

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el
mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al 6+100 del
tramo Asirumi – Rosaspata Huancané**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:
Bach. Brayan Vargas Gonza

Asesor:
Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, setiembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON CENIZA VOLCÁNICA PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN LA PROGRESIVA KM 5+100 AL 6+100 DEL TRAMO ASIRUMI – ROSASPATA HUANCANÉ”** constituye la memoria que presenta el Bachiller **Brayan Vargas Gonza** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 20 días del mes de octubre del año 2020



Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona
Asesora



095

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 11 día(s) del mes de Setiembre del año 2020 siendo las 11:00 horas,

se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Herson Duberly Pari Cusi, el

secretario: Mg. Efraim Velasquez Mamani y los demás

miembros: Mg. Arnaldo Bahui Galarza - Ing. Percy Domingo Cota Mayorga y el asesor Ing. Rina Luzmey Jampara

Bicona con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva Km 5+100 al 6+100 del tramo Sirani - Rosaspata Huancabne

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) Brayan Vargas Yonza b)

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Brayan Vargas Yonza

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy bueno</u>

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente

Eduardo
Secretario

Asesor

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado vida y salud para lograr mis objetivos. A mi familia, a mis padres Felix Vargas y Rosa Gonza, a mi hermana Kravitz Vargas y en especial a mi abuelo Adrian Gonza que nos cuida siempre.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la oportunidad de conocer nuevas experiencias y por su presencia en todo momento; a mis padres presentes en las buenas y sobre todo en las malas, a toda mi familia y amigos por ser partícipe de cada logro. A mi asesora de tesis, Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona por su opinión técnica en cada proceso de esta investigación.

Índice general

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice general.....	vi
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	xi
Símbolos usados.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Capítulo I. El problema.....	15
1.1 Identificación del problema.....	15
1.2 Problema general.....	15
1.3 Problemas específicos.....	15
1.4 Justificación.....	16
1.5 Objetivos.....	17
1.5.1 Objetivo general.....	17
1.5.2 Objetivos específicos.....	17
Capítulo II. Marco teórico.....	18
2.1 Revisión de literatura.....	18
2.2 Antecedentes.....	18
2.3 Generalidades.....	19
2.4 Puzolanas.....	19
2.4.1 Tipos de puzolanas.....	19
2.5 Ceniza volcánica.....	20
2.5.1 Origen de la ceniza volcánica.....	20
2.5.2 Composición química de la ceniza volcánica.....	20
2.6 Suelo arcilloso.....	21
2.6.1 Clasificación de las arcillas.....	22
2.6.2 Propiedades físicas y químicas.....	23
2.7 Pavimento.....	24
2.7.1 Carpeta.....	25
2.7.2 Base.....	25
2.7.3 Subbase.....	25
2.7.4 Subrasante.....	26

2.8	Estabilización de suelos	27
2.8.1	Estabilización física-mecánica	27
2.8.2	Estabilización química	27
2.9	Estabilización química con ceniza	28
2.10	Ensayos en campo (in situ)	28
2.10.1	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)	28
2.10.2	Muestreo de suelos	29
2.11	Ensayos en laboratorio	31
2.11.1	Ensayo químico	31
2.11.2	Ensayos físicos.....	32
2.11.3	Ensayos mecánicos	37
	Capítulo III. Materiales y métodos	40
3.1	Suelo arcilloso	40
3.1.1	Ubicación geografía del proyecto de investigación	40
3.1.2	Extensión.....	41
3.1.3	Relieve.....	41
3.1.4	Clima.....	41
3.1.5	Accesibilidad.....	41
3.2	Ceniza volcánica	41
3.2.1	Accesibilidad.....	42
3.3	Población y muestra	43
3.3.1	Población	43
3.3.2	Muestra.....	43
3.4	Diseño de investigación	46
3.5	Unidad de estudio	47
3.6	Formulación de hipótesis	47
3.6.1	General.....	47
3.6.2	Específicos	47
3.7	Identificación de variables.....	48
3.8	Recolección de datos	49
3.8.1	Ensayos en campo (in situ).....	49
3.8.2	Ensayos en laboratorio	50
3.9	Análisis estadístico de datos.....	51
	Capítulo VI. Resultados y discusión	53
4.1	Penetrometro Dinámico de Cono (PDC)	53
4.2	Muestreo de suelos	53

4.3	Difracción de rayos X	54
4.4	Granulometría.....	56
4.5	Límites de Atterberg.....	57
4.6	Clasificación de suelos.....	57
4.7	Proctor modificado	58
4.8	California Bearing Ratio (CBR)	59
4.9	Prueba de hipótesis de la investigación	60
4.9.1	Prueba de hipótesis específica 01	61
4.9.2	Prueba de hipótesis específica 02	65
	Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	68
5.1	Conclusiones	68
5.2	Recomendaciones.....	69
	Referencias	70
	Anexos.....	72

Índice de tablas

Tabla 1 Categorías de subrasante.....	26
Tabla 2 Número de calicatas para exploración de suelos.....	30
Tabla 3 Clasificación de suelos de acuerdo al Índice de Plasticidad.....	35
Tabla 4 Ubicación de los puntos de exploración, en el centro poblado de Sicta, del tramo Asiruni – Rosaspata en la Provincia de Huancané	41
Tabla 5 Valores de Z para determinar el nivel de confianza.....	44
Tabla 6 Nomenclatura de tratamientos de suelo arcilloso y ceniza volcánica.....	47
Tabla 7 Matriz de consistencia.....	48
Tabla 8 Operacionalización de variables	49
Tabla 9 Resultados del ensayo PDC in situ	53
Tabla 10 Compuestos químicos presentes en la arcilla	54
Tabla 11 Compuestos químicos presentes en la ceniza volcánica.....	55
Tabla 12 Resultado de Índice de Plasticidad para el suelo arcilloso, ceniza volcánica y las combinaciones.....	57
Tabla 13 Clasificación de suelos para las combinaciones de suelo y ceniza volcánica	58
Tabla 14 Resultado de ensayos de compactación de suelo arcilloso y combinaciones con ceniza volcánica	59
Tabla 15 Resultado de expansión a los 4 días de saturación en el suelo arcilloso y tratamiento con ceniza volcánica	59
Tabla 16 Resultado de valores de capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, para cada tratamiento de suelo arcilloso con ceniza volcánica.....	60
Tabla 17 Estadístico descriptivo para la plasticidad.....	62
Tabla 18 Prueba estadística ANOVA para la plasticidad	62
Tabla 19 Comparaciones múltiples de Dunnett para la plasticidad	62
Tabla 20 Estadístico descriptivo para la expansión	64
Tabla 21 Prueba estadística ANOVA para la expansión.....	64
Tabla 22 Comparaciones múltiples de Dunnett para la expansión.....	65
Tabla 23 Prueba T para muestras relacionadas.....	67

Índice de figuras

Figura 1. Composición química de la ceniza volcánica.....	21
Figura 2. Unidad estructural tetraédrica del suelo arcilloso	22
Figura 3. Unidad estructural octaédrica del suelo arcilloso.....	22
Figura 4. Componentes de la estructura de un pavimento	25
Figura 5. Ensayo con equipo Penetrometro Dinámico de Cono para el cálculo de CBR in situ.	29
Figura 6. Equipo de laboratorio para ensayo de Difracción de Rayos X	31
Figura 7. Ensayo de granulometría.....	33
Figura 8. Ensayo de límite líquido con la Copa de Casagrande	34
Figura 9 . Ensayo de límite plástico	34
Figura 10. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	36
Figura 11. Sistema de clasificación AASHTO	37
Figura 12. Ensayo de compactación Proctor Modificado	38
Figura 13. Ensayo de California Bearing Ratio.....	39
Figura 14. Ubicación territorial de la intervención, Distrito de Vilquechico, Provincia de Huancané, Departamento de Puno.....	40
Figura 15. Ceniza volcánica esparcida alrededor del volcán Sabancaya, sector Sallalli - Achoma - Arequipa.....	42
Figura 16. Visualización de suelo arcilloso en el sub tramo de estudio.....	45
Figura 17. Puntos de exploración en el sub tramo ubicado en el centro poblado de Sicta, del tramo Asiruni – Rosaspata en la provincia de Huancané.....	46
Figura 18. Exploración de suelos realizada en la zona de estudio tramo Asiruni - Rosaspata	54
Figura 19. Difractograma del suelo arcilloso	55
Figura 20. Difractograma de la ceniza volcánica.....	56
Figura 21. Curva granulométrica del suelo arcilloso, ceniza volcánica y sus combinaciones con adición del 15, 20 y 25% de ceniza.....	56
Figura 22 Variación del Índice de Plasticidad con adición del 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza volcánica.....	61
Figura 23. Variación de la expansión con adición del 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza volcánica.....	63
Figura 24. Comparación del CBR con adición del 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza volcánica.....	66

Índice de anexos

Anexo A. Registro de ensayos en campo.....	73
Anexo B. Registro de ensayos en laboratorio	82
Anexo C. Conteo de tráfico vehicular	123
Anexo D. Plano estratigráfico.....	125
Anexo E. Panel fotográfico.....	127

Símbolos usados

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

ASTM : American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

CBR: : California Bearing Ratio (Relación de Soporte California)

Hi : Hipótesis de investigación.

H0 : Hipótesis nula.

IMDA : Índice Medio Diario Anual.

MDS : Máxima densidad seca.

MTC : Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

SUCS : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Resumen

Los suelos arcillosos debido a su baja capacidad de soporte y mala calidad no son recomendados para ser empleados en proyectos de pavimentación. Por consiguiente la presente tesis de investigación tuvo como objetivo general evaluar la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané; y objetivos específicos como, determinar la variación de las propiedades físicas del suelo (plasticidad y expansión), conocer la variación de la capacidad de soporte del suelo e identificar el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR).

Por lo cual la investigación consistió en desarrollar un método de tipo cuasi experimental, para la estabilización de un suelo arcilloso, mediante la adición de ceniza volcánica en porcentajes de 15%, 20% y 25%, la cual fue obtenida de los alrededores del volcán Sabancaya.

En consecuencia el suelo arcilloso clasificado como CL o A-6(9), al combinarse con la ceniza volcánica disminuye su plasticidad (IP) de 14.85% a 9.08% y expansión de 1.074% a 0.304%. La variación de la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica es significativa, CBR = 4.58% para la muestra patrón y 8.20%, 11.75%, 6.80% con adición de ceniza volcánica en 15%, 20% y 25% respectivamente. Comparando los resultados obtenidos en laboratorio se concluye que la adición del 20% de ceniza volcánica es el más óptimo, incrementando la capacidad de soporte (CBR) en un 61.02% respecto a la muestra patrón.

Concluyendo que el uso de la ceniza volcánica mejora las propiedades físicas (plasticidad y expansión) e incrementa significativamente la capacidad de soporte (CBR) del suelo arcilloso, según el MTC, pasando de una subrasante pobre a una subrasante buena.

Palabras clave: Estabilización de suelo, ceniza volcánica, subrasante.

Abstract

Clay soils due to their low bearing capacity and poor quality are not recommended for use in paving projects. Therefore, the general purpose of this research project was to evaluate the stabilization of soils composed by clay with volcanic ash for the improvement of subgrade in the progressive km 5+100 to km 6+100 of a section located between Asiruni - Rosaspata, Huancané districts; and specific objectives such as deciding the variation of the physical properties of the soil (such as plasticity and expansion), knowing the variation of the soil bearing capacity and to identify the optimal percentage of volcanic ash addition according to its bearing capacity (CBR).

Therefore, the research consisted in developing an quasi experimental method for the stabilization of clay composed soil by adding volcanic ash in percentages of 15%, 20% and 25%, which was obtained from the surroundings of the Sabancaya volcano.

Consequently, the clay composed soil classified as CL or A-6(9), when combined with the volcanic ash decreases its plasticity (IP) from 14.85% to 9.08% and expansion from 1.074% to 0.304%. The variation of the support capacity of the clay soil with the addition of volcanic ash is significant, CBR = 4.58% for the standard sample and 8.20%, 11.75%, 6.80% with the addition of volcanic ash in 15%, 20% and 25% respectively. Comparing the results obtained in the laboratory, it is concluded that the addition of 20% volcanic ash is the most optimal, increasing the bearing capacity (CBR) by 61.02% respectively to the pattern sample results.

Concluding that the use of volcanic ash improves the physical properties (plasticity and expansion) and significantly increases the bearing capacity (CBR) of the clay composed soils, according to the MTC, going from a poor subgrade to a good subgrade.

Keywords: Soil stabilization, volcanic ash, subgrade.

Capítulo I. El problema

4.1 Identificación del problema

A nivel mundial se ha determinado que el comportamiento de los suelos arcillosos es inestable, en función de la humedad que presentan. La FAO (2009) menciona que “los suelos ricos en arcillas se expanden y contraen luego de secarse”

Por lo cual estos no son recomendados como subrasante en la construcción de carreteras, por su elevada plasticidad, reducida capacidad de soporte e inestabilidad de volumen. El MTC (2014) indica que “dependiendo de la cantidad de estrato arcilloso, este puede ser un elemento riesgoso en un suelo de subrasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua”

De tal manera la Selva Peruana presenta usualmente suelos conformados por grandes estratos de arcilla, lo que disminuye el tiempo de vida útil y hace intransitable las carreteras.

Ademas en el departamento de Puno se ha visto que para estabilizar suelos comúnmente se usa la combinación o sustitución de suelos, optando por un material de préstamo que a corto y largo plazo ocasiona un impacto ambiental en el ecosistema a causa de la depredación de canteras.

Así el tramo de la progresiva km 5+100 al km 6+100 está compuesta por suelo arcilloso, presentando todos los problemas mencionados anteriormente.

4.2 Problema general

¿Se puede estabilizar un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané?

4.3 Problemas específicos

¿Cuál es la variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica?

¿Cuál es la variación de la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica?

¿Cuál es el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR)?

4.4 Justificación

Se propone el uso de ceniza volcánica como material estabilizante, mitigando la depredación de canteras y logrando una mayor sostenibilidad medioambiental. El estudio de diferentes materiales con el objetivo de aumentar la capacidad de soporte de los suelos, ha alcanzado un auge en los países desarrollados.

Suriano (2018) señala que “las principales industrias consumidoras de cenizas volantes en los Estados Unidos las utilizan en cemento Portland, en bases y subbases, autopistas, carreteras y estabilización de suelos, obteniendo resultados satisfactorios”

Así mismo en Latinoamérica se emplea ceniza volante en la construcción de obras civiles. En el año 2015 el proyecto de investigación realizado por la Universidad Nacional de Río Negro de Argentina, logró crear un ladrillo apto para la construcción de casas, utilizando ceniza volcánica para la fabricación de estas. Obteniendo resultados positivos, ya que resultan más duraderos que el ladrillo tradicional y con resistencia térmica cuatro veces superior.

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

La utilización de la ceniza volcánica no genera costos en su producción, este material se encuentra esparcida de manera natural en los alrededores de la parte inferior del volcán, habiendo una gran cantidad de material. Y al contrario su uso reducirá el impacto que provoca

a su alrededor, aprovechándola para solucionar otro problema que se presenta en la construcción de obras viales.

“Ciertamente la actividad eruptiva del volcán Sabancaya comenzó en noviembre del 2016, hasta la fecha. Durante los últimos meses el espesor en las caídas de ceniza ha incrementado, sobre todo en los anexos Sallalli y Patapampa del distrito Achoma” (Manrique y Vela, 2018)

4.5 Objetivos

4.5.1 Objetivo general

Evaluar la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané.

4.5.2 Objetivos específicos

Determinar la variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica.

Conocer la variación de la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.

Identificar el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR).

Capítulo II. Marco teórico

5.1 Revisión de literatura

En diversos países se ha empleado cenizas; de carbón, de cáscara de arroz, volantes, etc; con el objetivo de estabilizar suelos de baja capacidad de soporte en la construcción de pavimentos. Existiendo referencia de su buen desempeño, por investigaciones realizadas en Estados Unidos, Europa y Brasil, concluyendo que la ceniza estabiliza químicamente el suelo arcilloso mejorando sus propiedades mecánicas para su utilización en la construcción de obras viales.

La presente tesis pretende evaluar el comportamiento que tendrá el suelo arcilloso con la adición de este material, comprobándolo a través de ensayos de laboratorio, de tal manera establecer este material como un nuevo método de estabilización que permita mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

5.2 Antecedentes

Así Alhassan (2008) citado por Castro (2017) mejoró el CBR de un suelo arcilloso altamente plástico, incrementando de un valor de 5.5% hasta un 15% en condiciones saturadas y para condiciones secas de 8,5% hasta 18,5%, utilizando entre un 6 a 8% de ceniza de cáscara de arroz para estabilizar dicho suelo.

También Behak & Peres (2008) realizaron la estabilización de un suelo arenoso proveniente de Montevideo, Uruguay, utilizando ceniza de cáscara de arroz y cal para el uso en pavimentos. El CBR inicial del suelo fue de 9%, incrementando hasta 25% con la adición de 20% de ceniza de cáscara de arroz y 10% de Cal.

Asimismo Perez (2014) concluyó que el valor del (CBR) aumentó considerablemente de 8.3% a 17.3%, adicionándole ceniza volante en una proporción de 20%.

Por su parte Castro (2017) incrementó el valor de soporte de california (CBR) de 5% hasta 19.4% realizando combinaciones de suelo arcilloso con un 20% de ceniza de cascara de arroz.

Inclusive Terrones (2018) con ceniza de bagazo de caña de azúcar mejoró de una subrasante con CBR promedio de 1.823% (subrasante muy mala), a obtener un (CBR) promedio de 22.267% (subrasante muy buena) con la adición del 15% de CBCA.

Finalmente Huancoillo (2017) estabilizó un suelo (SC) arenas arcillosas, adicionando Ceniza Volante 5% y Cal 5%, el CBR incremento notablemente desde un 20% hasta 103%. Por lo que puede ser usado en pavimentación.

5.3 Generalidades

Los suelos arcillosos, al estar en contacto con el agua, tienden a presentar inestabilidad en su estructura, lo que hace que este suelo sea clasificado como no apto para su utilización en la construcción de obras viales.

“El estudio de suelos es muy relevante ya que constituyen el componente principal de todo tipo de proyectos; en obras viales, estos deben ser capaces de soportar cargas en condiciones más críticas en relación con el medio ambiente” (Cañar, 2017).

Entonces de lo contrario se recurre a la estabilización de suelos, mejorando las propiedades mecánicas y físicas de estos suelos. Por lo que la ceniza volcánica puede ser utilizada como material estabilizante, sin generar muchos costos adicionales en su adquisición y mitigando los problemas que ocasiona en su entorno.

5.4 Puzolanas

Vega (2006) citado por Llamoga (2017) menciona que “los materiales puzolánicos son sólidos inorgánicos de naturaleza silícea o sílice aluminosa de origen natural o artificial”

5.4.1 Tipos de puzolanas

Según su origen las puzolanas se clasifican en dos grupos, naturales y artificiales:

5.4.1.1 Puzolanas naturales

“Entre las principales puzolanas naturales, tenemos las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas” (Allauca et al, 2009).

5.4.1.2 Puzolanas artificiales

“Las puzolanas artificiales son materiales que son el resultado de un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales; tales como, residuos de bauxita, polvos de chimeneas de altos hornos, cenizas volantes, etc.” (Llamoga, 2017).

5.5 Ceniza volcánica

5.5.1 Origen de la ceniza volcánica

La ceniza volcánica constituida por pequeñas partículas corresponde al magma del interior de los volcanes. “Es el resultado de una roca que ha sido convertida en polvo o arena debido a la actividad volcánica, presenta un tamaño inferior a 2 mm y se manifiestan en columnas eruptivas a grandes alturas, las cuales son trasladadas por el viento” (Suriano, 2018).

Este material es roca hecha polvo, denominada fragmentación magmática. La ceniza volcánica no es un material quemado como normalmente se conoce.

“En el sur del Perú se encuentran 8 volcanes activos ubicados en la zona volcánica central de los andes, dentro de ellos se encuentran los volcanes Ubinas, Sabancaya y Misti” (Apaza, et al, 2018).

5.5.2 Composición química de la ceniza volcánica

“La composición química de la ceniza volcánica es principalmente SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O y CaO con un alto contenido de sílice” (Apaza, et al, 2018).

Para determinar la composición química que presenta la ceniza, es necesario realizar el ensayo de Difracción de Rayos X, tal como se muestra en la figura 1.

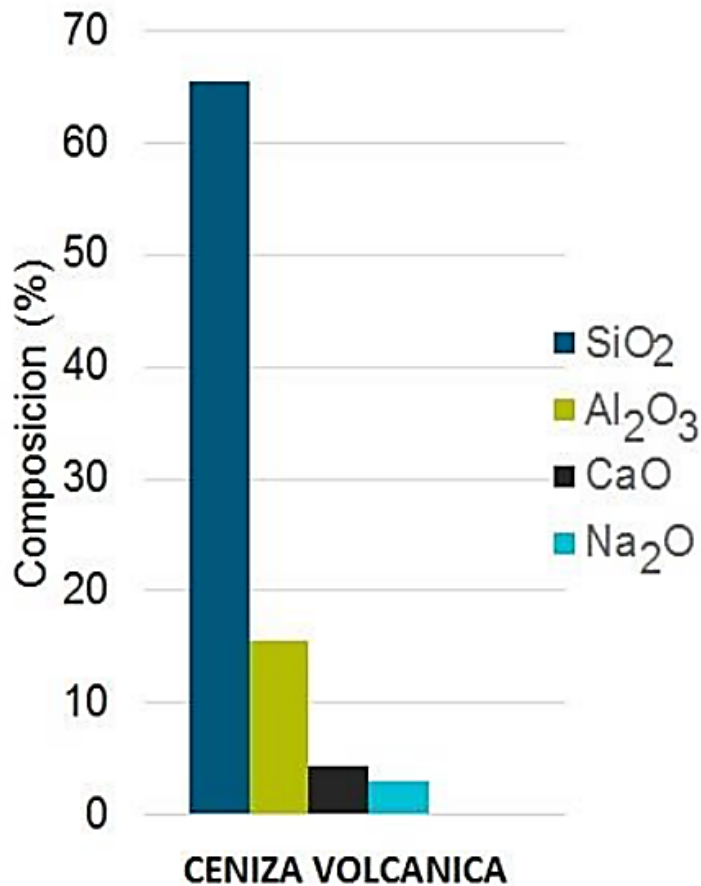


Figura 1. Composición química de la ceniza volcánica (Fuente: Apaza, et al, 2018. Obtenido de Reporte de Microscopio Electrónico de Barrido MEB – SEM y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente)

De la caracterización química de la ceniza volcánica se ha determinado lo siguiente. “Que sin importar la procedencia de la ceniza, ya sea del volcán Misti, Sabancaya o Ubinas, todas ellas tienen características similares de composición química” (Apaza, et al, 2018).

5.6 Suelo arcilloso

La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta conformada por pequeñas partículas. Chavez & Ocola (2018) indica que “son menores a 0.02 mm, constituido principalmente de silicatos de aluminio, magnesio, hierro, etc, y se caracteriza por adquirir plasticidad cuando es mezclada con el agua”.

Los átomos de las arcillas están dispuestas en formas de láminas, formados por la combinación de dos unidades estructurales fundamentales:

En primer lugar el tetraedro, mostrado en la figura 2. Llamoga (2017) menciona que “los tetraedros forman capas, de tal modo que los oxígenos de las bases de todos ellos se encuentren en un mismo plano, además cada oxígeno de las bases es compartido por dos tetraedros, formándose así una red hexagonal”.

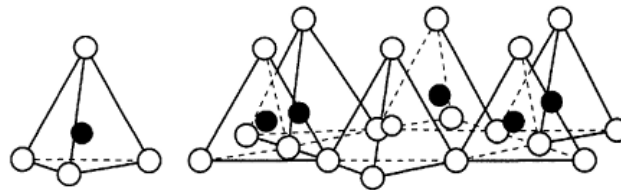


Figura 2. Unidad estructural tetraédrica del suelo arcilloso (Fuente: Llamoga. elaborado por Whitlow, 2001)

En segundo lugar el octaedro, mostrado en la figura 3. Llamoga (2017) menciona que “un átomo de aluminio, magnesio, hierro, etc. está rodeado por seis átomos de oxígeno o iones hidróxilo. En este caso los octaedros también forman capas”.

