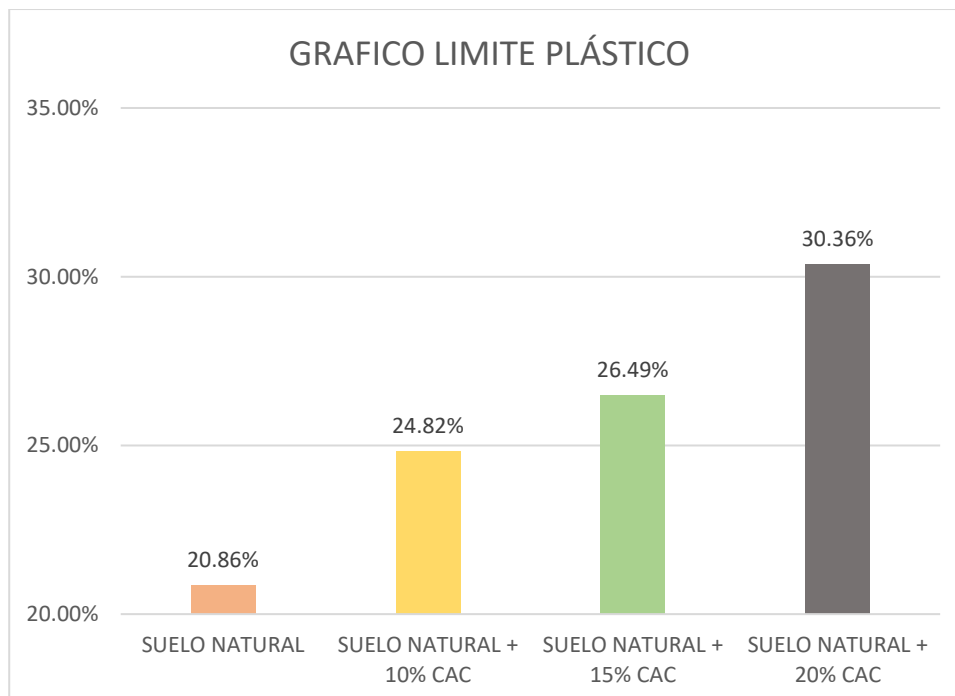
Conclusión N° 02.

La sub-hipótesis N°01 se cumplió parcialmente, que indica lo siguiente:

El suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco a nivel de subrasante, estabilizado con ceniza de afrecho de cebada; tendrá mejor límite plástico, menor límite líquido y aumentará el índice de plasticidad con la adición de la ceniza de afrecho de cebada

El suelo que se extrajo de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray estabilizado con ceniza de afrecho de cebada, si tiene mayor límite plástico como se aprecia en la figura N° 87, teniendo el mayor límite plástico cuando se añade 20% de CAC, incrementando 9.5% respecto al límite plástico del suelo natural.

