

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Influencia del porcentaje de polímeros PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad

ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Transporte

Autor (es):

Br. García Rojas, Daniela Margarita

Br. Marquina Villanueva, Luis Estipth William

Jurado Evaluador:

Presidente: Ing. Vargas López, Segundo Alfredo

Secretario: Ing. Vega Benites, Jorge Antonio

Vocal: Ing. Perrigo Sarmiento, Félix Gilberto

Asesor: José Alcides Gálvez Paredes

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2100-4241>

TRUJILLO - PERÚ

2021

Fecha de sustentación: 2021 / 12 / 01

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Influencia del porcentaje de polímeros PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad

ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Transporte

Autor (es):

Br. García Rojas, Daniela Margarita

Br. Marquina Villanueva, Luis Estipth William

Jurado Evaluador:

Presidente: Ing. Vargas López, Segundo Alfredo

Secretario: Ing. Vega Benites, Jorge Antonio

Vocal: Ing. Perrigo Sarmiento, Félix Gilberto

Asesor: José Alcides Gálvez Paredes

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2100-4241>

TRUJILLO - PERÓ

2021

Fecha de sustentación: 2021 / 12 / 01

DEDICATORIA

A Dios, pilar fundamental en mi vida, por permitirme alcanzar mis metas logradas en mi formación profesional y como persona.

A Mi Madre, por el motor, mi fuerza, mis ganas de nunca rendirme y por todo el sacrificio y amor brindado con su única motivación de ser mejor persona cada día.

A mi padre y mis hermanas, por acompañarme en cada decisión que tome y siempre apoyándome a ser mejor como persona a pesar de las adversidades y mis sobrinos por darme su amor incondicional.

GARCÍA ROJAS, DANIELA MARGARITA

DEDICATORIA

A las personas más importantes en mi vida, mis amados padres, mi hermano y mi abuelita Melchora.

A mis familiares y amigos que siempre confiaron en mí y me dieron su apoyo incondicional.

MARQUINA VILLANUEVA LUIS ESTIPTH

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a Dios por bendecirnos en nuestro accionar y permitirnos finalizar con éxito esta investigación, que simboliza el inicio de una vida de la mano de la Ingeniería. Además, queremos manifestar nuestra gratitud a la Universidad Privada Antenor Orrego, la cual nos permitió adoptar los conocimientos brindados por grandes profesionales de la escuela de Ingeniería civil, personas que siguen compartiendo sus vastos conocimientos y experiencias en cada sesión de clase. Un profundo y sincero agradecimiento al asesor Ing. José Alcides Gálvez Paredes por el compromiso y la dedicación puesta en el proceso de desarrollo de esta tesis, a nuestros compañeros que nos brindaron su motivación en cada momento del proceso educativo.

Los autores.

RESUMEN

Los polímeros PET (polietilentereftalato) y cenizas de carbón pueden ser utilizados a modo de un aditivo para la estabilización de suelos cohesivos, para una construcción eco amigable. El trabajo a continuación consiste en la estabilización de un suelo arcilloso – limoso presente en la vía de acceso al Sector Barraza por medio de la adición Polímeros PET (polietilentereftalato) y cenizas de carbón, en diferentes porcentajes (3%, 5% y 10% con respecto al suelo).

Para la determinación de características del suelo en estudio se desarrollaron ensayos, obteniéndose así el porcentaje de humedad óptimo, la máxima densidad seca, la resistencia a la compresión simple no confinada y el porcentaje de CBR tanto de la muestra base o de origen como también de la muestra con la adición de polímeros PET (polietilentereftalato) y cenizas de carbón.

Para la obtención de los aditivos a aplicar, los polímeros PET (polietilentereftalato) fueron utilizados de manera de reciclaje, con respecto a las cenizas de carbón se obtuvieron a partir de combustión de madera como cantidad muestra según (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013), se realizaron 12 probetas, las cuales sirvieron para evaluar la resistencia a la compresión simple curándola por 7 días.

Por otro lado, para los ensayos de CBR se utilizaron 6 probetas, en base a los resultados determinados se puede afirmar que la adición del 10% de polímeros PET y cenizas de carbón incrementa las propiedades físicas de un suelo cumpliendo con los parámetros mencionados en el manual del MTC, ya que se alcanzó una resistencia media de 150.70 KPa y un porcentaje de CBR de 22.26%. Mediante los resultados obtenidos se puede demostrar que es posible estabilizar una subrasante con materiales reutilizables como son los polímeros PET y cenizas de carbón, lo cual traerá beneficios al sector de construcción vial por su bajo costo y fácil adquisición.

ABSTRACT

The polymers PET (polyethylene terephthalate) and carbon ash can be used as an additive for stabilizing cohesive soils, for an eco-friendly construction. The work below consists of the stabilization of a clay-silty soil present in the access road to the "Barraza Sector" by adding polymers PET (polyethylene terephthalate) and carbon ash, in different percentages (3%, 5% and 10% with respect to the soil), which was obtained.

To determine the characteristics of the soil under study, tests were developed, thus obtaining the optimum humidity percentage, the maximum dry density, the resistance to unconfined simple compression and the CBR percentage of both the base or origin sample as well as the sample with the addition of PET (polyethylene terephthalate) polymers and carbon ash.

To obtain the additives to be applied, PET polymers (polyethylene terephthalate) were used in a recycling way, with respect to coal ashes they were obtained from wood combustion as a sample quantity according to (Ministry of transport and communications, 2013) , 12 test tubes were made, which were used to evaluate the resistance to simple compression curing it for 7 days.

Secondly, for the CBR tests, 6 specimens were used, based on the determined results it can be affirmed that the addition of 10% of PET polymers and carbon ash increases the physical properties of a soil, complying with the parameters mentioned in the MTC manual, since an average resistance of 150.70 KPa and a CBR percentage of 22.26% were reached. Through the results obtained, it can be demonstrated that it is possible to stabilize a subgrade with reusable materials such as polymers PET and carbon ash, which in the end brings benefits to the construction sector due to its low cost and easy acquisition.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conformidad a los requisitos establecidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Facultad de Ingeniería para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, ponemos a su disposición la presente tesis titulada:

“INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE POLÍMEROS PET Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA UN PAVIMENTO, APLICADO EN EL SECTOR BARRAZA, LAREDO, TRUJILLO – LA LIBERTAD”

El contenido del presente trabajo ha sido desarrollado tomándose en cuenta los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional, apoyándonos en la información de otras investigaciones, y además contando con el asesoramiento del Ing. José Gálvez Paredes.

Atentamente,

Br. GARCIA ROJAS

Br. MARQUINA VILLANUEVA

DANIELA MARGARITA

LUIS ESTIPTH

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Problema de investigación.....	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.2.1.	Objetivo general.....	2
1.2.2.	Objetivos específicos.....	2
1.3.	Justificación del estudio.....	2
II.	MARCO DE REFERENCIA	3
2.1	Antecedentes del estudio	3
2.1.1.	Internacionales.....	3
2.1.2.	Nacionales	3
2.1.3.	Locales.....	5
2.2.	Marco teórico.....	5
2.2.1.	Suelos.....	5
2.2.2.	Subrasante.....	6
2.2.3.	<i>Descripción de suelos</i>	9
2.2.4.	<i>Subrasante de suelos cohesivos</i>	18
2.2.5.	<i>Estabilización de suelos</i>	18
2.2.6.	<i>Métodos de estabilización</i>	19
2.3.	Marco conceptual	21
2.3.1.	<i>Mecánica de suelos</i>	21
2.3.2.	<i>Subrasante</i>	21
2.3.3.	Suelos cohesivos	22
2.4.	Sistema de hipótesis.....	22
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA	24
3.1	Tipo y nivel de investigación.....	24
3.1.1	<i>Diseño de investigación</i>	24
3.2	Población y muestra de estudio.....	24
3.2.1.	<i>Unidad de estudio</i>	24
3.2.2.	<i>Población</i>	24
3.2.3.	<i>Muestra</i>	25
3.3	Técnicas e instrumentos de investigación	25
3.3.1.	<i>Técnicas e instrumentos</i>	25
3.3.2.	<i>Procedimiento de recolección de datos</i>	27
3.4.	Procesamiento y análisis de datos	42

3.4.1. Tratamiento	42
3.4.2. Variación total	43
3.4.3. Variación muestral	43
3.4.4. <i>Variación aleatoria o error</i>	43
3.4.5. <i>Tabla ANOVA (análisis de varianza)</i>	44
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	45
4.1. Ensayos realizados a muestra de suelo patrón	45
4.4.1. <i>Contenido de humedad</i>	45
4.4.2. <i>Granulometría</i>	45
4.4.3. <i>Análisis granulométrico por medio del hidrómetro</i>	46
4.4.4. <i>Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)</i>	47
4.4.5. <i>Clasificación SUCS y AASHTO</i>	48
4.4.6. <i>Gravedad específica</i>	48
4.4.7. <i>Proctor Modificado</i>	49
4.4.8. <i>Compresión simple no confinada</i>	49
4.4.9. <i>CBR</i>	50
4.2. Ensayos realizados a la muestra de suelo con adición de polímeros PET y cenizas de carbón	51
4.2.1. Proctor modificado	51
4.2.2. Compresión simple no confinada.....	52
4.2.3. <i>CBR</i>	56
4.3. Análisis de los polímeros PET y cenizas de carbón	57
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	58
5.1. Características de la muestra	58
5.1.1. Contenido de humedad	58
5.1.2. Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP).....	60
5.1.3. Granulometría (clasificación SUCS y AASHTO).....	60
5.1.4. Gravedad Específica.....	61
5.1.4. <i>Proctor Modificado</i>	62
5.1.5. Resistencia a la compresión no confinada	63
5.1.6. CBR	63
5.2. Evaluación de polímeros y cenizas de carbón.....	63
5.1.1. Adición de polímeros y cenizas de carbón: Resultados de compresión simple no confinada, Proctor modificado y porcentaje de CBR.....	63
VI. CONCLUSIONES	78
VII. RECOMENDACIONES	79
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	80
IX. ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Categoría de subrasante	7
Tabla 2	Numero de calicatas en función al tipo de carretera	8
Tabla 3	Tipos de suelo según AASHTO - SUCS	11
Tabla 4	Clasificación de suelos según el tamaño	12
Tabla 5	Indice de plasticidad en funcion al tipo de suelo	14
Tabla 6	Clasificación de subrasante por indice de grupo	15
Tabla 7	Operacionalización de variables	22
Tabla 8	Población de probetas	25
Tabla 9	Contenido de humedad.....	28
Tabla 10	Análisis granulométrico ASTM D422	30
Tabla 11	Limite Liquido.....	33
Tabla 12	Limite Plástico.....	35
Tabla 13	Pretor modificado.....	39
Tabla 14	Compresión simple no confinada.....	41
Tabla 15	Análisis de varianza	44
Tabla 16	Resumen de resultados del ensayo de contenido de humedad	45
Tabla 17	Resumen de resultados del ensayo de granulometría - calicatas.....	46
Tabla 18	Resumen de ensayo granulométrico por hidrometría	46
Tabla 19	Resumen de resultados del ensayo de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad – Calicatas.....	47

Tabla 20 Resumen de resultados del ensayo de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad – Calicatas.	47
Tabla 21 Resumen de resultados de clasificación SUCS y AASHTO – calicatas.	48
Tabla 22 Resumen de resultados del ensayo de gravedad específica.	48
Tabla 23 Resumen de resultados del ensayo de Proctor modificado.	49
Tabla 24 Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada.	50
Tabla 25 Resumen de resultados del ensayo de CBR.	51
Tabla 26 Resumen de resultados del ensayo de Proctor modificado a la muestra de suelos con adicción de polímeros PET y Cenizas de carbón.	52
Tabla 27 Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada a la muestra de suelo con adición de 3% de polímeros PET y cenizas de carbón.	53
Tabla 28 Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada a la muestra de suelo con adición de 5% de polímeros PET y cenizas de carbón.	54
Tabla 29 Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada a la muestra de suelo con adición de 10% de polímeros PET y cenizas de carbón.	55
Tabla 30 Resumen de resultados del CBR a muestra de suelo con adición de 10% de polímeros PET.	56
Tabla 31 Resultados de los ensayos	57
Tabla 32 Resumen de contenido de humedad y desviación estándar de calicatas.	58
Tabla 33 Tipo de suelo según gravedad específica.	62

Tabla 34 Resultados de los ensayos de Proctor Modificado64

Tabla 35 Efecto de la ceniza de carbón en la resistencia a la compresión
simple no confinada70

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	13
Ecuación 2	14
Ecuación 3	17
Ecuación 4	27
Ecuación 5	28
Ecuación 6	29
Ecuación 7	29
Ecuación 8	29
Ecuación 9	31
Ecuación 10	31
Ecuación 11	32
Ecuación 12	32
Ecuación 13	32
Ecuación 14	33
Ecuación 15	33
Ecuación 16	34
Ecuación 17	34
Ecuación 18	37
Ecuación 19	43
Ecuación 20	43
Ecuación 21	43
Ecuación 22	43
Ecuación 23	44

INDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1	Resumen de guías de observación.....	26
Ilustración 2	Carta de plasticidad SUCS	36
Ilustración 3	Contenido de humedad % - estrato 01.....	58
Ilustración 4	Contenido de humedad % - estrato 02.....	59
Ilustración 5	Curva granulométrica.....	61
Ilustración 6	Variación de densidad máxima seca adicionando polímeros Pet y cenizas de carbón al suelo muestra.....	65
Ilustración 7	Variación de contenido de humedad adicionando polímeros PET y cenizas de carbón al suelo muestra.....	65
Ilustración 8	Calicata 01	67
Ilustración 9	Calicata 02	68
Ilustración 10	Calicata 03	69
Ilustración 11	Resultados gráficos del ensayo de compresión simple no confinada de suelos con adición del 3% de ceniza de carbón	71
Ilustración 12	Resultados gráficos del ensayo de compresión simple no confinada de suelos con adición del 5% de ceniza de carbón.....	72
Ilustración 13	Resultados gráficos del ensayo de compresión simple no confinada de suelos con adición del 10% de ceniza de carbón.....	73
Ilustración 14	Análisis comparativo de CBR de suelo natural vs suelo con adición porcentual de 10% de Polímeros PET y cenizas de carbón.....	75
Ilustración 15	Análisis comparativo de CBR de suelo natural vs suelo con adición porcentual de 10% de Polímeros PET y cenizas de carbón.....	76
Ilustración 16	Análisis comparativo de CBR de suelo natural vs suelo con adición porcentual de 10% de Polímeros PET y cenizas de carbón.....	77

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

El tipo de suelo que conforma la instalación de una construcción es un factor primordial para soportar la carga de dicha estructura, específicamente en una vía, es esencial tener en cuenta las características de los suelos en los que se va a trabajar, con el propósito de tener una subrasante estable y que cumpla con el periodo de diseño frente a efectos de transmisión de cargas generadas por tráfico vehicular además de condiciones medio ambientales desfavorables que se puedan suscitar.

La reacción del pavimento está directamente relacionada al comportamiento de la sub rasante. La baja calidad de un suelo que forma parte de la subrasante de una vía es un fenómeno que exige una mejora en el suelo con fines de solucionar problemas a futuro. Existen dos maneras principales de mejorar un suelo, una de ellas es la remoción del suelo con baja calidad y reemplazarlo con material de préstamo de mejor calidad y la otra opción es mediante una estabilización de suelo insitu mediante el uso de aditivos físico o químicos. Para aplicar cualquiera de las dos formas dependerá la factibilidad económica y las condiciones del lugar. La arcilla es uno de los suelos cohesivo que comúnmente presenta baja calidad, el tipo de arcilla que puede generar más dificultades en los cimientos de un pavimento son las arcillas expansivas, éstas presentan cambios volumétricos de aumento y reducción debido a la presencia de humedad, por tanto, se debe estabilizar o impermeabilizar ese suelo.

En el distrito de Laredo, en el sector Barraza, predominan suelos arcillosos con presencia de limos, los cuales son suelos de baja capacidad portante. Por lo general este tipo de suelos que conforman una sub rasante son un problema para la estructura del pavimento, por ello mediante esta investigación se pretende dar una alternativa de mejoramiento a la calidad de dicho suelo. La aplicación de polímeros ha sido utilizada en muchas partes del mundo para estabilizar sub rasantes con suelo cohesivo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

Determinar la influencia de polímeros PET y cenizas de carbón en la estabilización de una subrasante cohesiva para un pavimento en el sector Barraza, distrito de Laredo, provincia Trujillo, Departamento La Libertad.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades físicas del suelo basado en normativas: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y transportes (AASHTO) y Sistemas Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).
- Realizar ensayos para determinar propiedades mecánicas del suelo.
- Analizar el comportamiento físico y mecánico de los suelos aplicando polímeros PET y cenizas de carbón.
- Determinar diferencias físicas y mecánicas de los suelos estabilizados con polímeros PET y cenizas de carbón contra suelos sin estabilizar.
- Determinar una relación proporcional de polímeros PET y cenizas de carbón para llegar a una óptima estabilización.

1.3. Justificación del estudio

En nuestro Perú contamos con una notable cantidad de tipos de suelos, desde suelos con una alta capacidad portante, hasta suelos de mala calidad. Por lo general los suelos arcillosos son los que más predominan en zonas de la sierra, siendo estos uno de los mayores responsables de fallas en las estructuras de pavimento.

En obras de infraestructura vial el suelo encontrado en la zona de ejecución es por lo general usado para la construcción de pavimentos, por ello este debe ser adecuado para rendir el periodo por el cual fue diseñado. Estos suelos deben cumplir con requisitos de calidad establecidos en la normativa nacional e internacional, y de no cumplir los estándares requeridos se debe recurrir a métodos de mejoramiento enfocados mayormente a la resistencia.

Además, se justifica técnicamente porque está orientado a la metodología AASHTO 93 para el diseño del pavimento flexible y a la comparación de las Normas de suelo y pavimentos para el cumplimiento de los estudios de suelos y tráfico.

Socialmente se justifica porque proporcionará una alternativa más adecuada para afrontar el problema del inadecuado servicio de transitabilidad y el mal estado de la superficie de rodadura producto de suelos cohesivos, viéndose favorecidos los pobladores del sector Barraza.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1. Internacionales.

Según (Ruano López, 2012), en su investigación “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCANICAS Y CAL VIVA”, el objetivo principal de esta investigación es evaluar el comportamiento de arenas de origen volcánico y cal viva en la estabilización de suelos cohesivos , dando como conclusión que la relación de mezclas oscilan entre el 10 % ,25 % y 50% de arena volcánica logrando obtener un CBR de 52.5 % a 91.5 % dando como resultado una mejora considerable en sus características físicas.

Según (Harichane, K., Ghrici, M., Kenai, S., 2011), en su investigación “USO DE PUZOLANA NATURAL Y CAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS”, el objetivo de esta investigación es examinar el uso de puzolana natural en combinación con piedra caliza para la mejora del suelo. La relación porcentual de puzolana natural y cal usada en esta investigación fue de 0 a 20% y 0 a 8 % respectivamente, ambos valores se mantienen en márgenes dependiendo el uso del terreno a estabilizar.

2.1.2. Nacionales

Según (Márquez Martínez , 2019) en su investigación “MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIZACIÓN EN LA SUBRASANTE DE SUELOS ARCILLOSOS USANDO PLÁSTICOS RECICLADOS PET EN EL DISTRITO LA ENCANTADA, PROVINCIA DE MORROPÓN – PIURA 2019”, a través de esta investigación se busca mejorar las propiedades de los suelos arcillosos con plástico PET en el distrito La encantada, provincia de Morropón , Piura . La aplicación de este material reciclable demuestra que su influencia en un suelo arcilloso es considerable, puesto que

aumenta la resistencia al corte, permitiendo a los suelos obtener características óptimas, dando como conclusión que la adición porcentual de 6 % de plástico PET mejora la resistencia del suelo arcilloso, permitiendo obtener un CBR mayor al 6 %.

Según (Capia Mamani, 2020) en su investigación “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE EL USO DE POLIMEROS RECICLADOS PET A NIVEL DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA JULIACA – CAMINACA 2019”, En este proyecto se tiene como objetivo principal estabilizar los suelos arcilloso en Juliaca – Caminaca mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de subrasante , concluyendo que con la adición de 3% de polímero reciclado PET aumenta su capacidad de soporte CBR de un 0.58% hasta 0.87% de la capacidad de soporte CBR de un suelo sin adición , dando como resultado una mejora en su resistencia a la deformación de cargas vehiculares si se logra agregar una dosificación de 3% de polímeros reciclados PET , además cabe resaltar que con la utilización de dicho polímero reciclado reduce el espesor de diseño estructural de un pavimento.

Según (Cuipal Chávez, 2018) en su investigación “ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO CON USO DE POLIMERO SINTETICO EN LA CARRETERA CHACHAPOYAS – HUANCAS, AMAZONAS, 2018”, el objetivo principal de esta investigación es analizar el efecto que causa la adición de polímero sintético en la estabilización de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Chachapoyas – Huancas , Amazonas , concluyendo que la inclusión del polímero sintético mejora algunas propiedades físicas y mecánicas del suelo, haciendo que sea medianamente estable. Se observó que para un suelo más adición del 3% de polímero sintético aumenta su capacidad de soporte (CBR) en un 03% hasta 6% de la capacidad de soporte CBR de un suelo sin adición , además se notó que con la adición de porcentajes de 6% y 9% aumenta su variación volumétrica en 1% hasta 2% de la expansión de suelo natural; su densidad máxima seca de un suelo más polímero sintético en los porcentajes de 3%,6% y 9% disminuye entre 0.01gr/cm³ hasta un 0.04 gr/cm³ con respecto a la densidad de suelo natural.

2.1.3. Locales

Según (Terrones Cruz, 2018) en la investigación “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN EL SECTOR BARRAZA, TRUJILLO - 2018”, tiene como objetivo estabilizar un suelo arcilloso – limoso en el sector Barraza aplicando ceniza de bagazo de caña de azúcar proporcionadas en porcentajes 5%, 10% y 15% con respecto al suelo seco. Dando como resultado que la adición del 15 % cenizas de bagazo de caña a la muestra de suelo, alcanzando una resistencia promedio de 150.60 kPa y un porcentaje de CBR de 23.67 % los cuales cumplen con valores establecidos en el manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

Según (Ipince cuevas, 2019) en la investigación “MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE AGREGANDO CENIZA DE TUSA DE MAÍZ EN LA CALLE 12 DEL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA , TRUJILLO 2019”, tuvo como objetivo comprobar la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en un suelo arcilloso limoso , se añadió el 15 % del aditivo en relación al peso de la muestra, dando como resultado que la ceniza de bagazo de caña de azúcar influye en el mejoramiento de la máxima densidad seca del suelo , la resistencia y la expansión de la subrasante de suelos limo arcillosos.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Suelos

En la actualidad existen diversas definiciones, pero citando algunas definiciones tenemos. Para (Braja M., 2011), el suelo está compuesto por granos minerales en una fase sólida producto de la intemperización y erosión de rocas. El tamaño de las partículas individuales del suelo varía en intervalos. La mayoría de propiedades físicas del suelo son establecidas por el tamaño, la forma y la composición química de sus partículas.

2.2.2. Subrasante

La subrasante es la capa que recibe cargas de una estructura de pavimento, esta debe estar en condiciones adecuadas para tener su óptima resistencia a la deformación de cargas axiales.

Según el (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013) en el manual de carreteras “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” refiere que, la subrasante es la capa terminada del terraplén o de corte y relleno, que soporta las cargas generadas por la estructura de pavimento, constituida por capas de suelos con materiales que cumplan las características de diseño de un pavimento, además en el proceso constructivo la última capa de 0.30 cm de la subrasante debe compactada a un 95 % para reducir los espacios vacíos y componer un suelo más estable con un que pueda soportar la demanda de tránsito vehicular.

La subrasante además de ser la capa de soporte de un pavimento también cumple un rol importante debido que debe cumplir todas las características físicas y químicas las cuales permitirán su durabilidad y su buen comportamiento. Los suelos que se encuentran bajo el nivel superior de la subrasante en una profundidad no menor de 0,60 m, deben cumplir con un $CBR \geq 6\%$, por otro lado, si en caso contrario el $CBR \leq 6\%$ es un suelo ineficiente por tanto debe estabilizarse.

Cabe resaltar que la capa madre de un pavimento es la subrasante, por lo tanto, debe considerarse criterios para medir la calidad del material, por ello se realiza ensayos de CBR los cuales determinan su resistencia y calidad. Se puede categorizar las subrasante por medio de su CBR como se muestra en la tabla N° 01.

Tabla 1*Categoría de subrasante*

Categoría de sub rasante	CBR
Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
Sub rasante regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
Sub rasante buena	De CBR ≥ 10 % a CBR < 20 %
Sub rasante muy buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30 %
Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)

2.2.2.1. Caracterización de subrasante. Para determinar las características físicas y mecánicas de un suelo (subrasante), se debe llevar a cabo una serie de calicatas o excavaciones a una profundidad mínima de 1.50 m dependiendo del tipo de carretera que se diseñará, estas calicatas están en función a la tabla N° 02.

Tabla 2*Numero de calicatas en función al tipo de carretera*

Tipo de carretera	N° Mr y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas. cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> - Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido - Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido - Calzada 4 carriles por sentido :1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> - Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido - Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido - Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 Km x sentido
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> - Cada 1 km se realizará un CBR
Carretera de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> - Cada 1.5 km se realizará un CBR
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> - Cada 2 km se realizará un CBR
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh / día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> - Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013).

2.2.3. Descripción de suelos

Con la finalidad de describir y clasificar un tipo de suelo se debe aplicar metodologías para la construcción de vías, mediante los métodos AASHTO y SUCS.

2.2.3.1. Clasificación de suelos. La clasificación se realiza mediante los dos sistemas más convencionales como es AASTHO (American Association of state Highway and Transportation Officials) , y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

- Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación american Association of State Highway and Transportation Officials, desarrollado en el año 1929 por Terzaghi y Hogentogler. el cual plantea una clasificación del suelo en siete grupos que están ordenados desde el A-1 hasta A-7, cada uno de estos tipos de suelo se comportan diferente ya sea como material de subrasante, sub base o para base de la estructura de pavimento. El índice de grupo es quien muestra la capacidad de un suelo para asentar explanaciones, mientras menos sea el índice de grupo (IG), mejor será la calidad del suelo.

Según el **(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)**, en el manual de carreteras establece un grupo de clasificación los cuales se muestran a continuación.

Grupo A – 1 – a: Define al grupo de suelo con alto porcentaje de gravas y bajos porcentajes de finos.

Grupo A – 1 – b: Define a suelos con porcentaje de arenas con o sin finos de la granulometría bien definida.

Grupo A – 2 – 4: Suelos de material granular con partículas finas limosas

Grupo A – 2 – 5: Suelos intermedios

Grupo A – 2 – 6: Suelo granular con partículas finas arcillosas.

Grupo A – 2 – 7: Intermedio

Grupo A – 3: Suelo con una granulometría deficiente, que no contiene ni grava y suelos finos.

Grupo A – 4: Principalmente suelos con partículas finas limosas.

Grupo A – 5: Tipos de suelo poco frecuentes que contienen partículas finas limosas,

Generalmente elásticas y difíciles de compactar.

Grupo A – 6: Contiene partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

Grupo A – 7 – 5: Suelos con arcillas y limos más plásticos.

Grupo A – 7 – 6: Suelos con arcillas y limos más plásticos.

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), es un sistema de clasificación de suelos, fue presentado en año 1942 por el ingeniero Arthur Casagrande, quien aplicó este sistema en aeropuertos, con este sistema se puede obtener tamaño y textura de un suelo, dividiéndose así en partículas finas, partículas gruesas, suelos orgánicos y actualmente utilizado en diferentes trabajos de geotecnia.

El sistema de clasificación SUCS divide al suelo en dos importantes grupos como son gravas y finos, dependiendo del porcentaje pasante de finos en el tamiz N° 200.

Los suelos dependiendo a sus características previamente mostradas, puede estimarse su comportamiento, teniendo en cuenta su granulometría, plasticidad e índice de grupo. (Ver tabla N° 03).

Tabla 3

Tipos de suelo según AASHTO - SUCS

Clasificación de suelos AASHTO M-145	Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487
A-1-a	GW,GP,GM,SW,SP,SM
A-1-b	GM,GP,SM,SP
A-2	GM,GC,SM,SC
A-3	SP
A-4	CL,ML
A-5	ML,MH,CH
A-6	CL,CH
A-7	OH.MH.CH

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)

2.2.3.2. Granulometría. Proceso manual por el cual se puede determinar los tamaños que contiene un agregado mediante el tamizado las cuales se rigen a especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). Según el (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013) en el manual de carreteras, indica que “el análisis granulométrico de un suelo tiene como finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño” (p.36).

Tabla 4

Clasificación de suelos según el tamaño

Tipo de material		Tamaño de las partículas
Material grueso	Grava	75 mm – 4.75 mm
	Arena	Arena gruesa : 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media 2.00 mm – 0.425 mm
		Arena fina : 0.425 mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm. 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)

2.2.3.3. Plasticidad. Es la característica principal la cual permite la estabilidad de un suelo hasta el punto de llegar a la degradación, por tanto, la plasticidad de un suelo está directamente relacionado con sus elementos finos los cuales son determinados por medio del ensayo de granulometría. Según **(Badillo & Rodriguez, 2011)** refiere que “La plasticidad es una propiedad del suelo, la cual es capaz de soportar cargas sin que exista una alteración de volumen, sin rebote elástico, sin agrietarse y deformarse”.

Para establecer el grado de plasticidad por efecto de humedad de un suelo es necesario realizar un ensayo definido como “límites de atterberg” dicho ensayo permite clasifica en uno de los tres estados del suelo, ya sea un suelo con características líquidas, solidas o plásticas. Según lo establecido por el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2013), afirma que “estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC EM 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC EM 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC EM 112)”. Así pues, se definen y establecen los siguientes límites:

Límite líquido (LL): Es el contenido de agua, representado en porcentaje, este está en función al peso del suelo seco, el cual varía de estado líquido a plástico. (Braja M., 2011) , establece que:

Para el procedimiento de la prueba de límite líquido se utiliza un dispositivo que se compone de una taza de bronce y una base de caucho duro. La taza de bronce se suelta sobre la base de caucho duro por una leva manipulada por una manivela. Para el ensayo se coloca una porción de masa de suelo en la taza, se extiende teniendo cuidado de no realizar burbujas de aire, luego se divide el suelo por el centro de la masa de suelo, usando la espátula. Luego la taza se sube con la leva, a una altura de 10 mm y se deja caer sobre el caucho duro, el contenido de agua medido en porcentaje, que se requiere para cerrar una anchura de 12.7 mm a lo largo de la parte inferior de la ranura después de 25 golpes se establece el límite líquido.

Límite de concentración (LC): Es el contenido de agua medido en porcentaje en relación con peso seco de la muestra. Crespo (2014) manifiesta que:

El modo de análisis del límite de concentración se basa en la relación de humedad que tiene el suelo, es decir con una reducción de agua no ocasiona una deducción en el volumen del suelo, pero si aumenta el contenido de agua este aumentará el volumen del suelo.

Para determinar el índice de plasticidad, solo se debe restar el límite líquido y el límite plástico:

Ecuación 1

$$IP=LL-LP$$

Del mismo modo, de acuerdo al (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013) afirma que:

El Índice de Plasticidad determina la medida del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Si el índice de plasticidad resulta ser grande, significa que el suelo cuenta con alto porcentaje de arcillas; por el contrario, si un índice de plasticidad resulta ser pequeño se define que el suelo es poco arcilloso.

Para determinar el índice de plasticidad según el tipo de suelo se clasifica a continuación (tabla N° 05).

Tabla 5*Índice de plasticidad en función al tipo de suelo*

INDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERISTICAS
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Fuente: **(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)**

Por tanto, Por tanto, cabe resaltar que si se tiene un suelo arcilloso este puede ser riesgoso para una subrasante y estructura de pavimento debido a su sensibilidad por el agua.

2.2.3.4. Índice de grupo. Según el **(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)** en el manual de carreteras “suelos, geología, geotecnia y pavimentos refiere que es un indicador normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de atterberg. Este índice se representa mediante la fórmula siguiente:

Ecuación 2

$$IG=0.2 (a) + 0.005 (ac)+ 0.01 (bd)$$

Donde:

a = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

b=F-15 (F = fracción del porcentaje que pasa por el tamiz N° 2' -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 Y 40)

c= LL-40 (LL= limite liquido). expresado por un numero entero comprendido entre 0 y 20.

D= IP-10 (IP = índice de plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

Cabe resaltar que el Índice de grupo es un valor entero positivo comprendido entre 0 y 20 o más, si el valor es negativo se considera cero, el cual implica que es un suelo muy bueno, en caso contrario si un suelo es mayor a 20, esté es inutilizable para caminos.

Tabla 6

Clasificación de subrasante por índice de grupo

Índice de grupo	Suelo de subrasante
IG>9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 - 2	Bueno
IG está entre 0 -1	Muy bueno

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)

2.2.3.5. Humedad natural. Según el **(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)** , en el manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos, indica que es una característica significativa de los suelos, puesto que la humedad natural y densidad de un suelo está directamente ligada con su resistencia.

La obtención de la humedad natural se realiza mediante el ensayo MTC EM 108, el cual permite comparar la humedad óptima mediante ensayos de

Proctor para obtener el CBR del suelo (ensayo MTC EM 132). En el caso de existir una humedad natural menor a la óptima se realizará una compactación normal con la cantidad conveniente de agua, pero si en caso contrario se encuentra una cantidad de humedad natural mayor a la óptima se realizará dependiendo a la saturación del suelo, amplificar la energía de compactación, airear el suelo o sustituir el material saturado.

2.2.3.6. Ensayo de Proctor. El proceso de compactación puede realizarse de manera artificial o mecánica, mediante el cual se logra ampliar los rasgos de un suelo que conforma una estructura de pavimento o carretera, la cual debe cumplir con su periodo de diseño.

Mediante el ensayo de Proctor se pretende disminuir espacios vacíos existentes, además mediante la compactación se logra la dificultad de penetración de agua en el suelo, la cual se ve reflejada en una variación de volumen en función al porcentaje de humedad, cabe resaltar que, en la compactación, los espacios vacíos y la humedad presentes en un suelo no se reducen en su totalidad, por tanto, todo suelo se mantiene parcialmente saturado.