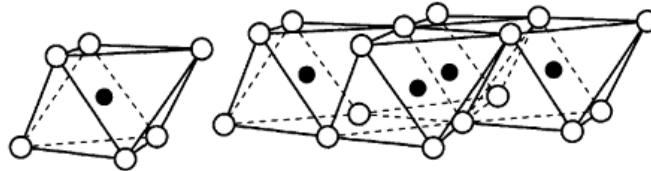


Figura 3. Unidad estructural octaédrica del suelo arcilloso (Fuente: Llamoga. elaborado por Whitlow, 2001)

5.6.1 Clasificación de las arcillas

La clasificación se basa en las formas cristalinas del suelo, que son un factor influyente sobre las propiedades físicas de una arcilla, los principales minerales son:

- Caolinitas: Se forman por superposición indefinida de láminas alumínicas y silícicas. “Su estructura está formada por una hoja simple de tetraedros de sílice combinada con una hoja simple de octaedros de alúmina” (Llamoga, 2017). Por ende esta enlazada entre sí por fuerzas débiles, además que, no presentan gran expansión o hinchamiento cuando se satura.

- Illitas: Su estructura básica consiste en una hoja de octaedros de alúmina combinadas con dos hojas de tetraedros de sílice. “Su estructura consiste en una hoja de octaedros de alúmina con dos hojas de tetraedros de sílice. Terrones (2018) menciona que “en la hoja octaédrica hay sustitución parcial de aluminio por magnesio y hierro y en la tetraédrica sustitución parcial de silicio por aluminio”. Por lo que, el hinchamiento o expansión es mayor que las caolinitas pero menos que las montmorillonitas.
- Montmorillonitas: Esta arcilla posee una estructura similar a la de las illitas, sin embargo la unión es mucho más débil. “Estructuralmente la montmorillonita se compone por una capa central que contiene aluminio y magnesio coordinados octaédricamente en forma de óxidos e hidróxidos” (Terrones, 2018). Por lo que resulta ser inestable, especialmente ante la presencia de agua.
- Vermiculitas: “La estructura de la vermiculita es similar a la montmorillonita, excepto que los cationes que proporcionan los enlaces entre láminas son predominantemente de magnesio, acompañados por algunas moléculas de agua” (Llamoga, 2017).

5.6.2 Propiedades

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

a. Plasticidad

“La plasticidad es la principal característica de los suelos arcillosos. Debido a que el agua forma una envoltura sobre las partículas laminares, ocasiona un efecto lubricante, y esto puede causar un deslizamiento cuando haya esfuerzos generados por una carga” (Castro, 2017).

b. Resistencia

“Es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión, esta fuerza de cohesión depende directamente del contenido de humedad y del tipo de suelo en estudio ya sea arcilla, arena o limo” (Huancoillo, 2017).

c. Estabilidad volumétrica

La expansión es influenciada por el agua. “Esta propiedad esta generalmente vinculada con suelos que se expanden y se contraen por los cambios de humedad relacionados con los cambios climático o alguna actividad propia de la construcción” (Castro, 2017).

d. Tixotropía

“Es el fenómeno que consiste en la perdida de resistencia al ser amasado y su recuperación con el tiempo. Por lo que las arcillas tixotrópicas llegan a convertirse en líquido cuando son amasadas y cuando se les deja en reposo recuperará su cohesión” (Castro, 2017).

e. Capacidad de absorción

“Esta propiedad de algunas arcillas está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad), la absorción de moléculas se almacenan en los espacios interlaminares de las arcillas” (Castro, 2017).

f. Capacidad de intercambio catiónico

“Es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica” (Chavez y Ocola, 2018). Y debido a esta característica, las propiedades mecánicas pueden variar, el cual se ve reflejado en las propiedades de plasticidad y resistencia del suelo.

5.7 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” (Castro, 2017). Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura. La conformación de estas capas se aprecia en la figura 4.

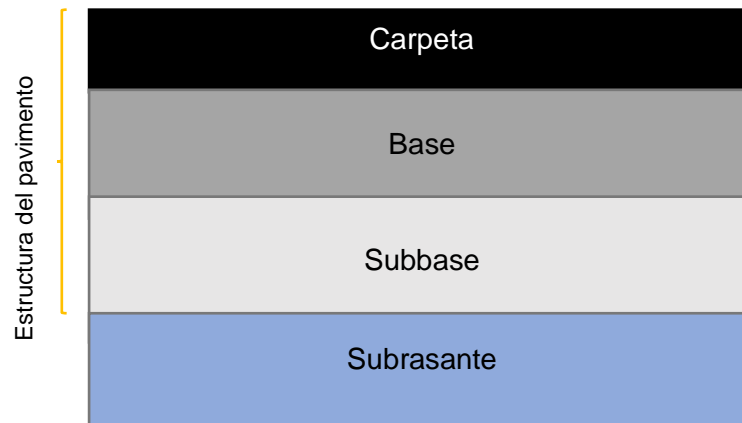


Figura 4. Componentes de la estructura de un pavimento (Fuente: elaboración propia)

Para cumplir sus funciones correctamente debe ser resistente al intemperismo, presentar condiciones adecuadas de drenaje, presentar una regularidad superficial, transversal y longitudinal permitiendo una adecuada comodidad a los usuarios, presentar una textura superficial adecuada a las velocidades de diseño y debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

5.7.1 Carpeta

“Es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir” (Terrones, 2018).

5.7.2 Base

“Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento” (MTC, 2014).

5.7.3 Subbase

“Es una capa de material especificado y con espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la capa de rodadura. Esta capa puede ser de material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento” (MTC, 2014).

5.7.4 Subrasante

La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, donde se asentará el pavimento, y debe estar conformada por suelos seleccionados de características aceptables. El MTC (2014) lo define como “la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se colocará la estructura del pavimento o afirmado”

La capacidad de soporte en condiciones de servicio de la subrasante, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. El MTC (2014) menciona que “puede obtenerse el valor de CBR insitu con el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), resultando muy útil en suelos de mala calidad, donde se requiere de mayores evaluaciones del suelo y sus estratos”. No obstante el ensayo PDC tiene sus limitaciones de medición como es el caso en zonas donde se presenten suelos con bolonería. Así mismos el MTC (2014) indica que “los suelos que se encuentren ubicados debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR > 6$, o de lo contrario se tendrá que realizar una estabilización planteando alternativas de acuerdo a la naturaleza del suelo”.

En la Tabla 1 se identifican seis categorías de subrasante de acuerdo al Manual de Carreteras del MTC (2014):

Tabla 1
Categorías de subrasante

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

Nota: CBR: California Bearing Ratio: (Fuente: obtenido del Manual de Carreteras, 2014)

5.8 Estabilización de suelos

La estabilización es una técnica de mejorar las propiedades físicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. “Con la estabilización se busca reducir la plasticidad del suelo, aumentar su resistencia, trabajabilidad y estabilidad volumétrica” (Higuera, et al, 2012). El proceso de estabilización se da cuando se manipula el suelo con el fin de aprovechar sus mejores cualidades, obteniendo un suelo estable, firme, capaz de soportar los requerimientos necesarios por efecto de cargas y condiciones de clima más críticos.

Como principales métodos de estabilización podemos encontrar los siguientes:

5.8.1 Estabilización física-mecánica

“Es una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad y que cumpla con las exigencias deseadas” (Roldán, 2010).

La estabilización física se puede realizar de la siguiente manera:

- Por compactación.
- Por combinación de suelos.
- Por sustitución de suelos.
- Con geosintéticos.

5.8.2 Estabilización química

“Se define como la mezcla de un producto con el suelo para reaccionar químicamente modificando las propiedades del suelo, logrando mejorar las propiedades del suelo” (Castro, 2017).

“Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un vertedero enormes volúmenes de material de excavación, y otro, traer enormes volúmenes de material de préstamo” (Roldán, 2010).

La norma CE.020 considera los siguientes materiales para la estabilización química de suelos:

- Estabilización con cal.
- Estabilización con cemento.
- Estabilización con asfalto.

5.9 Estabilización química con ceniza

Debido a los altos contenidos de sílice en la composición de las cenizas, la utilización de este material para la estabilización de suelos, ha mostrado resultados muy favorables al ser aplicado en el mejoramiento de subrasantes. Cañar (2017) menciona que “la incorporación de cenizas compuestas básicamente por silicatos y aluminios permiten una reacción con el suelo, reduciendo el límite líquido, índice plástico e índice de expansión”. Por otro lado Pérez (2012) indica que “la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso presenta un mejor comportamiento que el suelo puro”.

5.10 Ensayos en campo (in situ)

5.10.1 Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)

El ensayo con el equipo de Penetrómetro Dinámico de Cono, es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos. Tiene el objeto de medir in-situ tensiones de las capas del pavimento y suelos de la subrasante, relacionada con valores de resistencia, tales como el CBR (California Bearing Ratio). El MTC (2014) menciona que “se podrán realizar ensayos in situ como él (PDC), cuya principal limitación se presenta en las mediciones de suelos con bolonería, pero resulta muy útil en suelos finos o blandos, permitiendo conocer la capacidad de soporte de la sub rasante”.



Figura 5. Ensayo con equipo Penetrometro Dinámico de Cono para el cálculo de CBR in situ (Fuente: Elaboración propia)

La correlación entre la penetración por golpe (PDC) y el CBR ha sido derivada de una ecuación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que se indica como sigue:

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}} \dots (Ec. 1)$$

5.10.2 Muestreo de suelos

Deben obtenerse muestras representativas de suelo arcilloso, necesarias para la investigación. Para la extracción de la muestra suelo arcilloso, es necesario realizar calicatas tomando en cuenta las indicaciones establecidas por el Manual de Carreteras y el Manual de Ensayo de Materiales:

- Generalmente espaciados entre 250 y 2000 m.
- La profundidad de las calicatas para carreteras deberán ser al menos de 1,5 m por debajo del nivel proyectado para la subrasante.
- En todas las zonas de préstamo, las calicatas deberán ser suficientes en número y profundidad.

Tabla 2
Número de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas: carretas de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante 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 ubicaran 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 sub rasante 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 sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 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 sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 3 calicatas x km. 	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada.
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 sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 2 calicatas x km. 	
Carreteras de bajo volumen de transito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> 1 calicata x km. 	

Nota: IMDA: Índice Medio Diario Anual, valor numérico estimado del tráfico vehicular (Fuente: obtenido del Manual de Carreteras. Suelos geología, geotecnia y pavimentos, 2014)

Los registros de calicatas deberán incluir:

- Descripción de cada sitio o área investigada.
- Perfil estratigráfico.
- Fotografía a colores, con fecha y un número o símbolo específico.
- Profundidad del nivel freático.

5.11 Ensayos en laboratorio

5.11.1 Ensayo químico

5.11.1.1 *Difracción de Rayos X*

La composición química de las muestras de arcilla y ceniza volcánica se obtuvieron a través de este ensayo. “Este ensayo se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio” (Castro, 2017).



Figura 6. Equipo de laboratorio para ensayo de Difracción de Rayos X (Fuente: Elaboración propia)

5.11.2 Ensayos físicos

5.11.2.1 Contenido de humedad

El MTC E 108 indica que el contenido de humedad de un suelo, es la relación expresada como porcentaje del peso de agua. Se determina secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Se calcula el porcentaje de contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente formula:

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} * 100 = \frac{M_w}{M_s} * 100 \dots (Ec.2)$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad.
- M_{cws} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo.
- M_{cs} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno.
- M_c = es el peso del contenedor.
- M_w = es el peso del agua.
- M_s = es el peso de las partículas sólidas.

5.11.2.2 Granulometría

Los suelos presentan una variedad de tamaños de partículas, el MTC E 107 indica que el análisis granulométrico, tiene por finalidad determinar cuantitativamente la proporción de las partículas del suelo, utilizando diferentes tamices para la realización de este ensayo.



Figura 7. Ensayo de granulometría (Fuente: Elaboración propia)

Al finalizar se procede a calcular el porcentaje retenido por cada tamiz, como se indica en la siguiente formula:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso total}} * 100 \dots (\text{Ec.3})$$

5.11.2.3 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o límites de consistencia determinan la sensibilidad de un suelo en relación con su contenido de humedad, y que son utilizados para definir los límites correspondientes a los tres estados que presenta el suelo: líquido, plástico y sólido.

Estos límites son: el límite de liquidez (LL), el límite de plasticidad (LP) y el límite de retracción (LR). Los ensayos deben realizarse con la muestra que pase el tamiz N°40.

Además el límite líquido y el límite plástico se emplean para clasificar un suelo de acuerdo a su plasticidad según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) o AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

a. Limite líquido.

Castro (2017) indica que “el límite líquido se define como el máximo contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido”.

Según el MTC E 110 el límite líquido de un suelo es el contenido de humedad para el cual la falla del suelo es exactamente a los 25 golpes, ensayado en la cuchara de Casagrande.

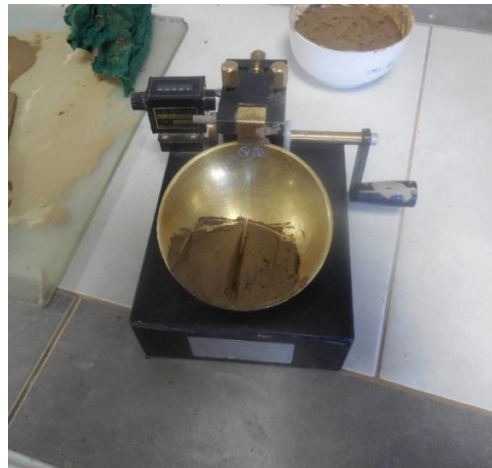


Figura 8. Ensayo de límite líquido con la Copa de Casagrande (Fuente: Elaboración propia)

b. Limite plástico.

Se define como el mínimo contenido de humedad que permite amasar el suelo sin deshacerlo. El MTC E 111 establece que para determinar el mínimo contenido de humedad antes de perder la plasticidad, se realizaran barras de suelo de unos 3,2 mm de diámetro, rodando entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barras se deshagan.



Figura 9 . Ensayo de límite plástico (Fuente: Elaboración propia)

c. *Índice de plasticidad.*

Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. Según el Manual de Ensayos de Laboratorio, para el cálculo del Índice de Plasticidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP \dots (\text{Ec.4})$$

Donde:

- IP = Índice de plasticidad.
- LL = Limite líquido.
- LP = Limite plástico.

Según el MTC (2014) con este valor podemos caracterizar al suelo mediante la siguiente

Tabla:

Tabla 3
Clasificación de suelos de acuerdo al Índice de Plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
IP>20	Alta.	Suelos muy arcillosos.
7<IP≤20	Media.	Suelos arcillosos.
IP<7	Baja.	Suelos poco arcillosos.
IP=0	No plástico.	Suelos exentos de arcillas.

Nota: IP: Índice de Plasticidad (Fuente: Manual de Suelos y Pavimento, 2014)

5.11.2.4 Clasificación de suelos

a. *Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*

Es uno de los sistemas de clasificación, donde se muestra mejor las propiedades de los suelos y su descripción. Castro (2017) menciona que “este sistema clasifica a los suelos según su textura y la plasticidad; dividiendo las categorías en granos finos y granos gruesos, tomando en cuenta los límites de Atterberg y la granulometría del suelo”.

El sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo de dos letras, como se muestra en la siguiente figura:

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

Figura 10. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Fuente: NTP 339.134, 1999)
 b. Clasificación AASHTO

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo", el cual se calcula por la fórmula empírica:

$$IG = (F - 35) * (0.2 + 0.005 * (LL - 40)) + 0.01(F - 15) * (IP - 10) \dots \text{(Ec. 5)}$$

Dónde:

F = Porcentaje que pasa por el tamiz ASTM N°200 (0.08 mm), expresado en números enteros.

LL = Límite Líquido.

IP = Índice de Plasticidad.

Nota: Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0. El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases; como se muestra en la siguiente figura:

Clasificación general	Suelos granulares 35% o menos pasa por el tamiz N° 200							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz N°200				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
Símbolo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Análisis Granulométrico % que pasa por el tamiz												
N° 10	máx.50											
N° 40	máx.30	máx.50	máx.50									
N° 200	máx.15	máx.25	máx.10	máx.35	mín.35	máx.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35
Límites Atterberg				máx.40	mín.40	máx.40	mín.40	máx.40	máx.40	máx.40	mín.40	mín.40
Límite de liquidez Índice de plasticidad	máx.6	máx.6		máx.10	máx.10	mín.10	mín.10	máx.10	máx.10	mín.10	mín.10 IP<LL-30	mín.10 IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx.4	máx.4	máx.8	máx.12	máx.16	máx.20	máx.20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcilloso		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De regular a malo					

Figura 11. Sistema de clasificación AASHTO (Fuente: MTC, 2013)

5.11.3 Ensayos mecánicos

5.11.3.1 Proctor modificado

El MTC E 115 menciona que el ensayo de Proctor modificado permite determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos compactados en moldes con dimensiones establecidas, con la ayuda de un pisón de 10 lbf que cae desde una altura de 12" y 18", produciendo una energía de compactación dentro de un molde cilíndrico de 4" a 6" de diámetro.



Figura 12. Ensayo de compactación Proctor Modificado (Fuente: Elaboración propia)

La compactación está relacionada con el peso volumétrico seco máximo del suelo (densidad máxima), siendo necesario que el suelo tenga una humedad adecuada (contenido óptimo de humedad), para que sus partículas sean firmes y sólidas, también reduciendo su capacidad de absorber humedad.

$$Dh = \frac{Wm}{Vc} \dots (Ec. 6) \text{ y } Ds = \frac{Dh}{1 + \frac{W\%}{100}} \dots (Ec. 7)$$

Donde:

- Dh = Densidad húmeda.
- Wm = Peso de la muestra compactada.
- Vc = Volumen del molde cilíndrico.
- Ds = Densidad seca.
- W% = Contenido de humedad.

5.11.3.2 *California Bearing Ratio (CBR)*

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte del suelo, con un óptimo contenido de humedad y niveles de compactación variables. Este ensayo es el más utilizado para el diseño de pavimentos, determinando la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidades controladas, para su aplicación en subrasantes, subbases y bases.

El ensayo de CBR mide la carga necesaria para penetrar un pisón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante 4 días y haber medido su hinchamiento.



Figura 13. Ensayo de California Bearing Ratio (Fuente: Elaboración propia)

Capítulo III. Materiales y métodos

6.1 Suelo arcilloso

6.1.1 Ubicación geografía del proyecto de investigación

El suelo arcilloso que se utilizó en el estudio, se ubica en el centro poblado de Sicta del distrito de Vilquechico en la provincia de Huancané, Puno. Perteneciente al tramo Asiruni – Rosaspata ubicado a unos 17 kms de la ciudad de Huancané.

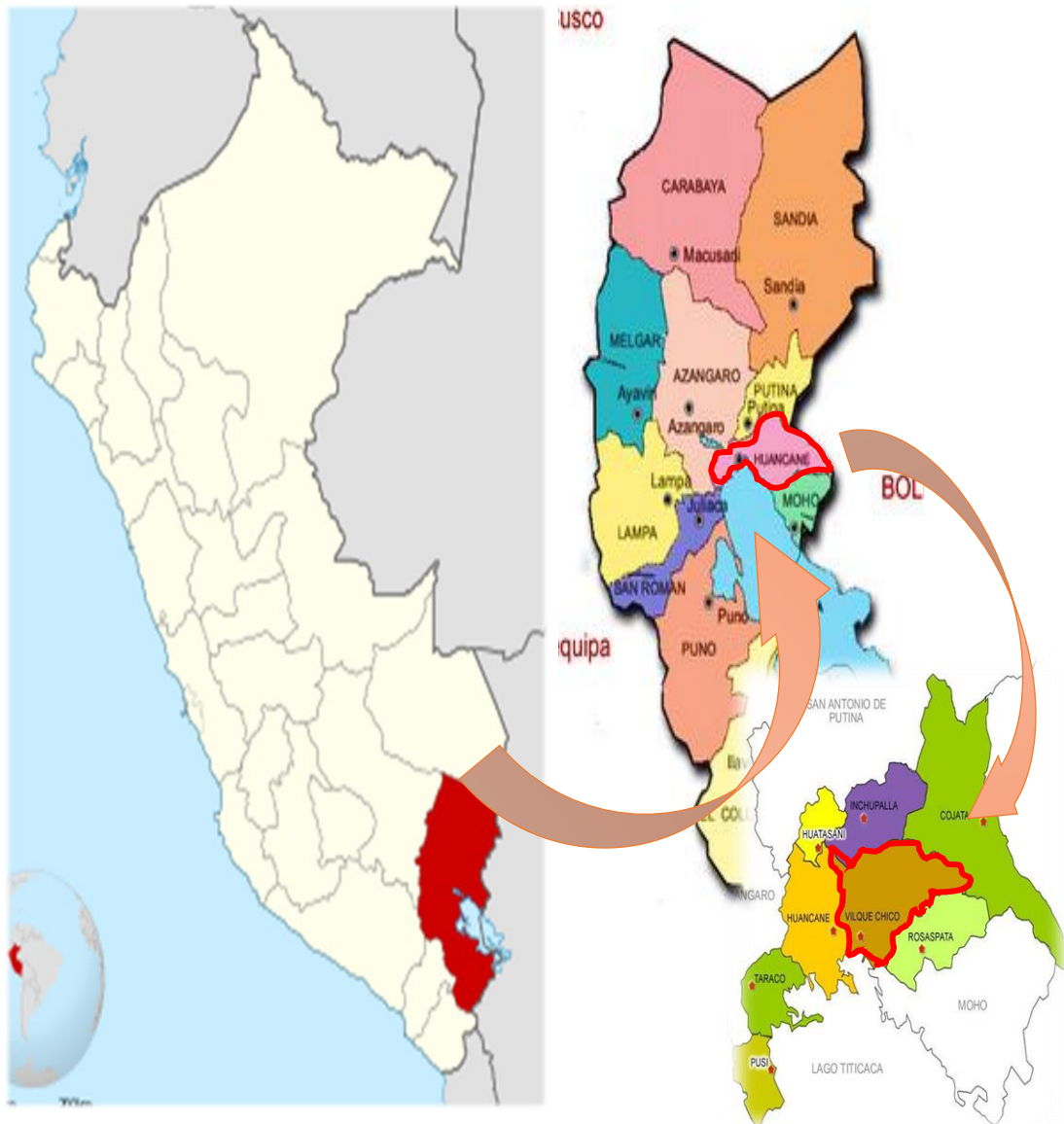


Figura 14. Ubicación territorial de la intervención, Distrito de Vilquechico, Provincia de Huancané, Departamento de Puno (Fuente: Elaboración propia)

Sus coordenadas UTM son:

Tabla 4
Ubicación de los puntos de exploración, en el centro poblado de Sicta, del tramo Asiruni – Rosaspata en la Provincia de Huancané

Puntos de exploración	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Cota
C-01	431340.12	8315387.03	3871
C-02	431580.22	8315298.54	3876
C-03	431845.42	8315186.90	3875
C-04	432063.89	8315073.88	3879

Nota: UTM: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (Fuente: Elaboración propia)

6.1.2 Extensión

El tramo Asiruni – Rosaspata tiene una longitud de 18 kms.

6.1.3 Relieve

El relieve de la zona es plano y ondulado, con ligeras elevaciones; presencia de vegetación, montañas y ríos.

6.1.4 Clima

El clima por lo general es frígido, moderadamente lluvioso y con amplitud térmica moderada.

6.1.5 Accesibilidad

De Huancané al centro poblado de Sicta, hay una distancia de 17 km; el tiempo de viaje en auto toma 40 minutos aproximadamente. El recorrido consta de dos tramos; el primero Huancané – Moho (pavimento flexible) y el segundo Asiruni – Rosaspata (Trocha carroable).

6.2 Ceniza volcánica

La ceniza volcánica se obtuvo del volcán Sabancaya ubicada en el sector Sallalli de la provincia de Caylloma, Arequipa. Este material se presenta en grandes extensiones alrededor de las faldas del volcán.