Gráfico 87 Variación de los resultados del Límite Plástico

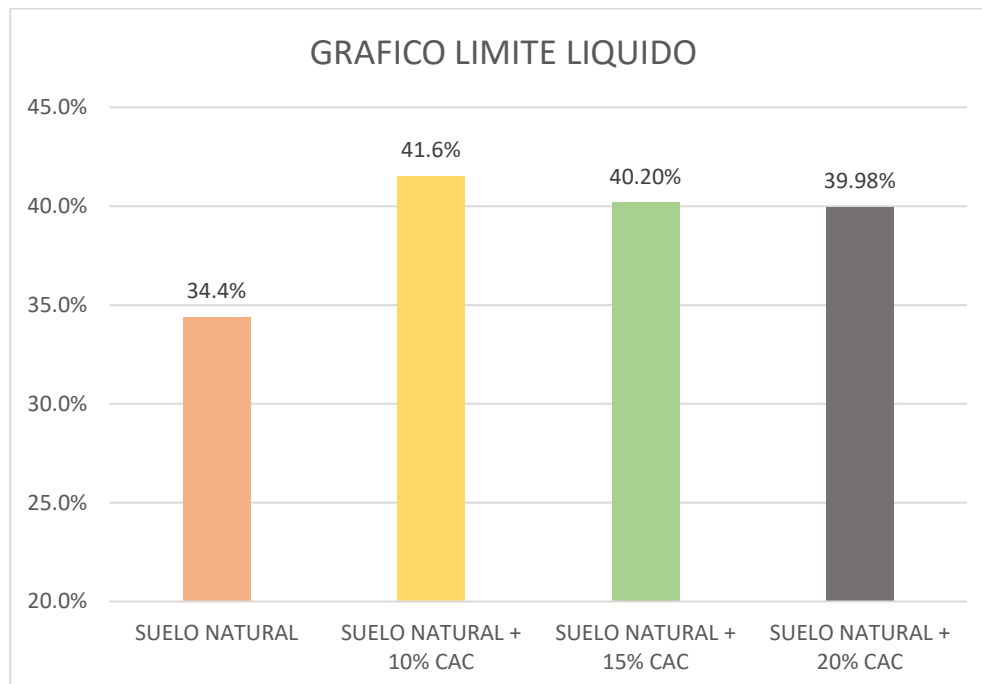


Fuente: Elaboración Propia

El suelo que se extrajo de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray estabilizado con ceniza de afrecho de cebada, si tiene mayor límite líquido como se aprecia en la grafica N° 88, teniendo el mayor límite líquido cuando se añade 10% de CAC, incrementando 7.2% respecto al límite líquido del suelo natural.



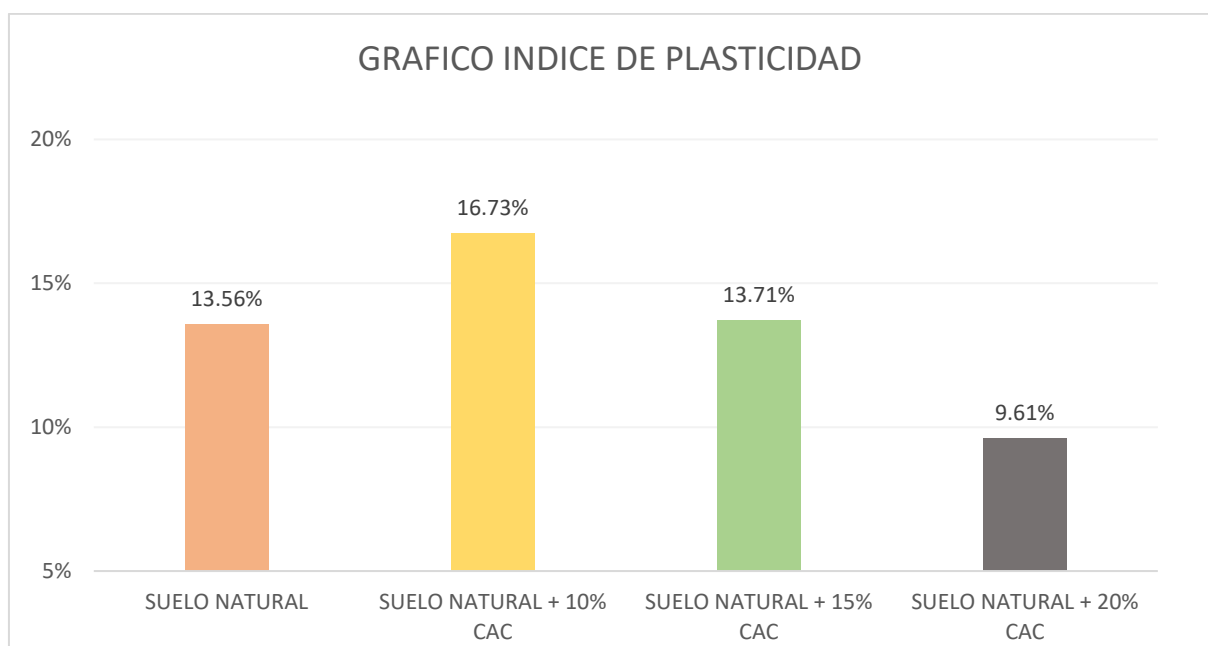
Gráfico 88 Variación de los resultados del Límite Líquido



Fuente: Elaboración Propia

El suelo que se extrajo de la carretera Yaurisque-San Juan de Taray estabilizado con ceniza de afrecho de cebada, si aumento su índice de plasticidad como se aprecia en la gráfica N° 89, teniendo el mayor índice de plasticidad cuando se añade 10% de CAC, incrementando 3.17% respecto al índice de plasticidad del suelo natural. Sin embargo, también se puede apreciar que al añadir 20% de CAC el índice de plasticidad disminuye en un 3.95%, estando por debajo del índice de plasticidad del suelo natural

Gráfico 89 Variación de los resultados del Índice de Plasticidad





Fuente: Elaboración Propia

Conclusión N° 03.

La sub-hipótesis N°02 se cumplió parcialmente, que indica lo siguiente:

La densidad del suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, disminuirá mientras más se añade ceniza de afrecho de cebada incrementará en el contenido óptimo de agua al agregar ceniza de afrecho de cebada.