Existen dos tipos de compactación la cual se usa dependiendo al tipo de condición que se preste.

- Ensayo de Proctor estándar

Para realizar el Proctor estándar con el cual se logra determinar la densidad seca máxima de un suelo además de la humedad óptima. La compactación de suelo se debe realizar con un molde con volumen 943.3 cm³, diámetro de 101.6 mm y se utiliza un pistón de peso 24.5 N, este pistón tiene una caída libre de una altura de 304.8 mm. El proceso de prueba de laboratorio consiste en ubicar el molde en una base metálica con extensiones en los costados como se observa en la ilustración, luego se coloca el suelo previamente humedecido en tres capas, cada capa es compactada con el pistón dando 25 golpes.

- Ensayo de Proctor modificado

Este ensayo se realiza simulando la compactación artificial de un suelo, es decir en este es un ensayo mejorado del Proctor estándar, esta mejora se

debe a la incorporación de rodillos en la pavimentación. Para esta prueba se utiliza un molde de volumen 943.3 cm³ como en el proceso del Proctor estándar, no obstante, el suelo de muestra es compactado en cinco capas de 25 golpes cada una, con la ayuda de un pistón de peso 44.5 N a una caída libre de 457.2 mm. La energía de compactación por volumen unitario de suelo en la prueba de ensayo modificado se determina con la siguiente fórmula:

Ecuación 3

$$E = \frac{\left(\frac{25 \text{ golpes}}{\text{capa}}\right)(5 \text{ capas})(44.5 \times 10^{-3} \text{ x kn})(0.4572 \text{ m})}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ KN} - \text{m/m}^3$$

Debido que el esfuerzo Debido que el esfuerzo de compactación incrementa, el ensayo de Proctor modificado tiene un incremento del peso específico seco máximo del suelo.

2.2.3.7. Ensayo de CBR. Según (Botía Diaz , 2015) refiere que el ensayo de CBR fue propuesto por la división de carreteras de california en 1929, cuyo objetivo fue darle una clasificación a la capacidad del suelo para ser usado en la subrasante o material de suelo base, en la estructura de una carretera. Este ensayo tiene la finalidad de medir la resistencia al corte de suelo bajo un estado de densidad y humedad controlada.

Para realizar el ensayo se hace previamente una mezcla de muestra de suelo con la cantidad de agua requerida para obtener la humedad optima, hallada con el ensayo de Proctor, luego se compacta al 95% de la máxima densidad seca, seguidamente realizar el ensayo de CBR, donde se coloca el pistón metálico (0.5 pulgadas cuadradas de área) encima de la muestra y se penetra hasta el fondo del molde manteniendo una velocidad constante. El CBR se define como la fuerza requerida por el pistón metálico para penetrar el suelo a una profundidad determinada.

Es importante tener en cuenta que antes de calcular la resistencia de penetración, se confeccionan tres probetas las cuales son saturadas por tiempo de 96 horas para simular las condiciones de trabajo. Después son sometidas a distintas energías de compactación a 10,25 y 56 golpes.

2.2.4. Subrasante de suelos cohesivos

Un suelo cohesivo es aquel que dentro de su composición granulométrica tiene un peso acumulado de partículas con tamaño menor a 0.002 mm, dichas partículas tienen una estructura compuesta por minerales como silicato de hierro, aluminio, magnesio, entre otros. Mediante ensayos realizados se determinó que según (Braja M., 2011) afirma que “Las arcillas tienden a ser plásticos cuando contiene una cantidad limitada de agua, por lo que tiene baja capacidad portante”.

Según (Kramer, 1996), refiere que los suelos cohesivos son aquellos que están compuestos por minerales de arcilla; estructuralmente está compuesto por enlace de tetraedro y octaedro de sílice, el tamaño de sus partículas es inferior de 0.0063 mm por esta razón presenta gran área; tiene la característica de detener gran cantidad de agua, lo que genera su variación de volumen haciendo que se hinchen y expanda su volumen perdiendo su capacidad de resistencia.

La presencia de arcillas en una subrasante puede ser perjudicial debido que es un material muy inestable, puesto que con presencia de agua este tipo de suelo baja su resistencia hasta llegar a un punto de alta plasticidad. Por tanto los manuales de diseño de carreteras recomiendan la aplicación de métodos de estabilización ya sea con cemento, sulfato, cal, entre otros, hasta llegar a obtener una subrasante más firme y resistente.

2.2.5. Estabilización de suelos

Para la construcción de obras ingenieriles es vital utilizar los materiales de óptima calidad a fin de que estos son los que determinarán el tiempo de vida de dichas construcciones. En las obras de pavimentación suelen ocurrir escenarios donde el tipo de rasante no cumple con valores óptimos de diseño debido al tipo de suelo, por tanto, este debe mejorarse o estabilizarse.

Existen casos en el que no se puede encontrar el material y por otro lado el precio del material de préstamo tiene un coste muy elevado. Por ende, se opta por estabilizar el suelo de maneras más económicas y más rápidas.

Según (Fonseca, 1998) sostiene que la estabilización de suelos es un proceso por el cual se mejora las propiedades de un suelo tanto de resistencia, durabilidad, plasticidad, permeabilidad, densidad, etc.

2.2.5.1. Estabilización mecánica. La estabilización mecánica tiene como objetivo mejorar el suelo existente sin que este afecte su composición y estructura básica. La estabilización mecánica se puede lograr mediante la compactación, proceso artificial que permite que las partículas tengan mayor contacto por ende su volumen de vacíos se reduce.

2.2.5.2. Estabilización por compactación. Según (Ugaz, 2014) afirma que compactar un suelo, tiende a aumentar su densidad por lo tanto conseguirá una mejor distribución de las fuerzas que interactúan en la subrasante del suelo, en efecto tendrá más estabilidad, el cual permitirá que no exista asentamiento en la estructura del pavimento.

2.2.5.3. Estabilización química. La estabilización química es un proceso por el cual se llega a optimizar características de suelo, adicionando aditivos químicos los cuales alteran al suelo ocasionando efectos deseados como la pérdida de plasticidad, el efecto de esta alteración es mayor resistencia.

2.2.6. Métodos de estabilización

Dentro de las metodologías de estabilización de subrasante existen diversas maneras de realizarlo, dependiendo mucho del contexto, presupuesto y condiciones que se presentan.

2.2.6.1. Estabilización con cemento. Según el (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013), en el manual de carreteras indica que, el material llamado comúnmente como suelo cemento, se adquiere mediante la mezcla de un suelo, una cantidad suficiente de cemento y agua, la cual será compactada y curada de tal manera que el material suelto adquiera propiedades duras y resistentes.

2.2.6.2. Estabilización con cal. Según (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013) en el manual de carreteras indica que, el suelo cal se obtiene mediante la mezcla de suelo, cal y agua, el suelo debe ser analizado mediante ensayos para poder realizar la adición porcentual de la cal. al realizar la mezcla se produce un efecto satisfactorio para el suelo debido que le permite reducir su plasticidad por efectos del agua, por otro lado aumenta su compacidad aumentando su resistencia.

2.2.6.3. Estabilización con cenizas de carbón. Según (Petermann Jeddrey & Saeed Athat, 2010) indica que las cenizas de carbón pertenecen al grupo de materiales silíceos o aluminio – silíceos que reaccionan químicamente con presencia de humedad formando así un material más resistente, con propiedades de endurecimiento lento, siendo así un aditivo cementante que mejora considerablemente las características mecánicas del suelo. Según (Camacho Tauta & Reyes Ortiz, 2006), indica que las cenizas volantes son originadas mediante la combustión en centrales termoeléctricas. La composición de los tipos de cenizas y el carbón porcentual encontrado depende del proceso a utilizar. Además se sabe que las cenizas son granos de tamaño reducido compuestos por silicatos, aluminios, cal libre y algunos óxidos que permiten una reacción puzolánica que al entrar en contacto con el suelo arcilloso reducen su propiedad expansiva.

En su investigación (Camacho Tauta & Reyes Ortiz, 2006), indica que la concentración de 25 % de cenizas aplicadas en un suelo resulta beneficiosa, afectando sus propiedad granulométricas, estabilizando las propiedades porcentuales de arcilla, por otro lado los límites líquidos y el índice de plasticidad se ven reducidos. En efecto la capacidad portante de la subrasante aumenta.

2.2.6.4. Estabilización con polímeros. Según (Curitomay Najarro, 2018), indica que los polímeros son materiales fundados a partir de grandes moléculas mediante enlaces covalentes y por la unión de unidades simples (monómero). Los monómeros son unidades que conforman la materia prima de los plásticos, según su forma de adherencia puede ser lineales o no lineales. Por tanto un polímero está conformado por la unión constante, mediante pequeñas interrelaciones atómicas llamadas unidades de monómero, formando grandes y flexibles cadenas cuya estructura es una hilera de átomos de C. Lo que caracteriza a un polímero es que se puede reducir el polímero de manera que cumpla propiedades como dureza, densidad, plasticidad, etc.

- Tipos de polímeros

Según (Curitomay Najarro, 2018), clasifica los polímeros en función a su comportamiento de la siguiente manera:

- Según su origen

Naturales: Caucho, disacáridos (celulosa, almidón), proteínas, ácidos nucleicos.

Artificiales: Plásticos, fibras textiles sintéticas, poliuretano, baquelita.

- Según su composición

Homopolímeros: Un solo monómero.

Hetero polímeros: varios monómeros

- Según su estructura:

Lineales: los monómeros se unen por dos sitios (cabeza y cola).

Ramificados: si algún monómero se puede unir por tres o más sitios.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Mecánica de suelos

Según el (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013) en el manual de carreteras, la subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado según sea el diseño.

La subrasante es el soporte directo de cargas del pavimento y forma parte del terreno natural sobre el cual se construye. La subrasante está constituida por suelos previamente seleccionados con rasgos admisibles y compactados en capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado de tal forma que pueda resistir las cargas a las que será sometido.

2.3.2. Subrasante

Según el (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013) en el manual de carreteras, la subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado según sea el diseño.

La subrasante es el soporte directo de cargas del pavimento y forma parte del terreno natural sobre el cual se construye. La subrasante está constituida por suelos previamente seleccionados con rasgos admisibles y compactados en capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado de tal forma que pueda resistir las cargas a las que será sometido.

2.3.3. Suelos cohesivos

Según (M. R., K. B., & P. keikhaei, 2012) la estabilización de suelos es el incremento en la capacidad portante de un suelo natural, esto quiere decir que mejora la resistencia al corte y eleva la resistencia al ablandamiento por factores de humedad (agua), además de brindarle una estabilidad volumétrica disminuyendo la permeabilidad y elasticidad, incrementando su densidad.

2.4. Sistema de hipótesis

La adición de polímeros y cenizas de carbón influirían en la estabilización de suelos cohesivos para subrasante mejorada en el sector Barraza, Laredo, Trujillo 2021.

Tabla 7*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Estabilización de subrasante cohesiva para un pavimento, aplicado en sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.	Es la optimización en las propiedades geo mecánicas de un suelo natural cumpliendo valores de calidad y durabilidad de un pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de permeabilidad de suelos. - Estudio de mecánica de suelos (CBR). - Ensayo de compresión de suelos confinados. Propuesta de diseño de pavimento flexible 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometría - Humedad. - Límites de consistencia (AASHTO T189-190: AST D14 D124). - Clasificación de suelos. - Proctor modificado. - Obtención de CBR. 	<ul style="list-style-type: none"> g. Porcentaje. Porcentaje Porcentaje

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Polímeros PET	Material plástico obtenido a través de un proceso de polimerización de ácido Tereftálico y mono etilenglicol.	Porcentaje	Incorporación porcentual del 3%, 5% y 10% de cada material.	g.
Cenizas de carbón	Material obtenido a partir de la combustión de madera	Porcentaje	Incorporación porcentual del 3%, 5% y 10% de cada material.	g.

Fuente: Elaboración Propia.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1 *Diseño de investigación*

La investigación aplicada en esta investigación es del tipo experimental – puro puesto que recauda requisitos necesarios para obtener la validez y control, es decir cumple con las características básicas de una investigación experimental y al mismo tiempo el investigador puede manejar las variables dependiendo a su enfoque. **(Hernandez sampieri, Fernandez Collado, & Batista Lucio, 2004).**

Con lo que acontece a la investigación, se considerará un registro, en este caso puntual los involucrados son asignados a los grupos, es decir se podrá llevar a cabo la aplicación de la variable independiente, la cual llega a dos horizontes: presencia y ausencia, pasado el periodo experimental, se le ejecuta cierto número de repeticiones según corresponda, a dichos grupos se le realiza la respectiva medición en función a la variable dependiente.

En la presente investigación se tendrá en cuenta la aplicación de pruebas a los grupos que actúan; las probetas de suelos sin y con la adición de polímeros PET y cenizas de carbón.

3.2 Población y muestra de estudio

3.2.1. *Unidad de estudio*

Muestra de suelo con adición de polímeros PET y cenizas de carbón.

3.2.2. *Población*

Probetas elaboradas en: “Laboratorio de suelos y pavimentos”, según la norma (MTC E 1103 Y MTC E 132), lo cual se resume en la tabla 08.

Tabla 8*Población de probetas*

Aditivo	Porcentaje adicionado (%)	Número de ensayos mecánicos	
		CBR	Compresión simple
	0.00	3	6
Polímeros PET	3.00	0	6
	5.00	0	6
	10.00	3	6
Subtotal		6	24
Total		30	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Muestra

En el desarrollo de la presente investigación para hallar el porcentaje de adición de polímeros PET y cenizas de carbón es necesario para optimizar las propiedades mecánicas del suelo a usar como subrasante, se realizaron 9 probetas para determinar el porcentaje de polímeros PET y cenizas de carbón, determinando 4 muestras.

A continuación, en el ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R) el manual de carreteras – Capitulo IV, estipula que como mínimo realizar 01 probeta por cada 3 km. En caso carreteras de bajo volumen de tránsito, por lo que se realizarán 03 probetas con muestra de suelo patrón y 03 probetas con la adición de porcentaje de los aditivos de polímeros PET y cenizas de carbón, por lo tanto, se necesitará 12 probetas.

3.3 Técnicas e instrumentos de investigación**3.3.1. Técnicas e instrumentos**

Las técnicas e instrumentos que se utilizarán para recopilar y analizar la información será la siguiente:

3.3.1.1. Técnicas de recolección de datos: Observación. La observación fue una técnica usada para la obtención de datos dado que nos permitió analizar y conocer la realidad y así determinar los principales problemas que padecía la vía en estudio. Para ello lo primero es plantear lo que se va a observar, en otras palabras, tener claro lo que se quiere conocer. Para el presente estudio se planeó conocer el estado real de la vía y así determinar los problemas de dicha área de estudio. Consiguiendo así la problemática que encuentran en la transitabilidad de los pobladores del sector Barraza.

3.3.1.2. Instrumento: Guía de observación. Para poder realizar la recolección de datos necesitamos partir en función a parámetros para ello se realizó una guía de observación, para poder llevar un control y registro de observación, con el fin de tener información ordenada y necesaria en las investigaciones de este tipo, por tanto, se permitió tener un proceso ordenado de examinación, registro y almacenaje de datos.

Mediante la guía de información, se obtuvo datos necesarios los cuales determinaron la problemática que afecta la vía de acceso al sector Barraza como se observa en la figura N°01.

Ilustración 1

Resumen de guías de observación



Fuente: Elaboración propia.

Se optó por realizar un gráfico de barras para resumir los datos recolectados, con esto se pretende ver las características y problemas más resaltantes.

3.3.2. Procedimiento de recolección de datos

3.3.2.1. Muestreo y obtención del material. Para el alcance del material, se obtuvo 03 calicatas, cada uno de 750 metros aproximadamente con una profundidad de 1.50m, la muestra extraída transportó en bolsas plásticas para ser llevadas al laboratorio de suelos. El material fue determinado mediante ensayos mecánicos y físicos.

Por otro lado, se obtuvo los polímeros PET y cenizas de carbón el cual será mezclado con el suelo natural en porcentajes de 3, 5, 10% respectivamente.

3.3.2.2. Caracterización del suelo. Tras llevar la muestra al laboratorio se realizaron los ensayos respectivos:

3.3.2.2.1. Contenido de humedad ASTM C566. Se procedió a pesar un recipiente metálico debidamente limpio y seco, a continuación, se colocó la muestra húmeda entre 50 g. y 100 g. aproximadamente en el recipiente y se tomó datos del nuevo peso para posteriormente llevar la muestra de suelo al horno de secado, con una temperatura de 100 C°, por un tiempo de 24 horas. Finalmente se registró el peso de la muestra seca y se determinó la cantidad de humedad contenida en la muestra.

El porcentaje de humedad fue hallada mediante la fórmula siguiente:

Ecuación 4

$$W(\%) = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_2 - W_3)} * 100$$

Donde:

W_1 = Peso de recipiente + muestra húmeda

W_2 = Peso del recipiente + suelo seco

W_3 = Peso del recipiente

Obteniendo así la siguiente fórmula:

Ecuación 5

$$W(\%) = \frac{(W_w)}{(W_s)} * 100$$

Donde:

- W_w = Peso del agua
- W_s = Peso del suelo
- $W_{\%}$ = Humedad en porcentaje

Tabla 9*Contenido de humedad*

Muestra	Unidad	P-01	P-02	P-03
Peso de lata (g.)	g.			
Peso del suelo húmedo + lata	g.			
Peso del suelo seco + lata	g.			
Peso del agua	g.			
Peso del suelo seco	g.			
Humedad	%			
Promedio % de Humedad				

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2.2. Análisis granulométrico por lavado ASTM D422. Para realizar el ensayo se utilizó entre 1000 g. a 1500 g. de suelo seco, previamente fue cernido por el tamiz N° 4, se procedió a lavar el material utilizando el tamiz N° 200, usando un chorro de agua y teniendo en cuenta el cuidado respectivo para no perder ninguna partícula retenida en el tamiz, este material se colocó en un recipiente de metal para luego llevarlo al horno durante 24 horas a 110 °C de temperatura.

Continuando con el ensayo se determinó el peso de muestra retenido en cada tamiz utilizado en el ensayo, para así representarlo en porcentaje.

Se utilizaron las fórmulas a continuación para desarrollar los dichos cálculos:

Ecuación 6

$$\%P.R. = \frac{P.R.P.}{W_{MS}} * 100$$

Para determinar los porcentajes de pesos retenidos acumulados en los diferentes tamices de porcentaje retenido acumulado (P.R.A.) , para ello se sumará de forma consecutiva los P.R.P. (porcentaje retenido parcial), es decir:

Ecuación 7

$$\% R.A.1 = \% R.P.1$$

$$\% R.A.2 = \%R.P.1 + \%R.P.2$$

$$\% R.A.3 = \%R.P.1 + \% R.P.2 + \% R.P.3, \text{ etc.}$$

Hallar los porcentajes acumulados que pasan en cada matriz

Ecuación 8

$$\% \text{ Que pasa} = 100\% - \% R.A.$$

Finalmente, con todos los datos hallados se realizó el dibujo de una curva granulométrica en escala semi logarítmica, por la parte las abscisas se describió la abertura de las mallas en milímetros, mientras que en el eje de las ordenadas se consideró los porcentajes acumulados que pasan en las mallas que se utilizan, como se muestra a continuación:

Tabla 10*Análisis granulométrico ASTM D422*

Tamiz	Abertura	Peso Ret. (g.)	% Ret (%)	% Ret. Acum (%)	% Que Pasa
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
N° 4					
N° 10					
N° 16					
N° 20					
N° 30					
N° 40					
N° 60					
N° 80					
N° 100					
N° 200					
Fondo					

Fuente: Elaboración propio.

3.3.2.2.3. Análisis granulométrico por método del hidrómetro a las partículas finas ASTM D422. Para realizar el ensayo se tomó 50g de muestra pasante del tamiz N° 200 para CL, para posteriormente llevar la muestra al horno durante 24 horas y nuevamente se pesó para determinar la cantidad de humedad.

La solución de 40 gr/ IL de hexametáfosfato de sodio fue preparada, para luego ser mezclado con la muestra y posteriormente reposar por durante toda una noche. Mediante el hidrómetro -5g/L-60g. Calculando así el peso específico.

Se colocó la muestra en un vaso de dispersión lavándola con agua destilada, posteriormente se agregó agua destilada hasta que quede aproximadamente a la tercera parte del vaso. Se colocó el vaso de dispersión en el aparato agitador dependiendo del límite de plasticidad del suelo. Se transfirió la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml. Y se llevó a la temperatura que prevalecerá durante el ensayo.

Un minuto antes de comenzar el ensayo, se tomó el cilindro de sedimentación, se tapó con la mano y agitó con 60 giros. Luego, se colocó el cilindro en el equipo.

Se realizaron lecturas en los minutos 1,2,5,15,30,60,120 y 1440, los cuales se extrajeron del hidrómetro de la suspensión y se colocó en un cilindro graduado con agua limpia. Se tomó la temperatura después de cada lectura. Para obtener los resultados, se tomó en cuenta lo siguiente.

Computar las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura del instrumento no corregida (R'), la corrección por menisco C_m , es decir:

Ecuación 9

$$R = R' + C_m$$

Considerando el tomo de valores de R obtenidos.

Obtención mediante cálculo del diámetro de las partículas (D), el diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro, se calculó mediante:

Ecuación 10

$$D(mm) = \sqrt[k]{\frac{L}{t}}$$

Donde:

T= tiempo transcurrido en minutos

L = profundidad efectiva en cm

Ecuación 11

$$k = \sqrt{\frac{30 * \frac{\mu}{g}}{ts - tw}}$$

Donde:

G= Gravedad = 980.7 cm/s²

μ= coeficiente de viscosidad del agua en poises

ts= peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm³

tw= peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en g/cm³

Para la determinación del porcentaje de las partículas más finas obtenidas mediante una lectura de hidrómetro, se usó la siguiente formula:

Ecuación 12

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} * \frac{100}{W_o} * (R - Cd \pm Ct)$$

Donde:

G_s = Peso específico de los sólidos (modo operativo MTC E 205)

G_s = Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.

Ecuación 13

$$R - Cd \pm Ct)$$

Lectura tomada de hidrómetro corregido.

3.3.2.2.4. Límite líquido y límite plástico. Limite líquido:

Se obtuvo 250 g. de muestra de suelo por cuarteo la cual pasó por la malla N° 40, a continuación, se mezcló con agua y se agregó una porción de la muestra en la copa de Casagrande, usando una espátula, hasta una profundidad aproximadamente de 10 mm. Utilizando un acanalador, se separó la muestra haciendo una ranura en medio del suelo sobre el borde de la copa. Se elevó y soltó la copa girando el manubrio hasta que las dos mitades de suelo estén j, en la base de la ranura una longitud de 13 mm. Se realizó el registro de número de golpes, N, necesario para cerrar la ranura.

Se tomó una muestra de suelo de aproximadamente equivalente al ancho de la espátula, por último, se agregó en un recipiente de peso conocido y se llevó al horno por 24 horas.

Para los cálculos se usaron las siguientes formulas:

Ecuación 14

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100$$

Ecuación 15

$$\text{Límite líquido a 25 golpes} = W^n x \left(\frac{N^{0.121}}{25} \right)$$

Tabla 11

Límite Líquido

Límite líquido				
Muestra N°	Und	T-01	T-02	T-03
Peso de tara + suelo húmedo	g.			
Peso tara + suelo seco	g.			
Peso tara	g.			
Peso suelo seco	g.			
Peso del agua	g.			
Contenido de humedad	%			
N° de golpes				

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2.5. Límite plástico e índice de plasticidad. Se tomó entre 20 g. y 50 g. de muestra de suelo que pasó por la malla N° 40, mezclada con agua destilada, la cual dio como resultado una pasta manejable (el material usado en este ensayo puede ser utilizado de la mezcla producida para obtener el límite líquido). Se tomó una muestra de aproximadamente 3 gr. De la mezcla para realizar el ensayo. Se moldeó el suelo de modo que se forme una esfera luego se rodó en una superficie lisa (base de vidrio para evitar la pérdida de humedad).

Una vez que el bastoncito formado empiece a manifestar agrietamientos, se procedió a colocarlo en un recipiente y tomar el peso de la muestra. Posteriormente se colocó para su secado en el horno a una temperatura de 100 °C durante 24 horas, las cuales una vez terminadas se procedió a tomar el nuevo peso para determinar el contenido de humedad. Para los cálculos se usó la siguiente fórmula:

Ecuación 16

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100$$

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, como indica la siguiente fórmula:

Ecuación 17

$$\text{IP} = \text{LL} - \text{LP}$$

Tabla 12*Limite Plástico*

Límite plástico				
Muestra N°	Und	T-01	T-02	T-03
Peso tara + suelo húmedo	g.			
Peso tara + suelo seco	g.			
Peso tara	g.			
Peso suelo seco	g.			
Peso del agua	g.			
Contenido de humedad	%			
Promedio				

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2.6. Ensayo de gravedad específica de los sólidos – ASTM D854.

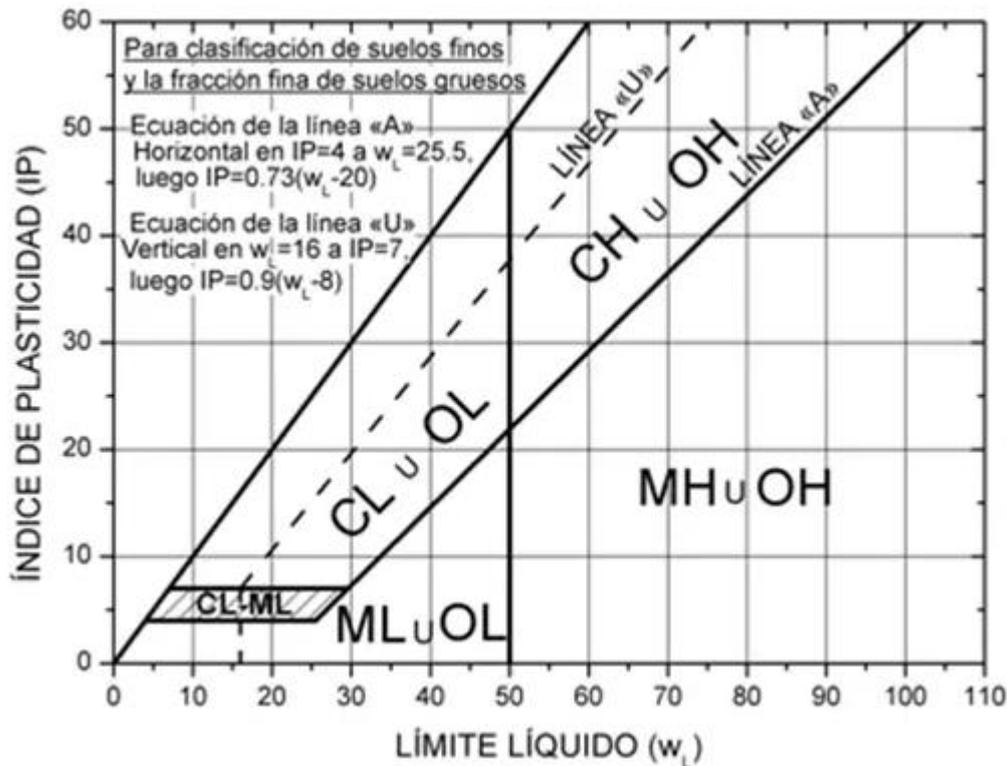
La clasificación ASTM D854 refiere que el suelo que estamos evaluando pertenece a la clasificación CL, se determinó usar aproximadamente 75 g. de material que pase el tamiz N°4. Se relleno la fiola con agua destilada al nivel óptimo para así reducir las burbujas de aire que presenta. Se metió dentro de la fiola la muestra pesada y se llenó con agua adicional aproximadamente 90% - 95% de la capacidad natural. Rápidamente se sacudió la fiola y se volvió a realizar el procedimiento hasta quitar todas las burbujas.

3.3.2.2.7. Clasificación de suelos (SUCS) – ASTM D 248.

El sistema de clasificación de suelos (SUCS) es el sistema más usado desde el punto de vista mecánico de suelos, este sistema brinda distintos símbolos para cada tipo de suelo, ya sean suelos finos o gruesos, orgánicos o inorgánicos. Las principales medidas que se tomaron en consideración para realizar esta clasificación fueron: el límite líquido (LL), límite plástico (LP), el índice de plasticidad (IP) y la granulometría de la muestra, con los cuales se puede caracterizar el comportamiento mecánico del suelo.

Ilustración 2

Carta de plasticidad SUCS



Fuente: (Borcelli, 2021)

3.3.2.2.8. Clasificación de suelos AASHTO – ASTM D3282. Según el sistema (American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)) es usado para verificar materiales a emplearse en caminos. El primer paso es determinar si el suelo es granular, limoso o arcilloso, dependiendo del porcentaje que pasa el tamiz N° 200; a continuación, se revisa los tipos de suelos (granular o fino), desde izquierda a derecha; el porcentaje que pasa el tamiz N° 10, porcentaje que pasa el tamiz N° 200, límite líquido y límite plástico. Por último, se lleva a cabo el cálculo del índice de grupo, para poder así concluir la clasificación del suelo mediante esta metodología como se muestra en la siguiente fórmula.

Ecuación 18

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

Donde:

F= Material que pasa la malla N° 200

LL= Límite líquido

IP= índice plástico

3.3.2.3. Caracterización de Polímeros PET y cenizas de carbón.

3.3.2.3.1. Caracterización de polímeros PET. Se realizó el corte de los polímeros PET hasta obtener un tamaño uniforme de 1 cm como fines de prueba.

Para la determinación de propiedades físicas y químicas fue llevado a un laboratorio.

3.3.2.3.2. Caracterización de cenizas de carbón. Se tamizó la ceniza de carbón, hasta obtener un tamaño uniforme de partícula del material a mezclar, donde se hizo uso del tamiz N° 200, el cual tiene un tamaño constante de 0.075 mm.

Según (*Petermann Jeddrey & Saeed Athat, 2010*) refiere que los minerales predominantes son el aluminio y silicatos alcalinos que permiten una reacción activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino, que al ser mezclada con un suelo arcilloso se crea un producto llamado Geo polímero con propiedades puzolánicas similares a las de un cemento Portland.

3.3.2.4. Preparación de las muestras.

3.3.2.4.1. Ensayo Proctor modificado – ASTM D1557. Se hicieron los cálculos correspondientes a los porcentajes en peso del material estabilizante, en el caso de los polímeros PET y las cenizas de carbón. Así para una mezcla de 3000 g. de suelo el 3% de polímeros PET y cenizas de carbón corresponde a 100 g.; de igual manera que el 5% y 10% corresponde 150 g. y 300 g. respectivamente.

A continuación, se colocó en una bandeja la muestra de suelo (tamizada por la malla N° 40) tanto en estado natural, como con la adición de los distintos porcentajes de polímeros PET y cenizas de carbón, para así producir una mezcla homogénea combinada con distintos porcentajes de agua.

Una vez dosificada la mezcla se procede a colocarla en el molde para el ensayo, dicho molde previamente fue limpiado y lubricado con grasa para evitar que se adhiriera material a sus paredes. La mezcla fue colocada en 5 capas, compactando cada capa con 25 golpes del pisón entre cada porción distribuida en toda la selección del molde.

Cuando se llenó el molde con la muestra compactada en 5 capas, se procedió a retirar el collarín del molde, enrasarlo con un cuchillo, y se extrae el molde de su base; registrando así el peso del espécimen junto con el molde en la hoja de datos.

Este procedimiento se debió repetir por 4 veces más, con fines de obtener una curva de compactación con 5 puntos y así poder determinar el contenido de humedad óptimo.

Tabla 13

Pretor modificado

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE MÉTODO					
CANTIDAD DE LA MUESTRA					
Malla	<i>P. Bandeja (g.)</i>	<i>P. Bandeja + muestra (g.)</i>	<i>P. Muestra (g.)</i>	<i>% de muestra</i>	<i>Tipo de método</i>
3/4"					
3/8"					N° de capas:
N° 4					N° de golpes:
Fondo					
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD					
<i>Muestra N°</i>					
<i>Numero de capas</i>					
<i>Numero de golpes</i>					
<i>Peso suelo + molde (g.)</i>					
<i>Peso molde (g.)</i>					
<i>Peso suelo compactado (g.)</i>					
<i>Volumen del molde (cm³)</i>					
<i>Densidad húmeda (g./cm³)</i>					
<i>Densidad seca (g./cm³)</i>					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
<i>Tara N°</i>					
<i>Peso tara + suelo húmedo (g.)</i>					
<i>Peso tara + suelo seco (g.)</i>					
<i>Peso del agua (g.)</i>					
<i>Peso de tara (g.)</i>					
<i>Peso suelo seco (g.)</i>					
<i>Volumen de molde (cm³)</i>					
<i>Contenido de humedad (%)</i>					

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.4.1. Ensayo de compresión simple no confinada – ASTM D2166.

Se realizaron los cálculos de los porcentajes en peso del material estabilizante, en este caso de polímeros PET y cenizas de carbón. Debido a que el molde para realizar este ensayo fue el mismo que el usado en Proctor modificado se requerirá de igual una mezcla de 3000 g. de suelo el 3% de polímeros PET y cenizas de carbón que equivale a 100 g. de igual manera que el 5% y 10% corresponde a 150 g. y 300g. por cada molde a preparar.

Se procedió a agregar el suelo en una bandeja donde se homogenizó la mezcla de suelo, polímeros PET y cenizas de carbón, adicionándose la cantidad óptima de agua para lograr la compactación correcta.

Previamente se limpió el molde y se agregó desmoldaste, a fin de evitar pérdidas del material, lo que podría influir en los resultados.

A continuación, se colocó dentro del molde el producto de la mezcla: suelo – polímeros PET y cenizas de carbón, para que posterior a eso se pueda compactar la mezcla dentro del molde haciendo uso de pisón

Una vez realizada la probeta se retira el molde y se coloca dentro de una bolsa plástica, evitando el contacto con factores externas, para dejar a su curado durante 7 días, como lo indica el Manual de ensayos de materiales en la norma MTC E 1104: “Colóquese los especímenes en dispositivos adecuados en la cámara húmeda y protéjase del agua libre durante un periodo de 7 días. Pése y mídase el espécimen N° 1 al final del almacenamiento de 7 días para obtener datos para el cálculo de su contenido de humedad y del volumen”.

A los 7 días de curado, se procedió a retirar la probeta de la cámara húmeda y se colocó dentro de la prensa multiusos para ser sometida a dicho ensayo.