Figura 15. Ceniza volcánica esparcida alrededor del volcán Sabancaya, sector Sallalli - Achoma - Arequipa (Fuente: Elaboración propia)

Para su aplicación en el presente proyecto de investigación se utilizó ceniza volcánica pasante el tamiz N°60. Kong & Sanjayan (2008) citado por Morales (2015) señala que “las partículas pequeñas de los materiales puzolánicos son más reactivas en la solución, una de las razones es que estas tienen una mayor superficie de contacto con sustancias químicas”

6.2.1 Accesibilidad

El volcán Sabancaya se encuentra a 80 km al noroeste de la ciudad de Arequipa en el distrito de Achoma provincia de Caylloma. De Juliaca al sector Sallalli, hay una distancia de 281 km; el tiempo de viaje en auto toma 4 horas y media aprox. El recorrido consta de tres tramos; Juliaca – Pampas Cañahuas (192 kms, pavimento flexible), Pampas Cañahuas – desvio Patapampa (58 kms, pavimento flexible) y desvio Patapampa – Sallalli (31 kms, Trocha carrosable).

6.3 Población y muestra.

6.3.1 Población

Suelo que conforma la red vial del tramo Asiruni – Rosaspata en la provincia de Huancané, Puno.

Para determinar la población total se ha tomado como referencia el número mínimo de exploraciones determinado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones el cual menciona lo siguiente:

La exploración de suelos debe realizarse considerando las indicaciones dadas según la Tabla 2, de acuerdo al IMDA(2028) = 521veh/día (este dato se muestra en el Anexo C), al cual corresponde realizar 3 calicatas por cada kilómetro, entonces se obtiene el siguiente dato como población:

$$POBLACION = longitud\ total\ del\ tramo * frecuencia\ de\ estudio$$

$$POBLACION = 18\ km * 3$$

$$POBLACION = 54\ puntos\ de\ exploración$$

6.3.2 Muestra

“La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos. Existen dos tipos de muestra, las probabilísticas y no probabilísticas” (Hernández, et al, 2014).

6.3.2.1 *Muestra probabilística*

En las muestras probabilísticas todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de análisis. (Hernández, et al, 2014)

3.3.2.1.1 *Cálculo del tamaño de muestra*

(Hernández, et al, 2014) indican que para calcular el tamaño de la muestra usaremos la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + (Z^2 * p * q)} \dots (Ec. 9)$$

Donde:

- Z = Nivel de confianza (correspondiente con tabla de valores de Z). Ver Tabla 5.
- p = Porcentaje de la población que tiene el atributo deseado.
- q = Porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado =1-p.

Nota: cuando no hay indicación de la población que posee o nó el atributo, se asume 50% para p y 50% para q.

- N = Tamaño del universo.
- e = Error de estimación máximo aceptado.
- n = Tamaño de la muestra.

Tabla 5
Valores de Z para determinar el nivel de confianza

Valores de confianza (Z)	
95%	1.96
90%	1.65
91%	1.70
92%	1.76
93%	1.81
94%	1.89

Nota: Z: Nivel de confianza. (Fuente: Elaboración propia)

Se considera los siguientes datos para el cálculo del tamaño de muestra probabilística:

- Z = 95% => 1.96
- p = 50%
- q = 50%
- N = 54 calicatas de acuerdo al IMDA de la vía, ya que son 18 kms. Ver Tabla 2.
- e = 5%

Dando como resultado $n = 48$. Lo que significa que se debe realizar 48 calicatas según el cálculo realizado.

6.3.2.2 Muestra no probabilística

Hernández, et al, (2014) menciona que “en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra”

3.3.2.2.1 Criterios de valoración de la muestra

Considerando que se debe realizar 48 excavaciones in situ, se tiene en cuenta que esto afecta directamente en la estabilidad del suelo, alterando el estado de la vía; también se examinó, la parte logística, transporte, tiempo y factor económico que implica tomar las muestras. Por tal motivo se decidió aplicar un muestreo no probabilístico a criterio del investigador.

Visualizando la vía se consideró el sub tramo comprendido desde la progresiva km 5+100 al km 6+100, donde se encontró irregularidades en la superficie del afirmado y presencia de taludes compuestos de suelo arcilloso.



Figura 16. Visualización de suelo arcilloso en el sub tramo de estudio (Fuente: Elaboración propia)

Se realizó 04 calicatas a cada 250 m a una profundidad de 1.50m, indicado por el MTC en la Tabla 2. De esta manera se confirmó la presencia de suelo arcilloso a lo largo del sub tramo. Además se realizó la prueba de Penetrometro Dinámico de Cono (PDC) a fin de conocer la capacidad de soporte (CBR) in situ que presenta el suelo, siendo característico de un suelo arcilloso, los resultados de este ensayo son mostrados en la Tabla 9.



Figura 17. Puntos de exploración en el sub tramo ubicado en el centro poblado de Sicta, del tramo Asiruni – Rosaspata en la provincia de Huancañé (Fuente: Obtenida de Google Earth, 2019)

6.4 Diseño de investigación

La investigación es del tipo cuasi experimental, ya que se realizaron ensayos en laboratorio para determinar el comportamiento del suelo al combinarse con la ceniza volcánica.

Existen tres tipos de diseño experimental que son: pre experimental, cuasi experimental y experimental. El diseño cuasi experimental al igual que el experimental requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados, donde el investigador manipula la variable independiente y observa si la dependiente varía o no. En particular el diseño cuasi experimental no asigna a la muestra de manera aleatoria si no que este ya está definido antes de la experimentación. (Hernández, et al, 2014)

Tabla 6
Nomenclatura de tratamientos de suelo arcilloso y ceniza volcánica

Tratamiento	% de suelo arcilloso	% de ceniza volcánica	Simbología
Suelo arcilloso	100	0	S100
Ceniza volcánica	0	100	CV100
Tratamiento 1	85	15	S85-CV15
Tratamiento 2	80	20	S80-CV20
Tratamiento 3	75	25	S75-CV25

Nota: S: suelo, CV: ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Las mezclas de suelo y ceniza volcánica se midieron en peso respectivamente de acuerdo a las proporciones indicadas en la Tabla 6. Proporción de las combinaciones y símbolos referentes a cada tratamiento de suelo arcilloso y ceniza volcánica.

6.5 Unidad de estudio

Suelo arcilloso con diferentes porcentajes de ceniza volcánica.

6.6 Formulación de hipótesis

6.6.1 General

Es posible la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané.

6.6.2 Específicos

Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica.

Existe una variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.

El porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR) es del 20%.

6.7 Identificación de variables

Tabla 7
Matriz de consistencia

	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
General	¿Se puede estabilizar un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané?	Evaluar la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané.	Es posible la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané.	Dependiente: CBR. Independiente : Ceniza volcánica.
Específico 1	¿Cuál es la variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica?	Determinar la variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica.	Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica.	
Específico 2	¿Cuál es la variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica?	Conocer la variación de la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.	Existe una variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.	
Específico 3	¿Cuál es el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR)?	Identificar el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR).	El porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR) es del 20%.	

Nota: CBR: California Bearing Ratio (Fuente: Elaboración propia, 2019)

Tabla 8
Operacionalización de variables

Tipos de variables	Variables	Definición conceptual	Indicadores	técnica/instrumento
Independiente	Ceniza volcánica	Es el resultado de una roca que ha sido convertida en polvo a la actividad volcánica.	Adición de ceniza volcánica en 15% del peso de la muestra.	Experimental
			Adición de ceniza volcánica en 20% del peso de la muestra.	Experimental
			Adición de ceniza volcánica en 25% del peso de la muestra.	Experimental
Dependiente	CBR	Propiedades físicas que influyen en la estabilidad del suelo. Mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo.	Plasticidad	Ensayo: MTC E 110 MTC E 111
			Expansión	Ensayo: MTC E 132
			Compactación Proctor Modificado. CBR (Capacidad de soporte)	Ensayo: MTC E 115 Ensayo: MTC E 132

Nota: MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, CBR: California Bearing Ratio (Fuente: Elaboración propia, 2019)

6.8 Recolección de datos

Los ensayos aplicados al suelo arcilloso, fueron los necesarios para evaluar si hay una mejora de la muestra de suelo arcilloso, adicionando 15, 20 y 25% de ceniza volcánica, los cuales fueron ensayados en laboratorio.

6.8.1 Ensayos en campo (in situ)

El suelo arcilloso fue escogido realizando una exploración de suelos; tomando en cuenta las indicaciones mencionadas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Manual de Ensayo de Materiales del Perú:

6.8.1.1 Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)

Referencia: ASTM D 6951 - 03

6.8.1.2 Muestreo de suelos

Referencia: MTC E 101

6.8.2 Ensayos en laboratorio

6.8.2.1 Difracción de Rayos X

Se realizó el ensayo de Difracción de Rayos X para determinar los compuestos químicos que presentan el suelo y la ceniza volcánica, tomados como materiales para la presente investigación. Este ensayo fue realizado en las instalaciones del laboratorio de Rayos X del LABINVSERV (Laboratorio de Investigación y Servicios).

6.8.2.2 Contenido de humedad

Referencia: MTC E 108

6.8.2.3 Granulometría

Referencia: MTC E 107

6.8.2.4 Límites de Atterberg

Referencia: MTC E 110

Referencia: MTC E 111

6.8.2.5 Clasificación de suelos

a. Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Referencia: NTP 339.134

b. Clasificación AASHTO

Referencia: NTP 339.135

6.8.2.6 Proctor modificado

Referencia: MTC E 115

Para el ensayo de Proctor modificado se consideró las siguientes proporciones de muestra con adición de ceniza volcánica:

- ✓ Para el 0% de ceniza volcánica: 2300 gr. de muestra de suelo.

- ✓ Para el 15% de ceniza volcánica: 1955 gr. de muestra de suelo.
- ✓ Para el 20% de ceniza volcánica: 1840 gr. de muestra de suelo.
- ✓ Para el 25% de ceniza volcánica: 1725 gr. de muestra de suelo.

6.8.2.7 California Bearing Ratio (CBR)

Referencia: MTC E 132

Para el ensayo de CBR se consideró las siguientes proporciones de muestra con adición de ceniza volcánica:

- ✓ Para el 0% de ceniza volcánica: 6000 gr. de muestra de suelo.
- ✓ Para el 15% de ceniza volcánica: 5100 gr. de muestra de suelo.
- ✓ Para el 20% de ceniza volcánica: 4800 gr. de muestra de suelo.
- ✓ Para el 25% de ceniza volcánica: 4500 gr. de muestra de suelo.

6.9 Análisis estadístico de datos

"Las hipótesis en el enfoque cuantitativo, se someten a pruebas en la realidad cuando se implementa un diseño de investigación, se recolectan datos con uno o varios instrumentos de medición, y se analizan e interpretan esos mismos datos" (Hernández et al, 2014)

Una prueba estadística de hipótesis está formada de cinco partes, el mismo que puede expresarse mediante el siguiente proceso:

- Paso 01: Plantear la hipótesis nula y la hipótesis alterna.

Cuenta con la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_1), que vendría a ser las hipótesis de la investigación.

- Paso 02: Seleccionar el nivel de significancia.

Se utilizó un margen de error de $\alpha = 0.05$ es decir que las pruebas de hipótesis se realizó con un nivel de confianza del 95%.

- Paso 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba.

Las pruebas paramétricas se clasifican en la prueba t (para una o para dos muestras relacionadas o independientes) y la prueba ANOVA (para más de dos muestras independientes). Por lo tanto, al conocer los requerimientos de una prueba paramétrica y la definición de las muestras de estudio de la investigación se elige el tipo de prueba.

– Paso 04: Estimación del p-valor

En el presente trabajo de investigación el análisis estadístico se realizó en el software SPSS Statistics 24, con el propósito de reducir el tiempo de análisis y para la obtención de mayor precisión en los cálculos matemáticos.

– Paso 05: Tomar una decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Si la probabilidad obtenida $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Si la probabilidad obtenida $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza H_0 , y se acepta H_0 .

Capítulo VI. Resultados y discusión

7.1 Penetrometro Dinámico de Cono (PDC)

En base al ASTM D 6951 – 03 se muestra en la Tabla 9, los datos obtenidos que corresponden a la prueba de Penetrometro Dinámico de Cono para el cálculo de la capacidad de soporte (CBR) in situ que presenta el suelo, la prueba se realizó en cuatro puntos espaciados a cada 250m y a una profundidad de 1.50m debajo del nivel de superficial de afirmado.

Tabla 9
Resultados del ensayo PDC in situ

Punto	Progresiva (km)	Profundidad (m)	CBR (%)
P-01	5+225	1.50	5.84
P-02	5+475	1.50	6.06
P-03	5+725	1.50	5.72
P-04	5+975	1.50	5.81

Nota: CBR: California Bearing Ratio (Fuente: Elaboración propia)

Teniendo en cuenta que se consideran como materiales aptos, las capas de subrasante con $CBR \geq 6\%$. El MTC (2014) indica que “los suelos de mala calidad, es decir suelos blandos o muy compresibles o suelos pobres e inadecuados, son materia de un estudio especial para su estabilización, mejoramiento o reemplazo”

7.2 Muestreo de suelos

De las calicatas realizadas según el MTC E 101 del Manual de Ensayo de Materiales, se obtuvo 4 perfiles estratigráficos, espaciadas a cada 250m y a una profundidad de 1.50m debajo del nivel superficial de afirmado. Para datos adicionales ver el Anexo A.

Registrándose que la mayor parte estratigráfica está conformada por suelo arcilloso de color marrón claro, el cual se utilizó para desarrollar los ensayos en laboratorio con adición de ceniza volcánica.



Figura 18. Exploración de suelos realizada en la zona de estudio tramo Asiruni - Rosaspata (Fuente: Elaboración propia)

7.3 Difracción de rayos X

Los resultados de la composición química de las muestras están presentados en las Tablas 10 y 11, estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios LABINVSERV. En las Figuras 18 y 19 se muestran las salidas gráficas del ensayo a las muestras de arcilla y ceniza estudiadas.

Tabla 10
Compuestos químicos presentes en la arcilla

N°	Compuesto	Fórmula	Porcentaje (%)
1	Cuarzo	SiO ₂	45.99
2	Polyolithionita	Na _{0.029} O _{10.278} Rb _{0.073} Si _{3.54} Ti _{0.002}	34.99
3	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	8.70
4	Labradorita	Al _{0.81} Ca _{0.325} Na _{0.16} O ₄ Si _{1.19}	2.90
5	Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	2.10
6	Vermiculita	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	1.41
7	Clinochlorita	Al _{1.67} Cr _{0.28} H ₈ Mg ₅ O ₁₈ Si _{3.04}	1.30
8	Antigorita	H ₇₉ Mg ₄₈ O ₁₄₇ Si ₃₄	0.80
9	Illita	Al ₂ H ₂ KO ₁₂ Si ₄	0.80
10	Corundita	Al ₂ O ₃	0.77
11	Hematite	Fe ₂ O ₃	0.25

Nota: (Fuente: Reporte de resultados LABINVSERV)

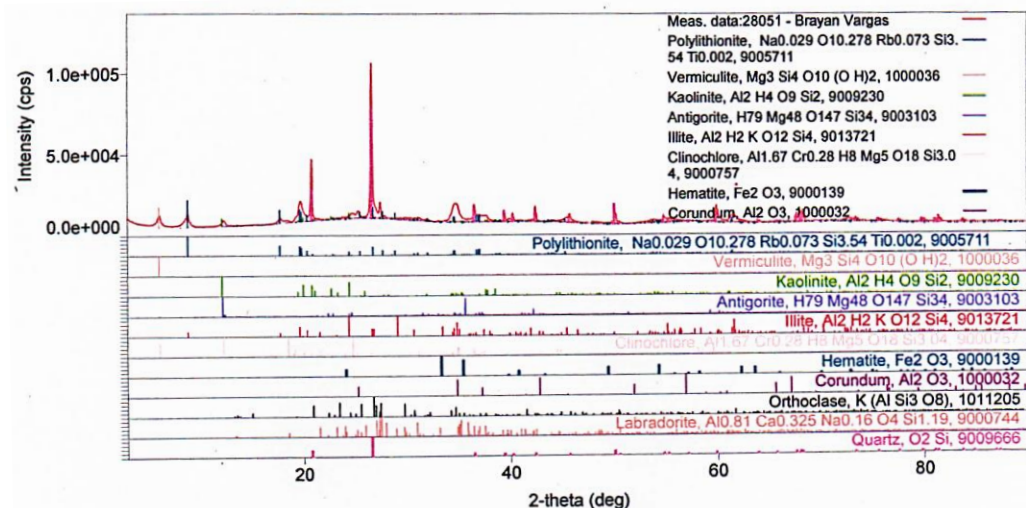


Figura 19. Difractograma del suelo arcilloso (Fuente: Reporte de resultados LABINVSERV, 2019)

El suelo está conformado por cuarzo, polyolithionita y caolinita, con cantidades menores de vermiculita e illita. Bernaola (1911) menciona que “los caolines son arcillas muy finas, generalmente blancas, amarillas o rosadas que se encuentran casi siempre mezcladas con feldespatos no descompuestos, cuarzo, mica y otras rocas”.

Tabla 11
Compuestos químicos presentes en la ceniza volcánica

Nº	Compuesto	Fórmula	Porcentaje (%)
1	Albita	NaAlSi ₃ O ₈	55.33
2	Biotita	KFeMg ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	16.01
3	Magnesioferrita	Fe ₂ MgO ₄	6.50
4	Andesina	Al _{0.735} Ca _{0.24} Na _{0.26} O ₄ Si _{1.265}	5.91
5	Anorthoclasa	AlK _{0.333} Na _{0.667} O ₈ Si ₃	5.40
6	Bytownita	Al _{0.92} Ca _{0.43} Na _{0.07} O ₄ Si _{1.08}	4.60
7	Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	4.20
8	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0.50
9	Hexagodolinium cobalt decabromide	Br ₁₀ Co Gd ₆	0.46
10	Mayenita	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃	0.32
11	Cuarzo	SiO ₂	0.24
12	Hematita	Fe ₂ O ₃	0.24
13	Maghemita	Fe ₂ O ₃	0.15
14	Magnetita	Fe ₃ O ₄	0.13

Nota: (Fuente: Reporte de resultados LABINVSERV)

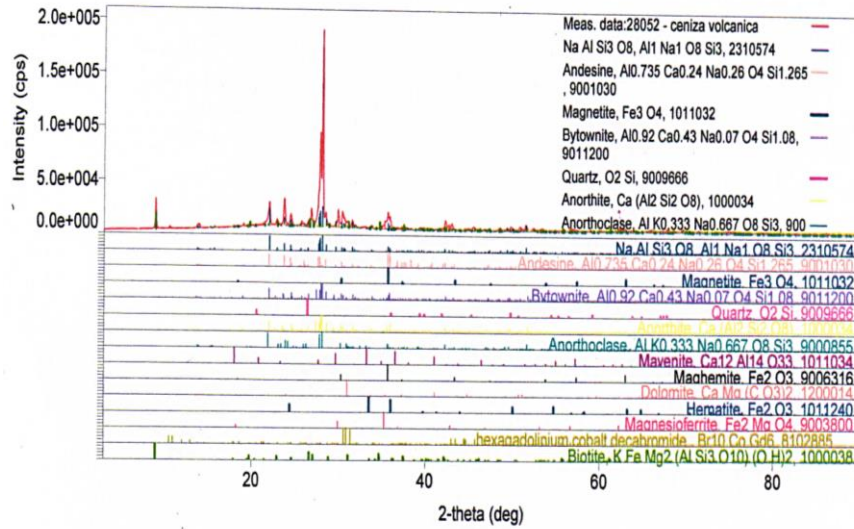


Figura 20. Difractograma de la ceniza volcánica (Fuente: Reporte de resultados LABINVSERV, 2019)

La albita es un mineral esencial en rocas ígneas alcalinas y en lavas feldespáticas, pertenece al grupo de los silicatos y está conformada principalmente por sílice.

7.4 Granulometría

En base a la norma del MTC E 107, se muestra en la Figura 21 las curvas granulométricas para los materiales correspondientes al suelo arcilloso, ceniza volcánica y las combinaciones de los materiales mencionados anteriormente.

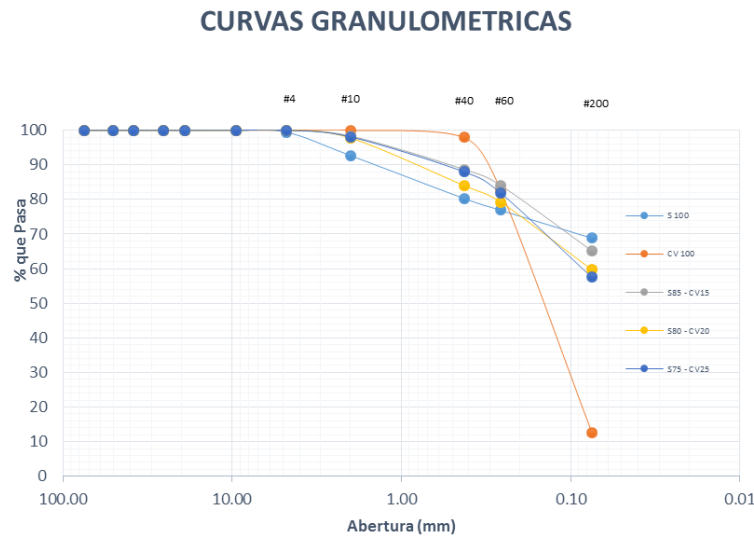


Figura 21. Curva granulométrica del suelo arcilloso, ceniza volcánica y sus combinaciones con adición del 15, 20 y 25% de ceniza (Fuente: Elaboración propia)

Se observa que el suelo en estudio presenta ausencia de grava ya que el 100% de las partículas pasa el tamiz #4, y que más bien está conformada por arenas, limos y arcillas. De la misma manera la ceniza volcánica.

7.5 Límites de Atterberg

Realizado los ensayos para determinar el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad, los resultados se muestran en la Tabla 12, para las muestras de suelo, ceniza volcánica y las combinaciones de suelo y ceniza volcánica.

Tabla 12
Resultado de Índice de Plasticidad para el suelo arcilloso, ceniza volcánica y las combinaciones

Tratamiento	Índice de plasticidad (%)
S100	14.85
CV	NP
S85 – CV15	12.24
S80 – CV20	10.91
S75 – CV25	9.08

Nota: S: suelo, CV: ceniza volcánica, NP: no presenta (Fuente: Elaboración propia)

Según la Tabla 3 el MTC (2014) clasifica al suelo de acuerdo al Índice de Plasticidad, el cual se presenta como suelo de plasticidad media, siendo característica de un suelo arcilloso; la plasticidad del suelo disminuye de 14.85 a 9.08 al adicionarle 25% de ceniza volcánica, por lo que se encuentra próximo a pasar, de un suelo arcilloso de plasticidad media a un suelo poco arcilloso de plasticidad baja.

Por otra parte se contempla que la ceniza volcánica no presenta plasticidad ya que este está exento de arcillas.

7.6 Clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación que se han tomado han sido SUCS y AASHTO, para el suelo y combinaciones de suelo - ceniza volcánica, tal como se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13
Clasificación de suelos para las combinaciones de suelo y ceniza volcánica

Tratamiento	Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO	
	Grupo	Descripción	Grupo	Descripción
S100	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-6(9)	Suelo arcilloso
S85 – CV15	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-6(6)	Suelo arcilloso
S80 – CV20	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-6(4)	Suelo arcilloso
S75 – CV25	ML	Suelo limoso	A-4(4)	Suelo limoso

Nota: S: suelo, CV: ceniza volcánica, A-6(x): x es el índice de grupo (Fuente: Elaboración propia)

Acorde con SUCS, la clasificación de los materiales estudiados son los siguientes: CL cuando se trata de una arcilla inorgánica con plasticidad baja a media y ML cuando se trata de un limo inorgánico con ligera plasticidad.

Acorde con la clasificación AASHTO el suelo estudiado corresponde al grupo: A-6 tratándose de un suelo arcilloso, deficiente para un terreno a nivel de subrasante. Y las combinaciones de suelo y ceniza volcánica dentro de los grupos A-6 y A-4, los cuales corresponden a suelos arcillosos y limosos respectivamente.

Este tipo de suelo es calificado como malo para su aplicación a nivel de subrasante en la construcción de carreteras, por lo que el MTC recomienda aplicar una técnica de estabilización o mejoramiento de suelo.

7.7 Proctor modificado

En la Tabla 14 se presenta los valores de máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad obtenidos de los ensayos realizados con el suelo y sus combinaciones con ceniza volcánica.