Como se aprecia en la tabla N° 69 y en la gráfica N° 74, disminuyen progresivamente los valores de densidad máxima, esto es inversamente proporcional a al porcentaje de CAC agregado al suelo.

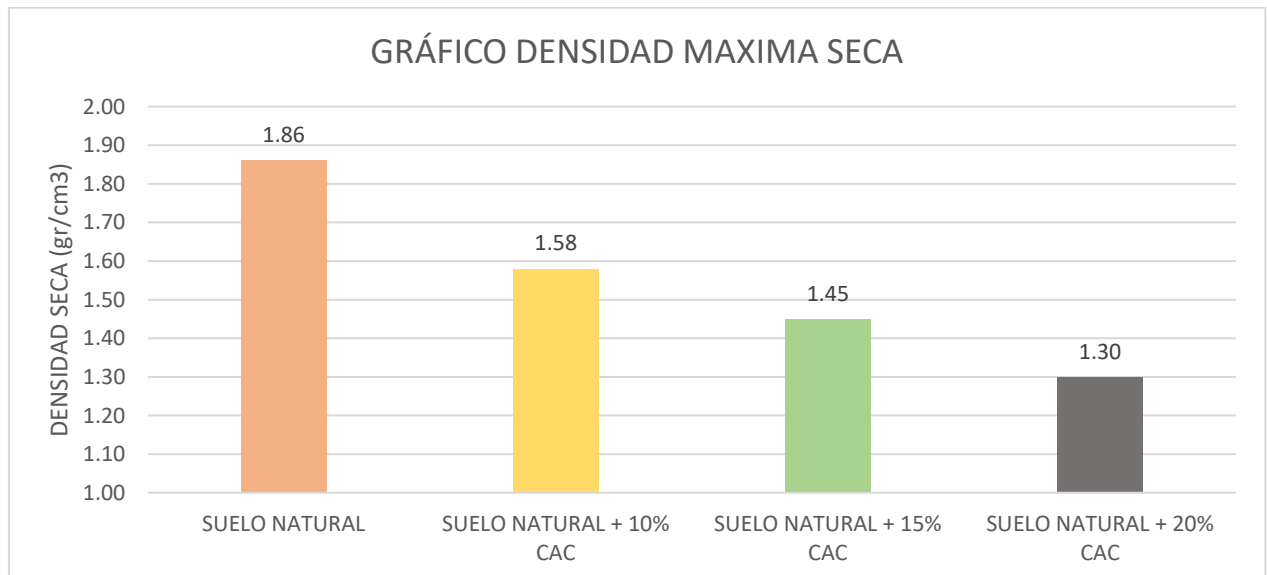
Al agregar 20% de CAC se obtiene la menor DMS y CHO frente a la densidad máxima del suelo en estado natural con una diferencia de 0.56 gr/cm³

Tabla 69 Cuadro Comparativo de DMS Y CHO según los porcentajes de CAC

MUESTRAS	DENIDAD MÁXIMA SECA (gr/cm ³)	HUMEDAD OPTIMA (%)
SUELO NATURAL	1.86	12.98%
SUELO NATURAL + 10% CAC	1.58	15.93%
SUELO NATURAL + 15% CAC	1.45	23.62%
SUELO NATURAL + 20% CAC	1.30	32.53%