Tabla 14*Compresión simple no confinada*

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Pesa de lata (g)					
Peso del suelo húmedo + tara (g)					
Peso de suelo seco + tara (g)					
Peso del agua (g)					
Peso de suelo seco (g)					
% de humedad					
DATOS DE LA PROBETA					
Código					
Diámetro (cm)					
Altura inicial					
Área (cm ²)					
Peso (g)					
Tiempo	Carga		Deformación vertical		1-e
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada	Dial LC – 8 0.001"	Deformación unitaria	

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.4.3. Ensayo C.B.R. – D1883. Se hicieron los cálculos correspondientes a los porcentajes (%) en peso del material estabilizante, en este caso de polímeros PET y cenizas de carbón según corresponda. Así para una muestra de 8000 g. de suelo el 3% de polímeros PET y cenizas de carbón será de 240 g., de igual manera el 5% y el 10 % corresponde a 400 g. y 800 g. respectivamente.

A continuación, se agregó el suelo en una bandeja donde se realizará la mezcla de suelo con los aditivos, añadiendo la cantidad óptima de agua para lograr la compacidad adecuada.

Se realizó la compactación de la muestra distribuida en 5 capas uniformes y 3 moldes de CBR, el primero con 12 golpes por capa, el segundo con 25 golpes por capa y el tercero con 56 golpes por capa.

Finalizada la compactación de la muestra se procedió a colocar los 3 moldes dentro de una poza de agua durante 96 horas (4 días), tomando registro de las lecturas de expansión cada 24 horas.

Pasados las 96 horas se retiró los moldes de la poza de agua para realizar el ensayo de carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración), de cada molde.

Se extrajo el dial, trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, para que en ese estado dejarlo drenar el agua sobrante por 15 min., para finalmente realizar el ensayo de carga.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de datos se asumió datos estadísticos, esto quiere decir que se realizaron un conjunto de métodos y técnicas que permiten inducir, a partir de información empírica proporcionada por alguna muestra, el cual será utilizada para determinar el comportamiento de una determinada población con un riesgo calculable a partir de probabilidades.

El análisis de varianza es utilizado para determinar las medias iguales de la población, es decir si existe más de dos poblaciones de estudio.

El análisis de varianza (ANOVA), tiene la función de contrastar simultáneamente todas las medias, evitando tener que realizar pruebas en grupos de dos. La contrastación de las medias muestrales se basa en las varianzas muestrales (Walpole & Myers & Ye, 2012)

3.4.1. Tratamiento

Es la base de datos cuya variación brinda las observaciones como son:

K: Numero de tratamientos

N: Número total de observaciones en todos los tratamientos combinados

n_j : Número total de observaciones en cada tratamiento $j=1, 2, \dots, K$.

n_{ij} Es la i -ésima observación del tratamiento j .

\bar{X}_j : Media muestra del tratamiento j .

3.4.2. Variación total

Es la variación total combinada de las observaciones de todos los tratamientos con respecto a la media general

Media muestral general:

Ecuación 19

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}$$

Variación total:

Ecuación 20

$$SCT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{i,j} - \bar{X})^2$$

(Suma cuadrático total)

3.4.3. Variación muestral

Es la conmutación a efectos de los tratamientos.

Media muestral del tratamiento:

Ecuación 21

$$j: \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} X_{i,j}$$

Variación de tratamientos

Ecuación 22

$$SCTr = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

3.4.4. Variación aleatoria o error

Es la variación entre cada tratamiento debido a errores en el ensayo.

Variación aleatoria o error:

Ecuación 23

$$SCE = SCT - SCTr$$

Suma cuadrática del error

La ecuación $SCE = SCT - SCTr$ separa la variación total en dos componentes: el primero corresponde a la variación atribuida a los tratamientos y el segundo a la variación atribuida a la aleatoriedad o errores del experimento.

SCTr tiene K-1 grados de libertad (varianza ponderada con K tratamientos).

SCE= tiene n-1 grados de libertad (existen n datos y k tratamientos)

SCT tiene n-1 grados de libertad (suma de grados de libertad de SCTr y SCE).

3.4.5. Tabla ANOVA (análisis de varianza)**Tabla 15**

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fo
Tratamiento	n-1	SCTr	SCTr/(k-1)	(SCTr/k(k-1))(SCE/(n-k))
Error	n-k	SCE	SCE/(n-k)	
Total	n.1	SCT		

Fuente: (Walpole & Myers & Ye, 2012)

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Ensayos realizados a muestra de suelo patrón

4.4.1. Contenido de humedad

En las tablas N° 16 se muestran los resultados de la media de las tres repeticiones realizadas en el ensayo del contenido de humedad (NTP 339.127) de las muestras obtenidas en los estratos 1 y 2 en cada una de las calicatas y muestreos.

Tabla 16

Resumen de resultados del ensayo de contenido de humedad

N°	Calicata	Estrato	Progresiva (km)	Profundidad (m)	W (%) Promedio
1	C-01	E-01			
		E-02			
2	C-02	E-01			
		E-02			
3	C-03	E-01			
		E-02			

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Granulometría

En la tabla N° 17 se muestran los resultados de los ensayos del análisis granulométrico por tamizado, en donde se presenta el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 de las muestras tomadas del estrato 1 y 2 en cada una de las calicatas y posteos, realizado bajo la norma NTP 339.128.

Tabla 17

Resumen de resultados del ensayo de granulometría - calicatas

N°	Calicata	Estrato	Progresiva (km)	Profundidad (m)	% que pasa por el tamiz N° 200
1	C-01	E-01			
		E-02			
2	C-02	E-01			
		E-02			
3	C-03	E-01			
		E-02			

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro

En la tabla N° 18, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de análisis granulométrico por medio del hidrómetro, este ensayo fue realizado a los estratos 01 de cada una de las calicatas elaboradas y fue realizado según lo dispuesto en la norma internacional ASTM D-422.

Tabla 18

Resumen de ensayo granulométrico por hidrometría

Análisis granulométrico por hidrómetro			
Abertura (mm)	% que pasa		
	C-01	C-02	C-03

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

En las tablas 19 y 20 se presentan los resultados de los ensayos correspondientes a límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras tomadas en cada una de las calicatas y posteos para los estratos 1 y 2, realizando bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.129.

Tabla 19

Resumen de resultados del ensayo de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad – Calicatas.

N°	Calicatas	Progresivas (km)	Profundidad (m)	LL %	LP %	IP %
1	C-01					
2	C-02					
3	C-03					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Resumen de resultados del ensayo de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad – Calicatas.

N°	Calicatas	Progresivas (km)	Profundidad (m)	LL %	LP %	IP %
1	C-01					
2	C-02					
3	C-03					

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5. Clasificación SUCS y AASHTO

En la tabla N° 21 se presenta los resultados de la clasificación SUCS y AASHTO de los especímenes tomados en cada uno de las capas de las calicatas, realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.134 para la clasificación SUCS.

Tabla 21

Resumen de resultados de clasificación SUCS y AASHTO – calicatas.

N°	Calicatas	Progresivas (km)	Profundidad (m)	LL %	LP %	IP %
1	C-01					
2	C-02					
3	C-03					

Fuente: Elaboración propia.

4.4.6. Gravedad específica

En la tabla N° 22 se presenta los resultados del ensayo de gravedad específica de los especímenes tomados en cada una de las calicatas, realizando bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.1331.

Tabla 22

Resumen de resultados del ensayo de gravedad específica.

N°	Calicatas	Progresivas (km)	Profundidad (m)	Gs
1	C-01			
2	C-02			
3	C-03			

Fuente: Elaboración propia.

4.4.7. Proctor Modificado

En la tabla N° 23 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a proctor modificado, realizado a las muestras del estrato 1 tomadas de las calicatas 01,03 y 05; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.141.

Tabla 23

Resumen de resultados del ensayo de Proctor modificado.

N°	Calicatas	Progresivas (km)	Profundidad (m)	Densidad seca máxima	Contenido de humedad óptimo (%)
1	C-01				
2	C-02				
3	C-03				

Fuente: Elaboración propia.

4.4.8. Compresión simple no confinada

En la tabla N° 24 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a compresión simple no confinada realizado a las muestras del estrato 1 tomadas de las calicatas 01, 03, 05; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.167.

Tabla 24

Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva (km)	Código de probeta	Max. Resistencia compresión (KPa)
1	C-01				
3	C-03				
5	C-05				

Fuente: Elaboración propia.

4.4.9. CBR

En la tabla N° 25 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a CBR de las muestras tomadas en las calicatas 01,02 y 03; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.145.

Tabla 25

Resumen de resultados del ensayo de CBR.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva (km)	CBR al 95% M.D.S (0.1")	CBR al 95% M.D.S. (0.2")
1	C-01	1.50			
2	C-02	1.50			
3	C-03	1.50			

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Ensayos realizados a la muestra de suelo con adición de polímeros PET y cenizas de carbón

4.2.1. Proctor modificado

En la tabla N° 26 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a Proctor modificado de las muestras tomadas en las calicatas 01,02 y 03, con adición de 3%, 5% y 10% de polímeros PET y cenizas de carbón en cada una de ellas, realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.141.

Tabla 26

Resumen de resultados del ensayo de Proctor modificado a la muestra de suelos con adición de polímeros PET y Cenizas de carbón.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva	% de Polímeros PET	Densidad seca max. (g/cm ³)	Contenido de humedad óptimo (%)
1	C-01	1.50				
2	C-02	1.50				
3	C-03	1.50				

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Compresión simple no confinada

En las tablas N° 27,28 y 29 representa los resultados del ensayo correspondiente a compresión simple no confinada de las muestras tomadas en las calicatas 01,03 y 05, con adición de 3%, 5% y 10% de polímeros PET y cenizas de carbón en cada una de ellas; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339-167.

Tabla 27

Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada a la muestra de suelo con adición de 3% de polímeros PET y cenizas de carbón.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva (m)	Código de probeta	% de polímeros PET	Max. Resistencia compresión (KPa)
1	C-01	1.50				
2	C-02	1.50				
3	C-03	1.50				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada a la muestra de suelo con adición de 5% de polímeros PET y cenizas de carbón.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva (m)	Código de probeta	% de polímeros PET	Max. Resistencia compresión (KPa)
1	C-01	1.50				
2	C-02	1.50				
3	C-03	1.50				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29

Resumen de resultados del ensayo de compresión simple no confinada a la muestra de suelo con adición de 10% de polímeros PET y cenizas de carbón.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva (m)	Código de probeta	% de polímeros PET	Max. Resistencia compresión (KPa)
1	C-01	1.50				
2	C-02	1.50				
3	C-03	1.50				

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. CBR

En la tabla N° 30 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a CBR de las muestras tomadas en las calicatas 01,02 y 03 con adición de 10% de polímeros PET; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.145.

Tabla 30

Resumen de resultados del CBR a muestra de suelo con adición de 10% de polímeros PET.

N°	Calicata	Profundidad (m)	Progresiva (m)	Código de probeta	% de polímeros PET	Max. Resistencia compresión (KPa)
1	C-01	1.50				
2	C-02	1.50				
3	C-03	1.50				

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis de los polímeros PET y cenizas de carbón

La muestra evaluada corresponde a los polímeros PET y cenizas de carbón, obtenida mediante reciclaje, previamente tratada y tamizada por la malla N°4 y N°200 respectivamente como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31

Resultados de los ensayos

Parámetros	Unidades	Muestra

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Características de la muestra

5.1.1. Contenido de humedad

Los datos mostrados en la tabla N° 32 corresponden a resultados conseguidos en el ensayo de contenido de humedad, este último es expresado en porcentaje cuyos datos son utilizados para conocer la relación que existe entre la masa del agua en un suelo con respecto a las partículas sólidas del mismo. Por otro lado, en el segundo estrato se puede evidenciar mayor porcentaje de humedad, este último explica que a la profundidad de 1.20 m el nivel freático aumenta con respecto al estrato 1 con una profundidad 0.90 m.

Esta información puede ser utilizada para investigaciones referidas a cimentaciones y/o análisis estructurales en las áreas descritas. El resumen de los resultados del contenido de humedad promedio (%) y cálculos de desviación estándar de cada calicata, son presentados en la tabla siguiente.

Tabla 32

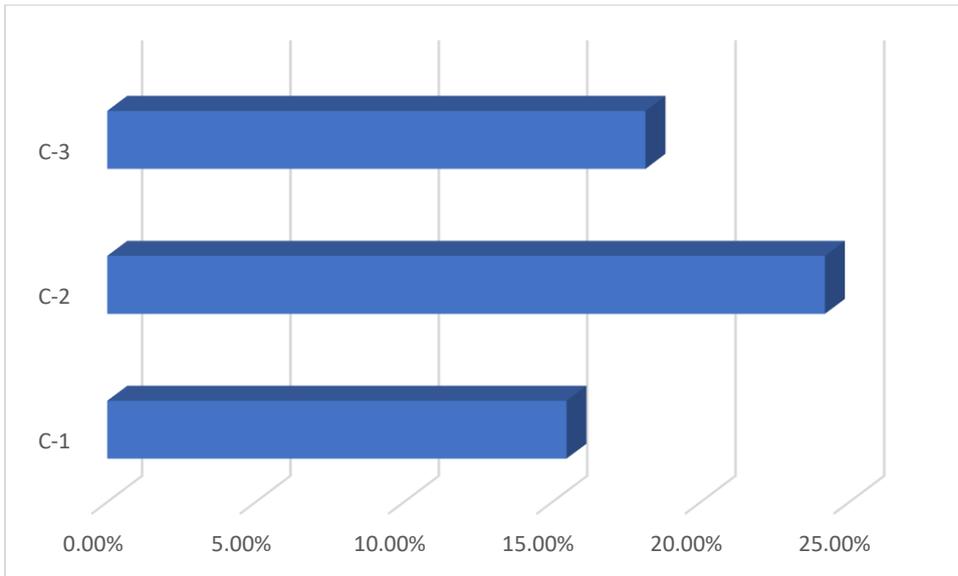
Resumen de contenido de humedad y desviación estándar de calicatas.

ITEM	CALICATA	ESTRATO	DESVIACIÓN	ESTRATO	DESVIACION
		1	ESTANDAR	2	ESTANDAR
1	C-1	15.48 %	0.617	26.65 %	1.348
2	C-2	24.18 %	0.829	23.51 %	0.516
3	C-3	18.14 %	0.220	26.53 %	0.296

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3

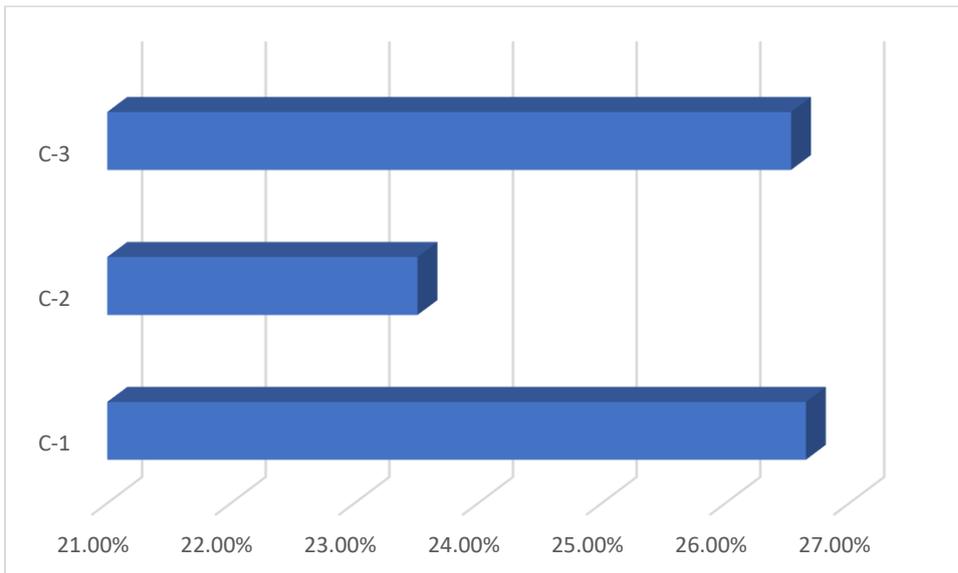
Contenido de humedad % - estrato 01



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4

Contenido de humedad % - estrato 02



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, mediante las representaciones gráficas (figura N° 3 y N° 4) a continuación se puede evidenciar que ambos estratos superan el 15 % de humedad, dato mediante el cual se puede determinar el comportamiento de un suelo (estabilidad mecánica).

5.1.2. Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

Mediante los límites de Atterberg se pueden determinar propiedades físicas y así clasificar el tipo de suelo en estudio. Están relacionados con la cantidad de agua que tiene un material y el contenido de absorción que estos poseen. En las tablas siguientes se muestran los resultados correspondientes a la plasticidad del material, el límite líquido está en un rango de 25% al 48%, con respecto al límite plástico está en un rango de 12% al 35%. De la misma manera se realizó el cálculo correspondiente al índice de plasticidad, este factor indica la magnitud del intervalo de humedades. Los resultados obtenidos señalan que la plasticidad media de la muestra está entre $77 < IP \leq 20$, teniendo así un IP promedio de 13.97%, el cual mediante el manual de suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC lo clasifica como un suelo arcilloso de mediana plasticidad. se sabe que la presencia de arcillas en alguna estructura de pavimento es riesgosa por su inestabilidad y comportamiento frente al agua. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013).

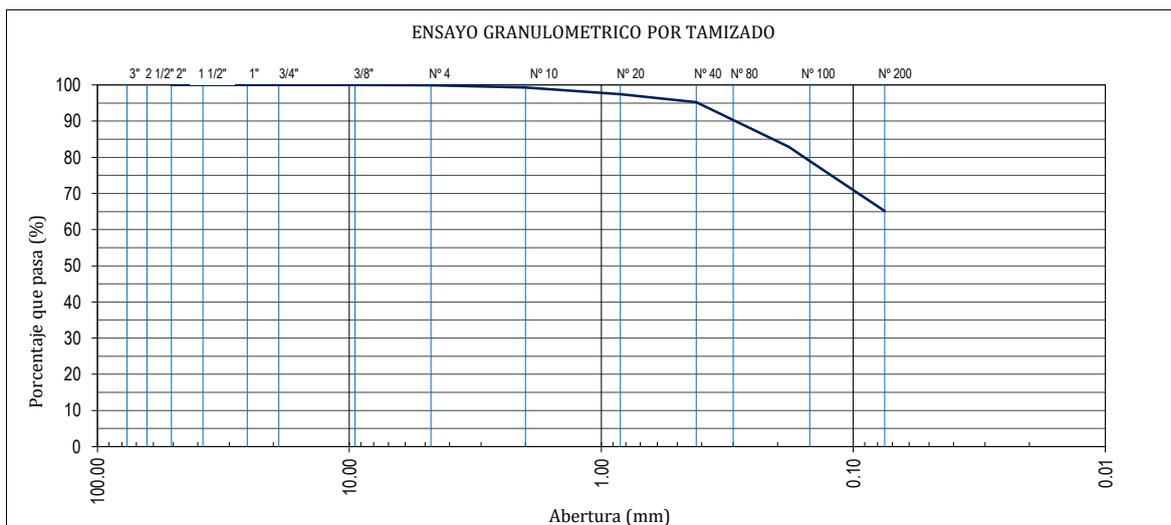
5.1.3. Granulometría (clasificación SUCS y AASHTO)

Mediante los datos obtenidos del análisis granulométrico por tamizado perteneciente a muestras analizadas, cuyos datos sirvieron para obtener las curvas granulométricas, dando como resultado que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N° 200, siendo así un suelo fino.

Por otro lado, mediante los parámetros de la clasificación AASHTO consideran el índice de grupo como un indicador del tipo de suelo, dando como resultado un rango de pobre y muy pobre (Figura N°5), por tanto, la subrasante es mala o deficiente.

Ilustración 5

Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Gravedad Específica

Los resultados del ensayo de gravedad fueron mostrados en la tabla N° 32, en los cuales se puede evidenciar que la muestra se encuentra en un rango de 2.72 a 2.79. Según (Braja M., 2011), indica que la gravedad específica determina el tipo de grano que forma un suelo, además del tipo de suelo.

Por lo general los minerales tienen gravedad específica que oscila entre 2.6 a 2.9, los suelos que contengan valores menores a 2.6, son tomados como suelos orgánicos (Braja M., 2011). Se clasificó los suelos según su gravedad específica como se muestra en la siguiente tabla N° 32.

Tabla 33

Tipo de suelo según gravedad específica.

Tipo de suelo	Gs
Cenizas Volcánicas	2.20 – 2.50
Suelos orgánicos	2.50 – 2.65
Arenas y gravas	2.65 – 2.67
Limos	2.67 – 2.72
Arcillas poco plásticas	2.72 - 2.78
Arcillas plásticas	2.78 – 2.84
Arcillas expansivas	2.84 – 2.88

Fuente: (Braja M., 2011).

5.1.4. Proctor Modificado

Los datos obtenidos del ensayo de Proctor modificado fueron realizados con las muestras extraídas de tres calicatas las cuales se encuentran separadas cada 1.2 km aproximadamente, con estos datos se determinó el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca.

Al determinar estos parámetros se puede optar por un método de mejora de propiedades físicas y mecánicas de un suelo al momento de su compactación. Para llevar a cabo este ensayo se tomó 3 muestras en las mismas condiciones, dando como resultado una densidad máxima 1.987 g/cm³, 2.072 g/cm³ y 1.830 g/cm³ para las calicatas 01, 02 y 03 respectivamente dando una diferencia porcentual entre el máximo y el mínimo de 7.9%, por otro lado el porcentaje de humedad óptimo que presentan 11.38 %, 12.86% y 13.52% respectivamente, con una diferencia porcentual entre el máximo y el mínimo de 22.07 %. Llegando a la conclusión que el contenido de humedad óptimo se encuentra en un valor menor que el de los resultados obtenidos en el ensayo de contenido de humedad, por lo tanto se tiene un suelo natural con un alto contenido de humedad que no llegaría a su densidad máxima sin una estabilización previa.

5.1.5. Resistencia a la compresión no confinada

Los datos obtenidos del ensayo de compresión simple no confinada, el cual se llevó a cabo con las muestras de 3 calicatas extraídas de las vías del sector Barraza, basándonos en la normativa vigente, fue realizado mediante la mezcla de suelo y agua, para luego determinar si cumple con las condiciones básicas para ser usado como subrasante. Así este procedimiento trajo como resultados valores que están entre 13.76 KPa y 13.91 KPa., con una desviación estándar de 0.0005 KPa.

Estos valores indican que la condición del suelo no buena para uso de subrasante debido que su consistencia es muy blanda, concluyendo así que no cumple con los parámetros mínimos para una subrasante.

5.1.6. CBR

Los siguientes resultados del ensayo realizado de las muestras extraídas de 03 calicatas. Para garantizar que las propiedades optimas prevelezcan se realizó el ensayo al 95% de la máxima densidad seca. Los resultados obtenidos dieron un CBR de 1.89%, 1.94 % y 1.83%, para las calicatas 01,02 y 03 respectivamente, dando como resultado que el suelo incumple con parámetros mínimos para uso de subrasante, ubicándose está en la categoría de subrasante inadecuada. Estas muestras serán tomadas para realizar la estabilización química del suelo adicionando cenizas de carbón y polímeros PET y así lograr el aumento del

5.2. Evaluación de polímeros y cenizas de carbón

5.1.1. Adición de polímeros y cenizas de carbón: Resultados de compresión simple no confinada, Proctor modificado y porcentaje de CBR

Mediante la clasificación de AASHTO y SUCS, se clasificó al suelo muestra como arcilloso limoso, el cual mediante el manual MTC lo conceptúa como una subrasante inadecuada. Por ende, a continuación, se presentan los resultados de la aplicación de cenizas de carbón al 3%, 5% y 10% a las muestras de suelo obtenidas a fin de mejorar las características físicas.

- Proctor modificado

En la tabla N° 33 se puede visualizar los resultados de los ensayos de Proctor modificado aplicados al suelo con aplicación de la adición porcentual de cenizas de carbón.

Mediante la adición porcentual de 3%, 5% y 10% de cenizas de carbón se observa una variación de la densidad seca máxima (g/cm³), existe un ligero incremento de 6.07%, 7.3% y 8.0% en la máxima densidad seca de la muestra respectivamente.

La ceniza de carbón actúa de manera que llena los espacios vacíos que existen en el suelo muestra, así este último aumenta sus propiedades de resistencia y durabilidad, al utilizar la ceniza de carbón al 10% se pudo determinar un aumento considerable, llegando a obtener una densidad seca máxima en promedio de 2.07 gr/cm³. A continuación se muestra gráficamente los resultados promedio de la adición del 10% de polímeros PET y cenizas de carbón.

Tabla 34

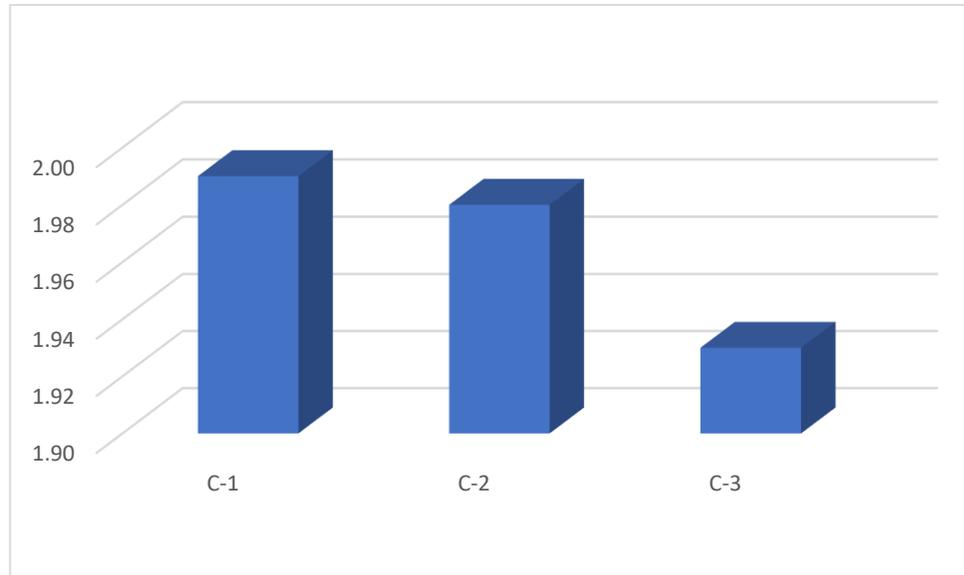
Resultados de los ensayos de Proctor Modificado

PROCTOR MODIFICADO	
C – 01	6.07 %
C – 02	7.30 %
C - 03	8.00 %

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6

Variación de densidad máxima seca adicionando polímeros Pet y cenizas de carbón al suelo muestra.



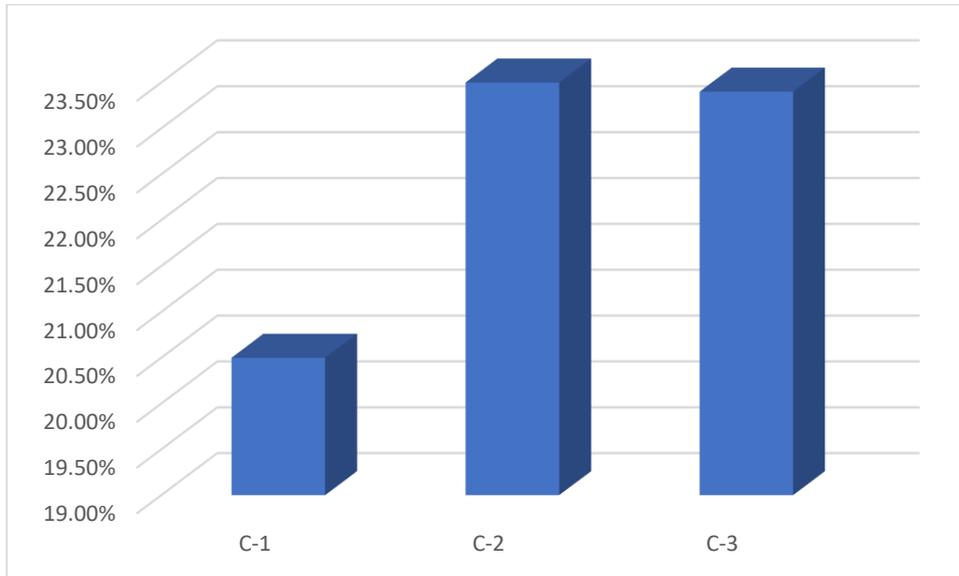
Fuente: Elaboración propia.

Además, se puede evidenciar que las humedades de compactación incrementaron en cada uno de las adiciones porcentuales, este efecto se debe a la influencia de la ceniza de carbón, siendo el mayor incremento al 10% debido al aditivo.

El incremento de humedad en las mezclas de adición de 3% y 5% está en el rango que permitió una compactación óptima, los resultados obtenidos fueron similares a los reportes de otras investigaciones.

Ilustración 7

Variación de contenido de humedad adicionando polímeros PET y cenizas de carbón al suelo muestra.

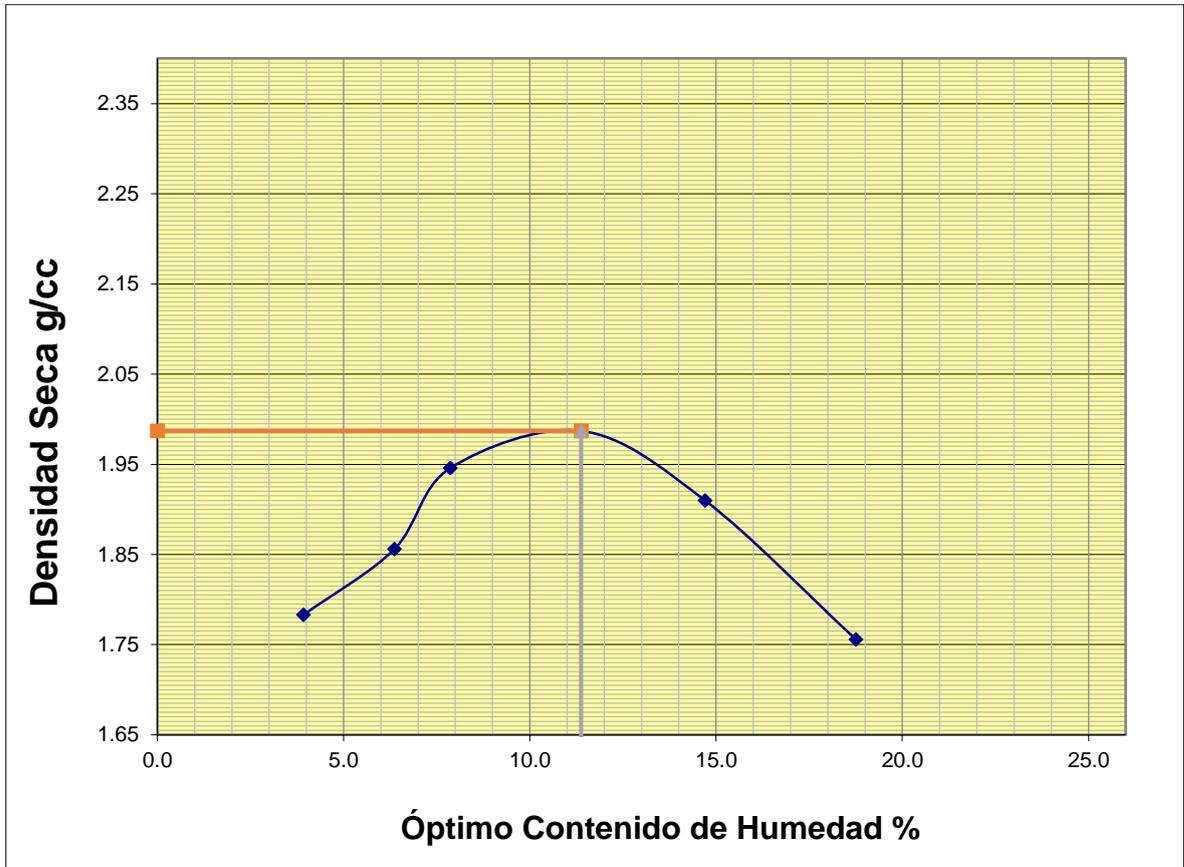


Fuente: Elaboración propia.

Por último, se presenta el cambio de densidad seca en función a su contenido de humedad (W%) para cada una de las muestras extraídas, donde se puede ver el incremento en el contenido de humedad y la densidad seca como se puede ver en las figuras N°8, N° 9 y N° 10.