Tabla 14
Resultado de ensayos de compactación de suelo arcilloso y combinaciones con ceniza volcánica

Tratamiento	Proctor Modificado	
	Óptimo contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm ³)
S100	24.5	1.67
S85 – CV15	19.0	1.78
S80 – CV20	18.0	1.82
S75 – CV25	18.3	1.86

Nota: S: suelo arcilloso CV: ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia)

La variación de los resultados del óptimo contenido de humedad con respecto a la cantidad de ceniza volcánica va disminuyendo a medida que va incrementándose el porcentaje de ceniza. Mientras que la variación de la Máxima Densidad Seca (MDS) aumenta a medida que se incrementa el contenido de ceniza volcánica en el suelo, debido a la alta densidad que presenta la ceniza.

7.8 California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo CBR, nos da valores de expansión tomada hasta los 4 días de saturación para el suelo y tratamiento con ceniza volcánica, estos son presentados en la Tabla 15. Y en la Tabla 16 se muestran los valores de CBR al 95% que tiene cada tratamiento de suelo arcilloso y ceniza volcánica.

Tabla 15
Resultado de expansión a los 4 días de saturación en el suelo arcilloso y tratamiento con ceniza volcánica

Tratamiento	Expansión a los 4 días (%)
S100	1.074
S85 – CV15	0.304
S80 – CV20	0.401
S75 – CV25	0.347

Nota: S: suelo arcilloso CV: ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia)

Apreciamos que mientras se van proporcionando diversas cantidades de ceniza volcánica, en los tres casos se disminuye la expansión del material desde 1.074%, valor que corresponde a la muestra patrón, hasta un valor mínimo de 0.304%, el cual se presenta cuando se adiciona

15% de ceniza volcánica. Según el Instituto Nacional de Vías y el método de Seed Woodward, el suelo natural y los tratamientos de suelo con ceniza volcánica presentan grado bajo de potencial expansivo, ya que estos se encuentran por debajo de 1.5% según los parámetros del método.

Tabla 16

Resultado de valores de capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, para cada tratamiento de suelo arcilloso con ceniza volcánica

Tratamiento	CBR (%)
S100	4.58
S85 – CV15	8.20
S80 – CV20	11.75
S75 – CV25	6.80

Nota: CBR: capacidad de soporte, S: suelo, CV: ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia)

El porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica es del 20%, incrementando la capacidad de soporte (CBR) en un 61.02% respecto a la muestra patrón. Según la Tabla 1, el MTC (2014), indica que, el suelo natural tomado como muestra patrón presenta un (CBR) de 4.58% el cual se categoriza como una subrasante pobre y el valor máximo (CBR) de 11.75% obtenido en laboratorio se categoriza como una subrasante buena.

7.9 Prueba de hipótesis de la investigación

El planteamiento de la hipótesis general de la presente investigación es como sigue:

“Es posible la estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané”.

Conforme a la hipótesis general se quiere probar que la ceniza volcánica es un material estabilizante, basándonos en el mejoramiento de las propiedades físicas (plasticidad y expansión) y capacidad de soporte (CBR) del suelo arcilloso.

Por consiguiente para la validación o rechazo de la prueba de hipótesis general, se realizó el desarrollo de la prueba de hipótesis específica 01 y 02. A continuación se muestra las pruebas estadísticas.

7.9.1 Prueba de hipótesis específica 01

Para validar la hipótesis específica 01 y demostrar que las propiedades físicas del suelo (plasticidad y expansión) varían en cada tratamiento con ceniza volcánica, se debe demostrar que este sea significativa respecto a una muestra patrón.

7.9.1.1 Plasticidad

En la Figura 22 se presenta los resultados de Índice de Plasticidad para cada tratamiento respectivamente, sobre los cuales se realizó la prueba estadística:

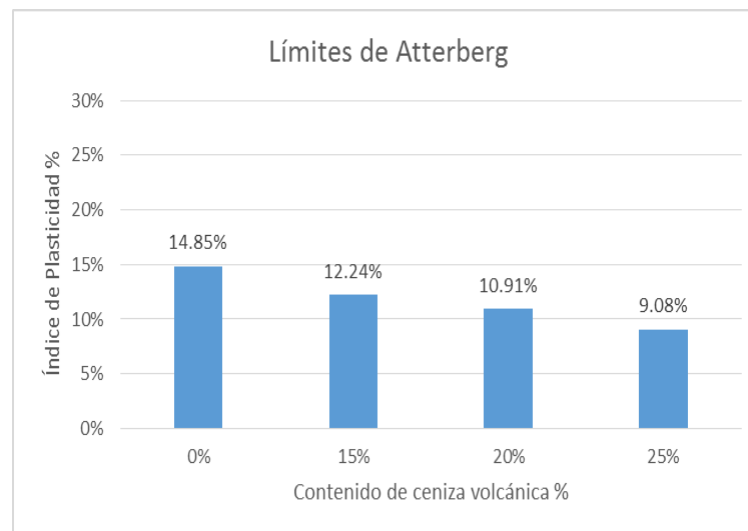


Figura 22. Variación del Índice de Plasticidad con adición del 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia)

a. Formulación de hipótesis:

H_0 : No existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad) con adición de ceniza volcánica.

H_1 : Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad) con adición de ceniza volcánica.

b. Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

c. Elección de la prueba estadística

Cómo se ha definido en el capítulo anterior se trabaja con la prueba ANOVA para el análisis con más de dos muestras independientes.

d. Estimación del p-valor

Con el programa SPSS, obtenemos los estadísticos de las muestras evaluadas:

Tabla 17
Estadístico descriptivo para la plasticidad

	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Min.	Max.
				Límite inferior	Límite superior		
S100	14.8450	.45962	.32500	10.7155	18.9745	14.52	15.17
S85-CV15	12.2400	.77782	.55000	5.2516	19.2284	11.69	12.79
S80-CV20	10.9050	.03536	.02500	10.5873	11.2227	10.88	10.93
S75-CV25	9.0800	.97581	.69000	.3127	17.8473	8.39	9.77

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 18
Prueba estadística ANOVA para la plasticidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	35.322	3	11.774	26.612	.004
Dentro de grupos	1.770	4	.442		
Total	37.091	7			

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Al realizar la prueba Dunnett para observar la comparación de la muestra patrón (S100), con los demás tratamientos, se tiene la siguiente Tabla:

Tabla 19
Comparaciones múltiples de Dunnett para la plasticidad

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
S85-CV15	S100	-2.60500*	.66515	.020	-3.4051	-3.0949
S80-CV20	S100	-3.94000*	.66515	.005	-5.3401	-5.0299
S75-CV25	S100	-5.76500*	.66515	.001	-5.9351	-5.6249

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Según la tabla anterior, se tiene los siguientes niveles de significancia (p), que serán contrastados con los criterios de decisión del siguiente paso.

e. Toma de decisión

Según los resultados obtenidos determinamos que $p < \alpha = 0.05$, por lo tanto la hipótesis nula se rechaza, concluyendo que:

(Se rechaza) H_0 : No Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad) con adición de ceniza volcánica.

(Se acepta) H_1 : Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad) con adición de ceniza volcánica.

7.9.1.2 Expansión

En la Figura 23 se presenta los resultados de expansión para cada tratamiento respectivamente, sobre los cuales se realizó la prueba estadística:

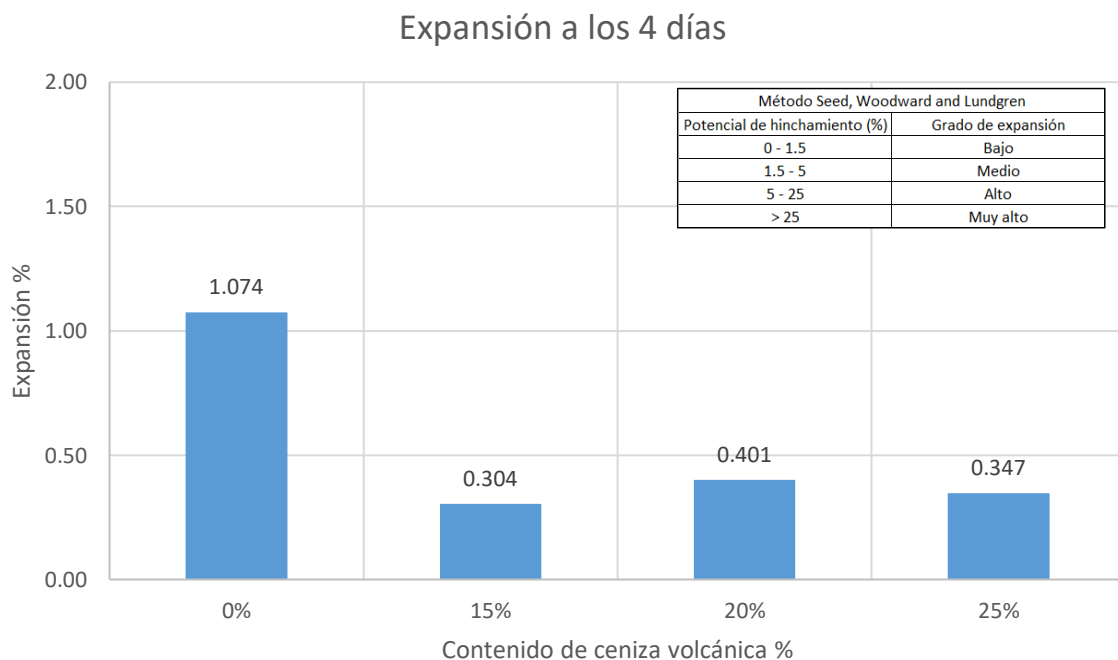


Figura 23. Variación de la expansión con adición del 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia)

a. *Formulación de hipótesis:*

H₀: No existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (expansión) con adición de ceniza volcánica.

H₁: Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (expansión) con adición de ceniza volcánica.

b. *Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$*

c. *Elección de la prueba estadística*

Cómo se ha definido en el capítulo anterior se trabaja con la prueba ANOVA para el análisis con más de dos muestras independientes.

d. *Estimación del p-valor*

Con el programa SPSS, obtenemos los estadísticos de las muestras evaluadas:

Tabla 20
Estadístico descriptivo para la expansión

	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Min.	Max.
				Límite inferior	Límite superior		
S100	1.07400	.015556	.011000	.93423	1.21377	1.063	1.085
S80-CV20	0.40100	.015556	.011000	.26123	.54077	.390	.412

Nota: S: Suelo arcilloso CV: Ceniza Volcánica (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 21
Prueba estadística ANOVA para la expansión

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.794	3	.265	2188.061	.001
Dentro de grupos	.000	4	.000		
Total	.795	7			

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Al realizar la prueba Dunnett para observar la comparación de la muestra patrón (S100), con los demás tratamientos, se tiene la siguiente Tabla:

Tabla 22
Comparaciones múltiples de Dunnett para la expansión

(I)Tratamiento	(J)Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
S85-CV15	S100	-.770000*	.011000	.001	-.80979	-.73021
S80-CV20	S100	-.673000*	.011000	.001	-.71279	-.63321
S75-CV25	S100	-.717000*	.011000	.001	-.76679	-.68721

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Según la tabla anterior, se tiene un nivel de significancia de $p = 0.001$, que será contrastada con los criterios de decisión del siguiente paso.

e. Toma de decisión

Según los resultados obtenidos determinamos que $p = 0.001 < \alpha = 0.05$, por lo tanto la hipótesis nula se rechaza, concluyendo que:

(Se rechaza) H_0 : No existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (expansión) con adición de ceniza volcánica.

(Se acepta) H_1 : Existe una variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (expansión) con adición de ceniza volcánica.

7.9.2 Prueba de hipótesis específica 02

Para validar la hipótesis específica 02 y demostrar que la ceniza volcánica genera un incremento de la capacidad de soporte (CBR), se debe demostrar que este sea significativa respecto a una muestra patrón.

En la Figura 24 se presenta los resultados de (CBR) para cada tratamiento sobre la cual se va a realizar la prueba estadística:

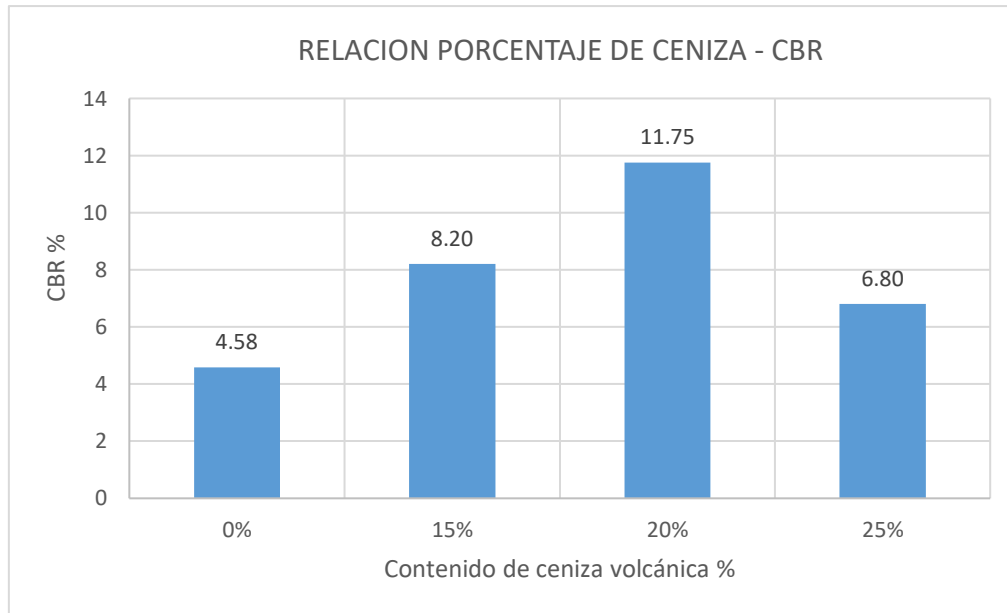


Figura 24. Comparación del CBR con adición del 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza volcánica (Fuente: Elaboración propia)

a. Formulación de hipótesis:

H_0 : No existe una variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.

H_1 : Existe una variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.

b. Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

c. Elección de la prueba estadística

Cómo se ha definido en el capítulo anterior se trabaja con la prueba T de Student para una o dos muestras relacionadas o independientes.

d. Estimación del p-valor

Con el programa SPSS, obtenemos los estadísticos de las muestras evaluadas:

Tabla 23
Prueba T para muestras relacionadas.

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig.
				Inferior	Superior			
S100	-	.10607	.07500	-	-	-95.667	1	.007
S80-CV25	7.17500	.10607	.07500	8.12797	6.22203	-95.667	1	.007

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Según la tabla anterior, se tiene un nivel de significancia de $p = 0.007$, que será contrastada con los criterios de decisión del siguiente paso.

e. Toma de decisión

Según los resultados obtenidos determinamos que $p = 0.007 < \alpha = 0.05$, por lo tanto la hipótesis nula se rechaza, concluyendo que:

(Se rechaza) H_0 : No existe una variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.

(Se acepta) H_1 : Existe una variación en la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

Se evaluó la estabilización de un suelo arcilloso clasificado como CL o A-6(9), con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané, ya que la ceniza volcánica provoca una reacción en el suelo, debido al 55% de $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Albita) el cual está compuesto principalmente por sílice, concluyendo que al adicionar ceniza volcánica mejora las propiedades físicas (plasticidad y expansión) e incrementa significativamente la capacidad de soporte (CBR) del suelo arcilloso, según el MTC, pasando de una subrasante pobre a una subrasante buena, lo cual es favorable, siendo posible el uso de ceniza volcánica como material estabilizante.

Se conoció la variación de las propiedades físicas del suelo arcilloso (plasticidad y expansión) con adición de ceniza volcánica, la adición de ceniza volcánica mejora las condiciones del suelo arcilloso de la siguiente manera:

- El índice de plasticidad (IP) del suelo arcilloso disminuye de 14.85% a 9.08% al adicionarle 25% de ceniza volcánica, encontrándose próximo a pasar de un suelo arcilloso de plasticidad media a un suelo poco arcilloso de plasticidad baja.
- La expansión que presenta el suelo arcilloso alcanza un valor de 1.074% a las 96 horas de estar sumergida en agua y al adicionarle 15% de ceniza volcánica se logra disminuir a 0.304%.

Se conoció la variación de la capacidad de soporte del suelo arcilloso con adición de ceniza volcánica, CBR = 4.58% para la muestra patrón y 8.20%, 11.75%, 6.80% para la adición de ceniza volcánica en 15%, 20% y 25% respectivamente, concluyendo que este incrementa en todos los casos propuestos.

Se identificó el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica según su capacidad de soporte (CBR) comparando los resultados obtenidos en laboratorio. Siendo el 20% de adición

de ceniza volcánica, el cual incrementa la capacidad de soporte (CBR) en un 61.02% respecto a la muestra patrón. El suelo natural tomado como muestra patrón presenta un (CBR) de 4.58% categorizándose como una subrasante pobre y el valor máximo (CBR) de 11.75% obtenido en laboratorio se categoriza como una subrasante buena.

8.2 Recomendaciones

Se recomienda el uso de ceniza volcánica para mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo para subrasante; ya que a la vez nos permite reducir el impacto por depredación de canteras que se ocasiona al realizar estabilización con material de préstamo como método tradicional.

Se recomienda profundizar los estudios sobre la utilización de ceniza volcánica en pavimentos, ensayando con otro tipo de suelos, ya que no existe ningún producto químico ideal que pueda estabilizar todos los tipos de suelo en todas las circunstancias y condiciones climáticas.

Referencias

- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (2009). Uso de sílice en hormigones de alto desempeño. (*Artículos de Tesis de Grado*). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/7684>
- Apaza, F., Churata, R., Tupayachi, P., Almiron, J., & Velazco, F. (2018). Estudio de la ceniza de volcanes peruanos como materia prima para la industria de la construcción. *VIII Foro Internacional los Volcanes y su Impacto, Arequipa*. INGEMMET, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1473>
- Behak, L., & Peres Núñez, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso. *Revista ingeniería de construcción*, 23(1), 34-41. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732008000100004#back
- Bernaola, V. (1911). Contribución al estudio de los feldespatos y arcillas : algunos datos sobre materiales arcillosos y silíceos de la República Argentina. *Tesis*. Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina. Obtenido de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n0067_Bernaola.pdf
- Cañar Tiviano, E. S. (2017). Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón. (*Tesis*). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25266>
- Castro Cuadra, A. F. (2017). Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante. (*Tesis*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/10054>
- Chavez Cruz, B. K., & Ocola Zegarra, M. (2018). Envejecimiento de arcillas y evaluación de las propiedades físicas y químicas para su aplicación a procesos industriales. (*Tesis*). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7221>
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/publications/card/en/c/0f070cdd-1b6d-53fa-add1-5c972fb299d2/>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). México: Editorial MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Higuera Sandoval, C. H., Gómez Cristancho, J. C., & Pardo Naranjo, Ó. E. (2012). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. *Revista Facultad de Ingeniería*, 21(32), 21-40. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4222676.pdf>
- Huancoillo Humpiri, Y. J. (2017). Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané - Chupa - Puno. (*Tesis*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6963>

- Llamoga Vásquez, L. Y. (2017). Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz, Cajamarca 2016. (*Tesis*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11537/11195>
- Manrique, N., & Vela, J. (2018). Evaluación por caída de ceniza en el anexo de Nahuira (distrito Chachas). (*Informe técnico N°A6798*). INGEMMET, Arequipa. Obtenido de http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//5154_evaluacion-por-caida-de-ceniza-en-el-anexo-de-nahaira-distrito-chachas-provincia-castilla-region-arequipa.pdf
- Morales Zuluaga, D. (2015). Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas. *Tesis*. Universidad de Medellín Ciencia y Libertad, Medellín. Obtenido de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236>
- MTC. (2014). Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. *Manual de carreteras*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Perez Collantes, C. A. (2014). Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante mejorada. (*Tesis*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4466>
- Pérez Collantes, R. (2012). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. (*Tesis*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1313>
- Roldán de Paz, J. (2010). Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub base. (*Tesis*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3160_C.pdf
- Suriano Marroquín, I. M. (2018). Mezcla asfáltica en caliente por método Marshall, adicionando cenizas volantes. (*Tesis*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Terrones Cruz, A. T. (2018). Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, trujillo - 2018. (*Tesis*). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11537/14971>

Anexos

Anexo A. Registro de ensayos en campo



Anexo B. Registro de ensayos en laboratorio



Anexo C. Índice Medio Diario Anual



Anexo D. Plano estratigráfico



Anexo E. Panel fotográfico

Anexo A. Registro de ensayos en campo

		UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
PROYECTO DE TESIS		: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané				
UBICACIÓN		: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané				
RESPONSABLE		: Bach. Brayan Vargas Gonza		Fecha	: 03/10/19	
PDC				Progresiva	: Km 5+225	
				Coordenadas de ubicación X	: 431340.12	
				Coordenadas de ubicación Y	: 8315387.03	
				N° del punto	: P - 1	
Número de golpes	Lectura PDC	Penetración entre lecturas (cm)	Indice PDC (mm/golpe)	Indice PDC acumulado	CBR (%)	
0	100.0	0.0	0	0	0	
5	97.5	2.5	25.0	32.86	5.84	
10	93.5	6.5	40.0			
15	90.3	9.7	32.0			
20	86.0	14.0	43.0			
25	82.8	17.2	32.0			
30	79.8	20.2	30.0			
35	77.5	22.5	23.0			
40	74.8	25.2	27.0			
45	71.5	28.5	33.0			
50	68.8	31.2	27.0			
55	66.3	33.7	25.0			
60	63.0	37.0	33.0			
65	60.5	39.5	25.0			
70	57.3	42.7	32.0			
75	53.3	46.7	40.0			
80	49.8	50.2	35.0			
85	46.0	54.0	38.0			
90	42.3	57.7	37.0			
100	37.9	62.1	44.0			
105	35.0	65.0	29.0			
110	32.3	67.7	27.0			
115	28.0	72.0	43.0			
120	24.3	75.7	37.0			
125	20.8	79.2	35.0			
130	17.5	82.5	33.0			
135	13.5	86.5	40.0			
140	10.5	89.5	30.0			
143	8.0	92.0	25.0			


		UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
PROYECTO DE TESIS		: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané				
UBICACIÓN		: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané				
RESPONSABLE		: Bach. Brayan Vargas Gonza		Fecha	: 03/10/19	
PDC			Progresiva		: Km 5+475	
			Coordenadas de ubicación X		: 431580.22	
			Coordenadas de ubicación Y		: 8315298.54	
			N° del punto		: P - 02	
Número de golpes	Lectura PDC	Penetración entre lecturas (cm)	Indice PDC (mm/golpe)	Indice PDC acumulado	CBR (%)	
0	100.0	0.0	0	0	0	
5	97.8	2.2	22.0	31.79	6.06	
10	93.5	6.5	43.0			
15	89.5	10.5	40.0			
20	84.5	15.5	50.0			
25	80.3	19.7	42.0			
30	76.8	23.2	35.0			
35	73.3	26.7	35.0			
40	69.8	30.2	35.0			
45	66.0	34.0	38.0			
50	62.8	37.2	32.0			
55	59.0	41.0	38.0			
60	54.8	45.2	42.0			
65	51.3	48.7	35.0			
70	47.0	53.0	43.0			
75	45.0	55.0	20.0			
80	42.5	57.5	25.0			
85	39.8	60.2	27.0			
90	37.3	62.7	25.0			
95	33.3	66.7	40.0			
100	31.5	68.5	18.0			
105	29.3	70.7	22.0			
110	26.0	74.0	33.0			
115	23.5	76.5	25.0			
120	20.8	79.2	27.0			
125	18.8	81.2	20.0			
130	16.3	83.7	25.0			
135	14.8	85.2	15.0			
140	10.0	90.0	48.0			
142	7.8	92.2	22.0			

		UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
PROYECTO DE TESIS		: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané				
UBICACIÓN		: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané				
RESPONSABLE		: Bach. Brayan Vargas Gonza		Fecha	: 03/10/19	
PDC				Progresiva	: Km 5+725	
				Coordenadas de ubicación X	: 431845.42	
				Coordenadas de ubicación Y	: 8315186.90	
				N° del punto	: P - 03	
Número de golpes	Lectura PDC	Penetración entre lecturas (cm)	Indice PDC (mm/golpe)	Indice PDC acumulado	CBR (%)	
0	100.0	0.0	0	0	0	
5	98.5	1.5	15.0	33.52	5.72	
10	95.0	5.0	35.0			
15	91.8	8.2	32.0			
20	89.3	10.7	25.0			
25	86.8	13.2	25.0			
30	83.0	17.0	38.0			
35	81.0	19.0	20.0			
40	77.8	22.2	32.0			
45	74.8	25.2	30.0			
50	71.5	28.5	33.0			
55	68.8	31.2	27.0			
60	66.5	33.5	23.0			
65	64.3	35.7	22.0			
70	61.5	38.5	28.0			
75	57.0	43.0	45.0			
80	53.0	47.0	40.0			
85	48.8	51.2	42.0			
90	44.0	56.0	48.0			
95	38.3	61.7	57.0			
100	35.3	64.7	30.0			
105	33.0	67.0	23.0			
110	29.0	71.0	40.0			
115	25.3	74.7	37.0			
120	22.5	77.5	28.0			
125	18.0	82.0	45.0			
130	13.3	86.7	47.0			
135	9.5	90.5	38.0			

		UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
PROYECTO DE TESIS		: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané				
UBICACIÓN		: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané				
RESPONSABLE		: Bach. Brayan Vargas Gonza		Fecha	: 03/10/19	
PDC				Progresiva	: Km 5+975	
				Coordenadas de ubicación X	: 432063.89	
				Coordenadas de ubicación Y	: 8315073.88	
				N° del punto	: P - 04	
Número de golpes	Lectura PDC	Penetración entre lecturas (cm)	Indice PDC (mm/golpe)	Indice PDC acumulado (mm/golpe)	CBR (%)	
0	100.0	0.0	0	0	0	
5	96.5	3.5	35.0	33.04	5.81	
10	92.0	8.0	45.0			
15	88.7	11.3	33.0			
20	82.5	17.5	62.0			
25	79.0	21.0	35.0			
30	76.5	23.5	25.0			
35	74.0	26.0	25.0			
40	71.5	28.5	25.0			
45	68.5	31.5	30.0			
50	66.0	34.0	25.0			
55	63.5	36.5	25.0			
60	59.7	40.3	38.0			
65	57.0	43.0	27.0			
70	53.0	47.0	40.0			
75	49.5	50.5	35.0			
80	46.7	53.3	28.0			
85	44.0	56.0	27.0			
90	40.5	59.5	35.0			
95	37.5	62.5	30.0			
100	34.7	65.3	28.0			
105	31.5	68.5	32.0			
110	27.0	73.0	45.0			
115	23.3	76.7	37.0			
120	18.8	81.2	45.0			
125	16.8	83.2	20.0			
130	14.0	86.0	28.0			
135	11.5	88.5	25.0			
140	7.5	92.5	40.0			

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
UBICACIÓN	: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza	Fecha	: 03/10/19

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Progresiva	: Km 5+225
	Coordenadas de ubicación X	: 431340.12
	Coordenadas de ubicación Y	: 8315387.03
	N° del punto de exploración	: C - 01

PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00			
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			

Estrato 01

CL

Suelo arcilloso de plasticidad media, color marrón. No presenta nivel freático.