Fuente: Elaboración Propia

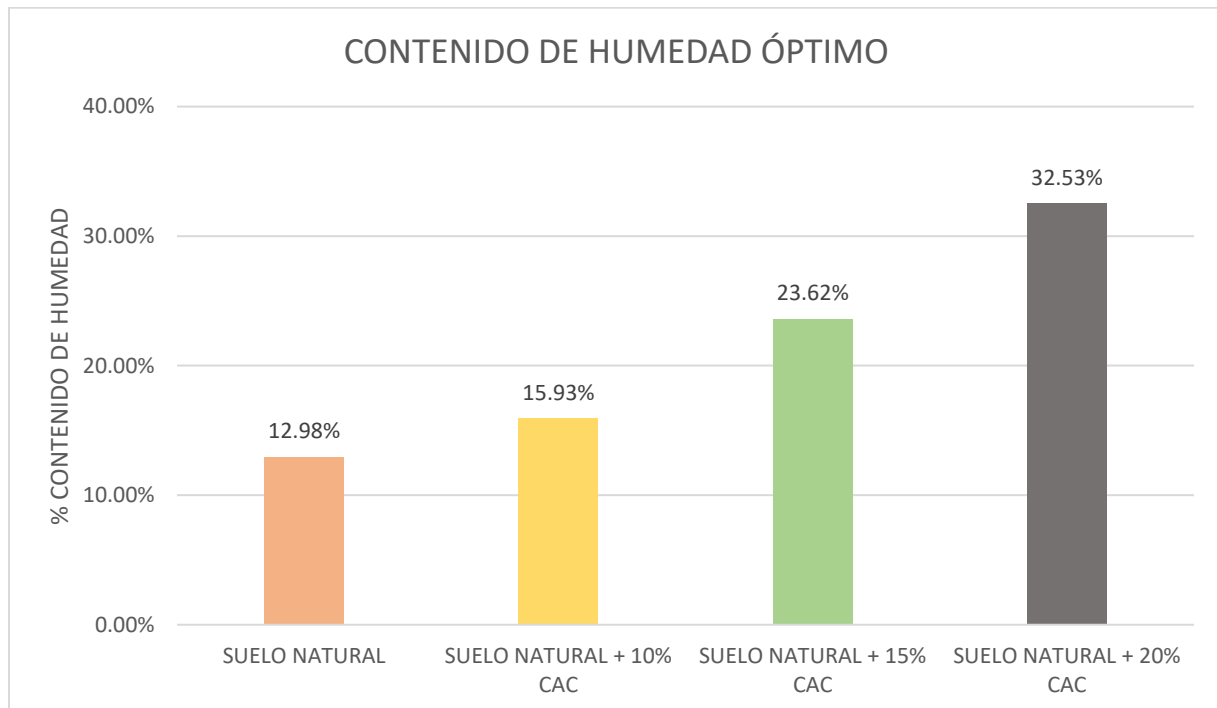
Gráfico 74 Variación de los resultados del Densidad Máxima Seca



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla N° 74 y en la figura N° 90, los valores de contenido de humedad óptima aumentan progresivamente según el porcentaje de CAC utilizado, siendo el 20% de CAC la mayor dosificación e incrementando en un 19.55% el contenido de humedad óptimo frente al suelo en estado natural

Gráfico 90 Variación de los resultados del Contenido de Humedad Óptimo



Fuente: Elaboración Propia

Conclusión N° 04.

La sub-hipótesis N°03 se cumplió parcialmente, que indica lo siguiente:

La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, utilizado a nivel de subrasante aumentará más del 30% estabilizado con ceniza de afrecho de cebada en porcentajes 15%.

Respecto a la Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la carretera Yaurisque San Juan de Taray si aumenta. Como se aprecia en la imagen N° 70 y en la tabla N° 91 se evidencia un aumento de 5.57%, siendo este el máximo valor respecto al suelo natural el cual corresponde a la dosificación de 10% de CAC. En el caso del 15% de CAC si existe incremento de CBR con respecto al suelo natural pero no se considera como el mas alto. En el caso de 20% de CAC se tiene un escenario diferente, puesto que alcanza un valor muy por debajo del esperado, incluso menor al CBR del suelo natural

El suelo estabilizado no llega cambiar de clasificación, de ser un suelo de Subrasante Buena (S₃) a un suelo de clasificación Subrasante Muy Buena (S₄) según el manual de carreteras:



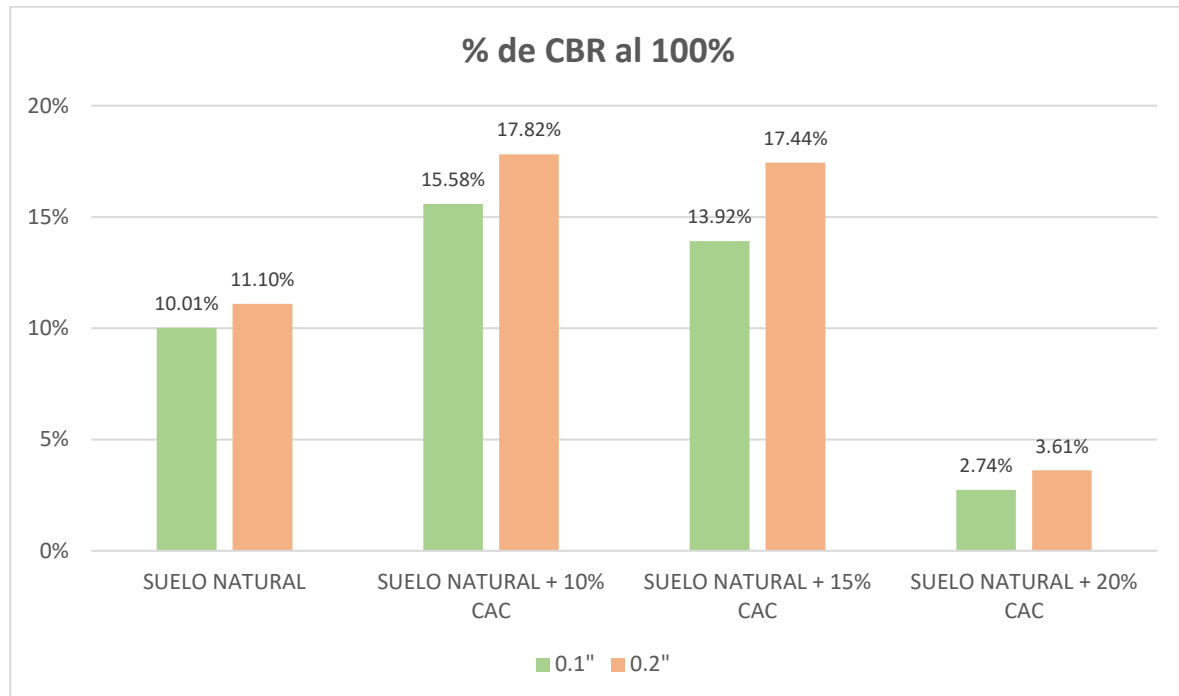
Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos: Suelos y Pavimentos y la Norma CE 010 Pavimentos Urbanos.