Ilustración 8

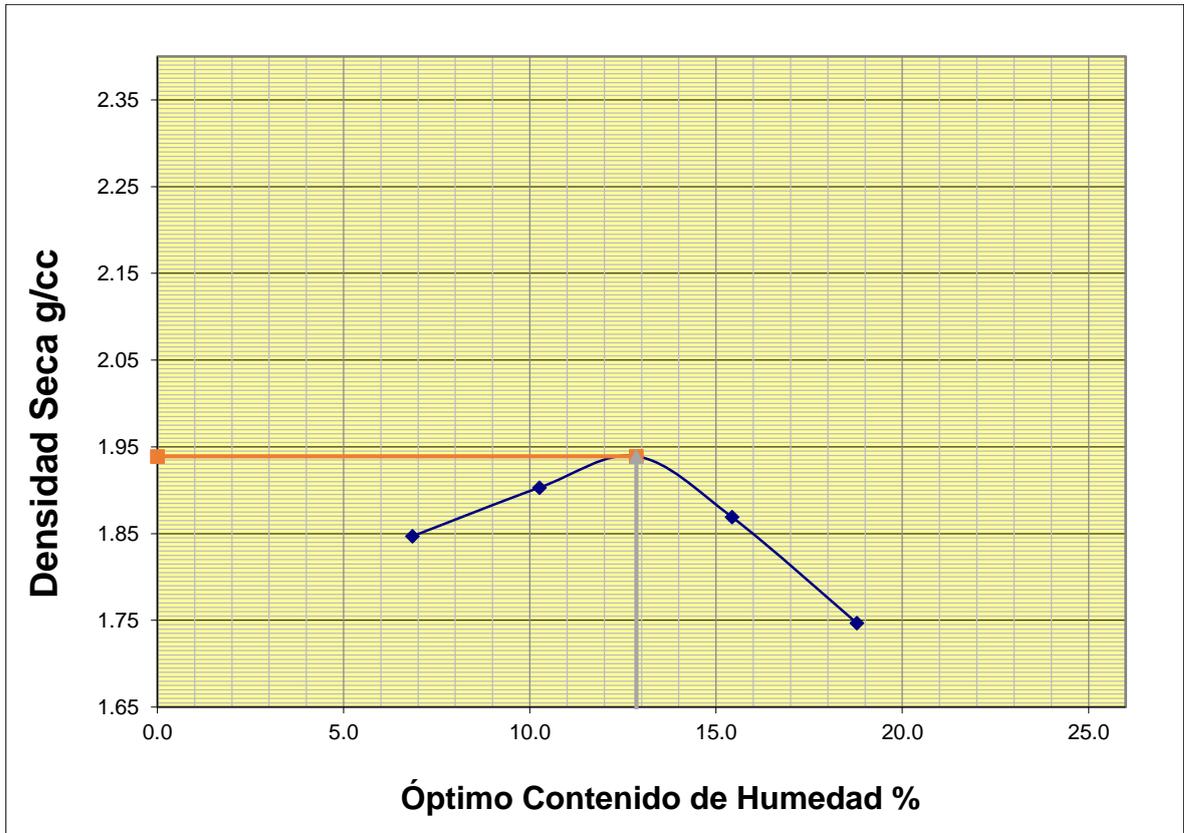
Calicata 01



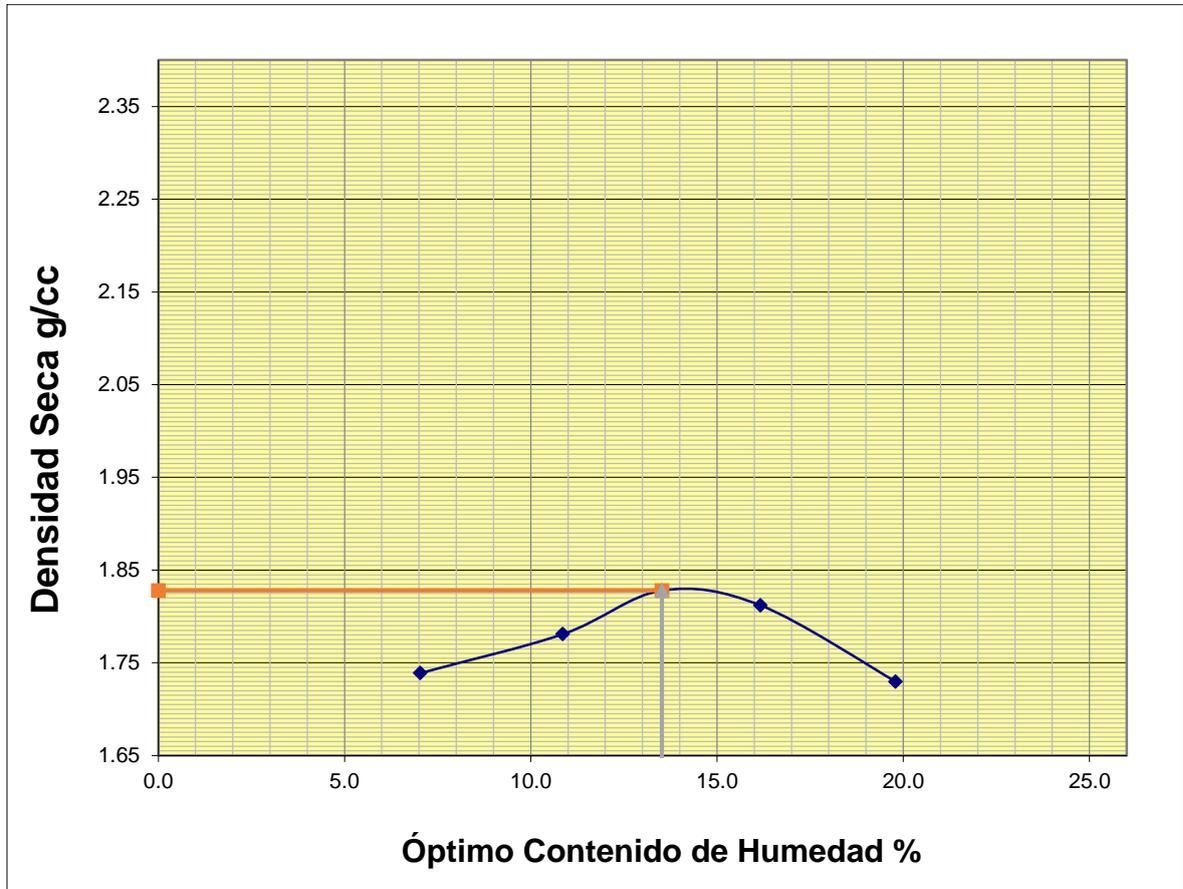
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 9

Calicata 02



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 10**Calicata 03**

Fuente: Elaboración propia

- **Resistencia a la compresión simple no confinada.**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las tablas N°33, la resistencia a la compresión simple no confinada, nos permite determinar diferentes variaciones que las adiciones de cenizas de carbón generaron.

Tabla 35

Efecto de la ceniza de carbón en la resistencia a la compresión simple no confinada

Resistencia promedio de compresión simple no confinada máxima (KPa)	Porcentaje adicionado			
	0%	3%	5%	10%
	13.96	33.84	79.01	151.59

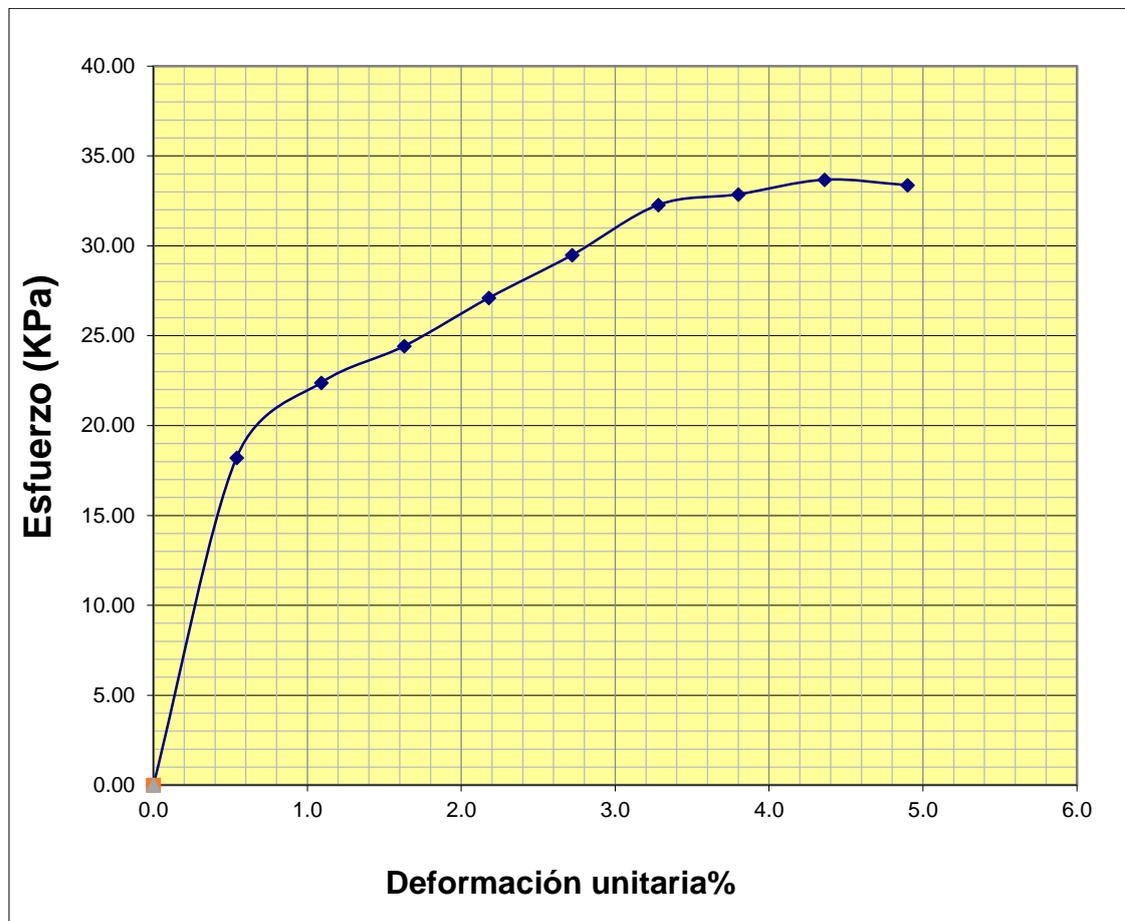
Fuente: Elaboración propia, 2021

Se presenta un incremento en el comportamiento de la resistencia a compresión simple no confinada con la adición de cenizas de carbón al 3%,5% y 10% con respecto al peso del suelo, dando como resultado las resistencias de 33.84 KPa, 79.01 KPa y 151.59 KPa respectivamente, obteniendo los mejores resultados con la adición porcentual del 10% de polímeros PET y cenizas de carbón con respecto al peso de la muestra , por tanto se determinó que a mayor porcentaje de ceniza de carbón las características físicas del suelo mejoran considerablemente hasta alcanzar una resistencia 10 veces mayor a la muestra de origen.

Los resultados estadísticos de los datos obtenidos en el ensayo de compresión simple no confinada realizado a las probetas elaboradas. Se puede visualizar en las muestras que la variación no es significativa en sus resultados, debido que se presenta una desviación estándar promedio de 0.055 KPa, 0.110 KPa y 0.055 KPa al 3%,5% y 10% respectivamente, confirmando que se ha trabajado con un suelo que tiene las mismas características, por ello el tratamiento de la estabilización será el mismo para toda la vía.

Ilustración 11

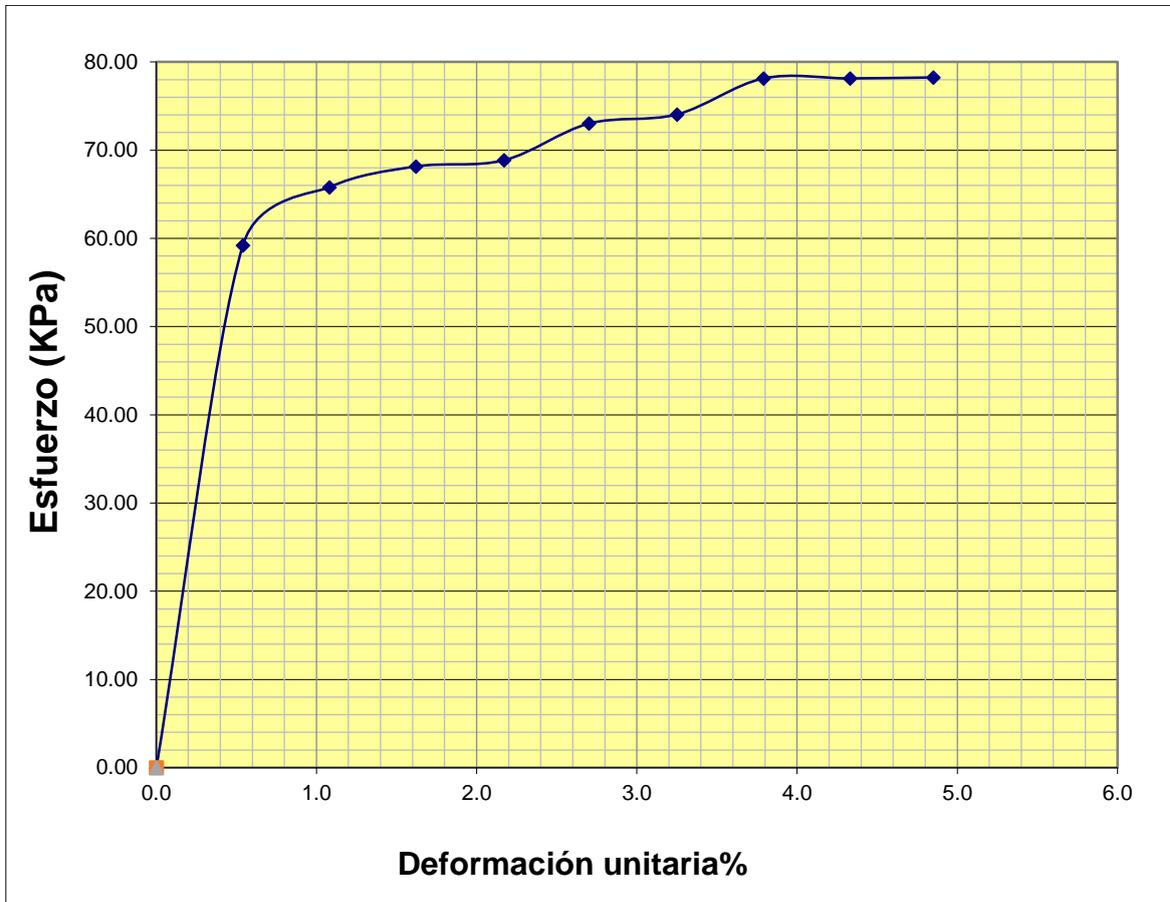
Resultados gráficos del ensayo de compresión simple no confinada de suelos con adición del 3% de ceniza de carbón



Fuente: Elaboración propia, 2021

Ilustración 12

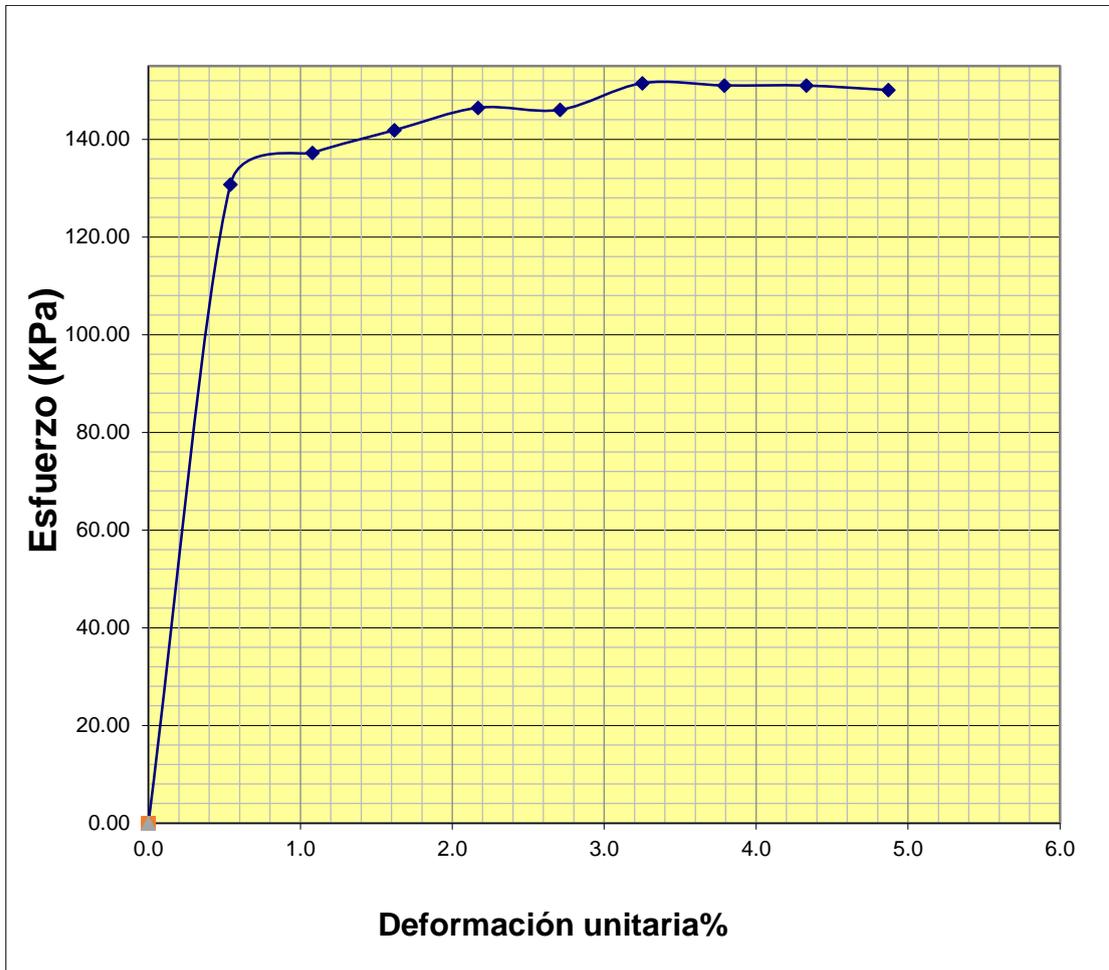
Resultados gráficos del ensayo de compresión simple no confinada de suelos con adición del 5% de ceniza de carbón.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13

Resultados gráficos del ensayo de compresión simple no confinada de suelos con adición del 10% de ceniza de carbón.



Fuente: Elaboración propia

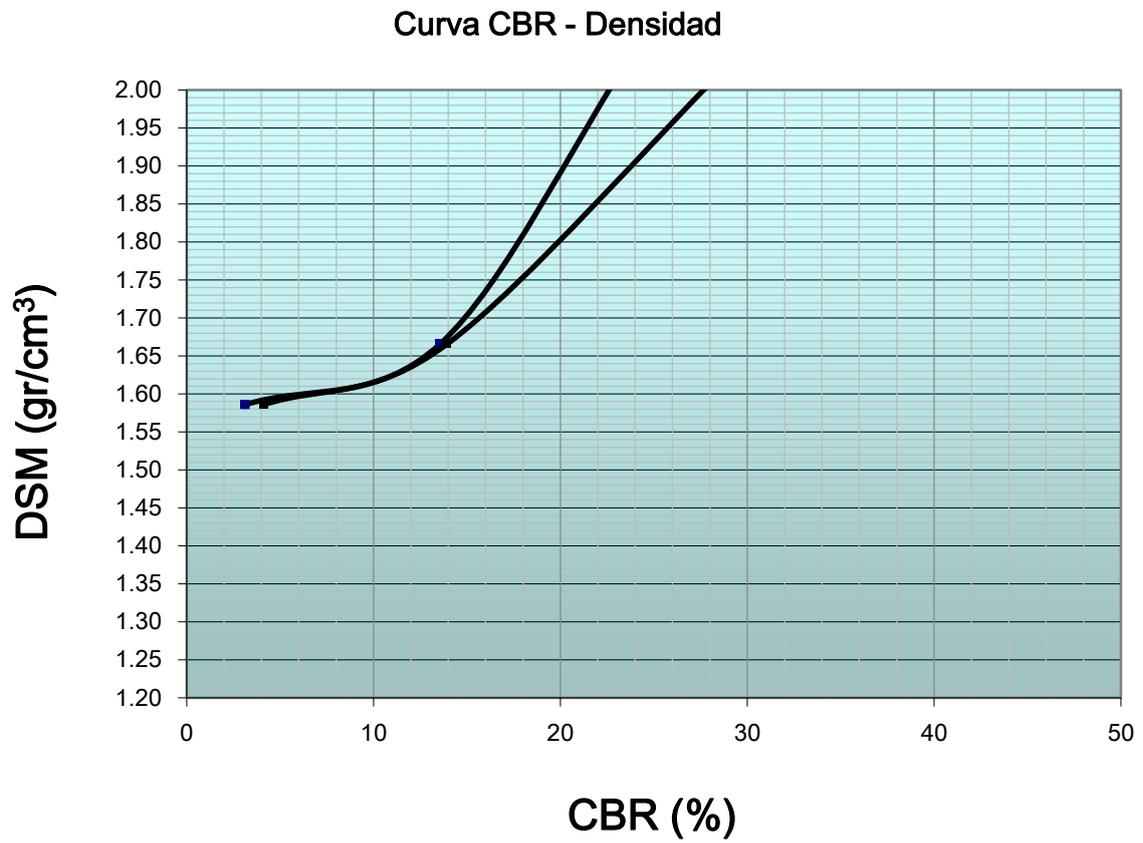
- CBR

La figura N° 14 permite ver el comportamiento del CBR en las distintas adiciones porcentuales de polímeros PET y cenizas de carbón al suelo muestral, la adición del 10 % presentó un incremento significativo en el CBR del suelo en estudio, siendo este hasta en más de 10 veces con respecto al suelo sin aditivo, con un valor de CBR promedio de 2.03%, por su lado el suelo adicionado con cenizas de carbón muestra un CBR de 23.40 %. Estos cambios se evidencian en las primeras horas de la aplicación, debido a la reacción que sufre el suelo producto de las sustancias volantes del aditivo.

Todos los resultados de las muestras adicionadas con polímeros PET y cenizas de carbón cumplen con los parámetros para un diseño de subrasante, según él (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013), indica que el $CBR > 10\%$ y $CBR < 20\%$ para ser considerado una subrasante de buena calidad, los valores obtenidos con la adición de 10% de cenizas de carbón superan el 20% de CBR por lo tanto se puede considerar que el resultado es una subrasante de buena calidad.

Ilustración 14

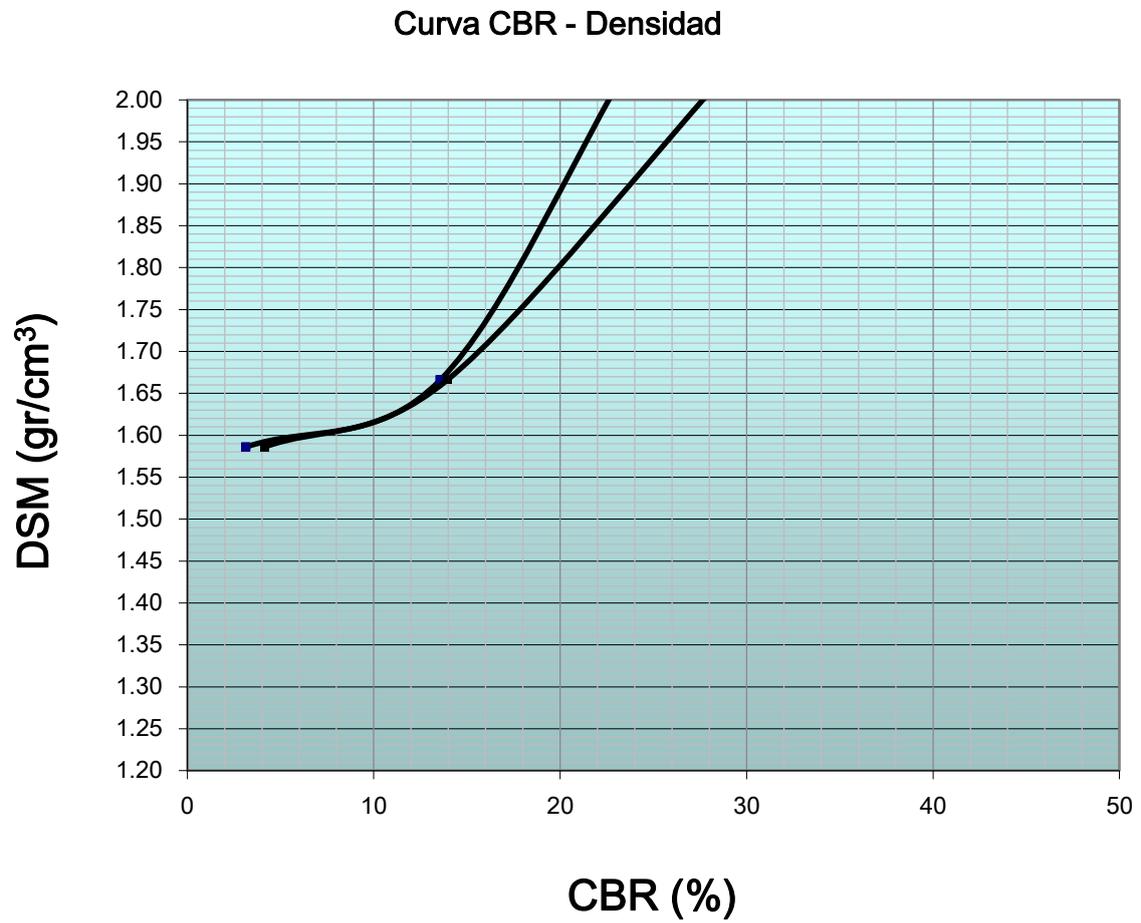
Análisis comparativo de CBR de suelo natural vs suelo con adición porcentual de 10% de Polímeros PET y cenizas de carbón.



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 15

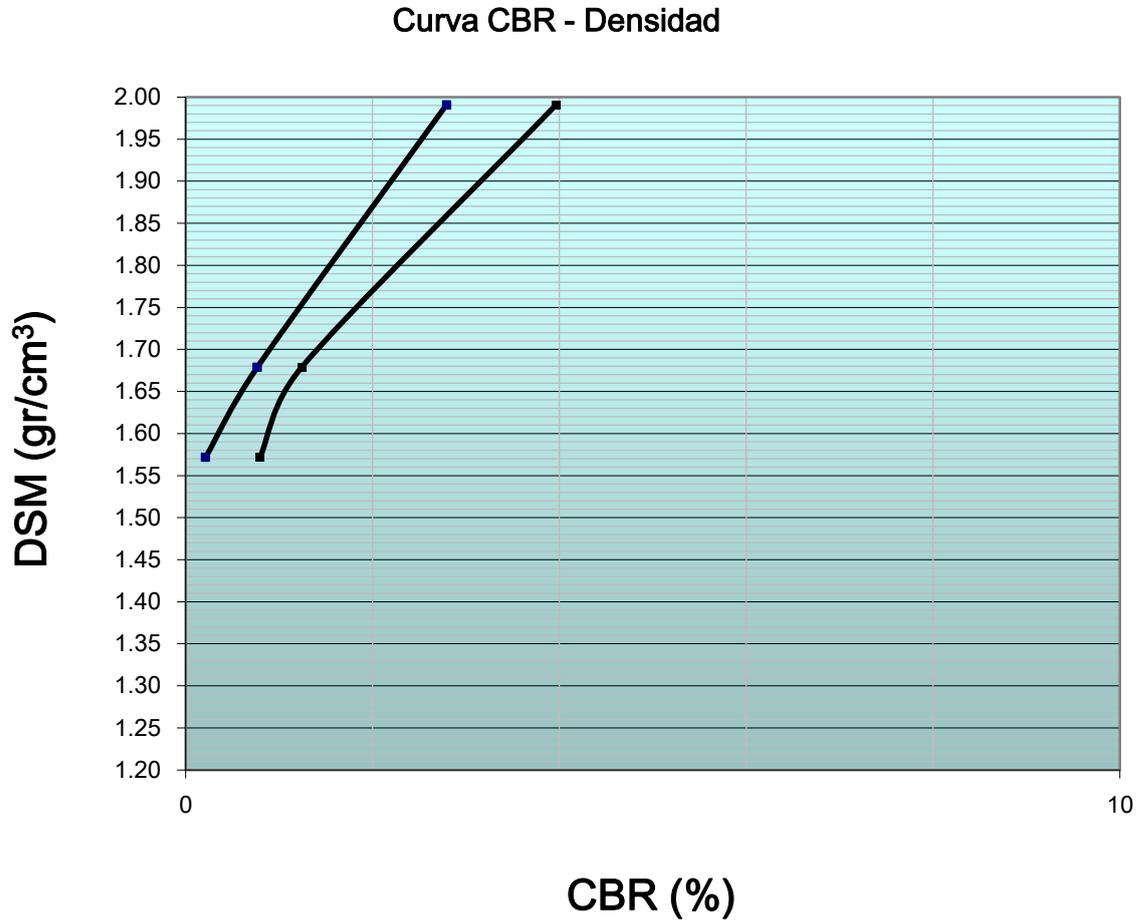
Análisis comparativo de CBR de suelo natural vs suelo con adición porcentual de 10% de Polímeros PET y cenizas de carbón.



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 16

Análisis comparativo de CBR de suelo natural vs suelo con adición porcentual de 10% de Polímeros PET y cenizas de carbón.



Fuente: Elaboración Propia.

VI. CONCLUSIONES

- Mediante los ensayos realizados a las muestras de suelo de la vía del sector Barraza, Laredo, Trujillo. Se determinó que el suelo en estudio es un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL) y limo de baja plasticidad (ML) según la clasificación AASHTO, se determinó que existe predominancia de suelos del tipo A-4, A-6 y A-7-6, mediante los resultados de los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Además, mediante en ensayo de contenido de humedad, se determinó que su rango varía entre 15.45 % a 33.68%, dando como humedad promedio 25.47 %.
- Por otro lado, de los ensayos de compresión simple no confinada, dieron como resultado una máxima resistencia a la compresión dentro de los rangos de 13.71 KPa y 13.96 KPa. Los mejores resultados se obtuvieron al añadir el aditivo porcentual de 10% de polímeros PET y cenizas de carbón dando así una máxima resistencia a la compresión con un rango que varía entre 150.51 KPa y 151.59KPa, concluyendo así que el porcentaje óptimo para lograr estabilizar la subrasante es la adición del 10% de aditivo.
- Después de realizar una evaluación a los resultados se concluye que la influencia de polímeros PET y cenizas de carbón, mejora considerablemente las propiedades mecánicas del suelo en sus 3 distintas aplicaciones porcentuales (3%,5% y 10%) las cuales estuvieron en función al peso de la muestra. Sin embargo, el 10% de polímeros PET y cenizas de carbón tuvo el mejor resultado, el cual se vio reflejado en los ensayos realizados, donde pasó de un CBR promedio de 1.823% (subrasante inadecuada) a un CBR promedio de 22.267% (subrasante óptima) para su diseño en una estructura de pavimento, teniendo una mejora de más de 10 veces su porcentaje inicial.
- El uso porcentual de polímeros PET y cenizas de carbón para la estabilización y mejora de suelos cohesivos resulta una alternativa rentable tanto económica como también eco amigable con la naturaleza porque permite reutilizar, obteniendo así la mejora de la calidad de un suelo.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar porcentajes mayores de 10% de polímeros PET y cenizas de carbón para futuras investigaciones debido a su efecto, el cual aumenta en función al porcentaje que se adicione.
- El uso de estos aditivos al ser de bajos costos y buenos resultados, se recomienda llevarlos a plantearlos como alternativa de estabilización de subrasante en vías con tipos de suelos cohesivos.
- Se sugiere realizar investigaciones con diferentes clases de cenizas a fin de obtener nuevas alternativas de solución.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Official (ASSHTO). (s.f.).
- Badillo & Rodriguez. (2011). *Plasticidad*.
- Borcelli, L. (2021). *Geotecnia I. Instituto de Geologia*.
- Botía Diaz , W. Á. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo* . Bogota: Universidad Militar Nueva Granada .
- Braja M., D. (2011). Fundamentos de Ingeniería Geotecnica. En D. Braja M. .
- Camacho Tauta, J. F., & Reyes Ortiz, O. J. (2006). *Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Capia Mamani, C. (2020). *Estabilizacion de suelos arcillosos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca 2019*. Lima: Univesidad Peruana Unión). Obtenido de <https://bit.ly/2CIHzgF>
- Cuipal Chávez, B. K. (2018). *Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas - Huancas, Amazonas, 2018*. Lima: Univesidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/22807>
- Curitomay Najarro, C. J. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con polimeros de tipo copolimero , aplicado a obras viales de mediano transito en la carretera Pucaloma - Yanayacu, distrito de Socos*. Ayacucho: Universidad nacional de San Cristóbal de Huamanga .
- Fonseca. (1998). *Estabilizacion de suelos*.
- Harichane, K., Ghrici, M., Kenai, S. (2011).

- Hernandez sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Batista Lucio, P. (2004). McGraw-Hill. *Interamericana. México, D. F. Cuarta edición.*
- Ipince cuevas, H. A. (2019). *Mejoramiento de la subrasante agregando ceniza de tusa de maíz en la calle 12 del distrito de Victor Larco Herrera , trujillo 2019.* Trujillo: Universidad Privada Cesar Vallejo. Obtenido de <https://bit.ly/34ee6qb>
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering.* Washington: University of Washington.
- M. R., H., K. B., N., & P. keikhaei, D. (2012). *Soil Stabilisation and earth construction : materials , propiedades and techniques.* UK: University of Nottingham.
- Márquez Martínez , D. K. (2019). *Mejoramiento de la estabilización en la subrasante de suelos arcillosos usando plásticos reciclados PET en el distrito La encantada , provincia de Morropon - Piura 2019.* Piura: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <https://bit.ly/319AYFx>
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras “suelos, geología, geotecnia y pavimentos”.* Lima : Ministerio de transportes y comunicaciones.
- MTC E 1103 Y MTC E 132. (s.f.).
- Petermann Jeddrey, C., & Saeed Athat. (2010). *Alkali-Activated Geopolymers: A Literature Review. APPLIED RESEARCH ASSOCIATES INC PANAMA CITY FL.*
- Ruano López, D. R. (2012). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva.* Guatemala : Universidad de San Carlos Guatemala .
- 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.* Trujillo: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://bit.ly/325ZB5f>

- Ugaz. (2014). *Estabilizacion por compactacion*.
- Walpole, M., & Myers & Ye. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* . Naucalapán de Juárez : Pearson educación de México .

IX. ANEXOS

1. Resultados de la caracterización de suelos

1.1. Contenido de humedad.

CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN LOS SUELOS			
NTP. 339.127			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata 01 - Estrato 01		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
MUESTRA	M-1	M-2	M-3
Masa del Contenedor (g)	27.24	27.27	27.48
Masa de Suelo Húmedo + Contenedor (g)	146.06	154.37	141.89
Masa de Suelo Seco + Contenedor (g)	129.66	137.96	126.42
Masa de Suelo Seco (g), Ms	102.42	110.69	98.94
Masa de Agua (g), Mw	16.40	16.41	15.47
Contenido de Humedad (%), $W = (M_w/M_s) * 100$	16.01	14.83	15.64
PROMEDIO % DE HUMEDAD	15.49		

Fuente: Elaboración Propia.

CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN LOS SUELOS			
NTP. 339.127			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata 01 - Estrato 02		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
MUESTRA	M-1	M-2	M-3
Masa del Contenedor (g)	27.82	27.30	26.94
Masa de Suelo Húmedo + Contenedor (g)	146.06	159.51	177.15
Masa de Suelo Seco + Contenedor (g)	120.73	130.93	147.01
Masa de Suelo Seco (g), Ms	92.91	103.63	120.07
Masa de Agua (g), Mw	25.33	28.58	30.14
Contenido de Humedad (%), $W = (M_w/M_s) * 100$	27.26	27.58	25.10
PROMEDIO % DE HUMEDAD	26.65		

Fuente: Elaboración Propia.

CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN LOS SUELOS			
NTP. 339.127			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata 02 - Estrato 01		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
MUESTRA	M-1	M-2	M-3
Masa del Contenedor (g)	27.26	27.11	27.30
Masa de Suelo Húmedo + Contenedor (g)	124.53	109.22	107.69
Masa de Suelo Seco + Contenedor (g)	105.02	93.61	92.15
Masa de Suelo Seco (g), Ms	77.76	66.50	64.85
Masa de Agua (g), Mw	19.51	15.61	15.54
Contenido de Humedad (%), $W = (M_w/M_s) * 100$	25.09	23.47	23.96
PROMEDIO % DE HUMEDAD	24.28		

Fuente: Elaboración Propia.

CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN LOS SUELOS			
NTP. 339.127			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata 02 - Estrato 02		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
MUESTRA	M-1	M-2	M-3
Masa del Contenedor (g)	27.77	27.27	28.86
Masa de Suelo Húmedo + Contenedor (g)	99.69	101.14	115.55
Masa de Suelo Seco + Contenedor (g)	86.09	87.27	98.33
Masa de Suelo Seco (g), Ms	58.32	60.00	69.47
Masa de Agua (g), Mw	13.60	13.87	17.22
Contenido de Humedad (%), $W = (M_w/M_s) * 100$	23.32	23.12	24.79
PROMEDIO % DE HUMEDAD	23.74		

Fuente: Elaboración Propia.

CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN LOS SUELOS			
NTP. 339.127			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata 03 - Estrato 01		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
MUESTRA	M-1	M-2	M-3
Masa del Contenedor (g)	27.30	27.19	27.15
Masa de Suelo Húmedo + Contenedor (g)	100.49	99.82	118.64
Masa de Suelo Seco + Contenedor (g)	84.53	83.80	98.50
Masa de Suelo Seco (g), Ms	57.23	56.61	71.35
Masa de Agua (g), Mw	15.96	16.02	20.14
Contenido de Humedad (%), $W = (M_w/M_s) * 100$	27.89	28.30	28.23
PROMEDIO % DE HUMEDAD	28.14		

Fuente: Elaboración Propia.

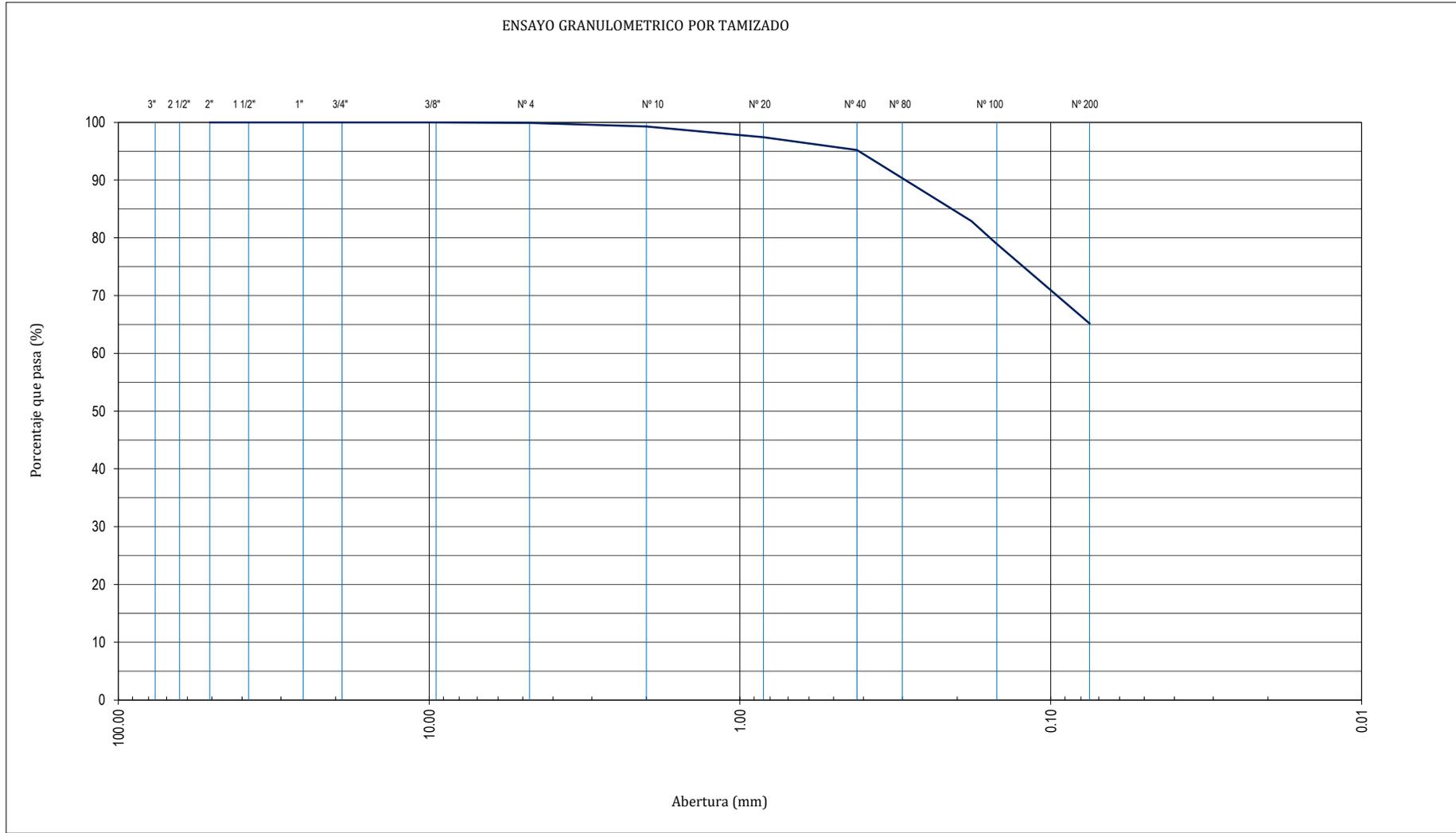
CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN LOS SUELOS			
NTP. 339.127			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata 03 - Estrato 02		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
MUESTRA	M-1	M-2	M-3
Masa del Contenedor (g)	27.51	27.44	27.20
Masa de Suelo Húmedo + Contenedor (g)	104.87	103.75	102.53
Masa de Suelo Seco + Contenedor (g)	87.95	86.80	86.04
Masa de Suelo Seco (g), Ms	60.44	59.36	58.84
Masa de Agua (g), Mw	16.92	16.95	16.49
Contenido de Humedad (%), $w = (M_w/M_s) * 100$	27.99	28.55	28.03
PROMEDIO % DE HUMEDAD	28.19		

Fuente: Elaboración Propia.

1.2. Granulometría

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						
MTC E-107 / ASTM D-422 / AASHTO T-88						
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS						
<u>DATOS GENERALES</u>						
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.					
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad					
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis					
MUESTRA:	Calicata N° 01					
FECHA:	04 de octubre del 2021					
Datos del Ensayo						
Peso= 1016.50 g		Peso Fracción= 354.10 g		SUCS: CL		AASHTO: A-4(4)
Malla	Tamiz	Serie	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	76.200	32854				
2"	50.800	33708	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	42260	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.400	42774	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.050	46118	0.00	0.00	0.0	100.0
3/8"	9.500	42967	0.00	0.00	0.0	100.0
N° 4	4.750	34993	1.10	0.11	0.1	99.9
N° 10	2.000	45806	6.07	0.60	0.7	99.3
N° 20	0.840	45149	18.99	1.87	2.6	97.4
N° 40	0.420	43661	22.53	2.22	4.8	95.2
N° 80	0.180	34874	125.44	12.34	17.1	82.9
N° 100	0.150	34875	38.41	3.78	20.9	79.1
N° 200	0.075	44659	141.56	13.93	34.8	65.2
< N° 200			662.38	65.16	100.0	0.0

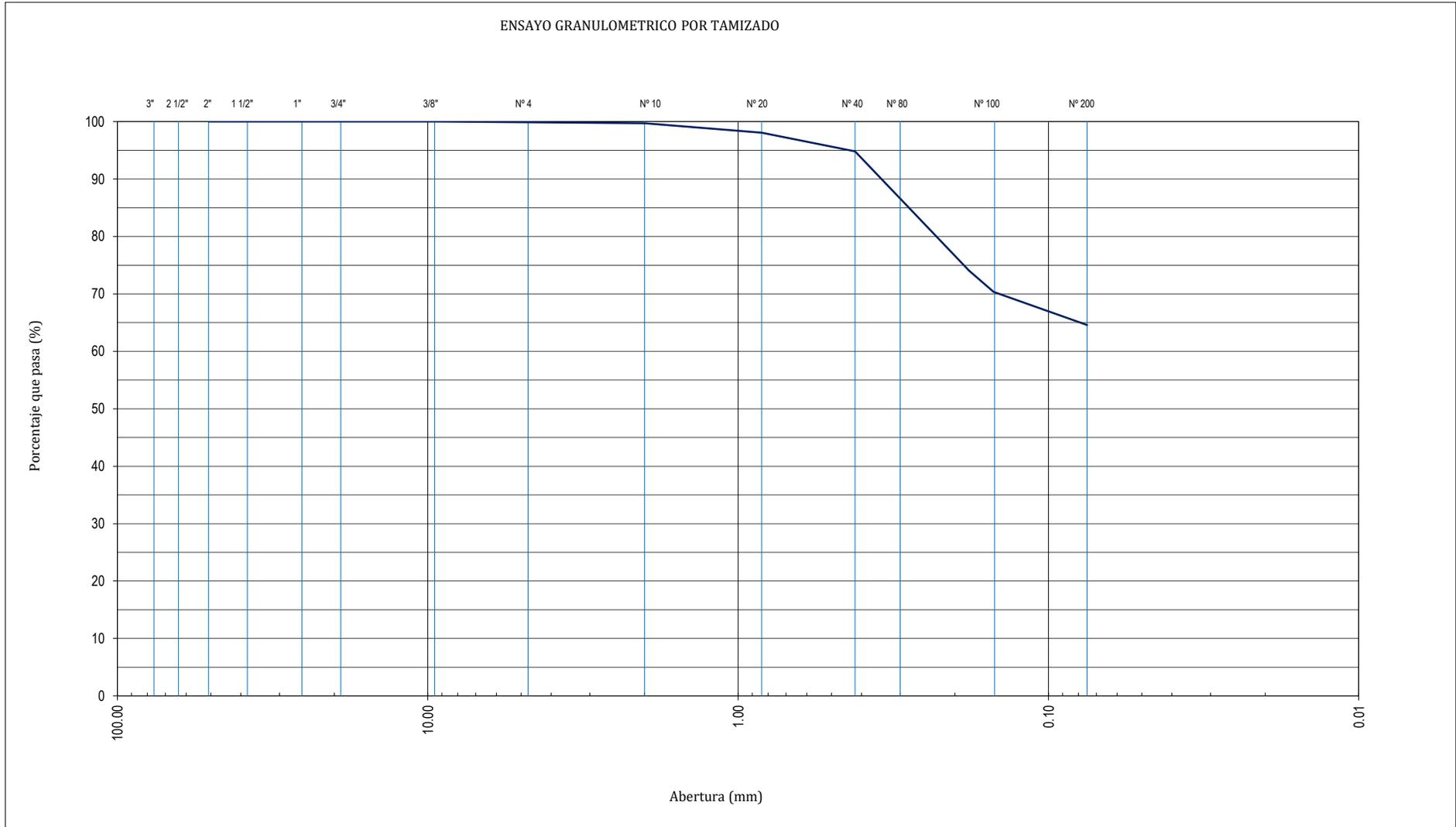
Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						
MTC E-107 / ASTM D-422 / AASHTO T-88						
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS						
<u>DATOS GENERALES</u>						
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.					
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad					
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita					
	Br. Marquina Villanueva, Luis					
MUESTRA:	Calicata N° 02					
FECHA:	04 de octubre del 2021					
Datos del Ensayo						
Peso= 1016.50 g		Peso Fracción= 354.10 g		SUCS: CL		AASHTO: A-4(4)
Malla	Tamiz	Serie	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	76.200	32854				
2"	50.800	33708	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	42260	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	42774	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.050	46118	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	42967	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.750	34993	1.0	0.1	0.1	99.9
N° 10	2.000	45806	2.1	0.2	0.3	99.7
N° 20	0.840	45149	16.4	1.6	1.9	98.1
N° 40	0.420	43661	32.6	3.2	5.2	94.8
N° 80	0.180	34874	208.8	20.8	26.0	74.0
N° 100	0.150	34875	36.7	3.7	29.6	70.4
N° 200	0.075	44659	58.0	5.8	35.4	64.6
< N° 200			648.6	64.6	100.0	0.0

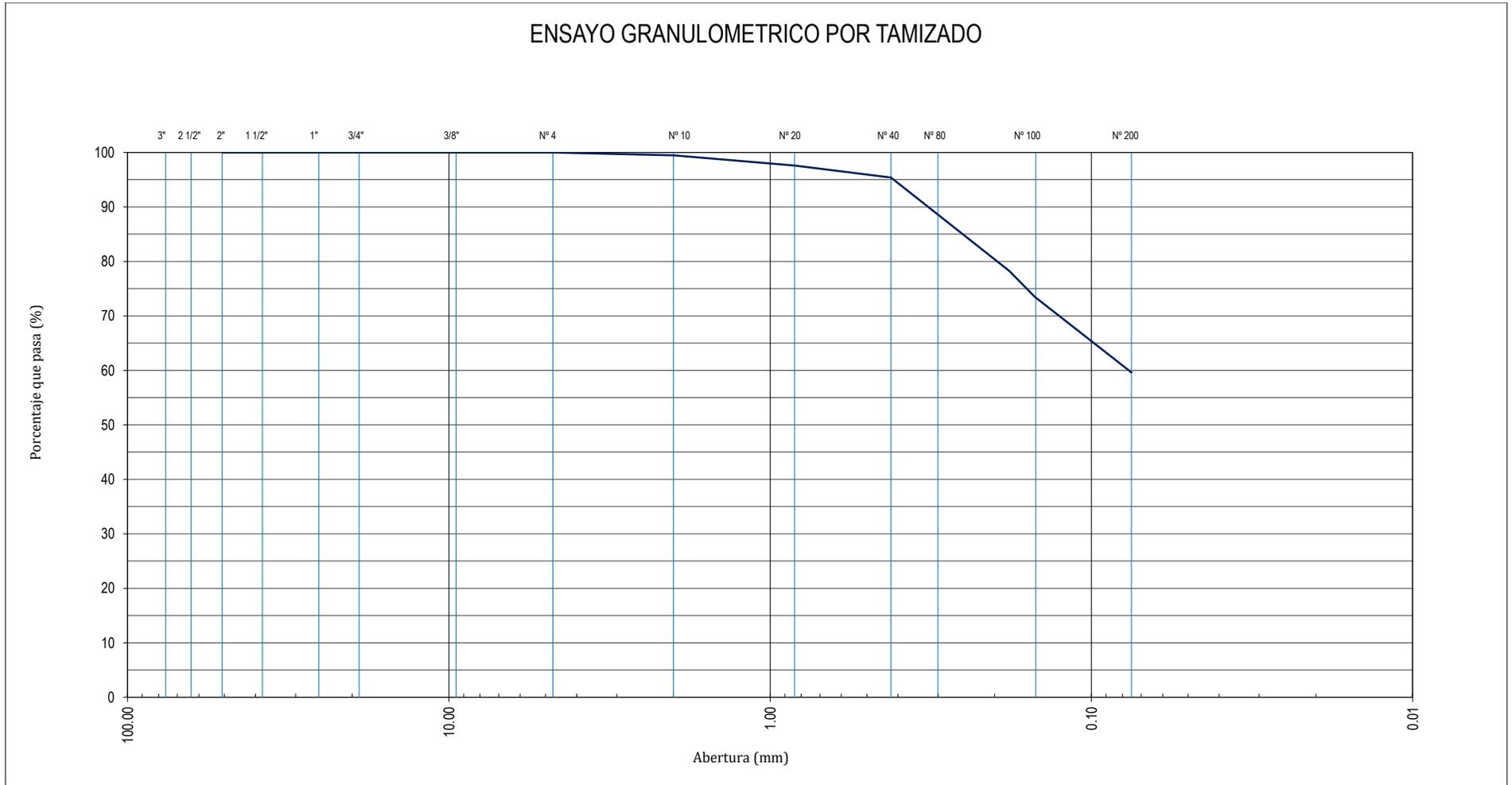
Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						
MTC E-107 / ASTM D-422 / AASHTO T-88						
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS						
<u>DATOS GENERALES</u>						
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.					
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad					
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita					
	Br. Marquina Villanueva, Luis					
MUESTRA:	Calicata N° 01					
FECHA:	04 de octubre del 2021					
Datos del Ensayo						
Peso= 1016.50 g		Peso Fracción= 354.10 g		SUCS: CL		AASHTO: A-4(4)
Malla	Tamiz	Serie	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	76.200	32854				
2"	50.800	33708	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	42260	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.400	42774	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.050	46118	0.00	0.00	0.0	100.0
3/8"	9.500	42967	0.00	0.00	0.0	100.0
N° 4	4.750	34993	0.11	0.01	0.0	100.0
N° 10	2.000	45806	5.37	0.51	0.5	99.5
N° 20	0.840	45149	19.99	1.89	2.4	97.6
N° 40	0.420	43661	23.55	2.23	4.6	95.4
N° 80	0.180	34874	180.82	17.13	21.8	78.2
N° 100	0.150	34875	49.68	4.71	26.5	73.5
N° 200	0.075	44659	146.95	13.92	40.4	59.6
< N° 200			628.88	59.59	100.0	0.0

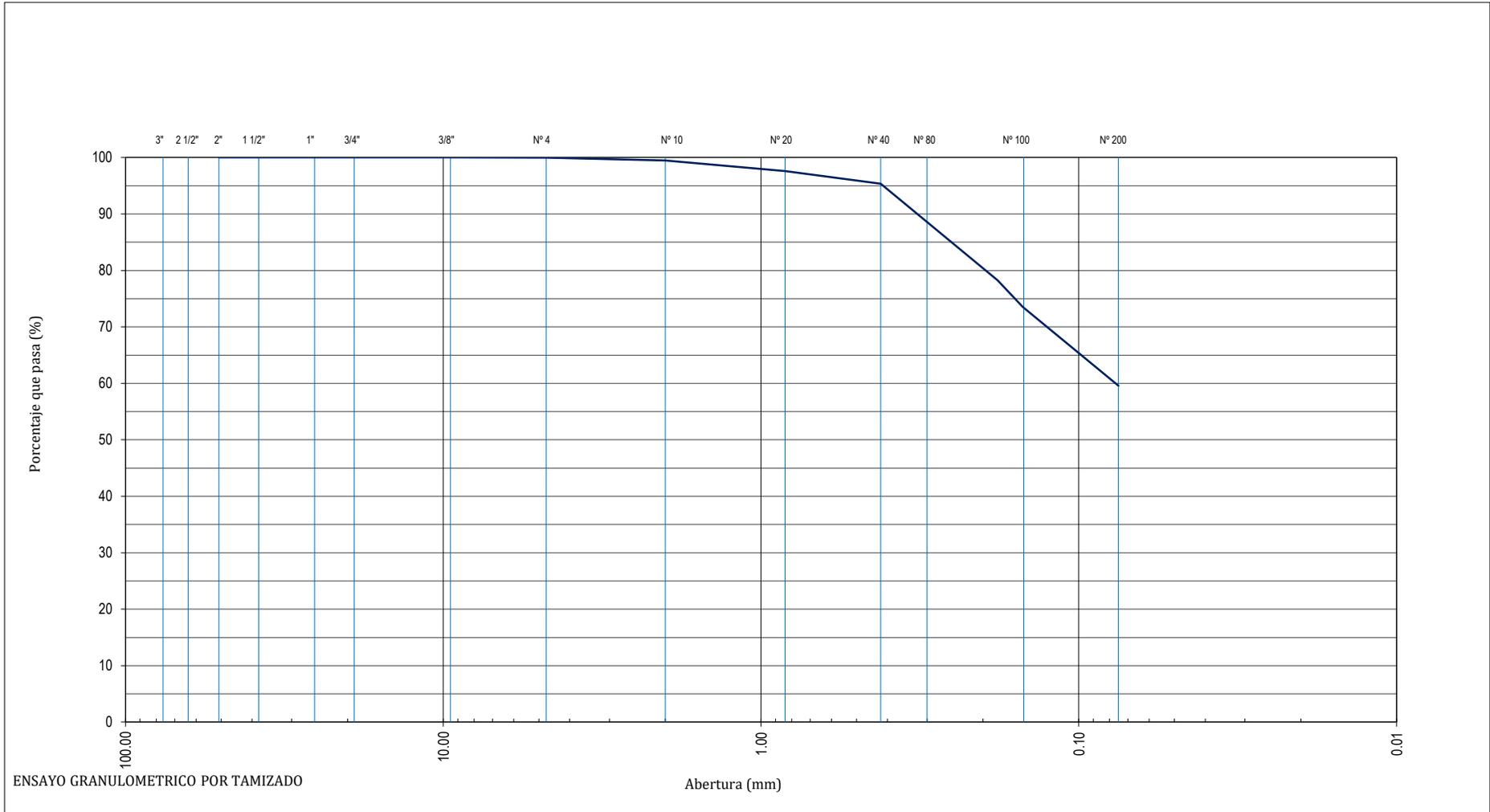
Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						
MTC E-107 / ASTM D-422 / AASHTO T-88						
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS						
<u>DATOS GENERALES</u>						
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.					
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad					
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis					
MUESTRA:	Calicata N° 03					
FECHA:	04 de octubre del 2021					
Datos del Ensayo						
Peso= 1016.50 g		Peso Fracción= 354.10 g		SUCS: CL		AASHTO: A-4(4)
Malla	Tamiz	Serie	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	76.200	32854				
2"	50.800	33708	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	42260	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.400	42774	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.050	46118	0.00	0.00	0.0	100.0
3/8"	9.500	42967	0.00	0.00	0.0	100.0
N° 4	4.750	34993	0.11	0.01	0.0	100.0
N° 10	2.000	45806	5.37	0.51	0.5	99.5
N° 20	0.840	45149	19.99	1.89	2.4	97.6
N° 40	0.420	43661	23.55	2.23	4.6	95.4
N° 80	0.180	34874	180.82	17.13	21.8	78.2
N° 100	0.150	34875	49.68	4.71	26.5	73.5
N° 200	0.075	44659	146.95	13.92	40.4	59.6
< N° 200			628.88	59.59	100.0	0.0

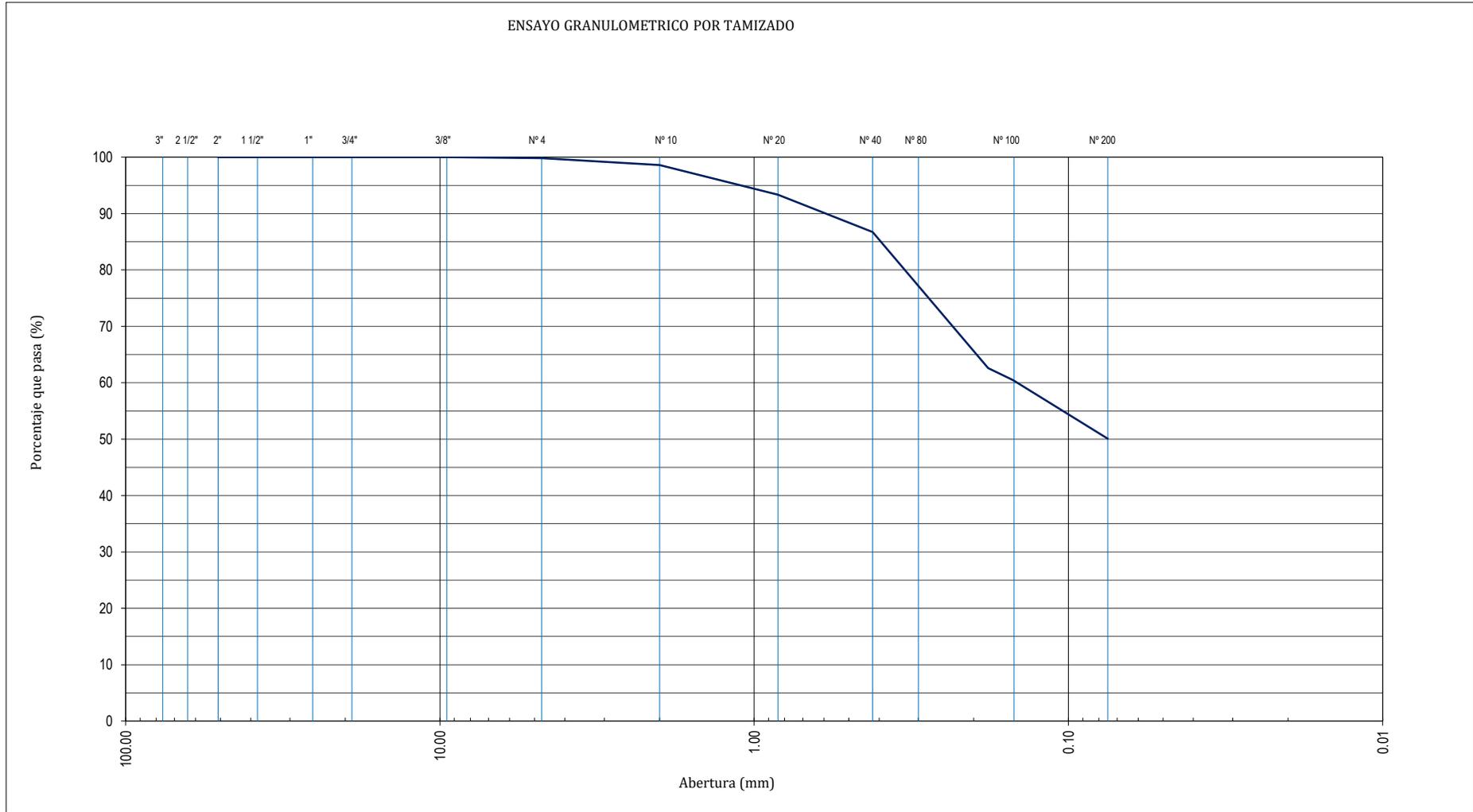
Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						
MTC E-107 / ASTM D-422 / AASHTO T-88						
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS						
<u>DATOS GENERALES</u>						
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.					
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad					
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita					
	Br. Marquina Villanueva, Luis					
MUESTRA:	Calicata N° 04					
FECHA:	04 de octubre del 2021					
Datos del Ensayo						
Peso= 1016.50 g		Peso Fracción= 354.10 g		SUCS: CL		AASHTO: A-4(4)
Malla	Tamiz	Serie	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	76.200	32854				
2"	50.800	33708	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	42260	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.400	42774	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.050	46118	0.00	0.00	0.0	100.0
3/8"	9.500	42967	0.00	0.00	0.0	100.0
N° 4	4.750	34993	1.50	0.15	0.1	99.9
N° 10	2.000	45806	12.52	1.23	1.4	98.6
N° 20	0.840	45149	53.57	5.25	6.6	93.4
N° 40	0.420	43661	67.58	6.63	13.3	86.7
N° 80	0.180	34874	246.27	24.15	37.4	62.6
N° 100	0.150	34875	21.87	2.14	39.6	60.4
N° 200	0.075	44659	105.72	10.37	49.9	50.1
< N° 200			510.68	50.08	100.0	0.0

Fuente: Elaboración Propia.

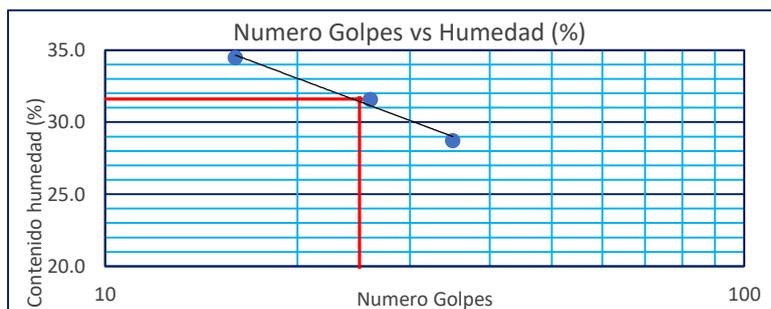


Fuente: Elaboración Propia.

1.3. Límite líquido y límite plástico

LIMITE DE CONSISTENCIA – PASA MALLA Nº 40			
ASTM D 4318			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
DATOS GENERALES			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	01		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (MTC E-111)			
Nº Tarro	T-01	T-02	T-03
Tarro + Suelo húmedo. (gr.)	28.25	28.03	28.86
Tarro + Suelo seco (gr.)	28.22	27.89	28.62
Peso Agua (gr.)	0.03	0.14	0.24
Peso del Tarro (gr.)	27.78	27.28	27.67
Peso del suelo seco (gr.)	0.44	0.61	0.96
Humedad (%)	6.82	22.95	25.1
Limite Plástico (%)	18.30		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E-110)			
Nº Tarro	T-04	T-05	T-06
Numero de Golpes	16	26	35
Peso tarro + suelo húmedo (gr.)	34.31	33.3	34.13
Peso tarro + suelo seco (gr.)	32.5	31.86	32.59
Peso del Agua (gr)	27.25	27.39	27.23
Peso del tarro (gr)	5.25	4.56	5.36
Peso del suelo seco (%)	1.81	1.44	1.54
Humedad (%)	34.48	31.58	28.73
Limite Liquido (%)	31.60		

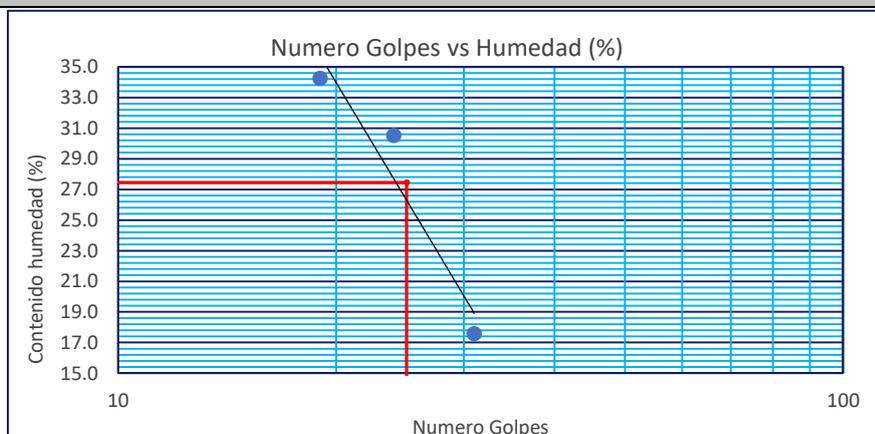
Límites de Consistencia de suelos	
Limite Liquido (%)	31.60
Limite Plástico (%)	18.30
Indice de Plasticidad (%)	13.27



Fuente: Elaboración Propia.

LIMITE DE CONSISTENCIA – PASA MALLA Nº 40			
ASTM D 4318			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
DATOS GENERALES			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	02		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (MTC E-111)			
Nº Tarro	T-01	T-02	T-03
Tarro + Suelo húmedo. (gr.)	28.13	27.79	27.32
Tarro + Suelo seco (gr.)	28.04	27.69	27.24
Peso Agua (gr.)	0.09	0.10	0.08
Peso del Tarro (gr.)	27.29	27.25	26.73
Peso del suelo seco (gr.)	0.75	0.44	0.51
Humedad (%)	11.85	22.73	15.69
Limite Plástico (%)	16.76		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E-110)			
Nº Tarro	T-04	T-05	T-06
Numero de Golpes	19	24	31
Peso tarro + suelo húmedo (gr.)	30.03	41.02	19.35
Peso tarro + suelo seco (gr.)	28.29	39.47	18.44
Peso del Agua (gr)	23.21	34.39	13.26
Peso del tarro (gr)	5.08	5.08	5.18
Peso del suelo seco (%)	1.74	1.55	0.91
Humedad (%)	34.25	30.51	17.57
Limite Liquido (%)	27.44		

Límites de Consistencia de suelos	
Limite Liquido (%)	27.44
Limite Plástico (%)	16.76
Índice de Plasticidad (%)	13.27



Fuente: Elaboración Propia.

LIMITE DE CONSISTENCIA – PASA MALLA Nº 40**ASTM D 4318**
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS**DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	03
FECHA:	04 de octubre del 2021

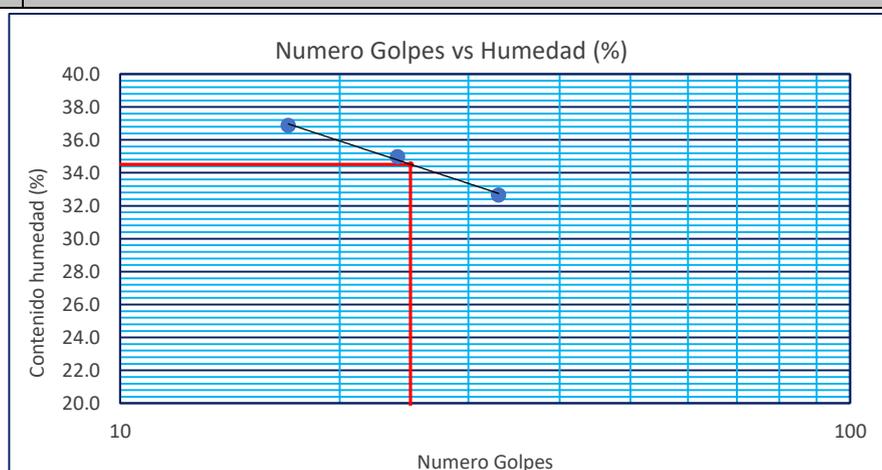
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (MTC E-111)

Nº Tarro	T-01	T-02	T-03
Tarro + Suelo húmedo. (gr.)	27.97	28.01	27.97
Tarro + Suelo seco (gr.)	27.77	27.87	27.83
Peso Agua (gr.)	0.20	0.14	0.14
Peso del Tarro (gr.)	26.86	27.24	27.16
Peso del suelo seco (gr.)	0.91	0.63	0.67
Humedad (%)	21.98	22.22	20.90
Limite Plástico (%)	21.70		

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E-110)

Nº Tarro	T-04	T-05	T-06
Numero de Golpes	17	24	33
Peso tarro + suelo húmedo (gr.)	28.35	29.18	28.41
Peso tarro + suelo seco (gr.)	26.65	27.47	26.66
Peso del Agua (gr)	22.04	22.58	21.3
Peso del tarro (gr)	4.61	4.89	5.36
Peso del suelo seco (%)	1.7	1.71	1.75
Humedad (%)	36.88	34.97	32.65
Limite Liquido (%)	34.52		

Límites de Consistencia de suelos	
Limite Liquido (%)	34.52
Limite Plástico (%)	21.70
Índice de Plasticidad (%)	12.82

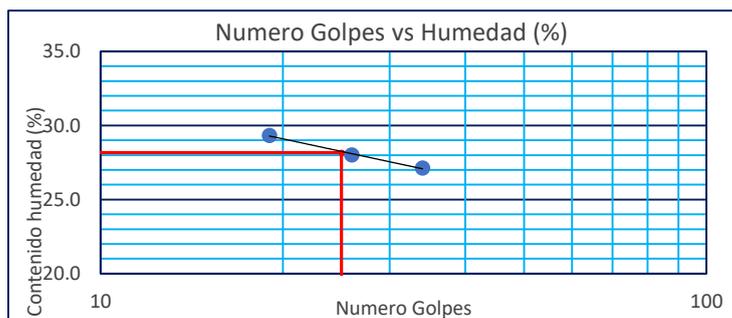


Fuente: Elaboración Propia.