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancañé
-------------------	--

UBICACIÓN	: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancañé
-----------	---

RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza	Fecha	: 03/10/19
-------------	-----------------------------	-------	------------

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Progresiva	: Km 5+475
	Coordenadas de ubicación X	: 431580.22
	Coordenadas de ubicación Y	: 8315298.54
	N° del punto de exploración	: C - 02

PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00			
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			

Estrato 01

CL

Suelo arcilloso de plasticidad media, color marrón. No presenta nivel freático.


PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
UBICACIÓN	: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza	Fecha	: 03/10/19

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Progresiva	: Km 5+725
	Coordenadas de ubicación X	: 431845.42
	Coordenadas de ubicación Y	: 8315186.90
	N° del punto de exploración	: C - 03

PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00			
0.05	Estrato 01	CL	
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
UBICACIÓN	: Tramo Asiruni - Rosaspata de la Provincia de Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza	Fecha	: 03/10/19

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Progresiva	: Km 5+975
	Coordenadas de ubicación X	: 432063.89
	Coordenadas de ubicación Y	: 8315073.88
	N° del punto de exploración	: C - 04

PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00			
0.05	Estr. 01	CL	
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30	Estrato 02	CL	
0.35			
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80	Suelo arcilloso de plastidad media, color marrón. No presenta nivel freático.		
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			

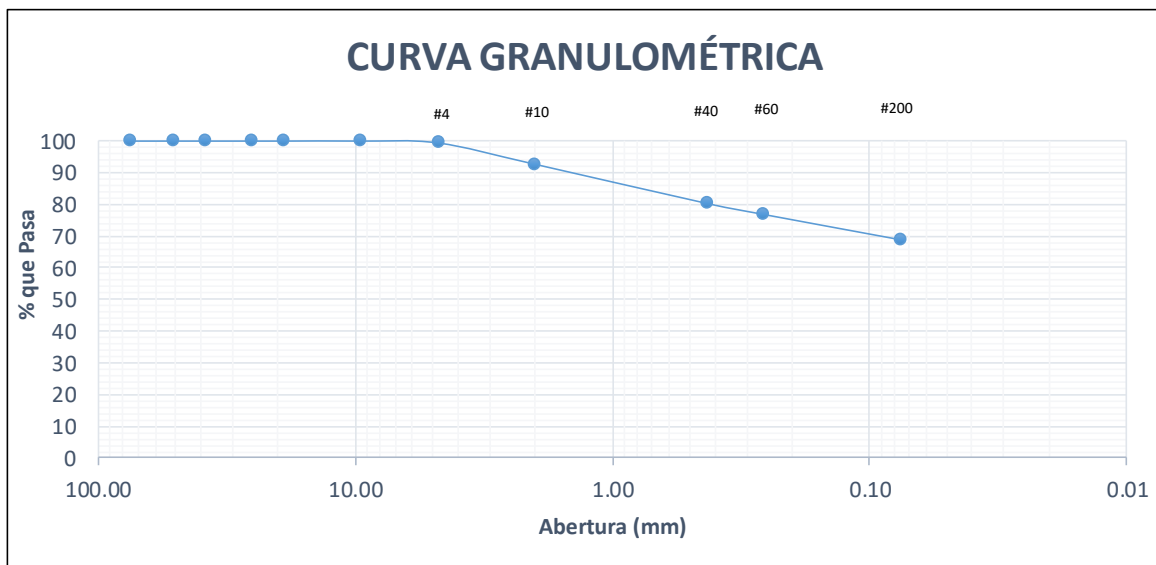
Anexo B. Registro de ensayos en laboratorio

Suelo arcilloso



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

GRANULOMETRÍA				Muestra	: S 100
				Peso seco inicial	: 508 gr
				Peso seco lavado	: 160 gr
				% que pasa la malla 200	: 68.81%
Tamiz Nro	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumul.	% que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	3.00	0.59	0.59	99.41
#10	2.000	34.00	6.71	7.30	92.70
#40	0.425	63.00	12.44	19.74	80.26
#60	0.260	17.00	3.36	23.10	76.90
#200	0.075	41.00	8.09	31.19	68.81
Fondo	0.000	348.60	68.81	100.00	
Total		506.6	100.00		





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancafé
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S100 (1)
	LL (%)	37.95
	LP (%)	23.43
	IP (%)	14.52

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-01	$LL = 39.76 * \left(\frac{17}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 37.95\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	28.31	
Tara + Suelo seco (gr)	25.01	
Agua (gr)	3.30	
Peso de tara (gr)	16.71	
Suelo seco (gr)	8.30	
% de humedad	39.76	
Nro. De golpes	17	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-04	T-05
Tara + Suelo húmedo (gr)	20.94	21.98
Tara + Suelo seco (gr)	20.06	20.90
Agua (gr)	0.88	1.08
Peso de tara (gr)	16.36	16.22
Suelo seco (gr)	3.70	4.68
% de humedad	23.78	23.08
% de humedad promedio	23.43	



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancañé
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S100 (2)
	LL (%)	38.53
	LP (%)	23.36
	IP (%)	15.17

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-017	$LL = 38.92 * \left(\frac{23}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 38.53\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	25.78	
Tara + Suelo seco (gr)	23.11	
Agua (gr)	2.67	
Peso de tara (gr)	16.25	
Suelo seco (gr)	6.86	
% de humedad	38.92	
Nro. De golpes	23	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-05	T-003
Tara + Suelo húmedo (gr)	25.43	24.92
Tara + Suelo seco (gr)	23.68	23.31
Agua (gr)	1.75	1.61
Peso de tara (gr)	16.22	16.39
Suelo seco (gr)	7.46	6.92
% de humedad	23.46	23.27
% de humedad promedio	23.36	



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

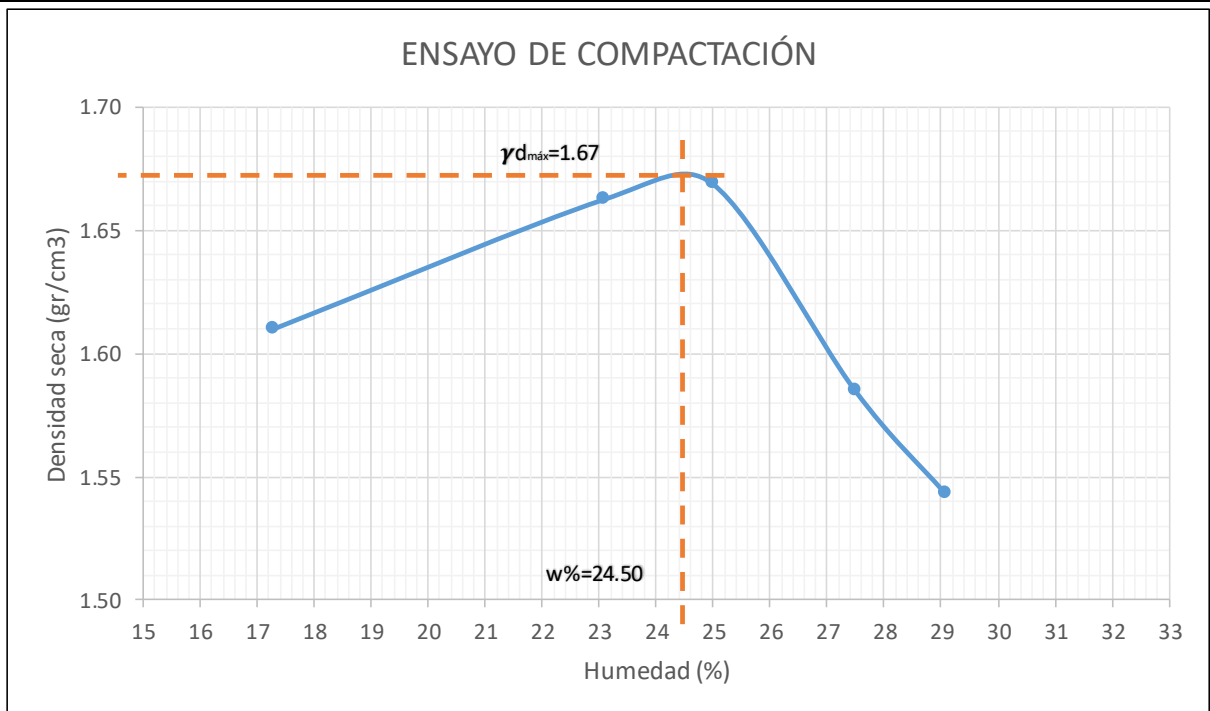




PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

PROCTOR MODIFICADO	Muestra	: S 100
	Método de compactación	: A
	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	: 1.67
	Contenido de humedad óptimo (%)	: 24.50

CONTROL DE DENSIDAD					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso de molde (gr)	3898	3898	3898	3898	3898
Volumen del molde (cm ³)	903.21	903.21	903.21	903.21	903.21
Peso del material + molde	5603	5746	5782	5723	5697
Peso del material	1705	1848	1884	1825	1799
Densidad húmeda	1.89	2.05	2.09	2.02	1.99

CONTROL DE LA HUMEDAD										
Número de tara	t-033	t-011	t-039	t-007	t-032	t-024	t-034	t-011	t-016	t-025
Peso de tara	16.02	22.41	15.82	18.48	16.33	16.46	16.52	22.42	16.77	16.49
Peso de tara+suelo húmedo	65.75	77.34	56.56	66.70	53.12	50.79	45.73	57.19	55.81	53.90
Peso de tara + suelo seco	58.51	69.16	48.98	57.59	45.74	43.95	39.45	49.67	47.01	45.48
Contenido de humedad	17.04	17.50	22.86	23.29	25.09	24.88	27.39	27.60	29.10	29.04
Contenido de humedad prom.	17.27		23.08		24.99		27.49		29.07	
Densidad seca	1.61		1.66		1.67		1.58		1.54	



 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN <i>Una Educación Al Servicio</i>	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
--	---	---

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza
MUESTRA	: S 100 (1)

CBR (California Bearing Ratio)

COMPACTACIÓN						
Número de molde	M-4		M-6		M-3	
Golpes por capa	55		26		12	
Número de capas	5		5		5	
Volumen de molde	2123.06		2141.21		2169.48	
Peso del molde	7485		8498		8338	
Condición de la muestra	no sat.	sat.	no sat.	sat.	no sat.	sat.
Peso de suelo húmedo + molde	11879	11920	12715	12845	12488	12566
Peso de suelo húmedo	4394		4217		4150	
Densidad de suelo húmedo	2.07		1.97		1.91	

HUMEDAD						
Número de tara	t-025	t-024	t-033	t-007	t-020	t-008
Peso de tara	16.43	16.46	16.03	18.48	20.81	16.26
Peso de tara + suelo húmedo	44.4	47.74	68.96	85.31	65.15	49.40
Peso de tara + suelo seco	38.69	41.26	58.25	72.13	56.15	42.58
Contenido de humedad	25.65	26.13	25.37	24.57	25.47	25.91
Densidad de suelo seco	1.64		1.58		1.52	

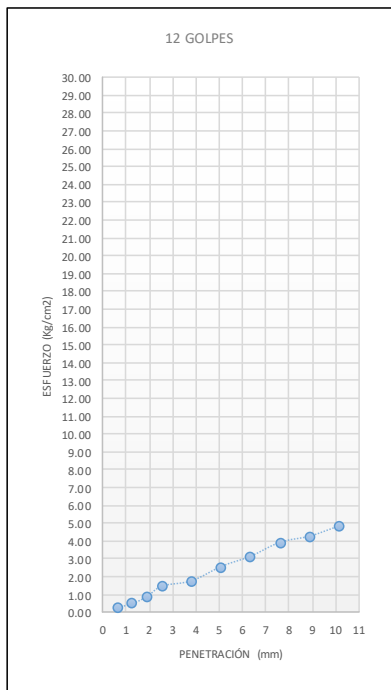
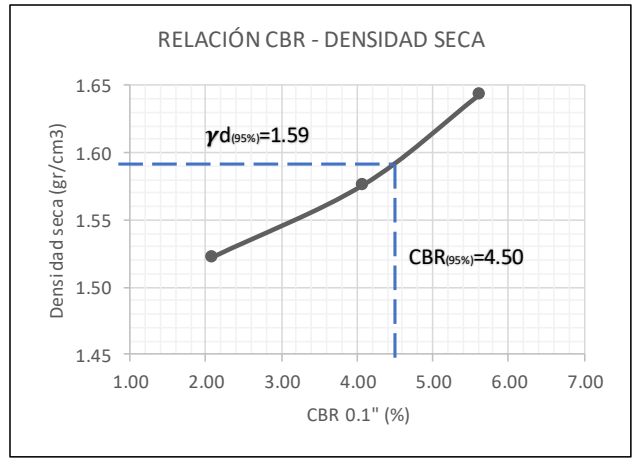
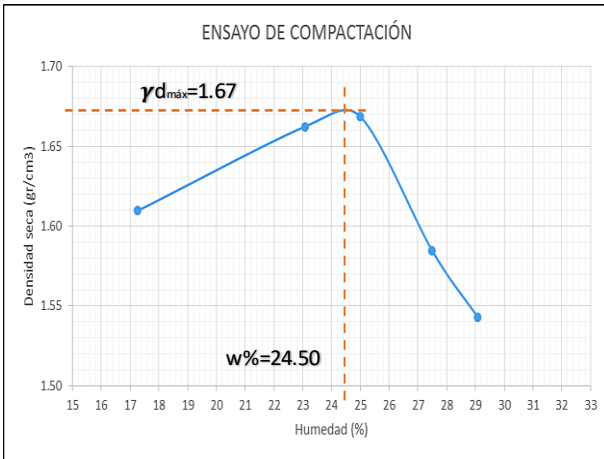
EXPANSIÓN						
Tiempo (Horas)	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.
0	0.049	0.000	0.396	0.000	0.446	0.000
24	0.050	0.022	0.398	0.043	0.456	0.217
48	0.068	0.412	0.419	0.499	0.471	0.542
72	0.075	0.564	0.433	0.803	0.508	1.345
96	0.098	1.063	0.452	1.215	0.548	2.213

PENETRACIÓN						
Penetración (mm)	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm2
0.63	32.0	1.65	21.5	1.11	5.5	0.28
1.27	49.5	2.56	32.0	1.65	9.5	0.49
1.91	65.0	3.36	43.0	2.22	17.5	0.90
2.54	76.5	3.95	55.5	2.87	28.5	1.47
3.81	95.5	4.94	75.0	3.88	34.0	1.76
5.09	118.5	6.12	90.5	4.68	49.5	2.56
6.35	138.0	7.13	113.0	5.84	60.5	3.13
7.62	157.5	8.14	130.5	6.74	75.5	3.90
8.89	179.0	9.25	156.0	8.06	82.0	4.24
10.16	198.0	10.23	170.5	8.81	93.0	4.81

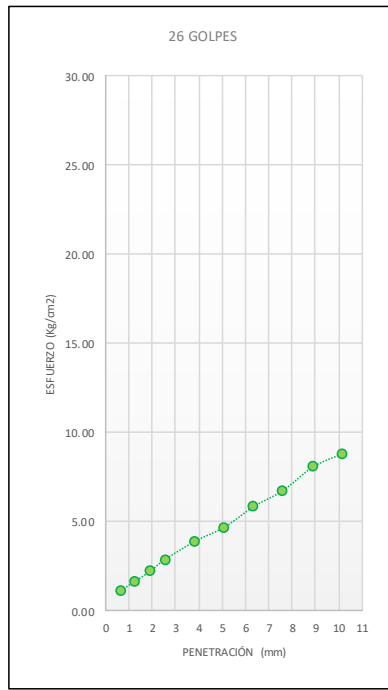


PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza		
MUESTRA	: S 100 (1)	Sumergido	4 días

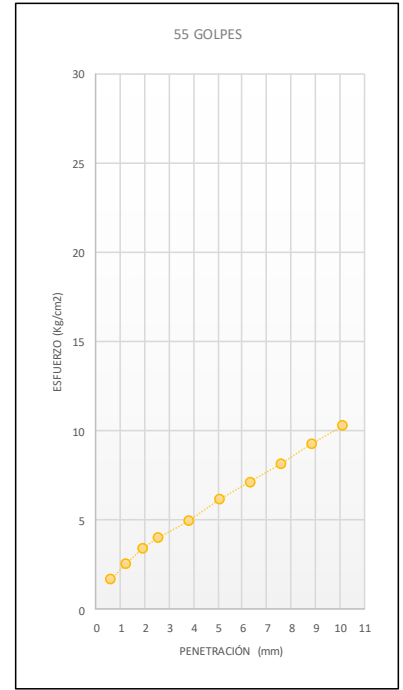
CBR (California Bearing Ratio)	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	A
	DENSIDAD SECA AL 95% (gr/cm ³)	1.59
	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	24.50
	CBR 0.1" AL 95% DE M.D.S. (%)	4.50



CBR 0.1"=2.09



CBR 0.1"=4.08



CBR 0.1"=5.62

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancafé
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza
MUESTRA	: S100 (2)

CBR (California Bearing Ratio)

COMPACTACIÓN

Número de molde	M-8		M-2		M-7	
Golpes por capa	55		26		12	
Número de capas	5		5		5	
Volumen de molde	2123.06		2104.92		2132.7	
Peso del molde	7600		8338		7485	
Condición de la muestra	no sat.	sat.	no sat.	sat.	no sat.	sat.
Peso de suelo húmedo + molde	12037	12078	12442	12572	11451	11529
Peso de suelo húmedo	4437		4104		3966	
Densidad de suelo húmedo	2.09		1.95		1.86	

HUMEDAD

Número de tara	t-033	t-022	t-029	t-016	t-023	t-012
Peso de tara	16.02	16.11	20.79	16.75	16.18	23.22
Peso de tara + suelo húmedo	47.70	51.04	72.26	58.01	55.2	73.17
Peso de tara + suelo seco	41.30	43.86	62.02	49.89	47.28	62.9
Contenido de humedad	25.32	25.87	24.84	24.50	25.47	25.88
Densidad de suelo seco	1.66		1.56		1.48	

EXPANSIÓN

Tiempo (Horas)	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.
0	0.436	0.000	0.038	0.000	0.236	0.000
24	0.438	0.043	0.041	0.065	0.245	0.195
48	0.455	0.412	0.060	0.477	0.262	0.564
72	0.463	0.586	0.074	0.781	0.297	1.323
96	0.486	1.085	0.095	1.236	0.339	2.234

PENETRACIÓN

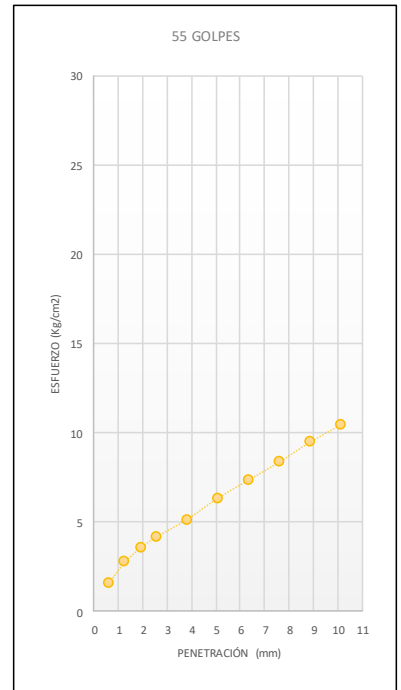
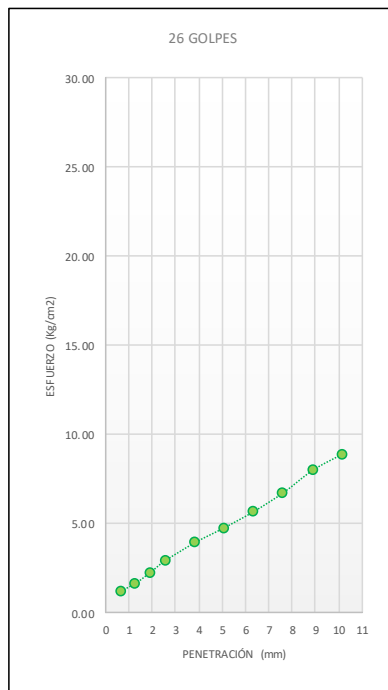
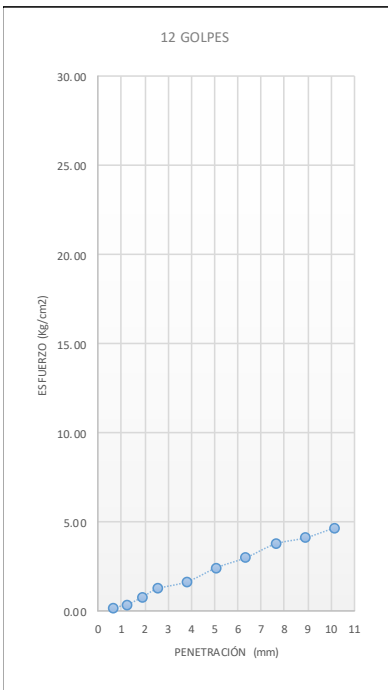
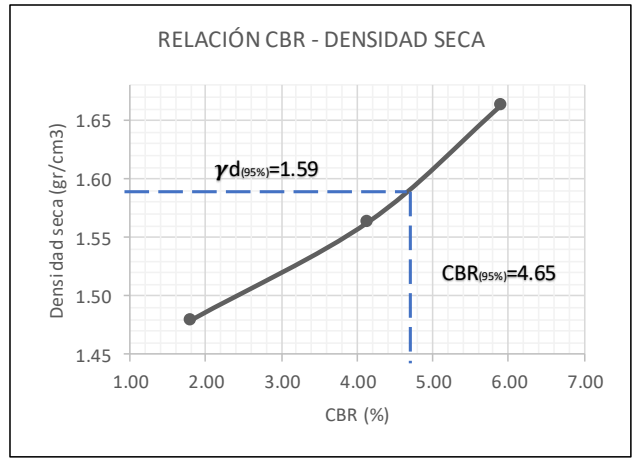
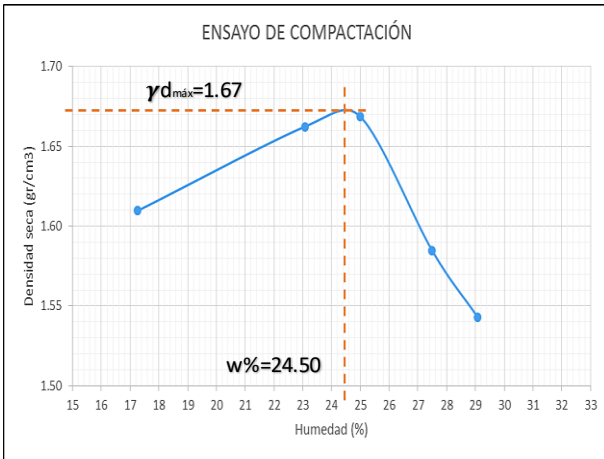
Penetración (mm)	Kg	Kg/cm ²	Kg	Kg/cm ²	Kg	Kg/cm ²
0.63	31.5	1.63	23.5	1.21	3.5	0.18
1.27	53.5	2.76	32.0	1.65	7.5	0.39
1.91	69.0	3.57	44.0	2.27	15.5	0.80
2.54	80.5	4.16	56.5	2.92	24.5	1.27
3.81	99.5	5.14	76.0	3.93	32.0	1.65
5.09	122.5	6.33	92.5	4.78	47.5	2.45
6.35	142.0	7.34	110.0	5.68	58.5	3.02
7.62	161.5	8.35	130.5	6.74	73.5	3.80
8.89	183.0	9.46	155.0	8.01	80.0	4.13
10.16	201.5	10.41	172.5	8.91	91.0	4.70