Tabla 70 Cuadro Comparativo de CBR y DMS según los porcentajes de CAC

CBR (%) AL 100%			
MUESTRAS	0.1"	0.2"	DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm2)
SUELO NATURAL	10.01%	11.10%	1.86
SUELO NATURAL + 10% CAC	15.58%	17.82%	1.58
SUELO NATURAL + 15% CAC	13.92%	17.44%	1.45
SUELO NATURAL + 20% CAC	2.74%	3.61%	1.30

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 91 Variación de los resultados del CBR



Fuente: Elaboración Propia

Conclusión N° 05.

La sub-hipótesis N°04 se cumplió, que indica lo siguiente:

La Expansión Del Suelo Obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, utilizado a nivel de subrasante disminuirá progresivamente en el rango de 10%, 15% y 20% de ceniza de afrecho de cebada

Después de observar la tabla N° 71 y la grafica N° 92, se puede inferir que el potencial de expansión del suelo logro disminuir, no de manera tan significativa como se esperaba pero definitivamente si se logro cumplir con nuestra hipótesis. Por lo tanto, se puede deducir que la ceniza de afrecho de cebada si reduce el potencial de expansión del suelo pero utilizándolo en dosificaciones correctas.

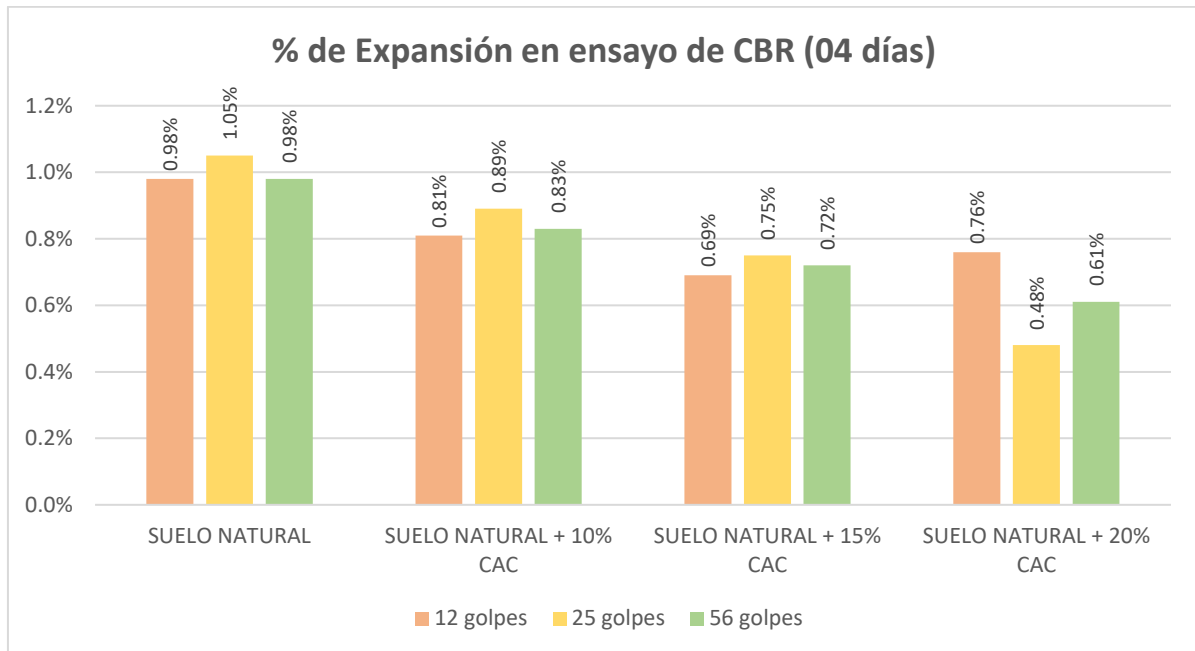


Tabla 71 Cuadro Comparativo del Porcentaje de Expansión según los porcentajes de CAC

MUESTRAS	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES
SUELO NATURAL	0.98%	1.05%	0.98%
SUELO NATURAL + 10% CAC	0.81%	0.89%	0.83%
SUELO NATURAL + 15% CAC	0.69%	0.75%	0.72%
SUELO NATURAL + 20% CAC	0.76%	0.48%	0.61%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 92 Variación de los resultados de % de Expansión en ensayo de CBR



Fuente: Elaboración Propia



RECOMENDACIONES