LIMITE DE CONSISTENCIA – PASA MALLA Nº 40			
ASTM D 4318			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
DATOS GENERALES			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	04		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (MTC E-111)			
Nº Tarro	T-01	T-02	T-03
Tarro + Suelo húmedo. (gr.)	28.00	28.54	28.73
Tarro + Suelo seco (gr.)	27.86	28.35	28.52
Peso Agua (gr.)	0.14	0.19	0.21
Peso del Tarro (gr.)	27.10	27.50	27.43
Peso del suelo seco (gr.)	0.76	0.85	1.09
Humedad (%)	18.42	22.35	19.27
Limite Plástico (%)	20.01		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E-110)			
Nº Tarro	T-04	T-05	T-06
Numero de Golpes	19	26	34
Peso tarro + suelo húmedo (gr.)	31.94	31.43	38.73
Peso tarro + suelo seco (gr.)	30.52	29.22	36.49
Peso del Agua (gr)	22.27	21.33	28.23
Peso del tarro (gr)	8.25	7.89	8.23
Peso del suelo seco (%)	2.42	2.21	2.24
Humedad (%)	29.33	28.01	27.12
Limite Liquido (%)	28.15		

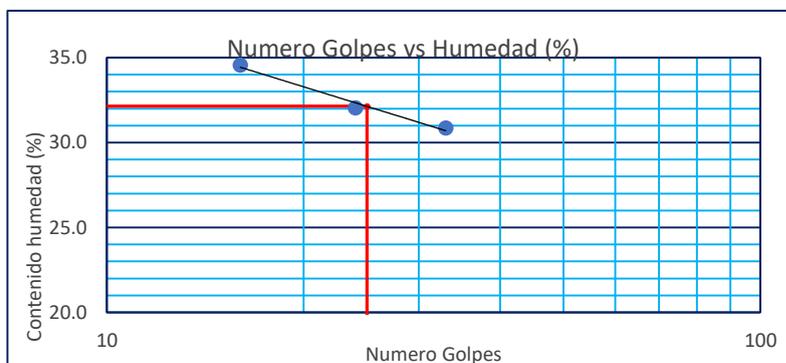
Límites de Consistencia de suelos	
Limite Liquido (%)	28.15
Limite Plástico (%)	20.01
Índice de Plasticidad (%)	8.23

Fuente: Elaboración Propia.



LIMITE DE CONSISTENCIA – PASA MALLA Nº 40			
ASTM D 4318			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
DATOS GENERALES			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	05		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (MTC E-111)			
Nº Tarro	T-01	T-02	T-03
Tarro + Suelo húmedo. (gr.)	28.76	28.74	28.19
Tarro + Suelo seco (gr.)	28.55	28.52	28.06
Peso Agua (gr.)	0.21	0.22	0.13
Peso del Tarro (gr.)	27.24	27.16	27.1
Peso del suelo seco (gr.)	1.31	1.36	0.96
Humedad (%)	16.03	16.18	13.54
Limite Plástico (%)	15.25		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E-110)			
Nº Tarro	T-04	T-05	T-06
Numero de Golpes	16	24	33
Peso tarro + suelo húmedo (gr.)	35.37	35.67	36.44
Peso tarro + suelo seco (gr.)	33.41	33.6	34.18
Peso del Agua (gr)	27.74	27.14	26.86
Peso del tarro (gr)	5.67	6.46	7.32
Peso del suelo seco (%)	1.96	2.07	2.26
Humedad (%)	34.57	32.04	30.87
Limite Liquido (%)	32.14		

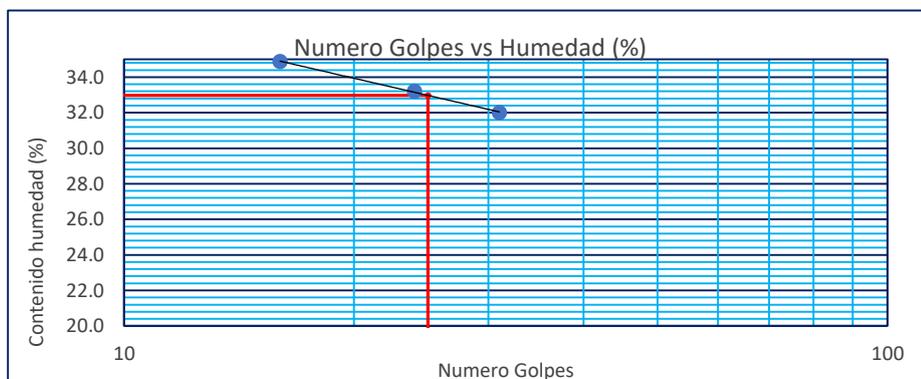
Límites de Consistencia de suelos	
Limite Liquido (%)	32.14
Limite Plástico (%)	15.25
Índice de Plasticidad (%)	8.23



Fuente: Elaboración Propia.

LIMITE DE CONSISTENCIA – PASA MALLA N° 40			
ASTM D 4318			
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
DATOS GENERALES			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	06		
FECHA:	04 de octubre del 2021		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO (MTC E-111)			
N° Tarro	T-01	T-02	T-03
Tarro + Suelo húmedo. (gr.)	28.13	28.70	28.63
Tarro + Suelo seco (gr.)	28.04	28.44	28.41
Peso Agua (gr.)	0.09	0.26	0.22
Peso del Tarro (gr.)	27.08	27.30	27.5
Peso del suelo seco (gr.)	0.96	1.14	0.91
Humedad (%)	9.37	22.81	24.18
Limite Plástico (%)	18.79		
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E-110)			
N° Tarro	T-04	T-05	T-06
Numero de Golpes	16	24	31
Peso tarro + suelo húmedo (gr.)	28.16	29.67	29.59
Peso tarro + suelo seco (gr.)	26.58	27.9	27.58
Peso del Agua (gr)	22.05	22.57	21.3
Peso del tarro (gr)	1.53	5.33	6.28
Peso del suelo seco (%)	1.58	1.77	2.01
Humedad (%)	34.88	33.21	32.01
Limite Liquido (%)	33.37		

Límites de Consistencia de suelos	
Limite Liquido (%)	32.97
Limite Plástico (%)	18.79
Índice de Plasticidad (%)	8.23



Fuente: Elaboración Propia.

1.4. Gravedad específica

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS	
NTP. 339.131	
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS	
<u>DATOS GENERALES</u>	
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita
	Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Calicata 01
PROFUNDIDAD:	1.50 metros
FECHA:	04 de octubre del 2021
MUESTRA	C-1
Profundidad	-3.00 m
Peso Inicial Muestra (g)	71.0
Peso Frasco volumétrico	154.2
Peso Frasco + Agua	656.7
Peso Frasco + Muestra	225.2
Peso Frasco + Muestra + Agua	701.6
Gs	2.719
Gs Promedio	2.72

Fuente: Elaboración Propia.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS	
NTP. 339.131	
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS	
<u>DATOS GENERALES</u>	
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita
	Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Calicata 02
PROFUNDIDAD:	1.50 metros
FECHA:	04 de octubre del 2021
MUESTRA	C-2
Profundidad	-3.00 m
Peso Inicial Muestra (g)	71.4
Peso Frasco volumétrico	153.5
Peso Frasco + Agua	656.6
Peso Frasco + Muestra	224.9
Peso Frasco + Muestra + Agua	701.6
Gs	2.709
Gs Promedio	2.71

Fuente: Elaboración Propia.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS	
NTP. 339.131	
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS	
<u>DATOS GENERALES</u>	
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIOÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Calicata 03
PROFUNDIDAD:	1.50 metros
FECHA:	04 de octubre del 2021
MUESTRA	C-3
Profundidad	-3.00 m
Peso Inicial Muestra (g)	71.8
Peso Frasco volumétrico	152.5
Peso Frasco + Agua	656.5
Peso Frasco + Muestra	224.3
Peso Frasco + Muestra + Agua	702.1
Gs	2.738
Gs Promedio	2.74

Fuente: Elaboración Propia.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS	
NTP. 339.131	
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS	
<u>DATOS GENERALES</u>	
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita
	Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Calicata 04
PROFUNDIDAD:	1.50 metros
FECHA:	04 de octubre del 2021
MUESTRA	C-4
Profundidad	-3.00 m
Peso Inicial Muestra (g)	72.0
Peso Frasco volumétrico	156.0
Peso Frasco + Agua	656.9
Peso Frasco + Muestra	228.0
Peso Frasco + Muestra + Agua	702.9
Gs	2.769
Gs Promedio	2.77

Fuente: Elaboración Propia.

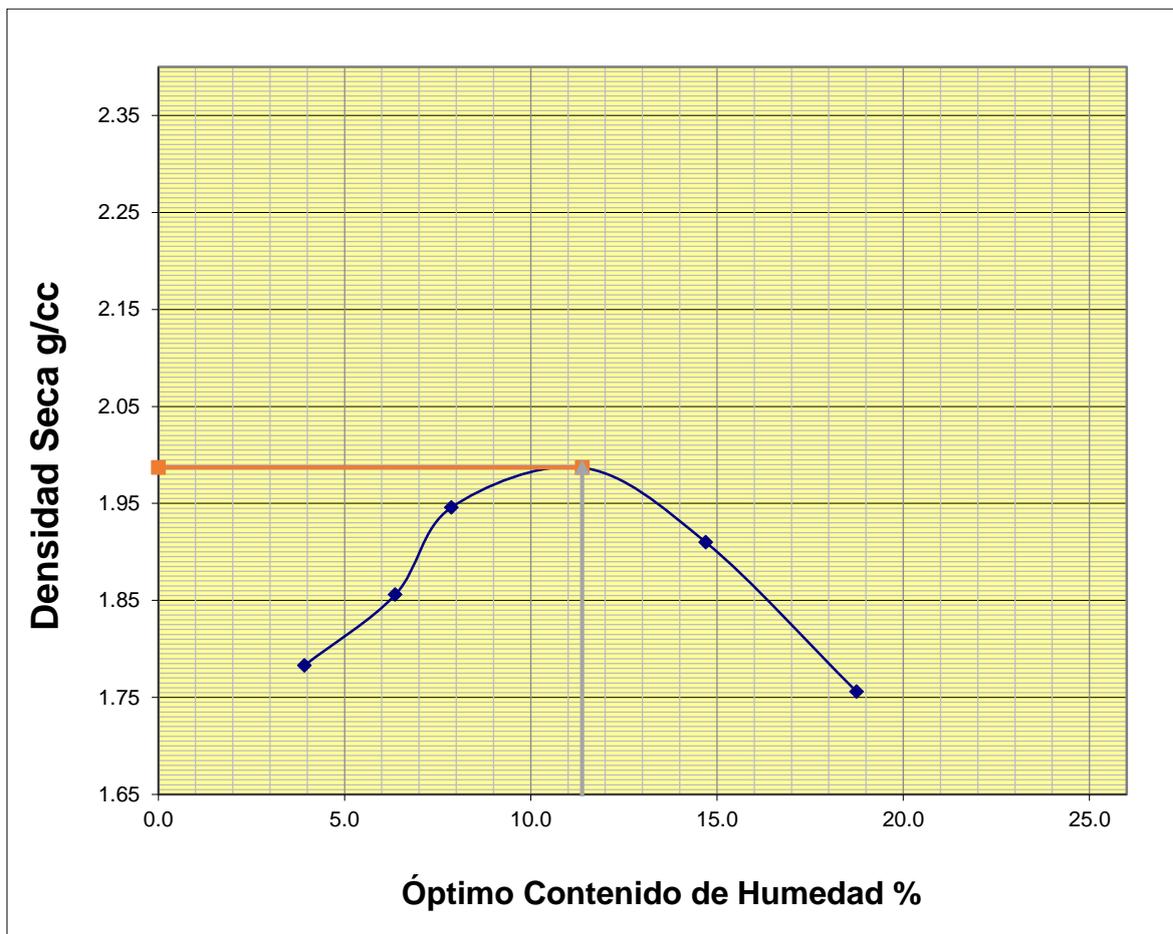
1.5. Proctor modificado

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS

DATOS GENERALES

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.					
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad					
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita					
	Br. Marquina Villanueva, Luis					
MUESTRA:	Calicata N° 01 - Subrasante					
N° DE ENSAYO	MUESTRA					
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	58.36		6060.00		6048.00	
Peso del Molde (g)	4144.00		4144.00		4144.00	
Peso Suelo Húmedo (g)	1692.00		1916.00		1904.00	
Volumen del molde (cc)	912.95		912.95		912.95	
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	1.853		1.946		1.756	
Número de Tarro	1	2	3	4	5	6
Cantidad de H₂O agregada						
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	114.02	111.26	105.47	107.69	106.31	121.15
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	110.78	106.33	99.11	99.54	96.19	106.35
Peso Tarro (g)	28.13	28.78	18.25	27.93	27.36	27.43
Peso del agua	3.24	4.93	6.36	8.15	10.12	14.80
Peso de suelo seco	82.65	77.55	80.86	71.61	68.83	78.92
Humedad (%)	3.92%	6.36%	7.87%	11.38%	14.70%	18.75%
Humedad promedio (%)	3.92	6.36	7.87	11.38	14.70	18.75
Densidad Seca (g/cc)	1.783	1.856	1.946	1.987	1.910	1.756

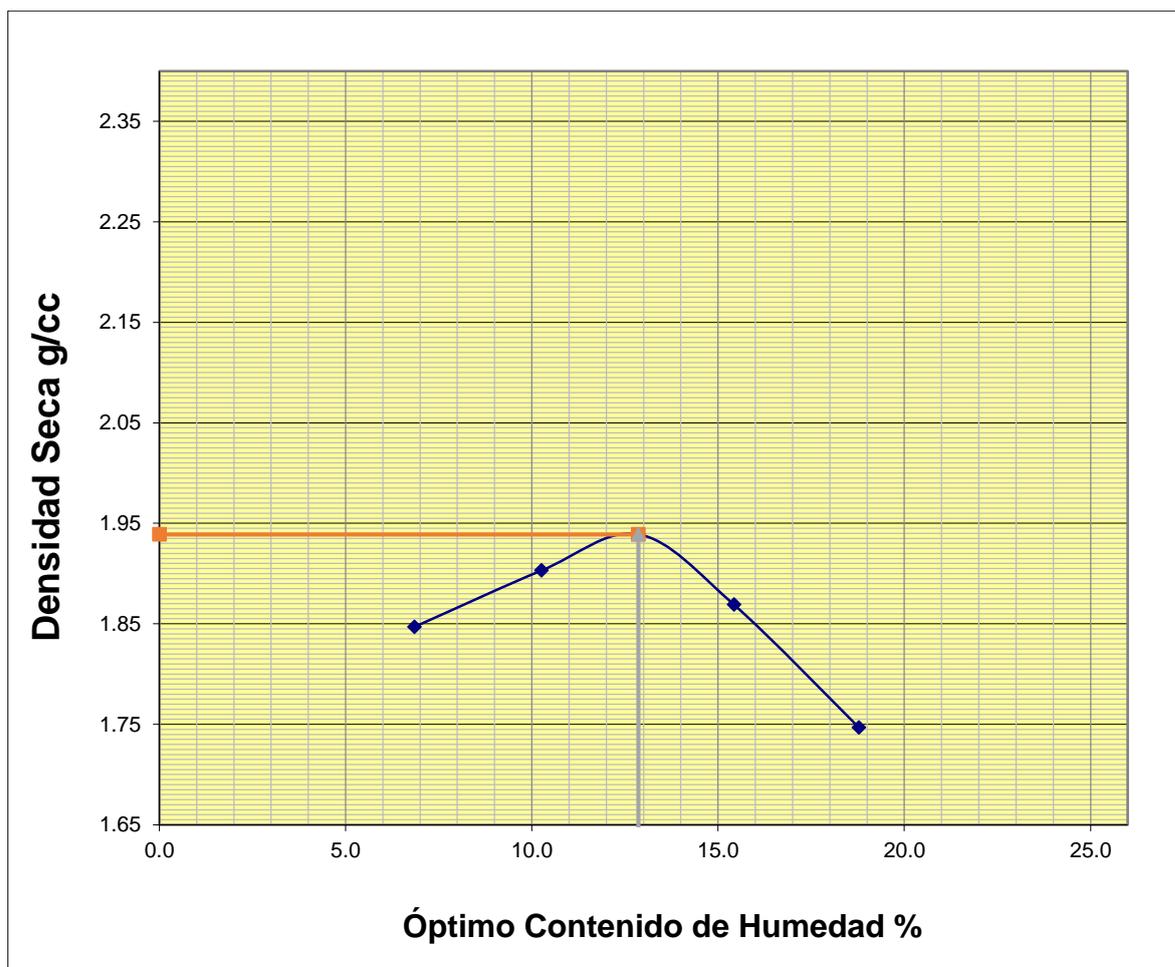


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	11.38
OCH (%)	1.99

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 01 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	58.36	6060.00	6048.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	1692.00	1916.00	1904.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	1.847	1.903	1-939		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	143.58	161.31	136.98	146.46	145.89
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	136.91	149.32	125.09	132.07	127.20
Peso Tarro (g)	39.57	32.44	32.64	38.81	27.66
Peso del agua	6.67	11.99	11.89	14.39	18.69
Peso de suelo seco	97.34	116.88	92.45	93.26	99.54
Humedad (%)	6.85%	10.26%	12.86%	15.43%	18.78%
Humedad promedio (%)	6.85	10.26	12.86	15.43	18.78
Densidad Seca (g/cc)	1.847	1.903	1.939	1.869	1.747

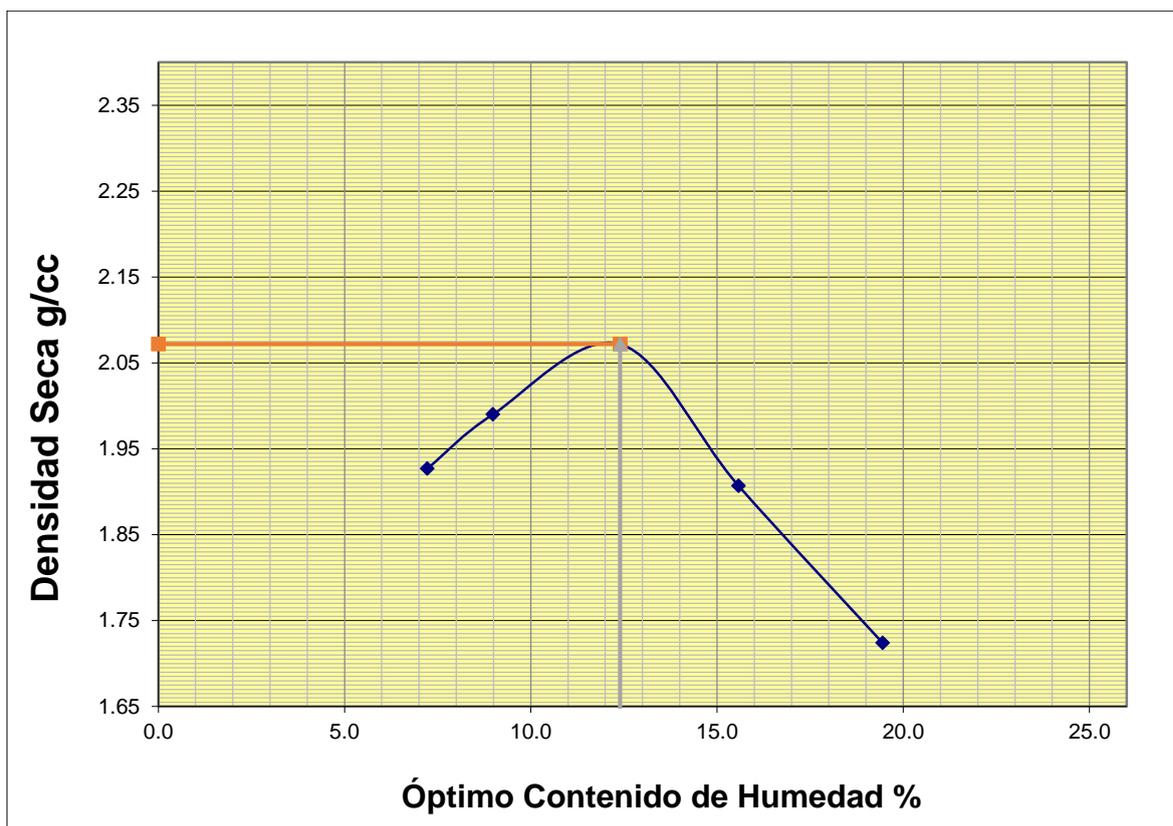


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	12.86
OCH (%)	1.94

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 02 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	6030.00	6124.00	6270.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	1886.00	1980.00	2126.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	2.066	2.169	2.072		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	128.02	125.17	119.48	121.79	116.41
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	121.29	117.23	108.32	109.14	101.91
Peso Tarro (g)	28.13	28.78	18.25	27.93	27.36
Peso del agua	6.73	7.94	11.17	12.65	14.50
Peso de suelo seco	93.16	88.45	90.06	81.21	74.55
Humedad (%)	7.22%	8.98%	12.40%	15.58%	19.45%
Humedad promedio (%)	7.22	8.98	12.40	15.58	19.45
Densidad Seca (g/cc)	1.927	1.990	2.072	1.907	1.724

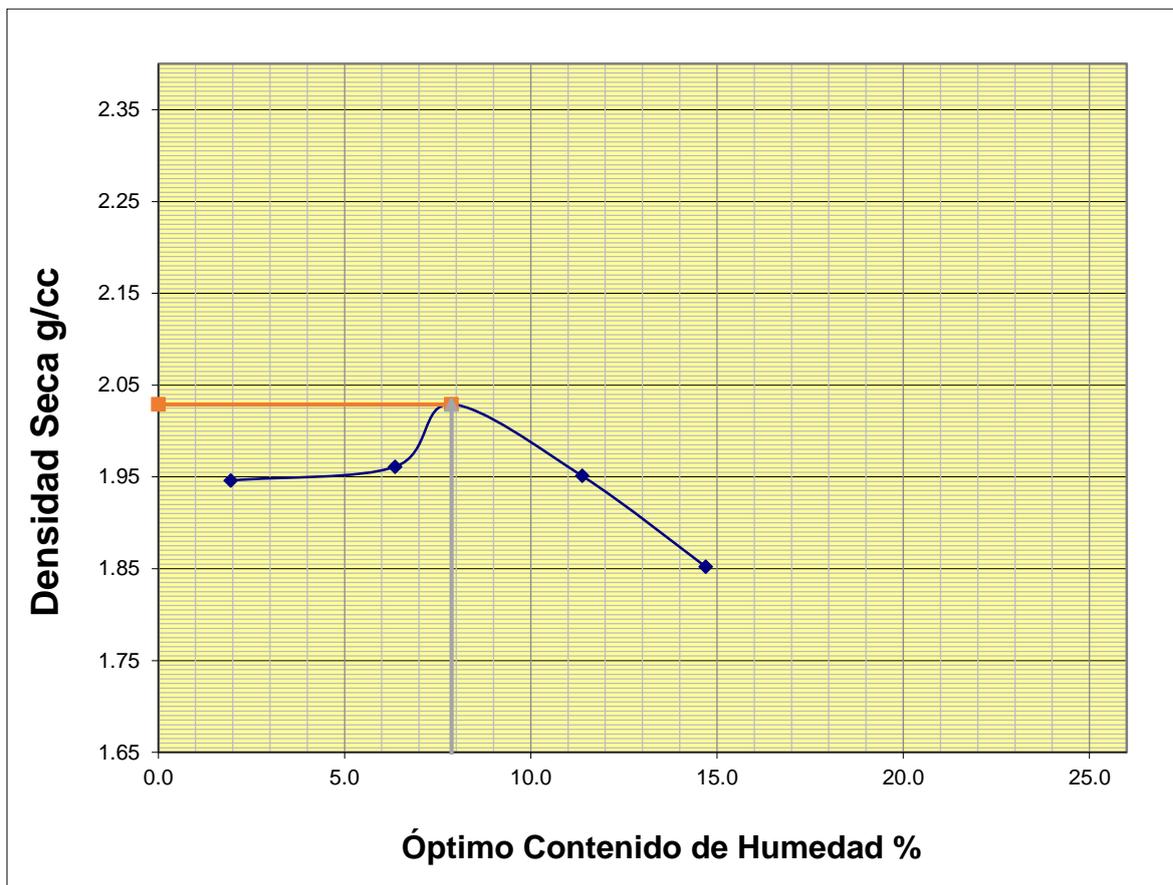


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	12.40
OCH (%)	2.07

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 02 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	6052.00	6136.00	6248.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	1914.00	1998.00	2110.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	2.097	2.189	2.311		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro + Suelo húmedo (g)	12023.00	133.47	135.14	141.43	131.13
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	114.45	122.96	122.62	126.59	114.17
Peso Tarro (g)	39.57	32.44	32.64	38.81	27.66
Peso del agua	5.78	10.51	12.52	14.84	16.96
Peso de suelo seco	74.88	90.52	89.98	87.78	86.51
Humedad (%)	7.72%	11.61%	13.91%	16.91%	19.60%
Humedad promedio (%)	1.95	6.36	7.87	11.38	14.70
Densidad Seca (g/cc)	1.946	1.961	2.029	1.951	1.852

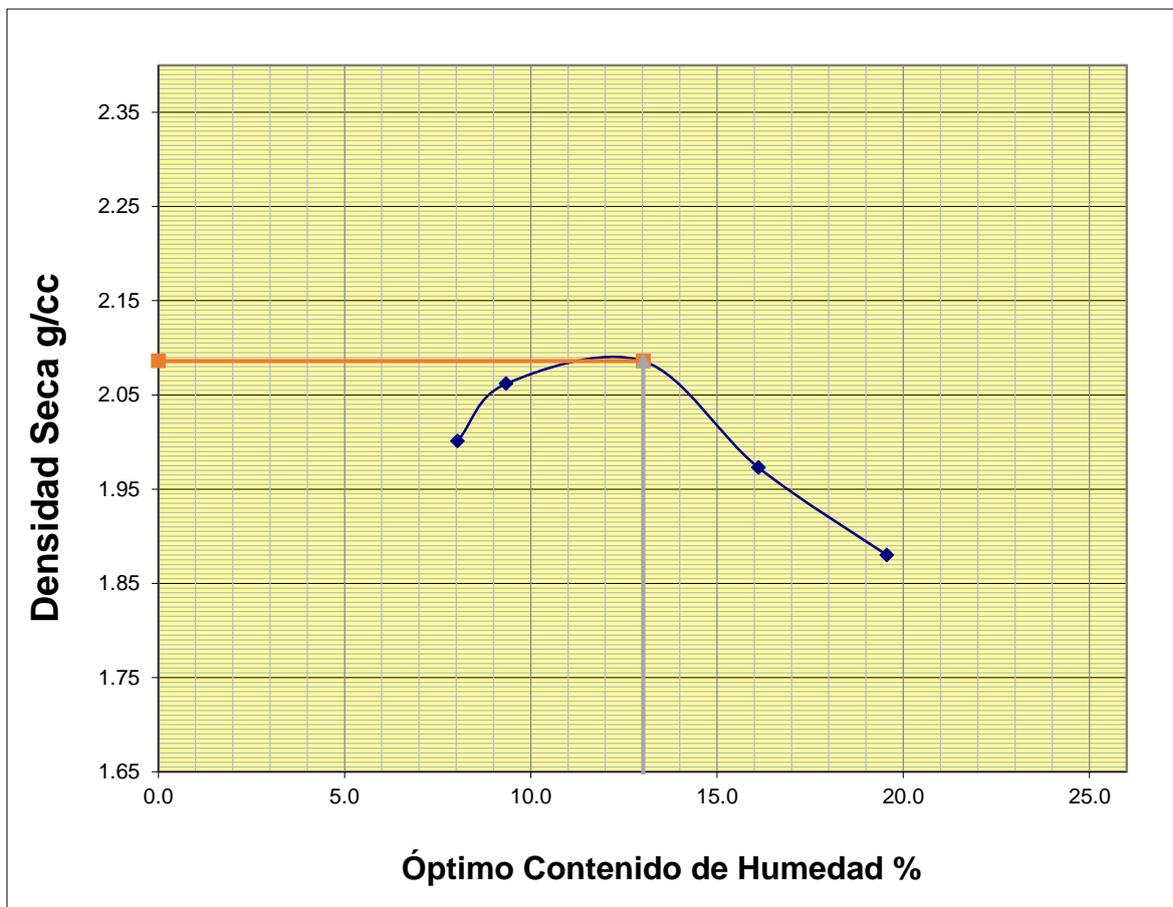


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	14.70
OCH (%)	2.03

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 03 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	6118.00	6202.00	6296.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	1974.00	2058.00	2152.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	2.162	2.254	2.357		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	131.29	129.54	121.13	131.33	128.15
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	123.62	120.93	109.28	116.28	111.68
Peso Tarro (g)	28.13	28.78	18.25	27.93	27.36
Peso del agua	7.67	8.61	11.85	14.35	16.49
Peso de suelo seco	95.49	92.15	91.03	89.05	84.30
Humedad (%)	8.03%	9.34%	13.02%	16.11%	19.56%
Humedad promedio (%)	8.03	9.34	13.02	16.11	19.56
Densidad Seca (g/cc)	2.001	2.062	2.086	1.973	1.880

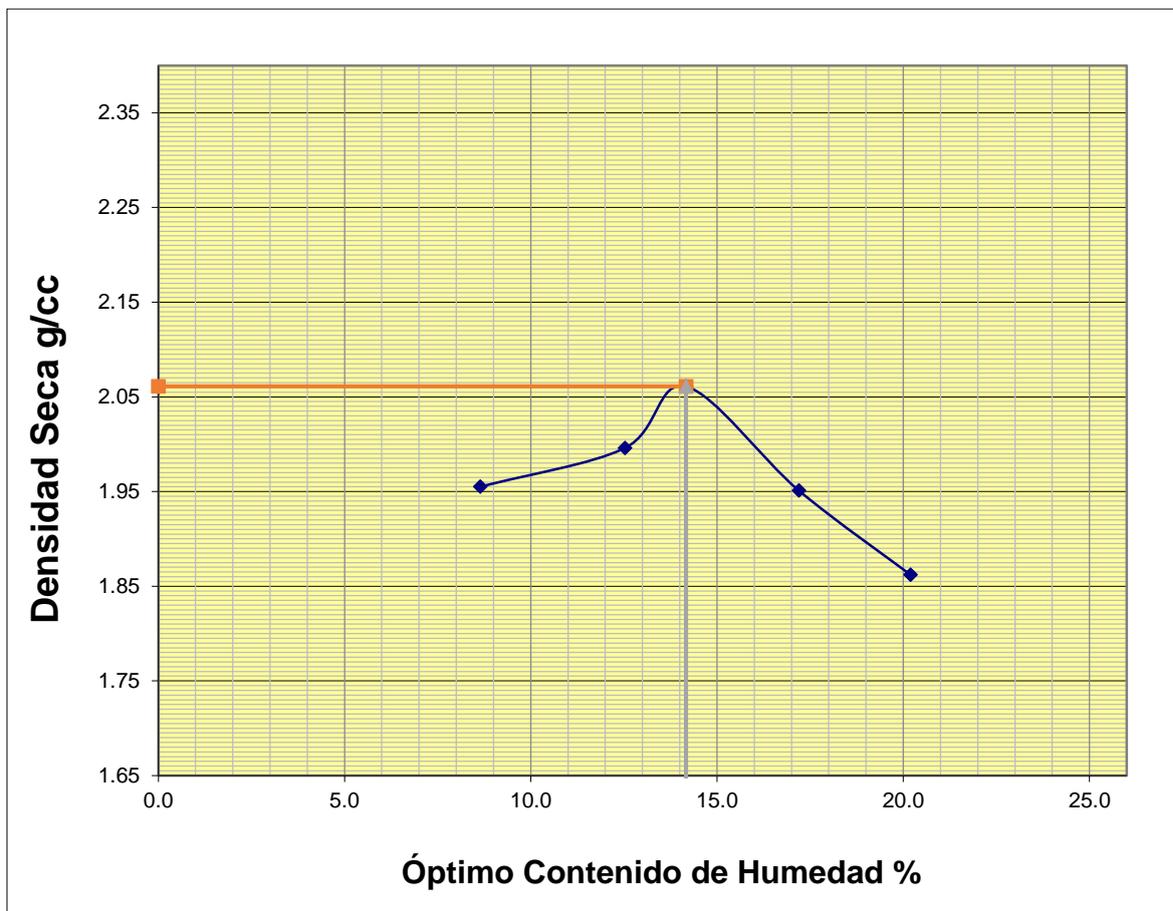


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	13.02
OCH (%)	2.09

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 03 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	6077.00	6158.00	6286.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	1939.00	2020.00	2148.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	2.124	2.213	2.353		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	145.87	135.71	136.18	142.95	129.74
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	137.22	124.21	123.33	127.67	121.71
Peso Tarro (g)	39.57	32.44	32.64	38.81	27.66
Peso del agua	8.45	11.50	12.85	15.28	17.03
Peso de suelo seco	97.65	91.77	90.69	88.86	85.05
Humedad (%)	8.65%	12.53%	14.17%	17.20%	20.02%
Humedad promedio (%)	8.65	12.53	14.17	17.20	20.20
Densidad Seca (g/cc)	1.955	1.996	2.061	1.951	1.862