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza		
MUESTRA	: S100 (2)	Sumergido	4 días
CBR (California Bearing Ratio)	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	A	
	DENSIDAD SECA AL 95% (gr/cm ³)	1.59	
	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	24.50	
	CBR 0.1" AL 95% DE M.D.S. (%)	4.65	

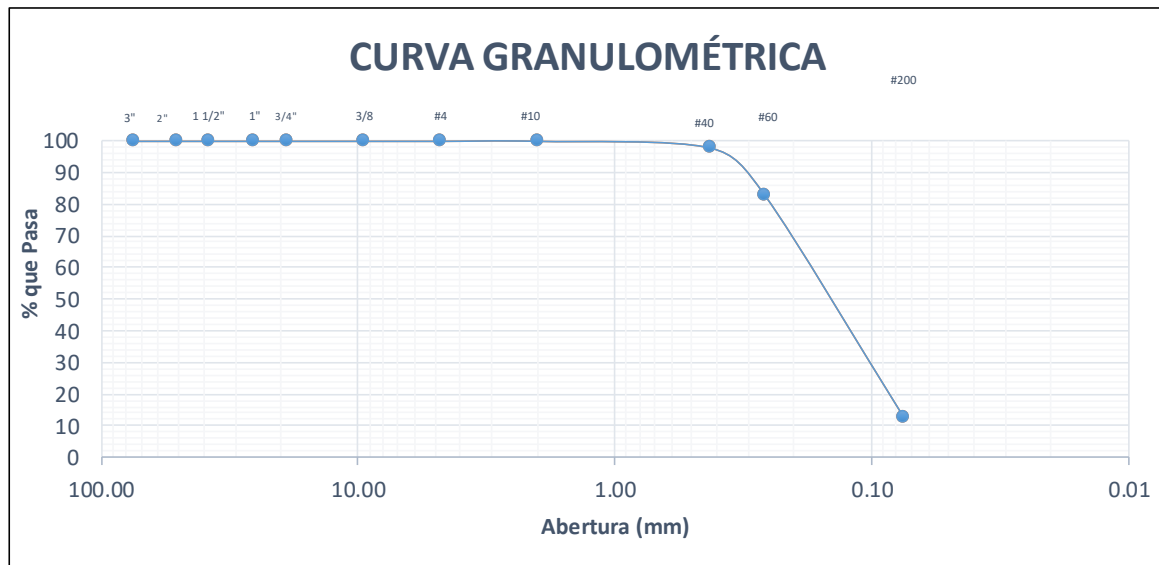


Ceniza volcánica



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

GRANULOMETRÍA				Muestra	: CV 100
				Peso seco inicial	: 500 gr
				Peso seco lavado	: 440 gr
				% que pasa la malla 200	: 12.64%
Tamiz Nro	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumul.	% que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
#10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
#40	0.425	10.60	2.13	2.13	97.87
#60	0.260	75.26	15.09	17.22	82.78
#200	0.075	349.83	70.14	87.36	12.64
Fondo	0.000	63.04	12.64	100.00	
Total		498.73	100.00		

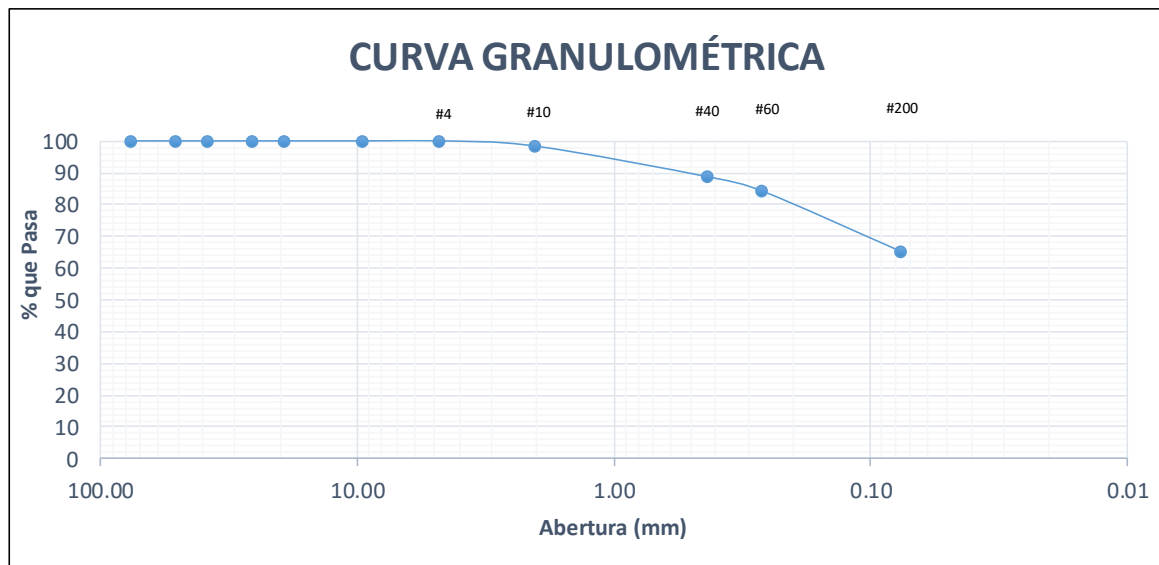


Suelo - Ceniza volcánica



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

GRANULOMETRÍA				Muestra	: S 85 - CV 15
				Peso seco inicial	: 500 gr
				Peso seco lavado	: 175 gr
				% que pasa la malla 200	: 65.16%
Tamiz Nro	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumul.	% que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
#10	2.000	8.37	1.67	1.67	98.33
#40	0.425	48.26	9.66	11.33	88.67
#60	0.260	22.91	4.58	15.92	84.08
#200	0.075	94.57	18.92	34.84	65.16
Fondo	0.000	325.60	65.16	100.00	
Total		499.71	100.00		





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S85-CV15 (1)
	LL (%)	33.89
	LP (%)	21.10
	IP (%)	12.79

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-032	$LL = 33.02 * \left(\frac{31}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 33.89\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	24.71	
Tara + Suelo seco (gr)	22.63	
Agua (gr)	2.08	
Peso de tara (gr)	16.33	
Suelo seco (gr)	6.30	
% de humedad	33.02	
Nro. De golpes	31	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-029	T-011
Tara + Suelo húmedo (gr)	31.92	32.59
Tara + Suelo seco (gr)	30.06	30.75
Agua (gr)	1.86	1.84
Peso de tara (gr)	20.81	22.42
Suelo seco (gr)	9.25	8.33
% de humedad	20.11	22.09
% de humedad promedio	21.10	



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S85-CV15 (2)
	LL (%)	32.95
	LP (%)	21.26
	IP (%)	11.69

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-003	$LL = 33.11 * \left(\frac{24}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 32.95\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	26.32	
Tara + Suelo seco (gr)	23.85	
Agua (gr)	2.47	
Peso de tara (gr)	16.39	
Suelo seco (gr)	7.46	
% de humedad	33.11	
Nro. De golpes	24	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-041	T-007
Tara + Suelo húmedo (gr)	28.08	27.56
Tara + Suelo seco (gr)	26.89	26.09
Agua (gr)	1.19	1.47
Peso de tara (gr)	21.76	18.48
Suelo seco (gr)	5.13	7.61
% de humedad	23.20	19.32
% de humedad promedio	21.26	



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

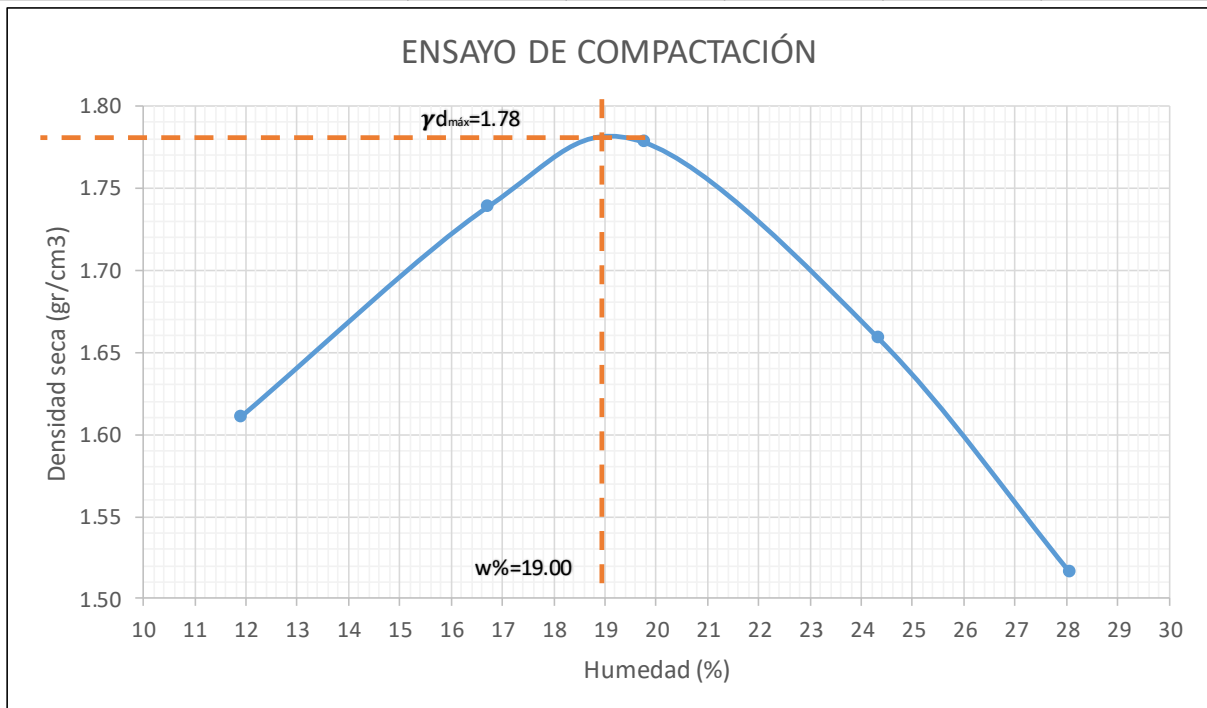




PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

PROCTOR MODIFICADO	Muestra	: S85 - CV15
	Método de compactación	: A
	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	: 1.78
	Contenido de humedad óptimo (%)	: 19.00

CONTROL DE DENSIDAD					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso de molde (gr)	3898	3898	3898	3898	3898
Volumen del molde (cm ³)	903.21	903.21	903.21	903.21	903.21
Peso del material + molde	5526	5731	5821	5760	5651
Peso del material	1628	1833	1923	1862	1753
Densidad húmeda	1.80	2.03	2.13	2.06	1.94

CONTROL DE LA HUMEDAD										
Número de tara	t-014	t-003	t-039	t-032	t-040	t-043	t-024	t-038	t-030	t-037
Peso de tara	16.29	15.99	15.83	16.33	22.03	22.04	16.46	16.26	16.20	16.40
Peso de tara+suelo húmedo	67.15	55.42	55.34	54.76	61.47	61.21	55.45	55.98	56.78	59.54
Peso de tara + suelo seco	61.70	51.25	49.68	49.25	54.96	54.75	47.80	48.22	47.90	50.07
Contenido de humedad	12.00	11.83	16.72	16.74	19.77	19.75	24.41	24.28	28.01	28.13
Contenido de humedad prom.	11.91		16.73		19.76		24.35		28.07	
Densidad seca	1.61		1.74		1.78		1.66		1.52	



	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza
MUESTRA	: S85 - CV15

CBR (California Bearing Ratio)

COMPACTACIÓN						
Número de molde	M-9		M-6		M-2	
Golpes por capa	55		26		12	
Número de capas	5		5		5	
Volumen de molde	2132.70		2123.06		2104.92	
Peso del molde	7485		8498		8338	
Condición de la muestra	no sat.	sat.	no sat.	sat.	no sat.	sat.
Peso de suelo húmedo + molde	12118	12260	11671	11921	11247	11613
Peso de suelo húmedo	4633		3173		2909	
Densidad de suelo húmedo	2.17		1.49		1.38	

HUMEDAD						
Número de tara	t-022	t-030	t-034	t-017	t-015	t-029
Peso de tara	16.11	16.16	16.50	16.21	15.97	20.79
Peso de tara + suelo húmedo	45.86	47.22	45.22	48.33	49.22	57.99
Peso de tara + suelo seco	41.05	42.09	40.73	43.26	43.85	52.14
Contenido de humedad	19.29	19.78	18.53	18.74	19.26	18.66
Densidad de suelo seco	1.82		1.26		1.16	

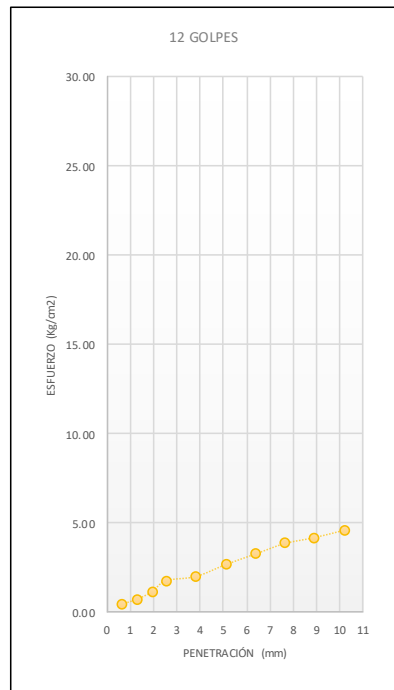
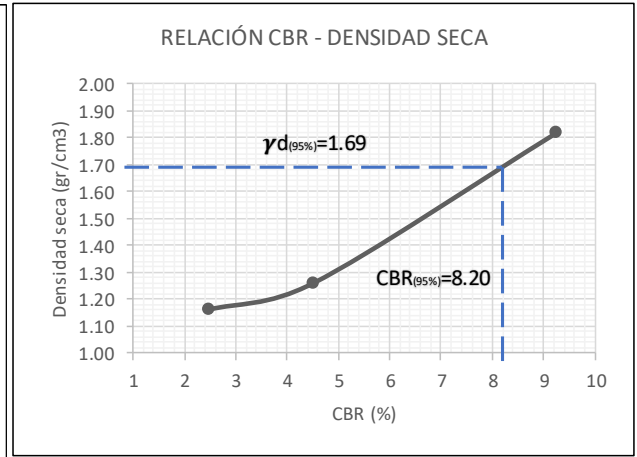
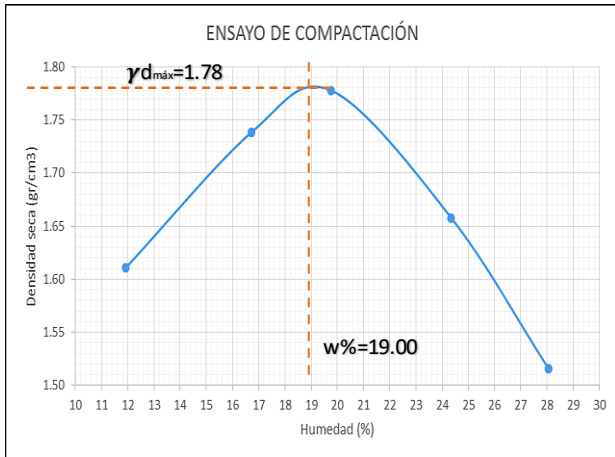
EXPANSIÓN						
Tiempo (Horas)	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.
0	0.201	0.000	0.323	0.000	0.668	0.000
24	0.204	0.065	0.327	0.087	0.672	0.087
48	0.208	0.152	0.336	0.282	0.689	0.456
72	0.212	0.239	0.351	0.607	0.705	0.803
96	0.215	0.304	0.353	0.651	0.720	1.128

PENETRACIÓN						
Penetración (mm)	Kg	Kg/cm ²	Kg	Kg/cm ³	Kg	Kg/cm ⁴
0.63	61.0	3.15	10.0	0.52	8.5	0.44
1.27	84.5	4.37	25.5	1.32	13.5	0.70
1.91	105.5	5.45	41.0	2.12	21.5	1.11
2.54	126.0	6.51	61.5	3.18	34.0	1.76
3.81	157.0	8.11	79.0	4.08	38.5	1.99
5.09	190.5	9.84	103.5	5.35	51.5	2.66
6.35	215.0	11.11	135.0	6.98	63.0	3.26
7.62	244.0	12.61	158.5	8.19	74.5	3.85
8.89	261.0	13.49	179.0	9.25	81.0	4.19
10.16	282.0	14.57	208.0	10.75	89.0	4.60

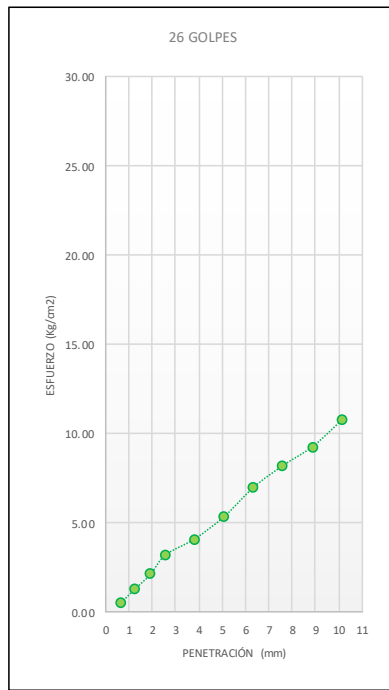


PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata,		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza		
MUESTRA	: S85 - CV15	Sumergido	4 días

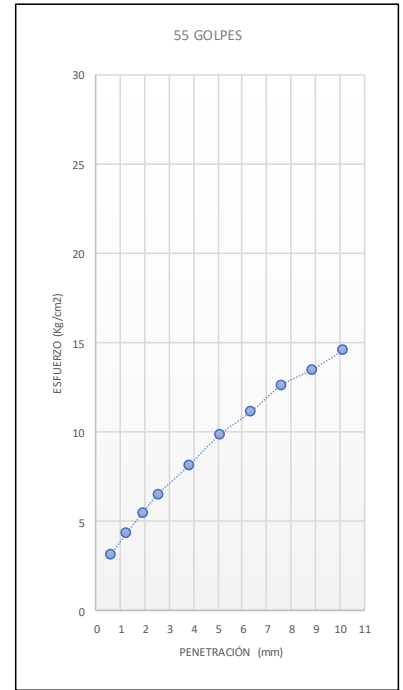
CBR (California Bearing Ratio)	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	A
	DENSIDAD SECA AL 95% (gr/cm ³)	1.69
	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	19.00
	CBR 0.1" AL 95% DE M.D.S. (%)	8.20



CBR 0.1"=2.50



CBR 0.1"=4.52

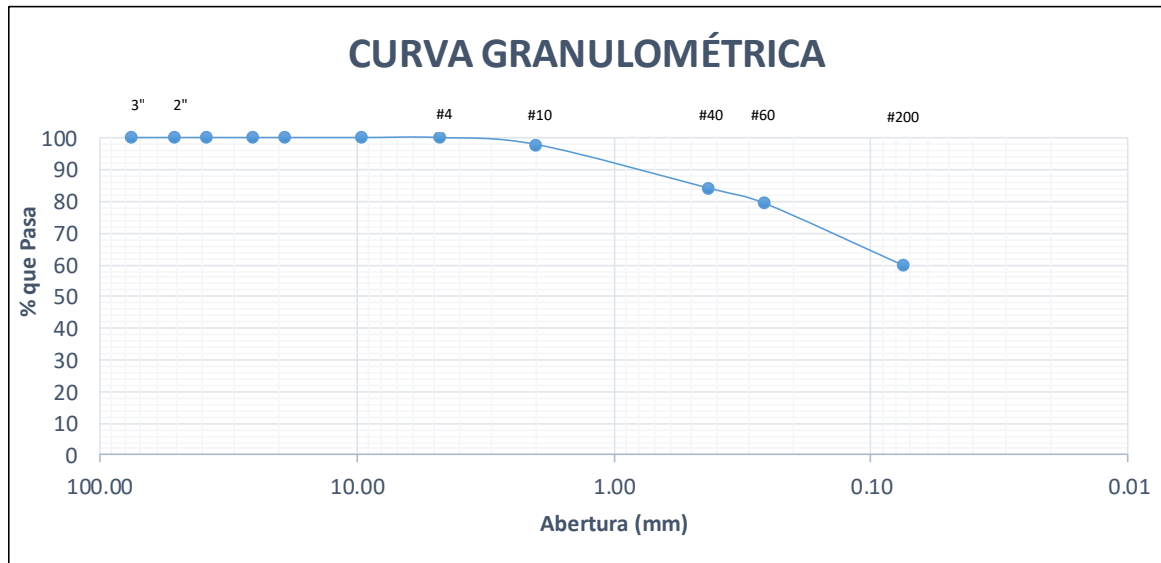


CBR 0.1"=9.26



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

GRANULOMETRÍA						
					Muestra	: S 80 - CV 20
					Peso seco inicial	: 500 gr
					Peso seco lavado	: 203 gr
					% que pasa la malla 200	: 59.71%
Tamiz Nro	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumul.	% que Pasa	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
#4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	
#10	2.000	11.14	2.23	2.23	97.77	
#40	0.425	68.99	13.80	16.03	83.97	
#60	0.260	23.55	4.71	20.74	79.26	
#200	0.075	97.74	19.55	40.29	59.71	
Fondo	0.000	298.53	59.71	100.00		
Total		499.95	100.00			





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S80-CV20 (1)
	LL (%)	34.13
	LP (%)	23.20
	IP (%)	10.93

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-017	$LL = 34.66 * \left(\frac{22}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 34.13\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	23.71	
Tara + Suelo seco (gr)	21.79	
Agua (gr)	1.92	
Peso de tara (gr)	16.25	
Suelo seco (gr)	5.54	
% de humedad	34.66	
Nro. De golpes	22	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-003	T-008
Tara + Suelo húmedo (gr)	26.10	26.72
Tara + Suelo seco (gr)	24.25	24.77
Agua (gr)	1.85	1.95
Peso de tara (gr)	16.39	16.24
Suelo seco (gr)	7.86	8.53
% de humedad	23.54	22.86
% de humedad promedio	23.20	