Recomendación N° 01

Previo elaboración de los ensayos se debe verificar que los equipos, herramientas y materiales se encuentren en óptimas condiciones, se debe reducir lo máximo el error y así tener una mayor credibilidad en los resultados

Recomendación N° 02

La obtención de ceniza de afrecho de cebada debe realizarse en hornos industriales bajo temperaturas que alcancen los 800° C para así obtener más Sílice que es el que proporciona la resistencia al suelo

Recomendación N° 03

Se recomienda la estabilización de suelos arcillosos con ceniza de afrecho de cebada puesto que es una alternativa económica, es un material reciclado y además que no contamina el medio ambiente con resultados favorables

Recomendación N° 04

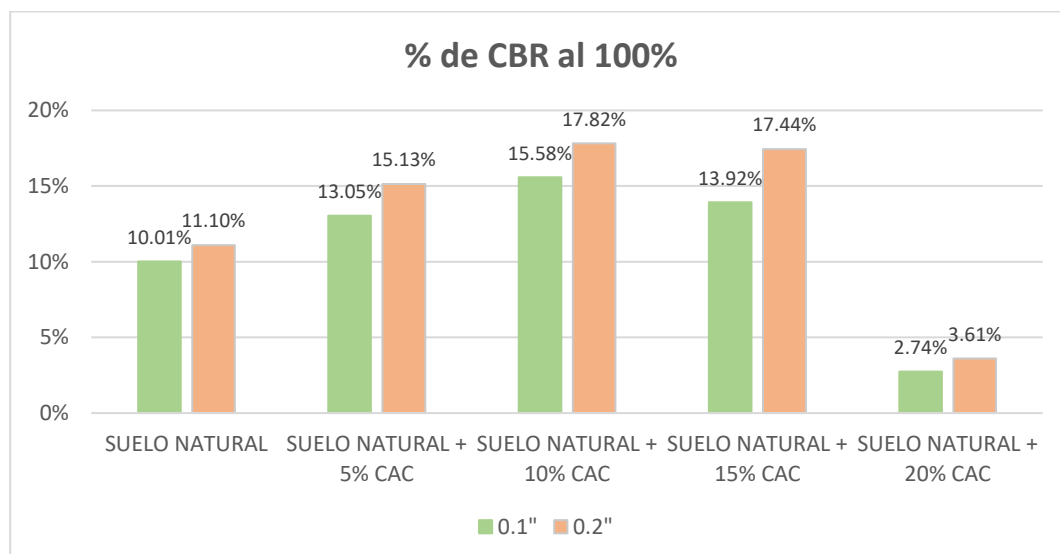
La ceniza de afrecho de cebada se obtuvo de las cervecerías artesanales entonces los resultados obtenidos solo aplicarían al tipo de cebada utilizada por estos

Recomendación N° 05

Las zonas de la carretera Yaurisque - San Juan de Taray que no cumplan con el CBR adecuado pueden ser estabilizadas con Ceniza de Afrecho de Cebada al 10%, puesto que los resultados demuestran que este el porcentaje óptimo para tener mejores resultados

Recomendación N° 06

Al analizar los resultados de CBR se observó que el mejor resultado es agregando 10% de CAC, por lo tanto se pudo suponer que agregando 5% de CAC podría tener resultados más prometedores respecto al CBR. Adicionalmente, se desarrolló un ensayo de CBR al agregar 5% de CAC el cual alcanzo un valor de CBR de 13.05%, el cual no supera del CBR del 10% de CAC pero queda como antecedente para futuras investigaciones.