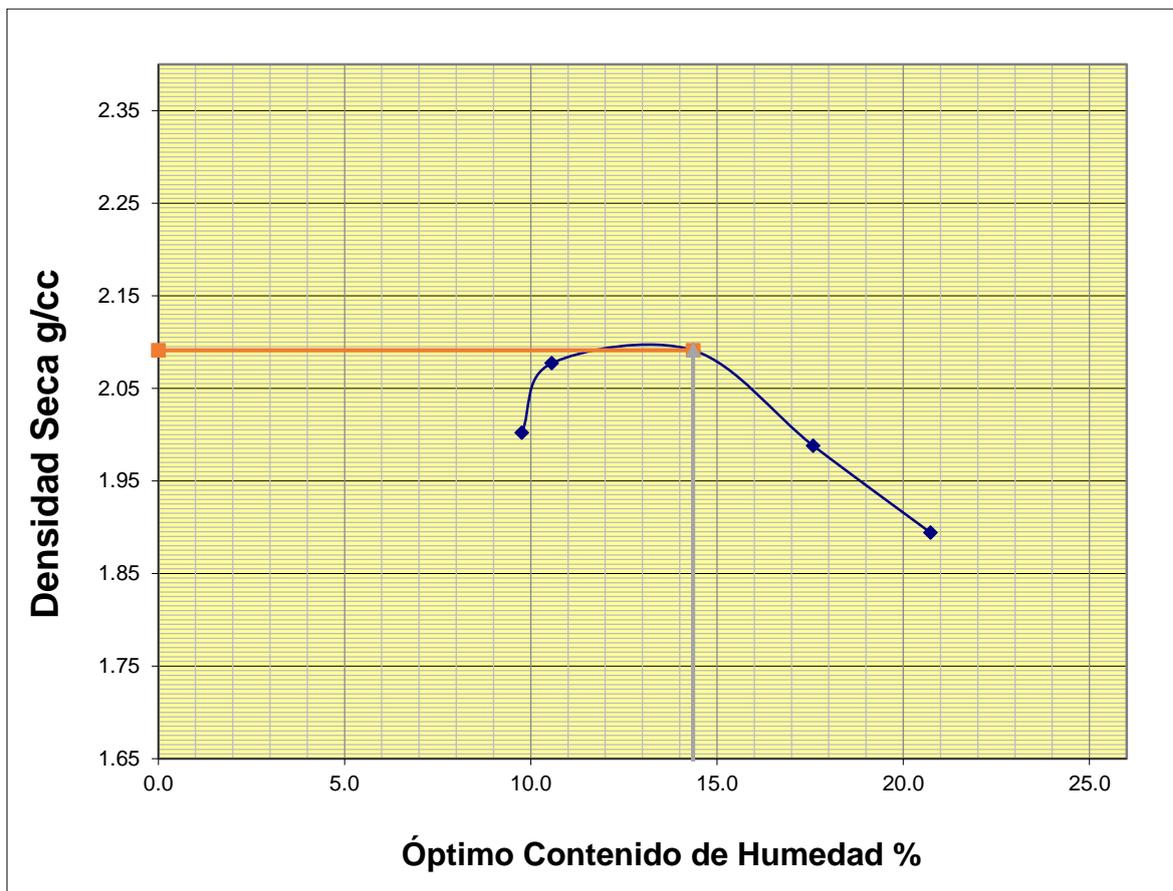


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	14.17
OCH (%)	2.06

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 04 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	6150.00	6240.00	6327.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	2006.00	2096.00	2183.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	2.197	2.296	2.391		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	143.51	134.12	125.78	133.74	133.22
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	133.25	124.07	112.28	117.92	115.04
Peso Tarro (g)	28.13	28.78	18.25	27.93	27.36
Peso del agua	10.26	10.05	13.50	15.82	18.18
Peso de suelo seco	105.12	95.29	94.03	89.99	87.68
Humedad (%)	9.76%	10.55%	14.36%	17.58%	20.73%
Humedad promedio (%)	9.76	10.56	14.36	17.58	20.73
Densidad Seca (g/cc)	2.002	2.077	2.091	1.988	1.894

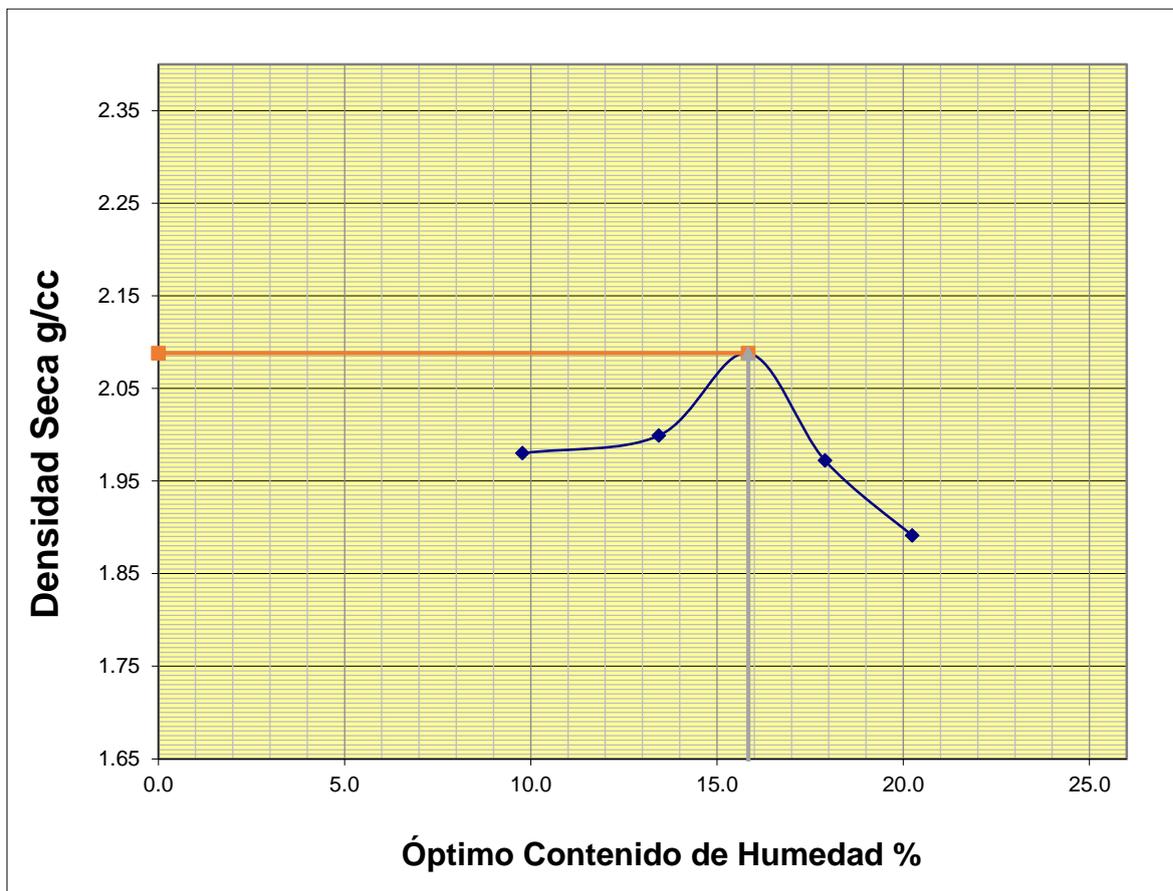


METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	14.36
OCH (%)	2.09

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO					
NTP 339.141 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS					
<u>DATOS GENERALES</u>					
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.				
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad				
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita				
	Br. Marquina Villanueva, Luis				
MUESTRA:	Calicata N° 04 - Subrasante				
N° DE ENSAYO	MUESTRA				
Peso Molde + Suelo Húmedo (g)	6122.00	6208.00	6346.00		
Peso del Molde (g)	4144.00	4144.00	4144.00		
Peso Suelo Húmedo (g)	1984.00	2070.00	2208.00		
Volumen del molde (cc)	912.95	912.95	912.95		
Densidad Suelo húmedo (g/cc)	2.173	2.267	2.419		
Número de Tarro	1	2	3	4	5
Cantidad de H₂O agregada					
Peso Tarro +Suelo húmedo (g)	141.12	136.25	137.19	143.66	129.18
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	132.07	123.95	122.89	127.74	112.09
Peso Tarro (g)	39.57	32.44	32.64	38.81	27.66
Peso del agua	9.05	12.30	14.30	15.92	17.09
Peso de suelo seco	92.50	91.51	90.25	88.93	84.83
Humedad (%)	9.78%	13.44%	15.84%	17.90%	20.24%
Humedad promedio (%)	9.78	13.44	15.84	17.90	20.24
Densidad Seca (g/cc)	1.980	1.999	2.088	1.972	1.891



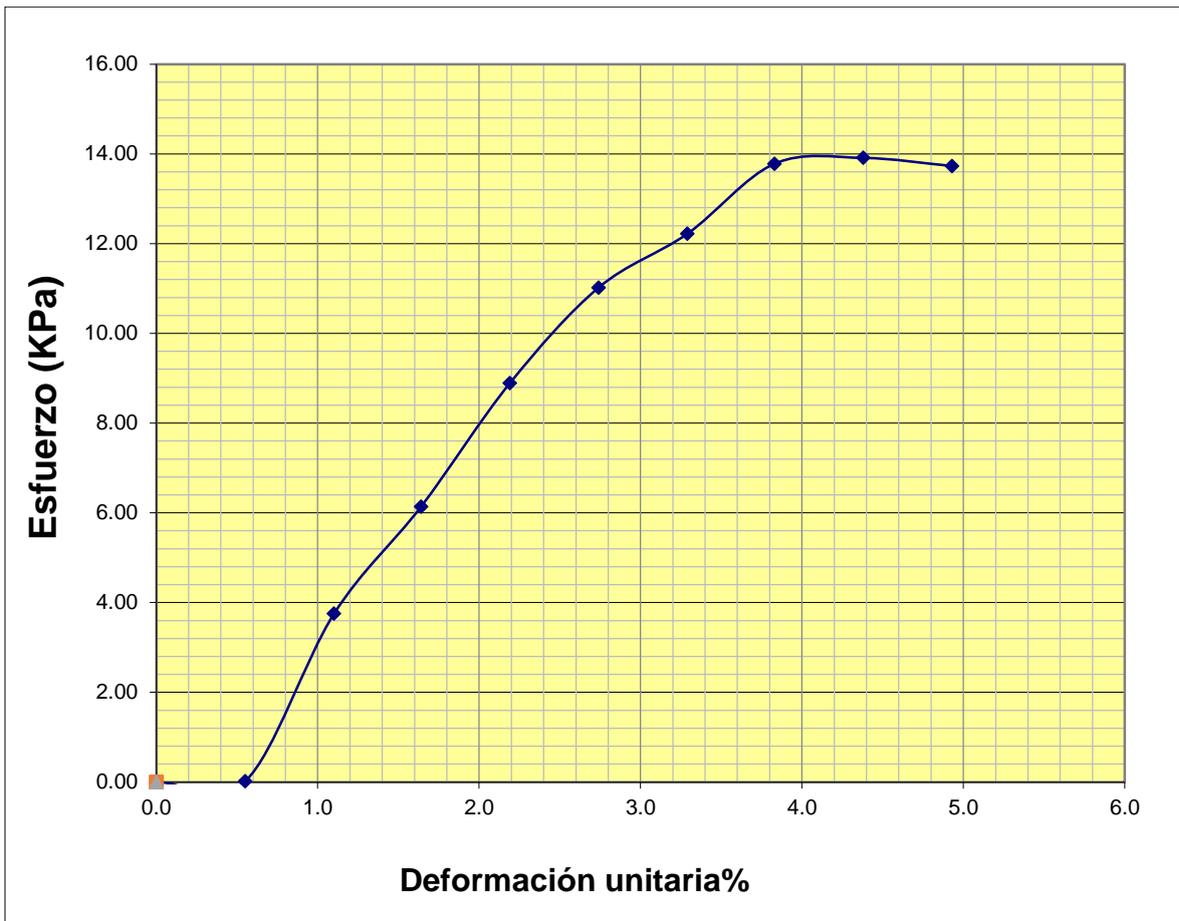
METODO	A
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
DSM (g/cm³)	15.84
OCH (%)	2.09

DATOS DEL MOLDE	
N°	1
Peso (g)	5000.00
Volumen (cc)	913.00

Fuente: Elaboración Propia.

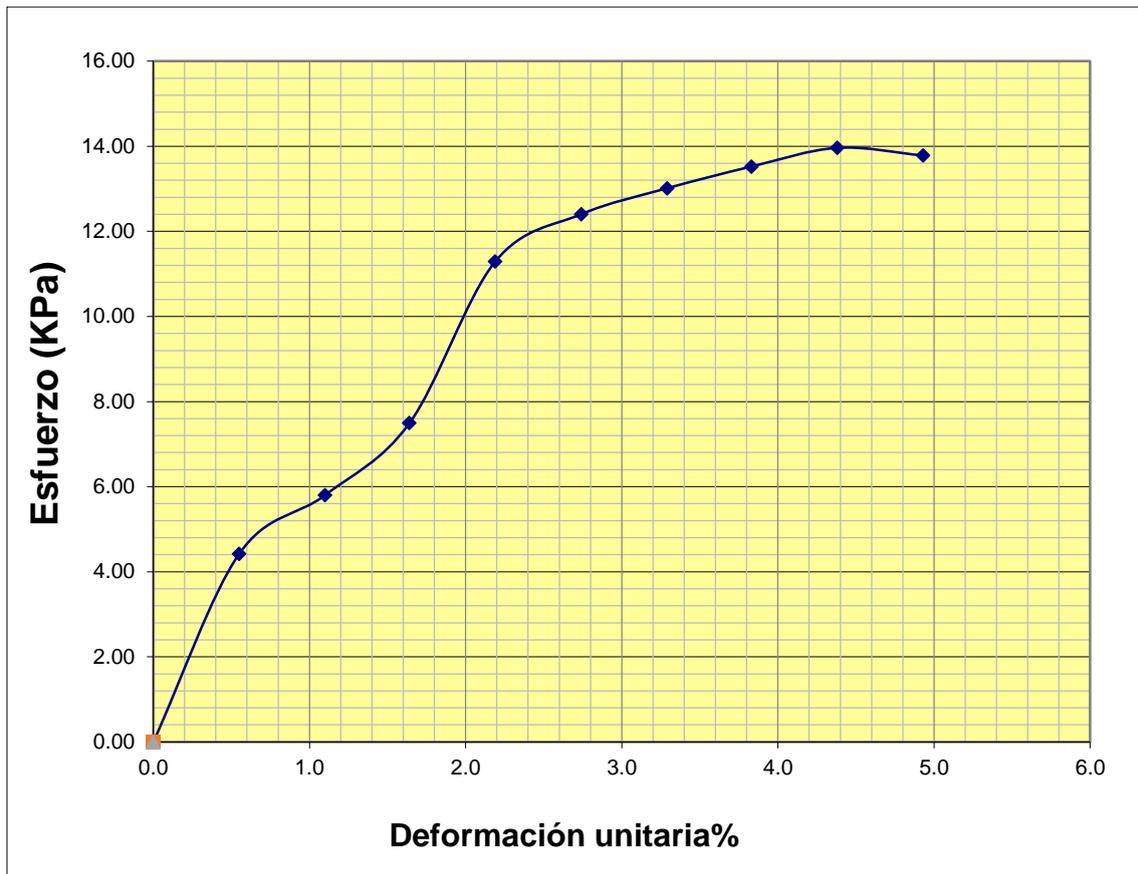
1.6. Ensayo de compresión simple no confinada

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA								
ASTM D2166								
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS								
DATOS GENERALES								
PROYECTO:		Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.						
UBICACIÓN:		Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad						
RESPONSABLE:		Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis						
MUESTRA:		Subrasante – Tipo CL						
DÍA DE CURADO:		7						
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Peso de la tara (g)		27.7						
Peso del suelo húmedo + lata (g)		154.64						
Peso del suelo seco + lata (g)		140.69						
peso del agua (g)		13.95						
peso del suelo seco (g)		112.99						
% de humedad		12.35						
DATOS DE LA PROBETA								
Diámetro (cm)		10.311						
Altura inicial		80.601						
Área (m ²)		83.51						
Peso (g)		2014.72						
TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	80.5110	0.000	0.0000
9.0	1.190	1.450	0.025	0.0055	0.9945	81.0551	0.020	0.0176
13.0	1.560	3.110	0.050	0.0110	0.9890	81.5040	0.040	3.7500
17.0	2.010	5.130	0.075	0.0164	0.9836	81.9579	0.060	6.1400
21.0	2.530	7.470	0.100	0.0219	0.9781	82.4169	0.090	8.8900
25.0	2.940	9.310	0.125	0.0274	0.9726	82.8811	0.110	11.0200
29.0	3.180	10.390	0.150	0.0329	0.9671	83.3506	0.120	12.2200
33.0	3.490	11.780	0.175	0.0383	0.9617	83.8254	0.140	13.7800
37.0	3.530	11.960	0.200	0.0438	0.9562	84.3056	0.140	13.9100
38.0	3.510	11.870	0.225	0.0493	0.9507	84.7914	0.140	13.7300



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA								
ASTM D2166								
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS								
DATOS GENERALES								
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.							
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad							
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita							
	Br. Marquina Villanueva, Luis							
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL							
DIA DE CURADO:	7							
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Peso de la tara (g)	27.51							
Peso del suelo húmedo + lata (g)	143.79							
Peso del suelo seco + lata (g)	131.61							
peso del agua (g)	12.18							
peso del suelo seco (g)	104.1							
% de humedad	11.7							
DATOS DE LA PROBETA								
Diámetro (cm)	9.059							
Altura inicial	11.662							
Área (m2)	64.45							
Peso (g)	1914.53							
TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm2	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	80.6110	0.000	0.0000
11.0	1.680	3.650	0.025	0.0055	0.9945	81.0551	0.020	4.4200
13.0	1.940	4.820	0.050	0.0110	0.9890	81.5040	0.040	5.8000
17.0	2.260	6.260	0.075	0.0164	0.9836	81.9579	0.060	7.4900
21.0	2.980	9.490	0.100	0.0219	0.9781	82.4169	0.090	11.2900
25.0	3.200	10.480	0.125	0.0274	0.9726	82.8811	0.110	12.4000
29.0	3.330	11.060	0.150	0.0329	0.9671	83.3506	0.120	13.0100
33.0	3.440	11.560	0.175	0.0383	0.9617	83.8254	0.140	13.5200
36.0	3.540	12.000	0.200	0.0438	0.9562	84.3056	0.140	13.9600
38.0	3.520	11.910	0.225	0.0493	0.9507	84.7914	0.140	13.7800



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166**
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS**DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

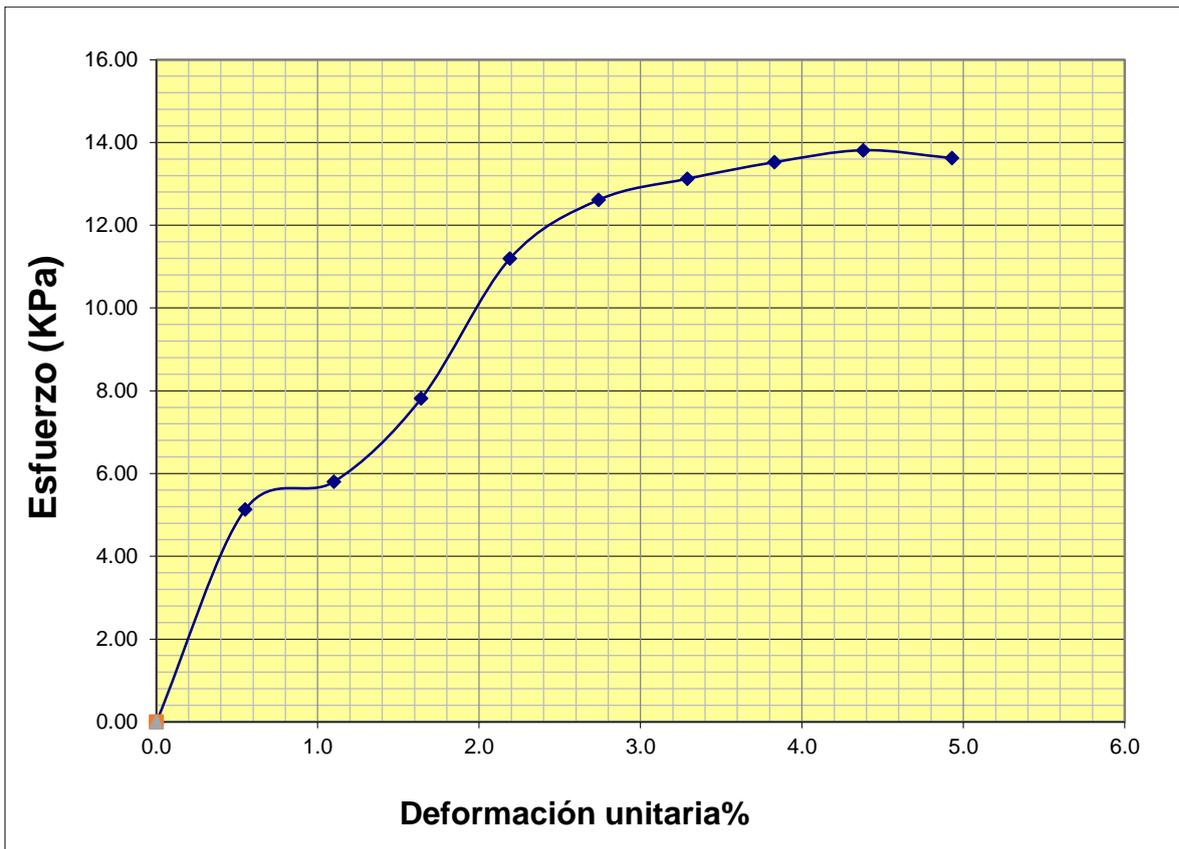
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	21.5
Peso del suelo húmedo + lata (g)	129.19
Peso del suelo seco + lata (g)	114.14
peso del agua (g)	15.05
peso del suelo seco (g)	92.64
% de humedad	16.25

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.884
Altura inicial	11.858
Área (m2)	76.73
Peso (g)	1907.09

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm2	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	80.6110	0.000	0.0000
9.0	1.810	4.240	0.025	0.0055	0.9945	81.0551	0.020	5.1300
13.0	1.940	4.820	0.050	0.0110	0.9890	81.5040	0.040	5.8000
17.0	2.320	6.530	0.075	0.0164	0.9836	81.9579	0.060	7.8100
21.0	2.960	9.400	0.100	0.0219	0.9781	82.4169	0.090	11.1900
25.0	3.240	10.660	0.125	0.0274	0.9726	82.8811	0.110	12.6100
29.0	3.350	11.150	0.150	0.0329	0.9671	83.3506	0.120	13.1200
33.0	3.440	11.560	0.175	0.0383	0.9617	83.8254	0.140	13.5200
37.0	3.510	11.870	0.200	0.0438	0.9562	84.3056	0.140	13.8100
39.0	3.490	11.780	0.225	0.0493	0.9507	84.7914	0.140	13.6200



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166**
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS**DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

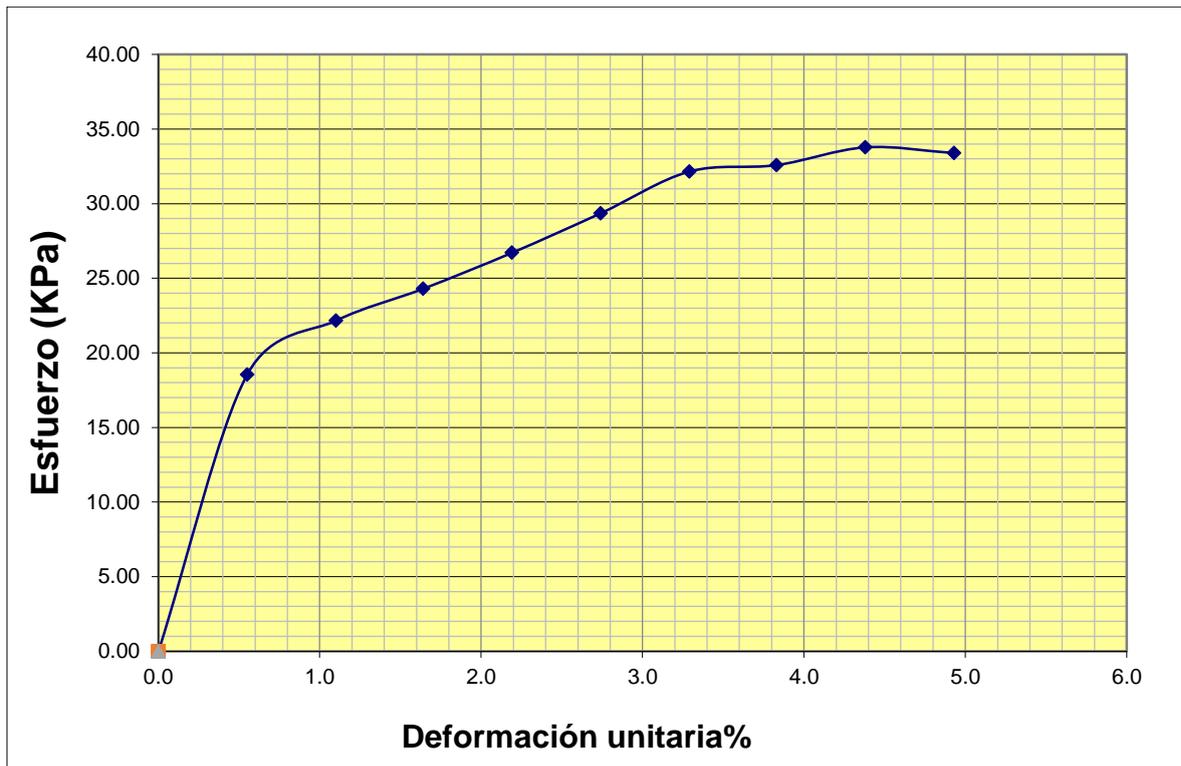
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.99
Peso del suelo húmedo + lata (g)	142.66
Peso del suelo seco + lata (g)	129.76
peso del agua (g)	12.90
peso del suelo seco (g)	101.77
% de humedad	12.68

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.859
Altura inicial	11.664
Área (m²)	76.34
Peso (g)	1993.67

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.34	0.000	0.0000
3.0	4.100	14.520	0.025	0.0055	0.9946	76.76	0.190	18.5500
7.0	4.750	17.440	0.050	0.0110	0.9891	77.18	0.230	22.1600
14.0	5.150	19.230	0.075	0.0164	0.9837	77.61	0.250	24.3000
20.0	5.600	21.250	0.100	0.0219	0.9782	78.04	0.270	26.7100
24.0	6.100	23.500	0.125	0.0274	0.9728	78.48	0.300	29.3600
28.0	6.630	25.880	0.150	0.0329	0.9673	78.92	0.330	32.1600
32.0	6.740	26.370	0.175	0.0383	0.9619	79.36	0.330	32.5900
36.0	6.990	27.490	0.200	0.0438	0.9564	79.82	0.340	33.7800
38.0	6.970	27.400	0.225	0.0493	0.9510	80.27	0.340	33.4000



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS****DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

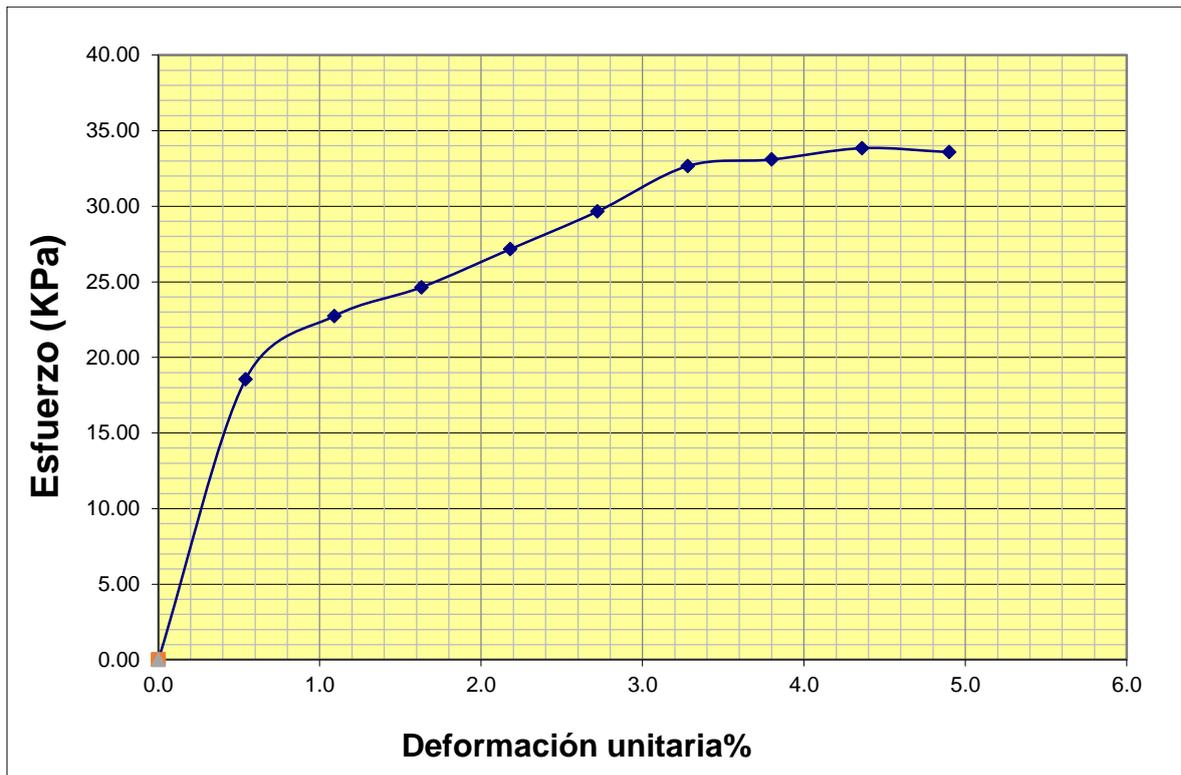
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.32
Peso del suelo húmedo + lata (g)	133.14
Peso del suelo seco + lata (g)	120.71
peso del agua (g)	12.43
peso del suelo seco (g)	93.39
% de humedad	13.31

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.896
Altura inicial	11.659
Área (m²)	76.91
Peso (g)	1879.00

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.91	0.000	0.0000
4.0	4.100	14.520	0.025	0.0054	0.9946	77.33	0.190	18.5500
8.0	4.853	17.890	0.050	0.0109	0.9891	77.76	0.230	22.7300
14.0	5.210	19.500	0.075	0.0163	0.9837	78.19	0.250	24.6400
20.0	5.680	21.610	0.100	0.0218	0.9782	78.63	0.280	27.1600
26.0	6.150	23.720	0.125	0.0272	0.9728	79.07	0.300	29.6500
31.0	6.720	26.280	0.150	0.0328	0.9673	79.51	0.330	32.6600
36.0	6.830	26.780	0.175	0.0380	0.9619	79.96	0.340	33.0900
40.0	7.000	27.540	0.200	0.0436	0.9564	80.42	0.350	33.8400
42.0	6.990	27.490	0.225	0.0490	0.9510	80.88	0.340	33.5800



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166**
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS**DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

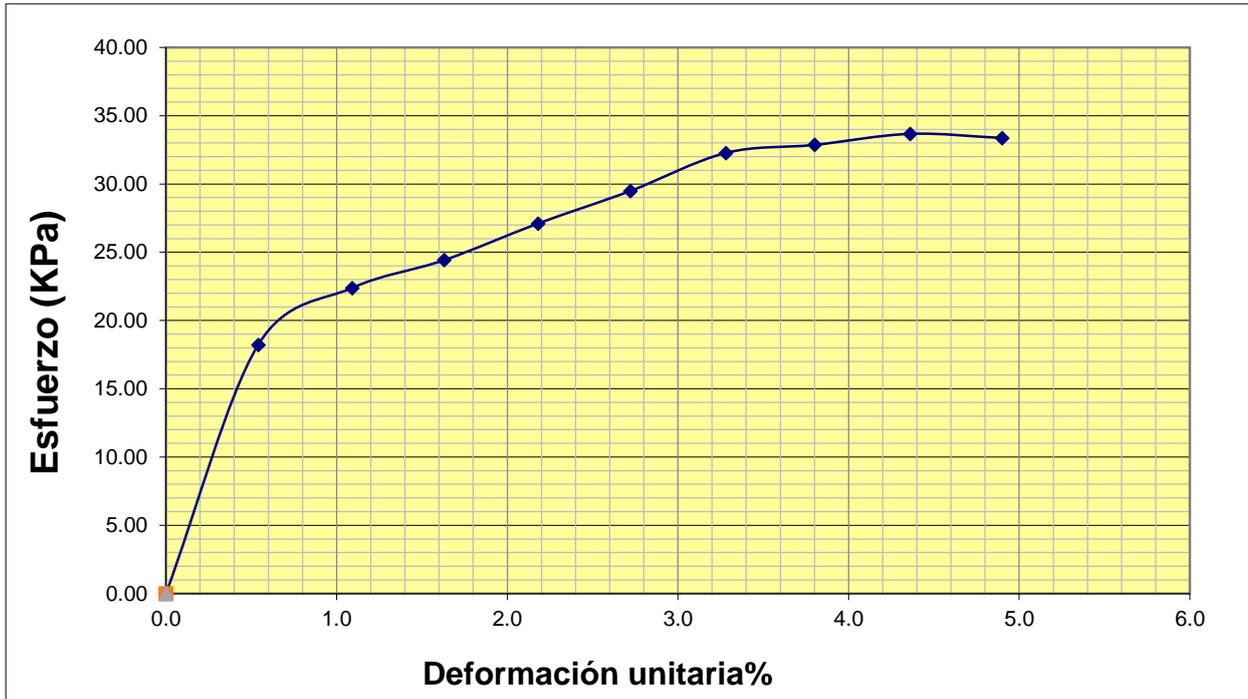
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.49
Peso del suelo húmedo + lata (g)	149.92
Peso del suelo seco + lata (g)	133.09
peso del agua (g)	16.85
peso del suelo seco (g)	105.89
% de humedad	15.96