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

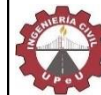
LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S80-CV20 (2)
	LL (%)	34.07
	LP (%)	23.19
	IP (%)	10.88

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-028	$LL = 34.41 * \left(\frac{23}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 34.07\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	24.54	
Tara + Suelo seco (gr)	23.58	
Agua (gr)	0.96	
Peso de tara (gr)	20.79	
Suelo seco (gr)	2.79	
% de humedad	34.41	
Nro. De golpes	23	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-019	T-001
Tara + Suelo húmedo (gr)	24.89	28.23
Tara + Suelo seco (gr)	23.26	27.44
Agua (gr)	1.63	0.79
Peso de tara (gr)	16.32	23.99
Suelo seco (gr)	6.94	3.45
% de humedad	23.49	22.90
% de humedad promedio	23.19	



UNIVERSIDAD PERUANA UNION - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS : Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancafé

RESPONSABLE : Bach. Brayan Vargas Gonza

PROCTOR MODIFICADO

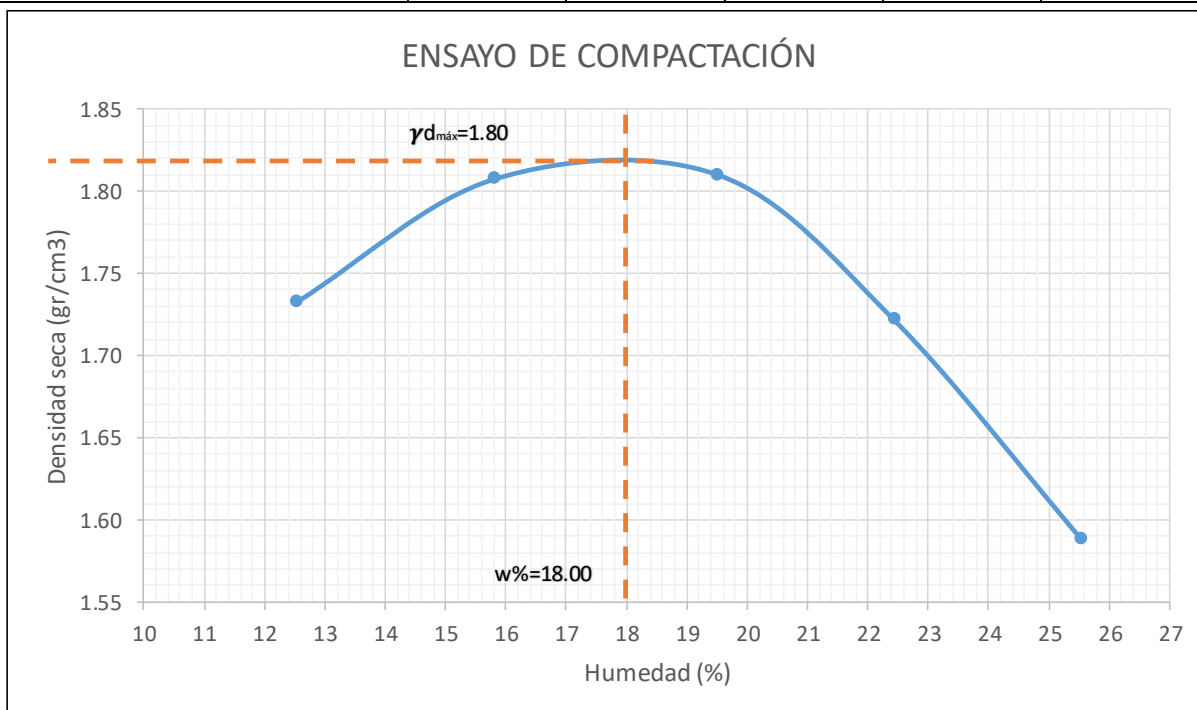
Muestra	: S80 - CV20
Método de compactación	: A
Densidad seca máxima (gr/cm ³)	: 1.82
Contenido de humedad óptimo (%)	: 18.00



CONTROL DE DENSIDAD

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso de molde (gr)	3898	3898	3898	3898	3898
Volumen del molde (cm ³)	903.21	903.21	903.21	903.21	903.21
Peso del material + molde	5659	5789	5852	5802	5699
Peso del material	1761	1891	1954	1904	1801
Densidad húmeda	1.95	2.09	2.16	2.11	1.99

CONTROL DE LA HUMEDAD

Número de tara	t-041	t-042	t-034	t-020	t-007	t-003	t-008	t-028	t-018	t-002
Peso de tara	21.76	21.03	16.52	20.81	18.48	16.41	16.27	20.79	16.52	23.60
Peso de tara+suelo húmedo	62.53	63.83	53.27	61.54	65.09	61.36	54.04	64.23	64.79	68.40
Peso de tara + suelo seco	58.07	58.98	48.23	56.00	57.48	54.02	47.13	56.26	54.94	59.32
Contenido de humedad	12.28	12.78	15.89	15.74	19.51	19.52	22.39	22.47	25.64	25.42
Contenido de humedad prom.	12.53		15.82		19.51		22.43		25.53	
Densidad seca	1.73		1.81		1.81		1.72		1.59	



	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza
MUESTRA	: S80 - CV20 (1)

CBR (California Bearing Ratio)

COMPACTACIÓN						
Número de molde	M-7		M-6		M-3	
Golpes por capa	55		26		12	
Número de capas	5		5		5	
Volumen de molde	2141.21		2123.06		2169.48	
Peso del molde	8743		8498		8338	
Condición de la muestra	no sat.	sat.	no sat.	sat.	no sat.	sat.
Peso de suelo húmedo + molde	13284	13447	12532	12806	12048	12411
Peso de suelo húmedo	4541		4034		3710	
Densidad de suelo húmedo	2.12		1.90		1.71	

HUMEDAD						
Número de tara	t-001	t-032	t-016	t-011	t-027	t-019
Peso de tara	23.99	16.32	16.75	22.41	16.65	16.32
Peso de tara + suelo húmedo	59.11	46.30	51.23	61.34	57.75	58.3
Peso de tara + suelo seco	53.95	41.50	45.75	55.16	51.35	51.98
Contenido de humedad	17.22	19.06	18.90	18.87	18.44	17.72
Densidad de suelo seco	1.80		1.60		1.45	

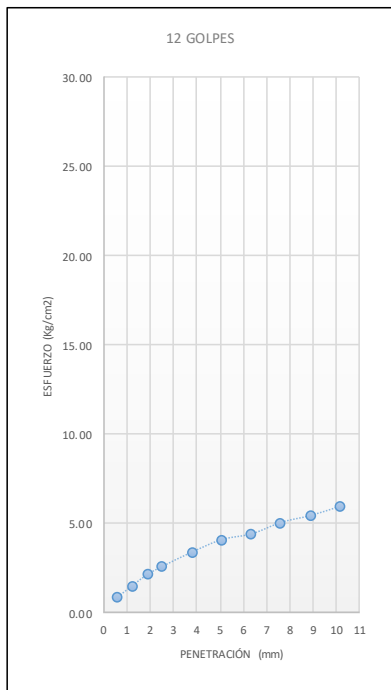
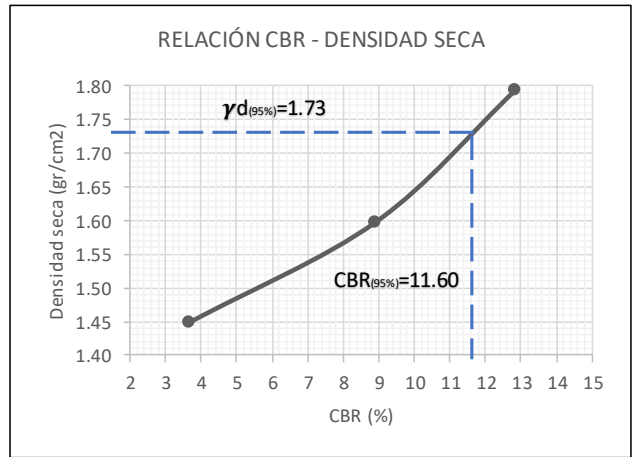
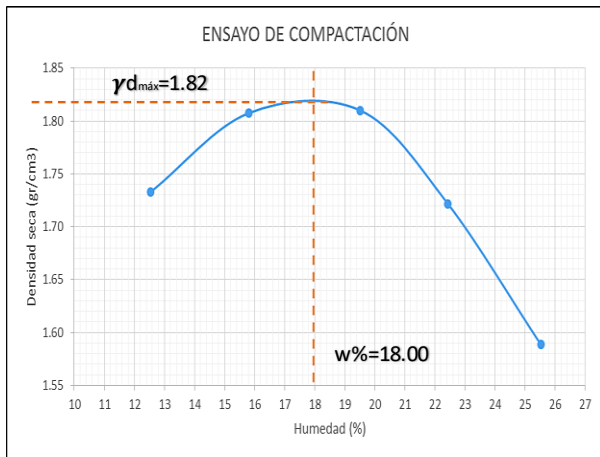
EXPANSIÓN						
Tiempo (Horas)	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.
0	0.384	0.000	0.165	0.000	0.379	0.000
24	0.392	0.174	0.171	0.130	0.432	1.150
48	0.395	0.239	0.183	0.390	0.439	1.302
72	0.399	0.325	0.192	0.586	0.447	1.475
96	0.403	0.412	0.216	1.106	0.451	1.562

PENETRACIÓN						
Penetración (mm)	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm2
0.63	99.5	5.14	65.5	3.39	17.0	0.88
1.27	124.5	6.43	81.0	4.19	29.5	1.52
1.91	149.5	7.73	98.5	5.09	41.5	2.14
2.54	175.0	9.04	121.5	6.28	50.0	2.58
3.81	219.5	11.34	152.0	7.86	65.5	3.39
5.09	264.5	13.67	184.5	9.53	79.0	4.08
6.35	297.5	15.37	206.0	10.65	85.0	4.39
7.62	334.0	17.26	228.5	11.81	97.5	5.04
8.89	371.0	19.17	245.0	12.66	105.0	5.43
10.16	408.0	21.09	265.0	13.70	115.0	5.94

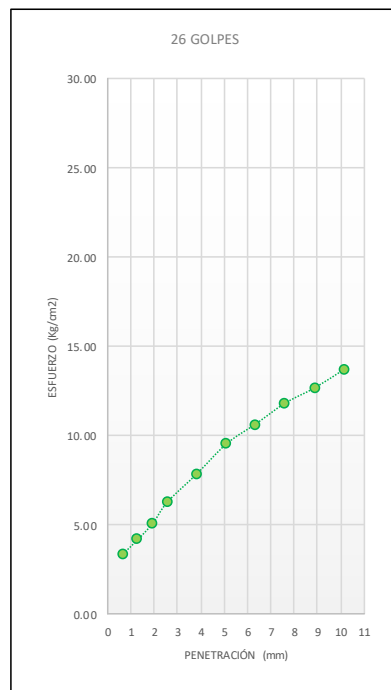


PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza		
MUESTRA	: S80 - CV20 (1)	Sumergido	4 días

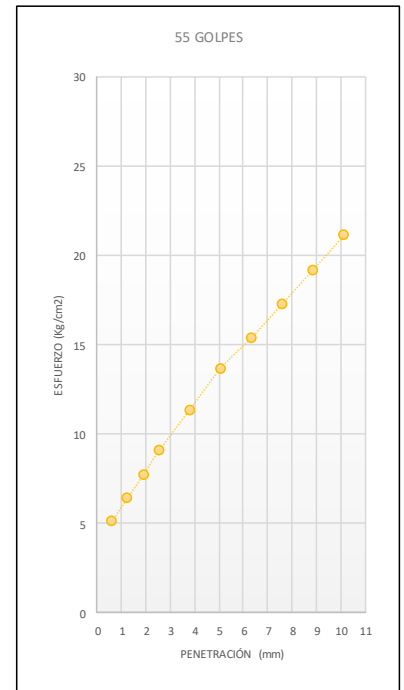
CBR (California Bearing Ratio)	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	A
	DENSIDAD SECA AL 95% (gr/cm ³)	1.73
	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	18
	CBR 0.1" AL 95% DE M.D.S. (%)	11.60



CBR 0.1"=3.68



CBR 0.1"=9.04



CBR 0.1"=12.86

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancafé
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza
MUESTRA	: S 80 - CV 20 (2)

CBR (California Bearing Ratio)

COMPACTACIÓN						
Número de molde	M-9		M-3		M-2	
Golpes por capa	55		26		12	
Número de capas	5		5		5	
Volumen de molde	2132.7		2141.21		2104.92	
Peso del molde	7485		8498		8338	
Condición de la muestra	no sat.	sat.	no sat.	sat.	no sat.	sat.
Peso de suelo húmedo + molde	11984	12149	12716	12990	11874	12237
Peso de suelo húmedo	4499		4218		3536	
Densidad de suelo húmedo	2.11		1.97		1.68	

HUMEDAD						
Número de tara	t-024	t-035	t-011	t-017	t-029	t-001
Peso de tara	16.44	16.65	22.41	16.21	20.79	23.99
Peso de tara + suelo húmedo	55.23	49.05	57.36	55.70	59.57	61.23
Peso de tara + suelo seco	49.14	44.10	51.92	49.42	53.55	55.49
Contenido de humedad	18.62	18.03	18.43	18.91	18.38	18.22
Densidad de suelo seco	1.78		1.66		1.42	

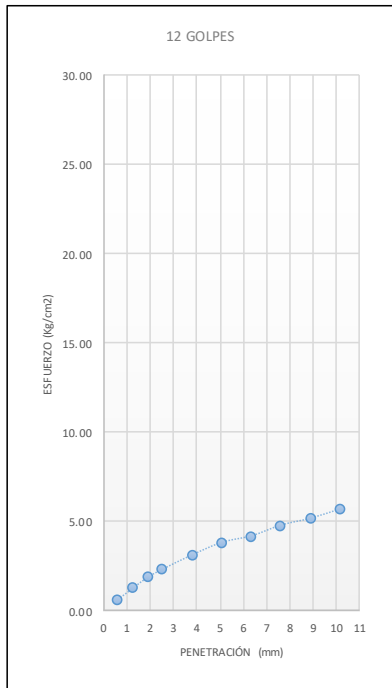
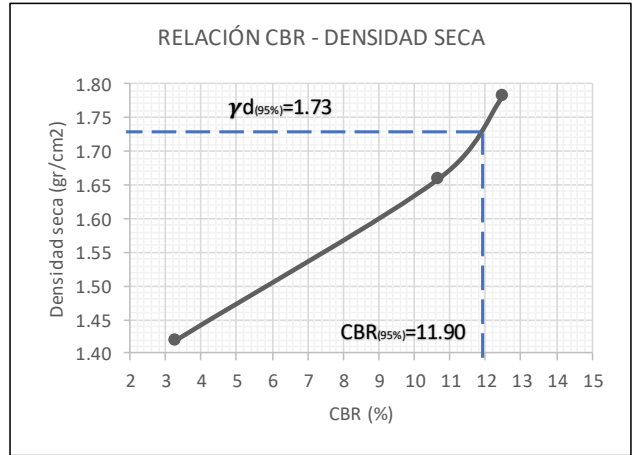
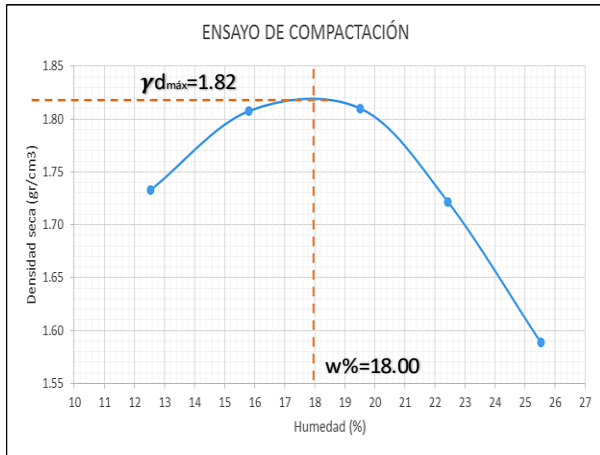
EXPANSIÓN						
Tiempo (Horas)	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.
0	0.456	0.000	0.247	0.000	0.325	0.000
24	0.463	0.152	0.254	0.152	0.379	1.171
48	0.468	0.260	0.264	0.369	0.386	1.323
72	0.469	0.282	0.275	0.607	0.394	1.497
96	0.474	0.390	0.297	1.085	0.398	1.584

PENETRACIÓN						
Penetración (mm)	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm2
0.63	94.5	4.88	79.5	4.11	12.5	0.65
1.27	119.5	6.18	95.0	4.91	24.5	1.27
1.91	144.5	7.47	112.5	5.81	36.5	1.89
2.54	170.0	8.79	145.5	7.52	45.0	2.33
3.81	214.5	11.09	176.0	9.10	60.5	3.13
5.09	259.5	13.41	219.0	11.32	74.0	3.82
6.35	292.5	15.12	246.0	12.71	81.0	4.19
7.62	329.0	17.00	265.5	13.72	92.5	4.78
8.89	366.0	18.91	289.0	14.94	100.0	5.17
10.16	397.0	20.52	315.0	16.28	110.0	5.68

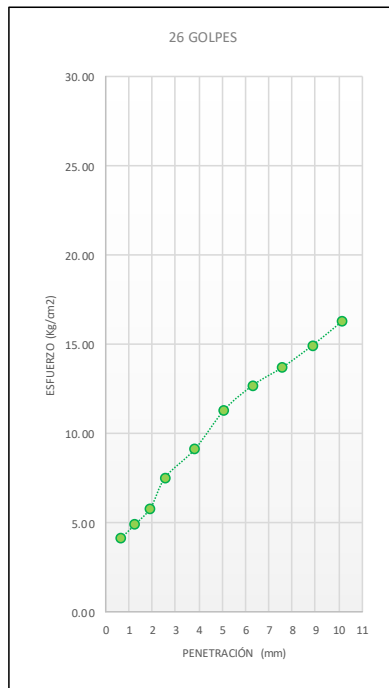


PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza		
MUESTRA	: S 80 - CV 20 (2)	Sumergido	4 días

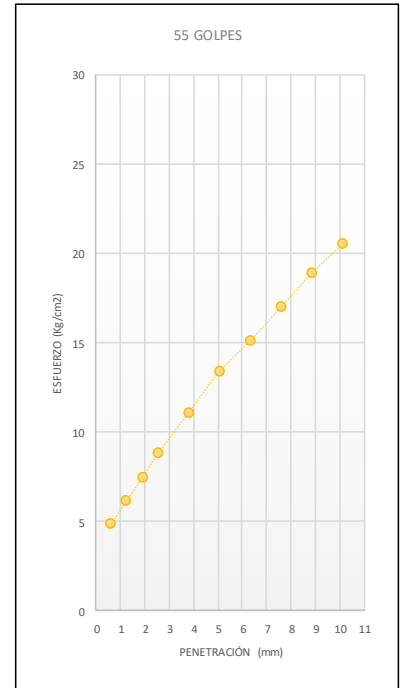
CBR (California Bearing Ratio)	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	A
	DENSIDAD SECA AL 95% (gr/cm ³)	1.73
	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	18.00
	CBR 0.1" AL 95% DE M.D.S. (%)	11.90



CBR 0.1"=3.31



CBR 0.1"=10.69

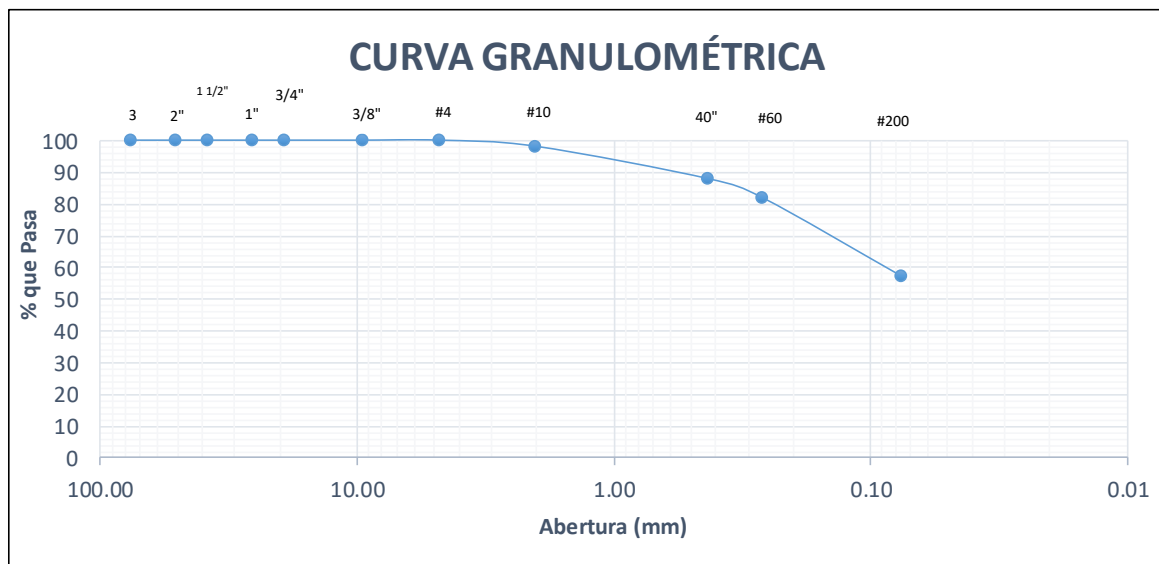


CBR 0.1"=12.50



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

GRANULOMETRÍA				Muestra	: S 75 - CV 25
				Peso seco inicial	: 500 gr
				Peso seco lavado	: 214 gr
				% que pasa la malla 200	: 57.46%
Tamiz Nro	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumul.	% que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
#10	2.000	9.56	1.91	1.91	98.09
#40	0.425	50.53	10.12	12.03	87.97
#60	0.260	30.33	6.07	18.11	81.89
#200	0.075	121.98	24.43	42.54	57.46
Fondo	0.000	286.95	57.46	100.00	
Total		499.35	100.00		





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S75-CV25 (1)
	LL (%)	34.80
	LP (%)	25.03
	IP (%)	9.77

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-015	$LL = 35.34 * \left(\frac{22}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 34.80\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	23.82	
Tara + Suelo seco (gr)	21.77	
Agua (gr)	2.05	
Peso de tara (gr)	15.97	
Suelo seco (gr)	5.80	
% de humedad	35.34	
Nro. De golpes	22	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-020	T-034
Tara + Suelo húmedo (gr)	30.22	24.16
Tara + Suelo seco (gr)	28.34	22.63
Agua (gr)	1.88	1.53
Peso de tara (gr)	20.80	16.54
Suelo seco (gr)	7.54	6.09
% de humedad	24.93	25.12
% de humedad promedio	25.03	

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

LÍMITES DE ATTERBERG	Muestra:	S75-CV25 (2)
	LL (%)	33.39
	LP (%)	25.00
	IP (%)	8.39

LÍMITE LÍQUIDO		
Nro. de tara	T-008	$LL = 34.99 * \left(\frac{17}{25}\right)^{0.121}$ $LL = 33.39\%$
Tara + Suelo húmedo (gr)	24.67	
Tara + Suelo seco (gr)	22.49	
Agua (gr)	2.18	
Peso de tara (gr)	16.26	
Suelo seco (gr)	6.23	
% de humedad	34.99	
Nro. De golpes	17	

LÍMITE PLÁSTICO		
Nro. de tara	T-020	T-003
Tara + Suelo húmedo (gr)	28.98	24.87
Tara + Suelo seco (gr)	27.34	23.18
Agua (gr)	1.64	1.69
Peso de tara (gr)	20.81	16.39
Suelo seco (gr)	6.53	6.79
% de humedad	25.11	24.89
% de humedad promedio	25.00	