Referencias Bibliográficas

- ASTM D-2216. (1998). Método De Prueba Estándar Para La Determinación En Laboratorio Del Contenido De Agua (Humedad) De Suelos Y Rocaspor Masa.
- ASTM D-422-63. (1998). Método De Análisis Del Tamaño De Las Partículas De Suelo.
- Castro Cuadra, A. F. (2017). Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante (tesis de pregrado). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Diaz Ospina, H. V. (14 de diciembre de 2010). Slideshare. Obtenido de Slideshare: https://es.slideshare.net/HECTORVICENTEDIAZOSPINA/4-definicion-de-suelo?from_action=save
- Goñas Labajos, O. (2019). Estabilización de suelos con cenizas de carbon para uso como subrasante mejorada (tesis de pregrado). Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Grupo DIGAMMA. (16 de noviembre de 2016). Revista Peru Construye. Obtenido de Revista Peru Construye: <https://peruconstruye.net/2018/11/16/peru-que-porcentaje-de-la-red-vial-no-esta-pavimentada/>
- Hernandez Madrigal, T. S. (2006). Estudio de la composicion quimica de la cebada cultivada en Zapotlan, Villa de Tezontepec y Tultengo, Hidalgo (tesis de pregrado). Pachuca: Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo.
- Landa Alarcon, J. Y., & Torres Montesinos, S. F. (2019). Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas (tesis de pregrado). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras, Seccion de Suelos y Pavimentos. Lima: MTC.
- Montejo Fonseca, A. (2010). INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. Bogota: Stella Valbuena de Fierro.
- More García, S. M., & Ydrogo Gonzáles, E. d. (2019). Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa (tesis de pregrado). Tarapoto: Universidad Cesar Vallejo.
- MTC. (2016). Manual de Ensayos de Materiales. Lima.
- NTP CE. 010. (2010). Pavimentos Urbanos.
- Pozo Carbajal, D. P. (2019). Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce el Porongo- aeropuerto-Cajamarca (tesis de pregrado). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Reategui Puscan, J. A. (2018). Influencia del aditivo Proes para mejorar la estabilización de la subrasante del tramo Lahuarpía – Emilio San Martin, Jepelacio, Moyobamba 2017 (tesis de pregrado). Moyobamba: Universidad Cesar Vallejo.



- SNIP. (2015). Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas.



ANEXOS

ANEXO 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA


TEMA: "INFLUENCIA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA EN EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN SUELO ARCILLOSO, CARRETERA YAURISQUE-SAN JUAN DE TARAY - CUSCO AL 10%, 15% Y 20%"					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Problema General	Objetivo Central	Hipótesis General	Variable Independiente		
¿Cómo influye la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?	Establecer la influencia de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%	La influencia en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco incrementaran al utilizar ceniza de afrecho de cebada en un porcentaje del 15%	Variable Independiente (X1): ceniza de afrecho de cebada	Porcentaje (%)	Ficha de datos
			Variable Independiente (X2): suelos arcillosos	Clasificación de suelos SUCS y AASHTO	Ficha de datos
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cómo varía el Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?	Determinar la variación del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad del suelo obtenido con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%	El suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco a nivel de subrasante, estabilizado con ceniza de afrecho de cebada; tendrá mejor limite plástico, menor limite líquido y aumentará el índice de plasticidad con la adición del 15% de la ceniza de afrecho de cebada	Variable Dependiente (Y1): Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad	Límite Líquido (%) Límite Plástico (%) Índice de plasticidad (%)	ficha de recolección de datos de laboratorio




¿Cómo varía la Densidad Máxima y la Humedad Óptima de suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%	Analizar la variación de la densidad máxima y humedad óptima de suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%	La densidad del suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, disminuirá mientras más se añade ceniza de afrecho de cebada incrementará en el contenido óptimo de agua al agregar más ceniza de cáscara de afrecho.	Variable Dependiente (Y2): Densidad máxima, humedad óptima	Densidad Máxima (gr/cm ³) Humedad Óptima (%)	ficha de recolección de datos de laboratorio
¿De qué modo influye en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?	Analizar comparativamente la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%	La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, utilizado a nivel de subrasante aumentará más del 30% estabilizado con ceniza de afrecho de cebada en porcentajes 15%.	Variable Dependiente (Y3): Valor del CBR	CBR (%)	ficha de recolección de datos de laboratorio
¿Cómo se altera la Expansión del suelo obtenido con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%?	Evaluar la variación de la Expansión del suelo con la adición de la ceniza de afrecho de cebada en el mejoramiento de subrasante en suelo arcilloso, Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco al 10%, 15% Y 20%	La Expansión Del Suelo Obtenido de la Carretera Yaurisque-San Juan de Taray - Cusco, utilizado a nivel de subrasante disminuirá progresivamente en el rango de 10%, 15% y 20% de ceniza de afrecho de cebada	Variable Dependiente (Y4): Expansión de suelos	Expansión (%)	ficha de recolección de datos de laboratorio



ANEXO 02 COMPOSICIÓN QUIMICA DE LA CENIZA DE AFRECHO DE CEBADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
 Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0035-23-LAQ

SOLICITANTE: PEDRO GONZALO MORA CORTEZ
 STEFANO RODRIGO CHOQUETINCO SUAREZ

INSTITUCION: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO


MUESTRA : CENIZA (AFRECHO DE CEBADA)

FECHA : C/07/02/2023

RESULTADO ANALISIS:

SiO ₂ % (Silicio)	58.30
CaO % (Calcio)	8.10
MgO % (Magnesio)	10.90
Al ₂ O ₃ % (Aluminio)	8.26
Fe ₂ O ₃ % (Hierro)	3.20

ANALISIS DE TRAZAS, FOTOMETRICOS, J. Fries
 Cusco, 14 de Febrero 2023


 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis Químico
 Responsable del Laboratorio de Análisis Químico



ANEXO 03 PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 01: Afrecho de Cebada



Fotografía 02: Proceso de quemado del Afrecho de Cebada



Fotografía 03: Ceniza de Afrecho de Cebada



Fotografía 04: Excavación de Calicatas



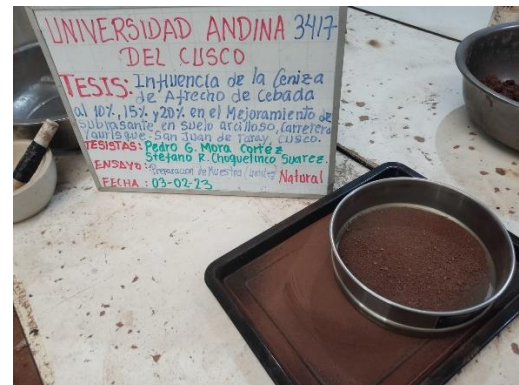
Fotografía 05: Cuarteo de muestras



Fotografía 06: Tamizado de la muestra



Fotografía 07: Secado de la muestra
(granulometría)



Fotografía 08: Preparación de muestras
(ensayo de límites de Atterberg)



Fotografía 09: Ensayo Límite Líquido



Fotografía 10: Ensayo Límite Plástico



Fotografía 11: Muestras Límite Líquido



Fotografía 12: Muestras Límite Plástico



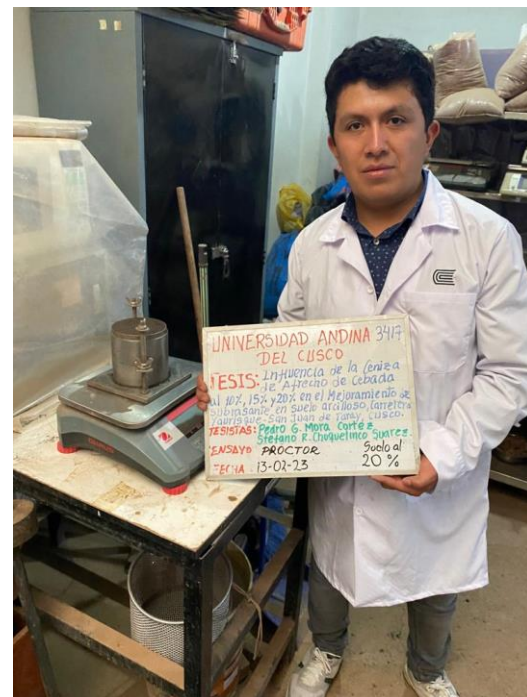
Fotografía 13: Mezcla de suelo y ceniza de afrecho de cebada



Fotografía 14: Preparación de muestra para ensayo de Proctor Modificado



Fotografía 15: Ensayo de Proctor Modificado



Fotografía 16: Pesado de muestra para ensayo de Proctor Modificado



Fotografía 17: Apisonado para el ensayo de CBR



Fotografía 18: Preparación de muestras del CBR listas para ser sumergidas



Fotografía 19: Ensayo de CBR



Fotografía 20: Lectura del dial para determinar la expansión de la muestra