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

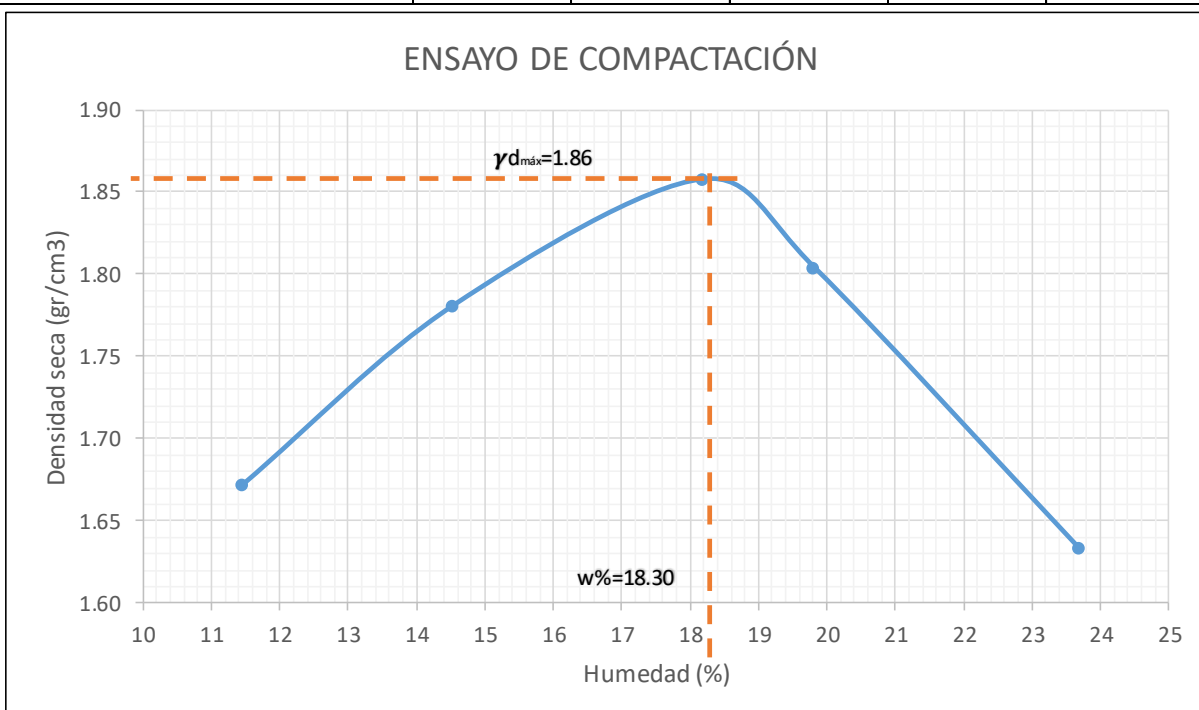




PROYECTO DE TESIS	. Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza

PROCTOR MODIFICADO	Muestra	: S75 - CV25
	Método de compactación	: A
	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	: 1.86
	Contenido de humedad óptimo (%)	: 18.30

CONTROL DE DENSIDAD					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso de molde (gr)	3898	3898	3898	3898	3898
Volumen del molde (cm ³)	903.21	903.21	903.21	903.21	903.21
Peso del material + molde	5581	5740	5881	5850	5722
Peso del material	1683	1842	1983	1952	1824
Densidad húmeda	1.86	2.04	2.20	2.16	2.02

CONTROL DE LA HUMEDAD										
Número de tara	t-015	t-020	t-024	t-007	t-025	t-011	t-034	t-008	t-033	t-039
Peso de tara	15.99	20.81	16.46	18.49	16.44	22.42	16.52	16.26	16.03	15.83
Peso de tara+suelo húmedo	67.96	79.19	55.04	67.05	56.70	67.99	52.82	44.14	56.62	50.98
Peso de tara + suelo seco	62.67	73.13	50.16	60.87	50.51	60.97	46.84	39.51	48.85	44.24
Contenido de humedad	11.33	11.58	14.48	14.58	18.17	18.21	19.72	19.91	23.67	23.72
Contenido de humedad prom.	11.46		14.53		18.19		19.82		23.70	
Densidad seca	1.67		1.78		1.86		1.80		1.63	



	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza
MUESTRA	: S75 - CV25

CBR (California Bearing Ratio)

COMPACTACIÓN						
Número de molde	M-8		M-6		M-9	
Golpes por capa	55		26		12	
Número de capas	5		5		5	
Volumen de molde	2123.06		2141.21		2132.70	
Peso del molde	7600		8498		7811	
Condición de la muestra	no sat.	sat.	no sat.	sat.	no sat.	sat.
Peso de suelo húmedo + molde	12228	12391	12900	13150	11872	12122
Peso de suelo húmedo	4628		4402		4061	
Densidad de suelo húmedo	2.18		2.06		1.90	

HUMEDAD						
Número de tara	t-004	t-035	t-023	t-012	t-024	t-038
Peso de tara	16.34	16.65	16.18	23.22	16.44	16.24
Peso de tara + suelo húmedo	46.04	47.4	43.06	48.58	51.98	57.85
Peso de tara + suelo seco	41.3	42.6	38.97	44.60	46.54	51.22
Contenido de humedad	18.99	18.50	17.95	18.62	18.07	18.95
Densidad de suelo seco	1.84		1.74		1.61	

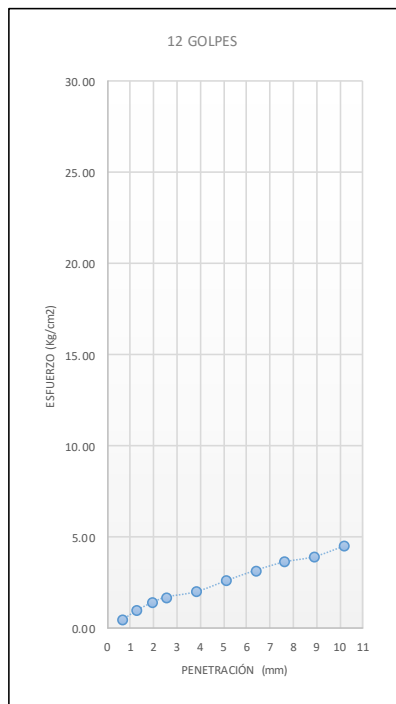
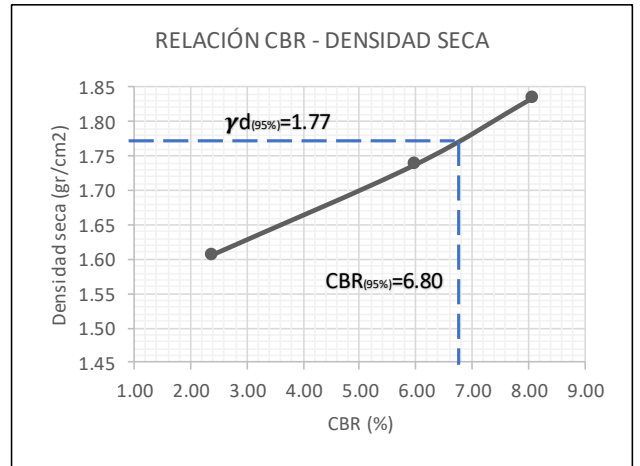
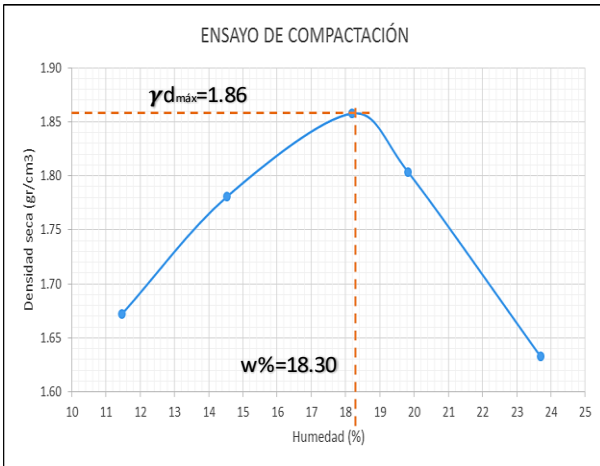
EXPANSIÓN						
Tiempo (Horas)	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.	Lect.	Exp.
0	0.045	0.000	0.254	0.000	0.367	0.000
24	0.048	0.065	0.268	0.304	0.379	0.260
48	0.051	0.130	0.273	0.412	0.403	0.781
72	0.055	0.217	0.281	0.586	0.425	1.258
96	0.061	0.347	0.287	0.716	0.426	1.280

PENETRACIÓN						
Penetración (mm)	Kg	Kg/cm2	Kg	Kg/cm3	Kg	Kg/cm4
0.63	44.0	2.27	37.00	1.91	8.0	0.41
1.27	64.5	3.33	50.50	2.61	18.5	0.96
1.91	85.5	4.42	65.00	3.36	26.5	1.37
2.54	110.0	5.68	81.50	4.21	32.5	1.68
3.81	137.0	7.08	99.50	5.14	38.0	1.96
5.09	170.0	8.79	124.50	6.43	49.5	2.56
6.35	195.0	10.08	145.00	7.49	60.5	3.13
7.62	224.0	11.58	163.50	8.45	69.5	3.59
8.89	251.0	12.97	183.00	9.46	75.0	3.88
10.16	282.0	14.57	208.00	10.75	86.0	4.44

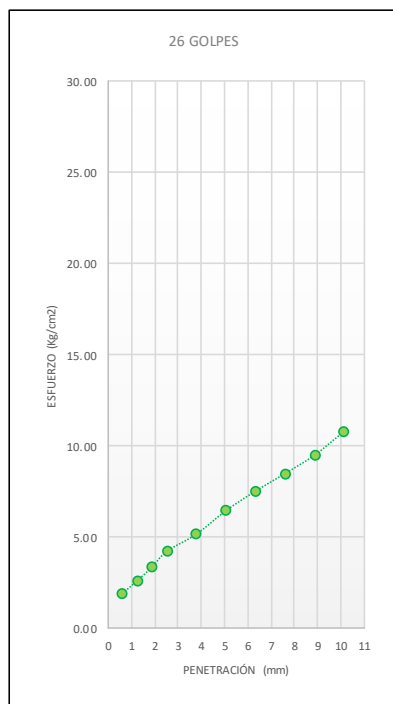


PROYECTO DE TESIS	: Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni – Rosaspata, Huancané		
RESPONSABLE	: Bach. Brayan Vargas Gonza		
MUESTRA	: S75 - CV25	Sumergido	4 días

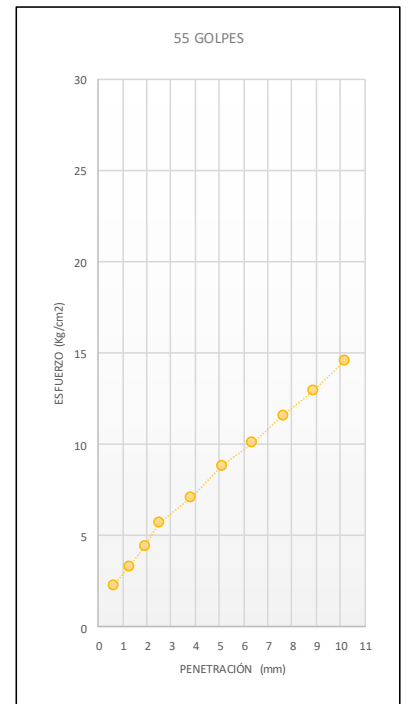
CBR (California Bearing Ratio)	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	A
	DENSIDAD SECA AL 95% (gr/cm ³)	1.77
	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	18.3
	CBR 0.1" AL 95% DE M.D.S. (%)	6.80



CBR 0.1"=2.39



CBR 0.1"=5.99



CBR 0.1"=8.09

Ensayo quimico



INFORME DE ENSAYOS

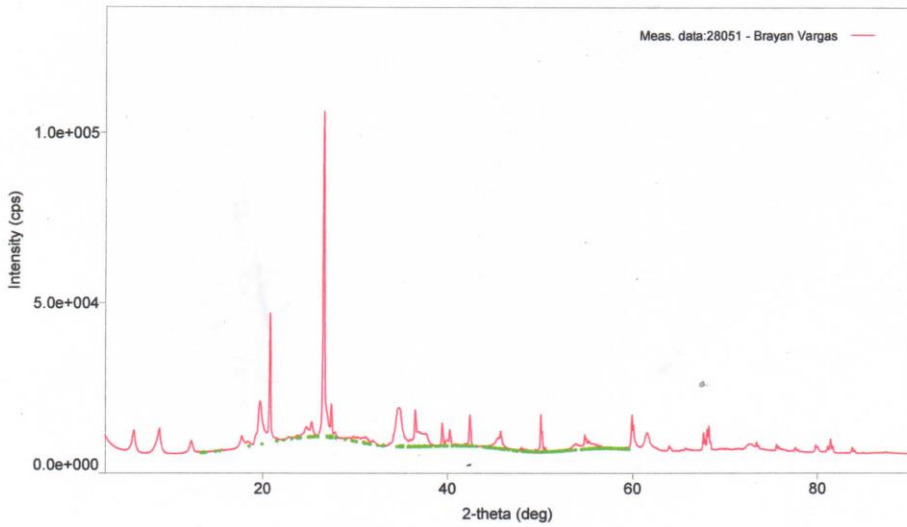
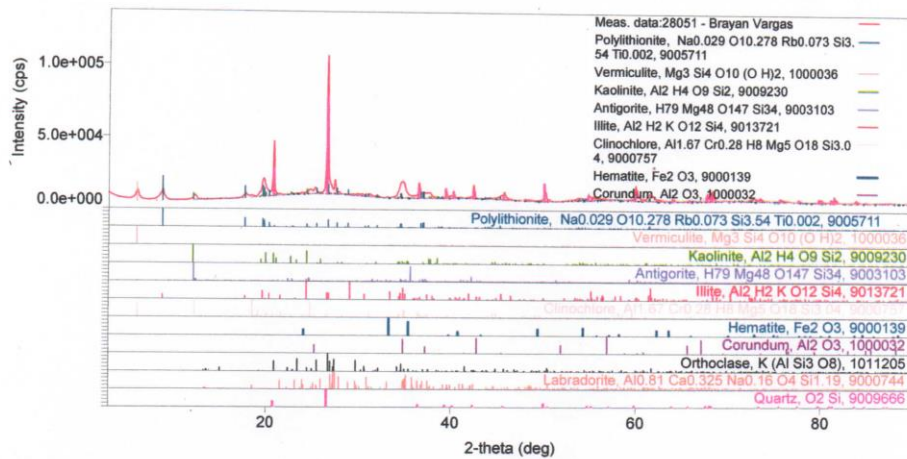
N° DE REPORTE: 21999-19
CLIENTE: BRAYAN VARGAS GONZA
DIRECCIÓN: AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS DIFRACCIÓN DE RAYOS X
PRODUCTO ARCILLA
CANTIDAD DE MUESTRA 01
FECHA DE RECEPCION: Lunes, 25 de noviembre de 2019
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES: BOLSA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: Lunes, 02 de diciembre de 2019
REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA HUANCANE PUNO
CÓDIGO DE MUESTRA 28051

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV



INFORME DE ENSAYOS

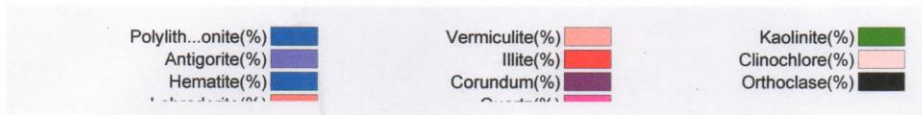
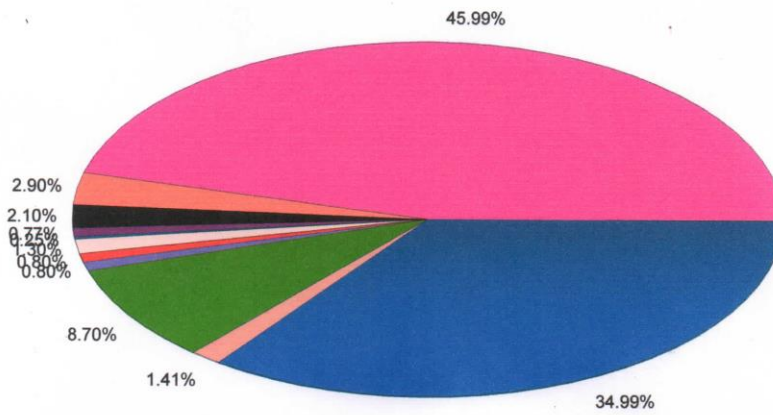
REPORTE N°: 21999-19





INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 21999-19





INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 21999-19

N°	COMPUESTO	(%)
1	Quartz	45.99
2	Polyolithionite	34.99
3	Kaolinite	8.70
4	Labradorite	2.90
5	Orthoclase	2.10
6	Vermiculite	1.41
7	Clinochlore	1.30
8	Antigorite	0.80
9	Illite	0.80
10	Corundum	0.77
11	Hematite	0.25

Emitido en Arequipa, el 02 de diciembre de 2019

Página 4 de 4

Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348



Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable



INFORME DE ENSAYOS

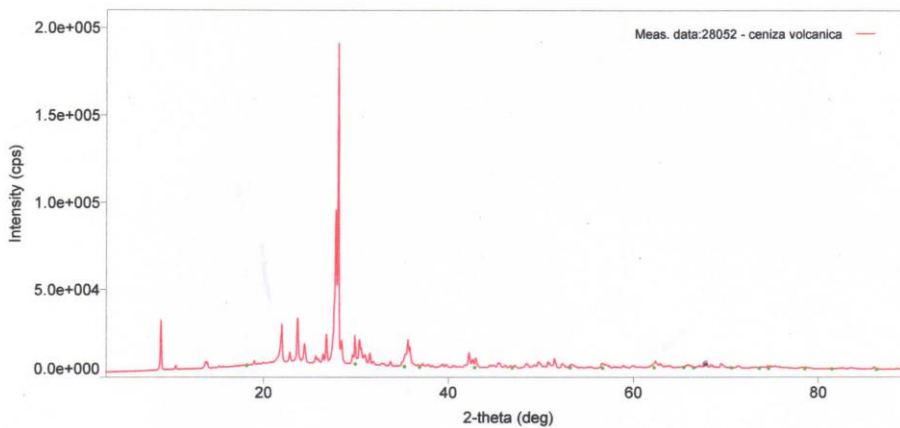
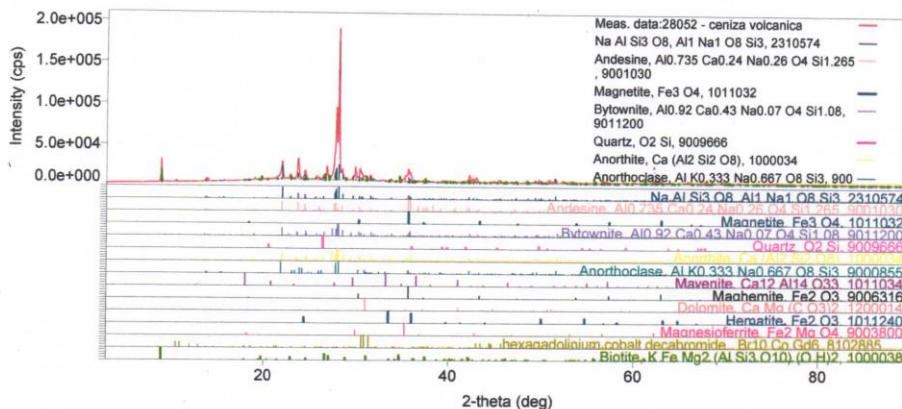
N° DE REPORTE: 22000-19
CLIENTE: BRAYAN VARGAS GONZA
DIRECCIÓN: AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS DIFRACCIÓN DE RAYOS X
PRODUCTO CENIZA VOLCANICA
CANTIDAD DE MUESTRA 01
FECHA DE RECEPCION: Miércoles, 25 de noviembre de 2019
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES: BOLSA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: Lunes, 02 de diciembre de 2019
REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA VOLCAN SABANCAYA AREQUIPA.
CÓDIGO DE MUESTRA 28052

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV



INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22000-19





INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 22000-19

N°	COMPUESTO	(%)
1	Na Al Si3 O8	55.33
2	Andesine	5.91
3	Magnetite	0.13
4	Bytownite	4.60
5	Quartz	0.24
6	Anorthite	4.20
7	Anorthoclase	5.40
8	Mayenite	0.32
9	Maghemite	0.15
10	Dolomite	0.50
11	Hematite	0.24
12	Magnesioferrite	6.50
13	hexagadolinium cobalt decabromide	0.46
14	Biotite	16.01

Emitido en Arequipa, el 02 de diciembre de 2019

Página 3 de 3

Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348



Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

Anexo C. Conteo de tráfico vehicular



Teniendo en cuenta lo indicado se tiene que el tráfico total proyectado para cada uno de los tramos proyectado al año 2018 y 2028, son los siguientes:

TRAFICO TOTAL PROYECTADO TRAMO DV. ASIRUNI – ROSASPATA

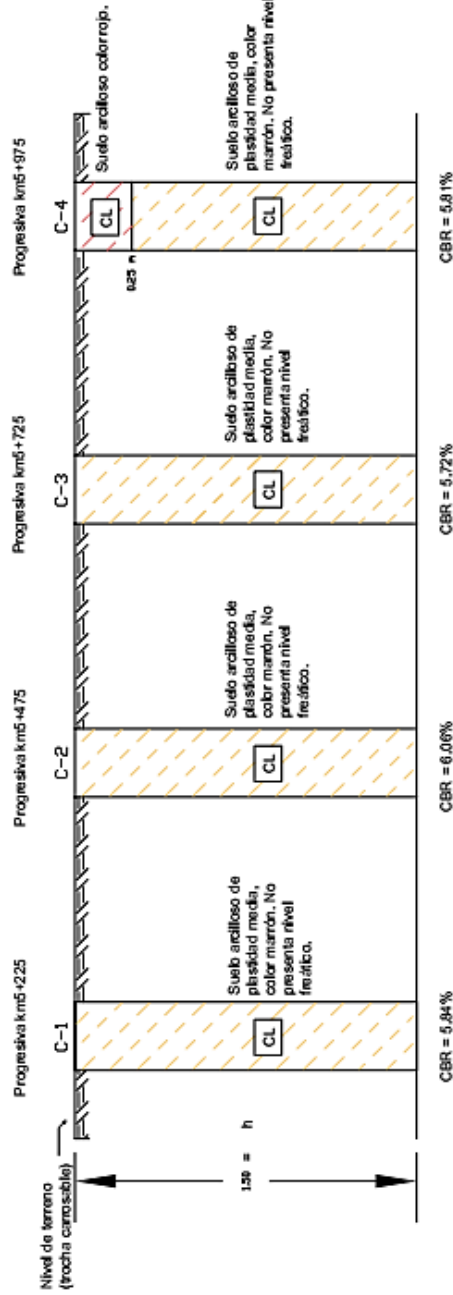
AÑO IMDa	VEHICULOS LIGEROS	2 EJES
2018	361	64
2019	368	70
2020	375	72
2021	382	74
2022	389	76
2023	396	78
2024	403	80
2025	410	82
2026	417	84
2027	425	86
2028	433	88

GOBIERNO REGIONAL DE PUNO
OFICINA REGIONAL DE SUPERVISION
Y LICENCIACION DE PROYECTOS
VIDA! PERE PARI MIRANDA
M. CIP. 93304
ING. EVALUADOR

Ing. Percy Villanueva Enriquez
CIP. 100002
JEFE DE PROYECTO

Anexo D. Plano estratigráfico

PLANO ESTRATIGRAFICO



L	E	Y	E	N	D	A
STIMBOLO	DESCRIPCION					
	Suelo arcilloso marrón claro					
	Suelo arcilloso rojo					
	Superficie de terreno					

PROYECTO

Estabilización de un suelo arcilloso con ceniza volcánica para el mejoramiento de subrasante en la progresiva km 5+100 al km 6+100 del tramo Asiruni -Rosaspato, Huancané

UBICACION

DISTRITO : VILQUECHICO
 PROVINCIA : HUANCANE
 REGION : PUNO

CLAVE



PLANO

ESTRATIGRAFIA

Anexo E. Panel fotográfico



Ilustración 1. Emisión y caída de ceniza en el sector de Patapampa y Sallalli, 2019.



Ilustración 2. Obtención de la ceniza volcánica



Ilustración 3. Subtramo con presencia de suelo arcilloso en la ruta Asiruni – Rosaspata.



Ilustración 4. Medición longitudinal para el espaciamento de puntos de exploración.



Ilustración 5. Secado de suelo arcilloso, para inicio de ensayos de laboratorio.



Ilustración 6. Ensayo de granulometría por lavado.



Ilustración 7. Preparación de muestra para ensayo de Límites de Atterberg.



Ilustración 8. Ensayo de compactación Proctor Modificado.



Ilustración 9. Lectura de expansión.



Ilustración 10. Equipo para ensayo de penetración.