DATOS DE LA PROBETA

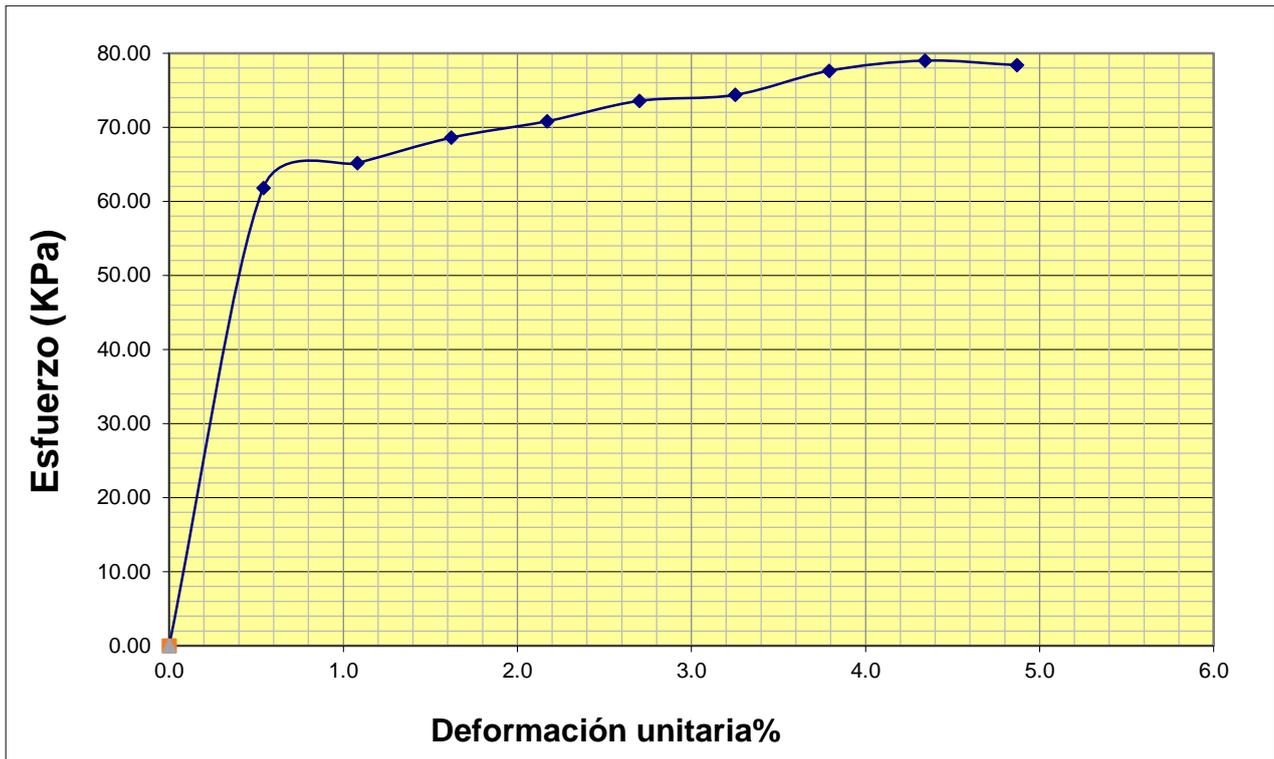
Diámetro (cm)	9.88
Altura inicial	11.686
Área (m2)	76.67
Peso (g)	1888.18

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm2	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.67	0.000	0.0000
5.0	4.040	14.250	0.025	0.0054	0.9946	77.08	0.190	18.2100
9.0	4.790	17.620	0.050	0.0109	0.9891	77.51	0.230	22.3800
13.0	5.170	19.320	0.075	0.0163	0.9837	77.94	0.250	24.4200
18.0	5.670	21.570	0.100	0.0218	0.9782	78.37	0.280	27.1000
22.0	6.120	23.500	0.125	0.0272	0.9728	78.81	0.300	29.4800
27.0	6.650	25.970	0.150	0.0328	0.9673	79.26	0.330	32.2700
31.0	6.790	26.600	0.175	0.0380	0.9619	79.70	0.340	32.8600
35.0	6.970	27.400	0.200	0.0436	0.9564	80.16	0.340	33.6700
39.0	6.950	27.320	0.225	0.0490	0.9510	80.62	0.340	33.3700



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA								
ASTM D2166								
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS								
DATOS GENERALES								
PROYECTO:		Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.						
UBICACIÓN:		Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad						
RESPONSABLE:		Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis						
MUESTRA:		Subrasante – Tipo CL						
DIA DE CURADO:		7						
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Peso de la tara (g)		27.08						
Peso del suelo húmedo + lata (g)		142.39						
Peso del suelo seco + lata (g)		129.55						
peso del agua (g)		12.84						
peso del suelo seco (g)		102.47						
% de humedad		12.53						
DATOS DE LA PROBETA								
Diámetro (cm)		9.864						
Altura inicial		11.772						
Área (m2)		76.42						
Peso (g)		1988.14						
TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga N° de divisiones	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm2	Kpa
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.42	0.000	0.0000
3.0	11.650	48.410	0.025	0.0054	0.9946	76.83	0.630	61.7900
7.0	12.300	51.330	0.050	0.0108	0.9892	77.25	0.660	65.1600
14.0	12.970	54.340	0.075	0.0162	0.9838	77.68	0.700	68.6000
20.0	13.430	56.400	0.100	0.0217	0.9783	78.11	0.720	70.8200
26.0	13.990	58.920	0.125	0.0270	0.9730	78.54	0.750	73.5700
30.0	14.210	59.900	0.150	0.0325	0.9675	78.99	0.760	74.3800
34.0	14.870	62.860	0.175	0.0379	0.9621	79.43	0.790	77.6300
39.0	15.200	64.350	0.200	0.0434	0.9566	79.89	0.810	79.0100
41.0	15.170	64.210	0.225	0.0487	0.9513	80.33	0.800	78.4000



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS****DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

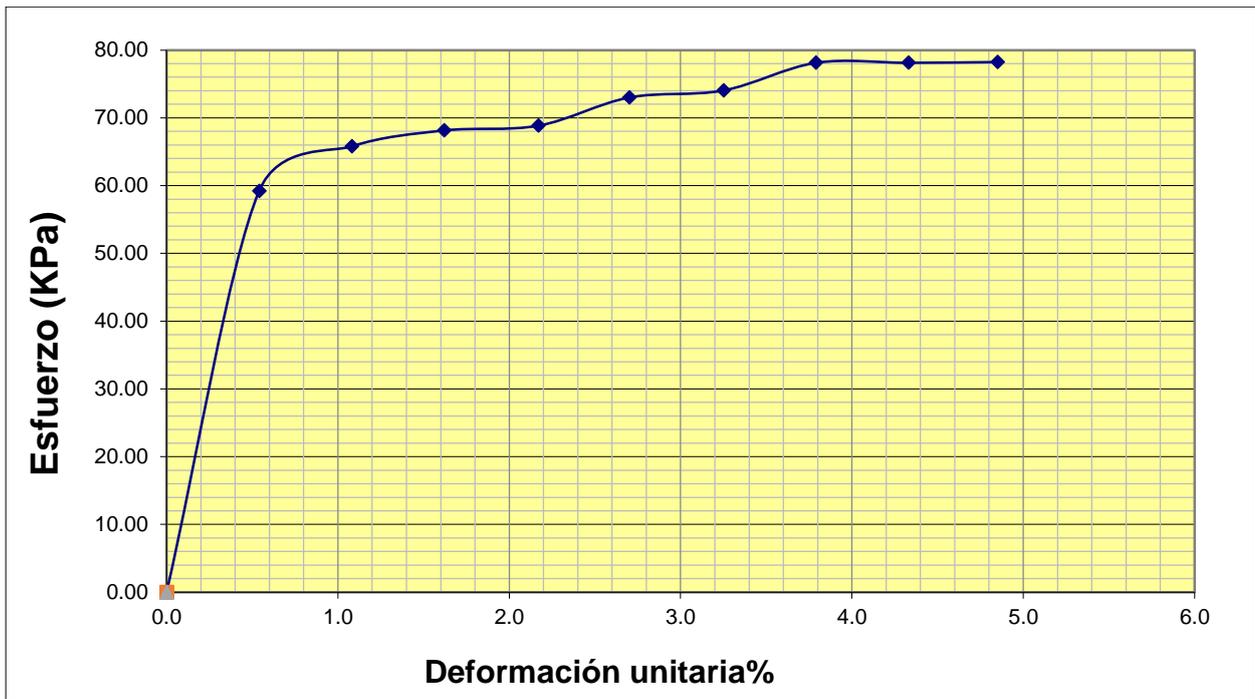
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.31
Peso del suelo húmedo + lata (g)	139.76
Peso del suelo seco + lata (g)	125.6
peso del agua (g)	14.13
peso del suelo seco (g)	98.31
% de humedad	14.36

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.885
Altura inicial	11.629
Área (m²)	76.74
Peso (g)	1854.42

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.74	0.000	0.0000
8.0	11.200	46.390	0.025	0.0054	0.9946	77.16	0.600	59.2100
13.0	12.410	51.820	0.050	0.0108	0.9892	77.58	0.670	65.7900
18.0	12.890	53.980	0.075	0.0162	0.9838	78.01	0.690	68.1500
22.0	13.080	54.830	0.100	0.0217	0.9783	78.45	0.700	68.8500
26.0	13.890	58.470	0.125	0.0270	0.9730	78.87	0.740	73.0100
30.0	14.150	59.630	0.150	0.0325	0.9675	79.32	0.760	74.0500
34.0	14.960	63.270	0.175	0.0379	0.9621	79.77	0.800	78.1300
38.0	15.150	64.120	0.200	0.0433	0.9567	80.22	0.800	78.1300
45.0	15.140	64.080	0.225	0.0485	0.9515	80.66	0.800	78.2400



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS****DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

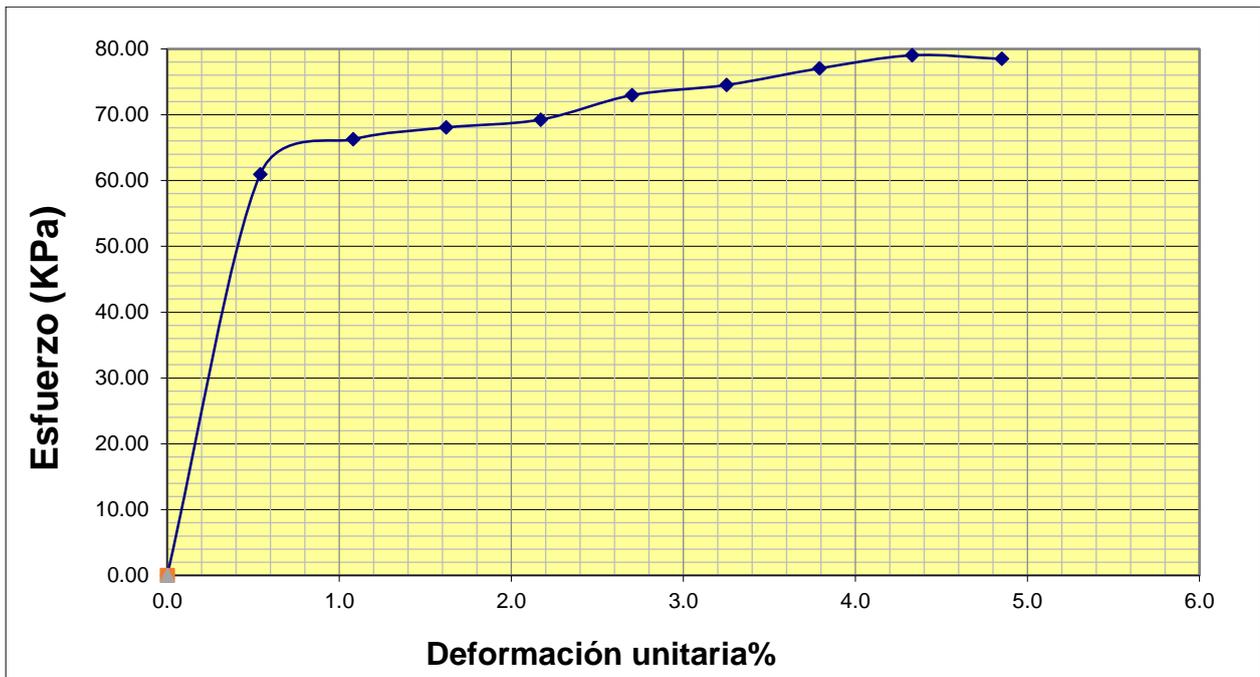
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.04
Peso del suelo húmedo + lata (g)	167.65
Peso del suelo seco + lata (g)	147.27
peso del agua (g)	20.38
peso del suelo seco (g)	120.23
% de humedad	16.95

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.874
Altura inicial	11.621
Área (m²)	76.57
Peso (g)	1845.54

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.57	0.000	0.0000
9.0	11.500	47.740	0.025	0.0054	0.9946	76.99	0.600	60.9300
12.0	12.490	52.180	0.050	0.0108	0.9892	77.41	0.670	66.2400
18.0	12.870	53.890	0.075	0.0162	0.9838	77.83	0.690	68.0400
24.0	13.150	55.150	0.100	0.0217	0.9783	78.27	0.710	69.2400
30.0	13.880	58.420	0.125	0.0270	0.9730	78.70	0.740	72.9500
34.0	14.230	59.990	0.150	0.0325	0.9675	79.15	0.760	74.5000
38.0	14.760	62.370	0.175	0.0379	0.9621	79.59	0.790	77.0200
44.0	15.200	64.350	0.200	0.0433	0.9567	80.04	0.810	79.0100
45.0	15.180	64.280	0.225	0.0485	0.9515	80.48	0.800	78.4600



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166**
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS**DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

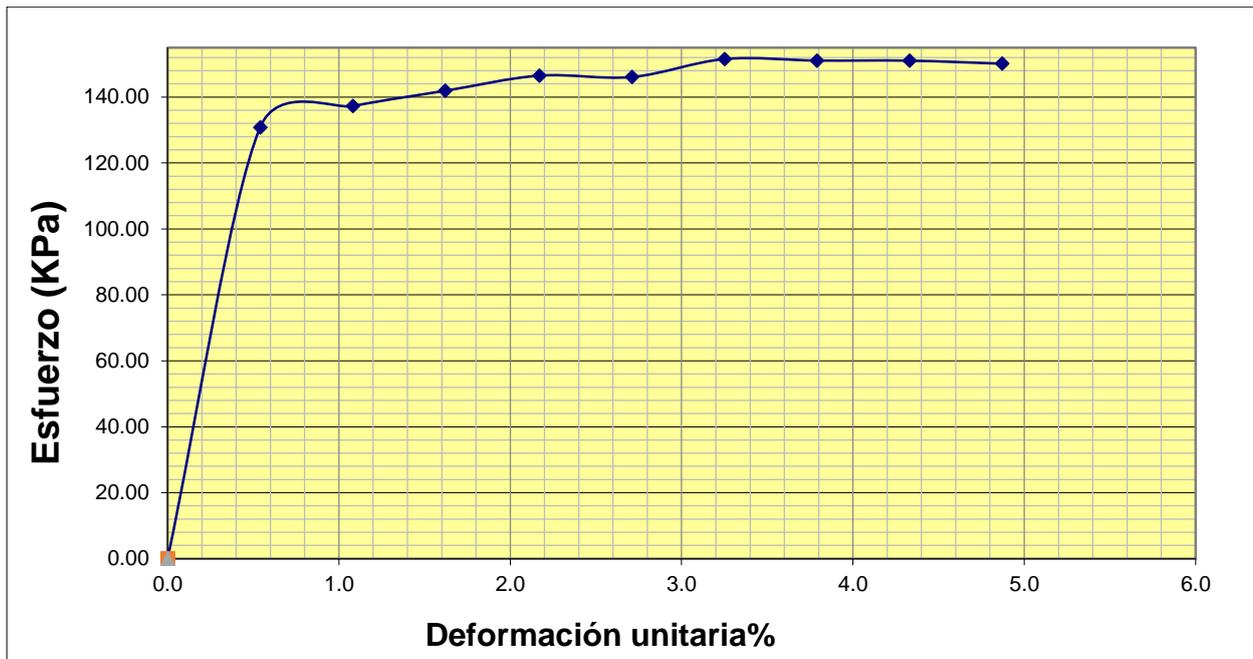
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.66
Peso del suelo húmedo + lata (g)	199.99
Peso del suelo seco + lata (g)	177.02
peso del agua (g)	22.97
peso del suelo seco (g)	149.33
% de humedad	15.35

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.89
Altura inicial	11.688
Área (m²)	76.82
Peso (g)	1815.95

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.82	0.000	0.00
9.0	23.620	102.120	0.025	0.0054	0.9946	77.24	1.330	130.79
15.0	24.870	107.730	0.050	0.0108	0.9892	77.66	1.400	137.22
19.0	25.820	111.990	0.075	0.0162	0.9838	78.09	1.450	141.87
23.0	26.770	116.250	0.100	0.0217	0.9783	78.53	1.490	146.46
27.0	26.840	116.570	0.125	0.0271	0.9729	78.96	1.490	146.04
33.0	27.960	121.590	0.150	0.0325	0.9675	79.40	1.540	151.49
37.0	28.030	121.900	0.175	0.0379	0.9621	79.85	1.540	151.03
41.0	28.180	122.580	0.200	0.0433	0.9567	80.30	1.540	151.00
45.0	28.170	122.530	0.225	0.0487	0.9513	80.75	1.530	150.09



Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**ASTM D2166
INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS****DATOS GENERALES**

PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis
MUESTRA:	Subrasante – Tipo CL
DIA DE CURADO:	7

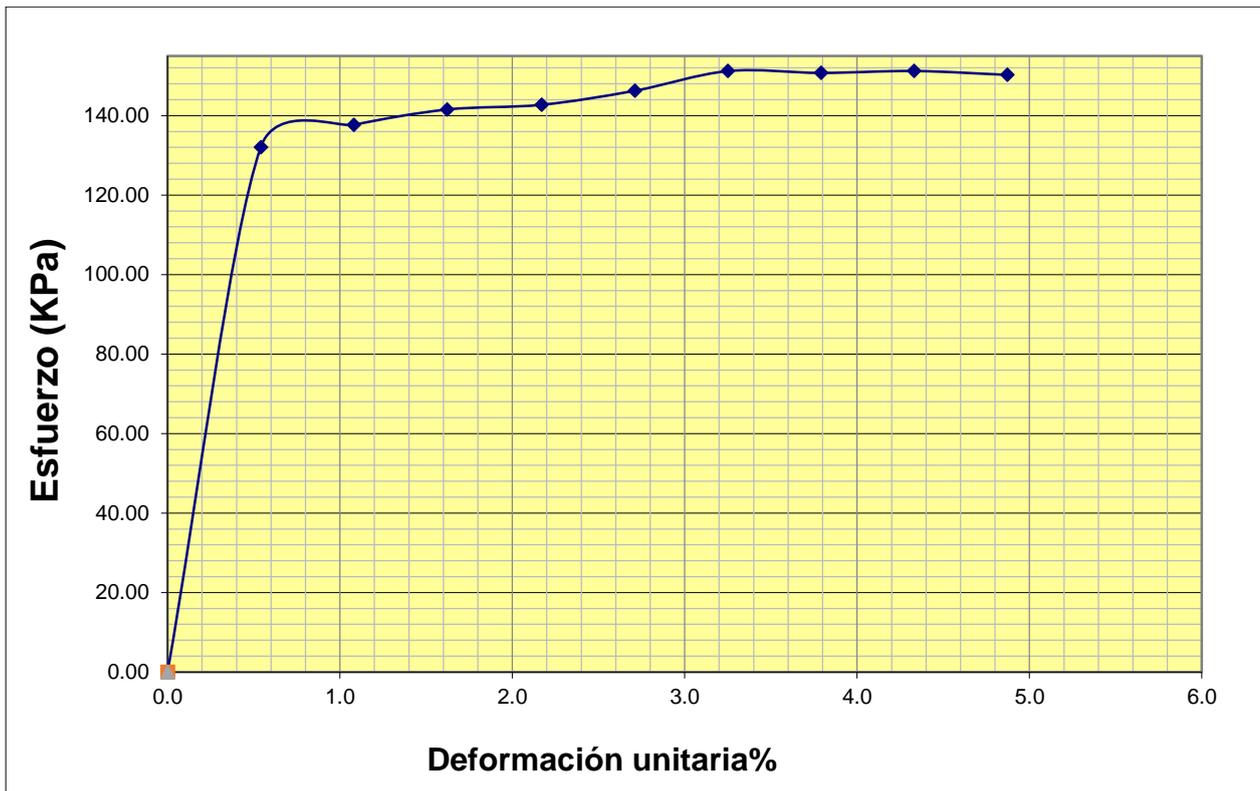
CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de la tara (g)	27.38
Peso del suelo húmedo + lata (g)	172.72
Peso del suelo seco + lata (g)	152.45
peso del agua (g)	20.27
peso del suelo seco (g)	125.07
% de humedad	16.22

DATOS DE LA PROBETA

Diámetro (cm)	9.874
Altura inicial	11.791
Área (m²)	76.57
Peso (g)	1859.5

TIEMPO	Carga		Deformación Vertical		1 - ϵ	Area corregida	Esfuerzo de compresión	
	Lectura de marco de carga	Carga aplicada (kg)	Dial LC -8 0.001"	Deformación unitaria			Kg/cm ²	Kpa
	N° de divisiones							
0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	76.15	0.000	0.0000
8.0	23.830	103.060	0.025	0.0054	0.9946	76.57	1.330	132.000
14.0	24.950	108.090	0.050	0.0108	0.9892	76.99	1.400	137.680
20.0	25.760	111.720	0.075	0.0162	0.9838	77.41	1.450	141.530
25.0	26.110	113.290	0.100	0.0217	0.9783	77.84	1.490	142.730
29.0	26.880	116.750	0.125	0.0271	0.9729	78.27	1.490	146.260
33.0	27.910	121.360	0.150	0.0325	0.9675	78.71	1.540	151.210
37.0	27.980	121.680	0.175	0.0379	0.9621	79.16	1.540	150.750
41.0	28.220	122.750	0.200	0.0433	0.9567	79.60	1.540	151.230
44.0	28.200	122.670	0.225	0.0487	0.9513	80.06	1.530	150.260



Fuente: Elaboración Propia.

1.7. CBR

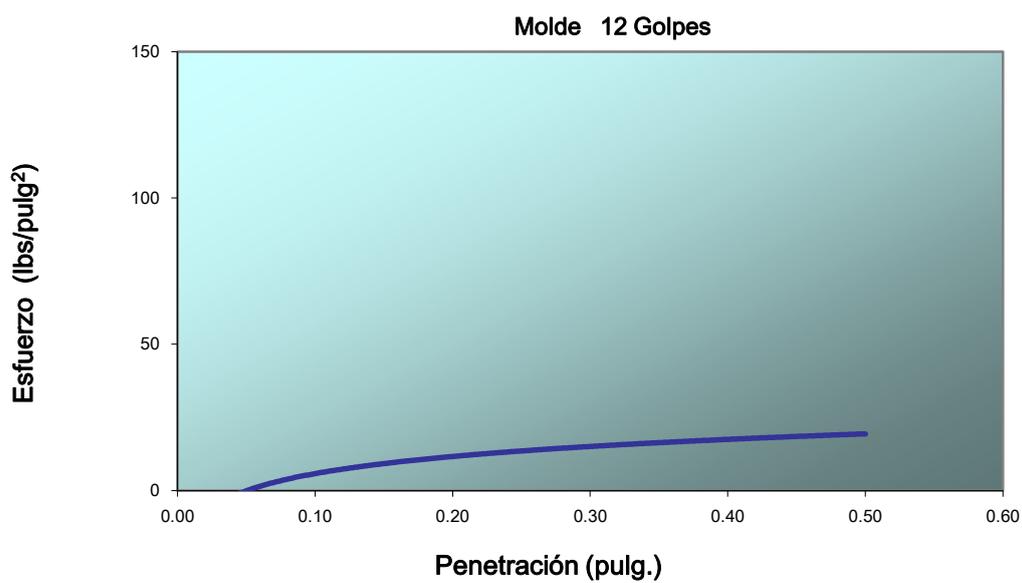
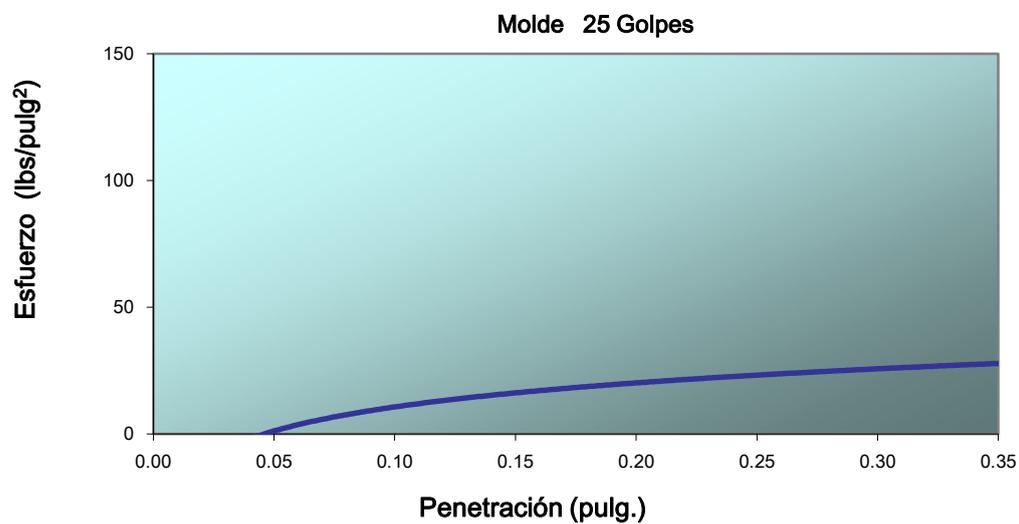
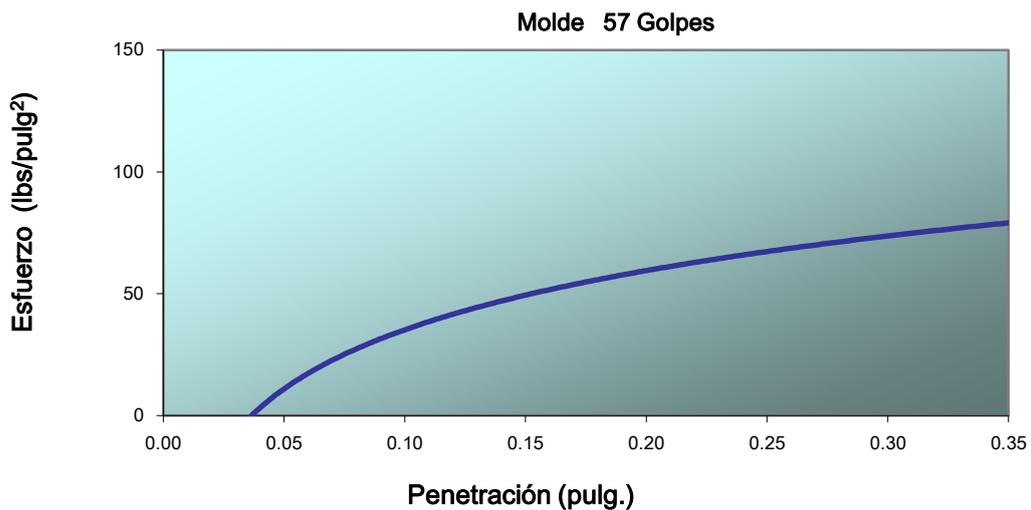
RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)			
NTP 339.145 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata N° 01		
PROFUNDIDAD:	1.50 metros		
METODO DE COMPACTACIÓN	MOLDES		
Molde N°	1	2	3
Número de Capas	5	5	5
Número de golpes por capas	56	25	12
Sobrecarga (gr)	8582	8582	8582
Muestra húmeda + Molde (gr.)	11690.00	11595.00	11420.00
Peso del Molde (gr.)	7244.00	7212.00	7188.00
Peso de la Muestra húmeda (gr.)	4446.00	4383.00	4232.00
Volumen de la Muestra (cm ³)	2084.99	2084.99	2084.99
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.13	2.10	2.03
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Muestra húmeda + Tara (gr.)	134.40	152.05	192.39
Muestra seca + Tara (gr.)	128.95	136.03	165.70
Peso del Agua (gr.)	5.45	16.02	26.69
Peso de la Tara (gr.)	27.63	27.31	27.52
Muestra Seca (gr.)	101.32	108.72	138.18
Contenido de Humedad (%)	5.38	14.74	19.32
Contenido de Humedad Promedio (%)	5.38	1.68	1.57
DENSIDAD SECA (gr./cm³)	1.99	1.68	1.57

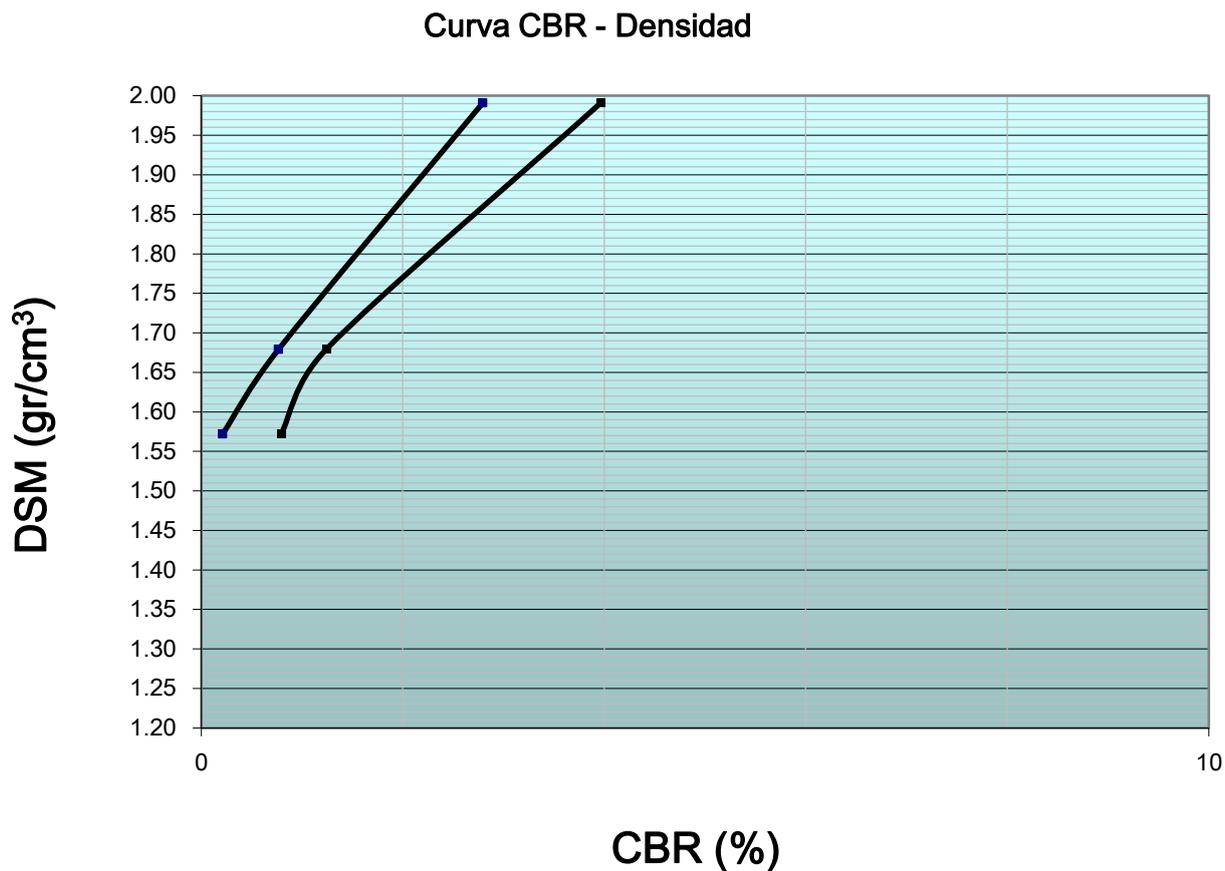
DATOS DE EXPANSIÓN								
Molde N°			1		2		3	
Sobrecarga (g)			4530		4530		4530	
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %
04-Oct	08:00	0	4.42	0.0000	4.80	0.0000	3.82	0.0000
05-Oct	08:00	24	5.77	1.3460	5.08	0.2780	4.07	0.2450
06-Oct	08:00	48	6.58	0.8130	5.41	0.3300	4.24	0.1710
07-Oct	08:00	72	7.06	0.4830	5.49	0.0760	4.31	0.0740
08-Oct	08:00	96	7.21	0.1520	5.51	0.0250	4.36	0.0490

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN									
Penetración (pulg)	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga	
		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²
0.025		0.0	0.0		0.0	0.00		0.00	0.00
0.050		46.8	14.9		5.2	1.66		1.52	0.48
0.075		61.1	19.4		12.9	4.11		4.89	1.56
0.100		87.8	27.9		24.1	7.67		6.70	2.13
0.125		110.6	35.2		28.0	8.92		12.24	3.89
0.150		130.3	41.5		36.7	11.68		20.55	6.54
0.175		143.1	45.5		44.1	14.05		24.93	7.94
0.200		187.0	59.5		58.5	18.62		37.43	11.92
0.300		248.0	79.0		59.7	28.54		52.49	16.71
0.400		282.4	89.9		102.2	32.54		61.24	19.49
0.500		317.8	101.2		123.1	39.18		73.88	23.52

GOLPES		56	25	12
C.B.R.	0.1	2.79%	0.77%	0.21%
	0.2	3.97%	1.24%	0.79%

Fuente: Elaboración Propia.





VALORES PROCTOR MODIFICADO:

DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.99**

HUMEDAD OPTIMA (%): **11.05**

95% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.89**

C.B.R. (%): **2.66** %

100% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.99**

C.B.R. (%): **3.51** %

Fuente: Elaboración Propia.

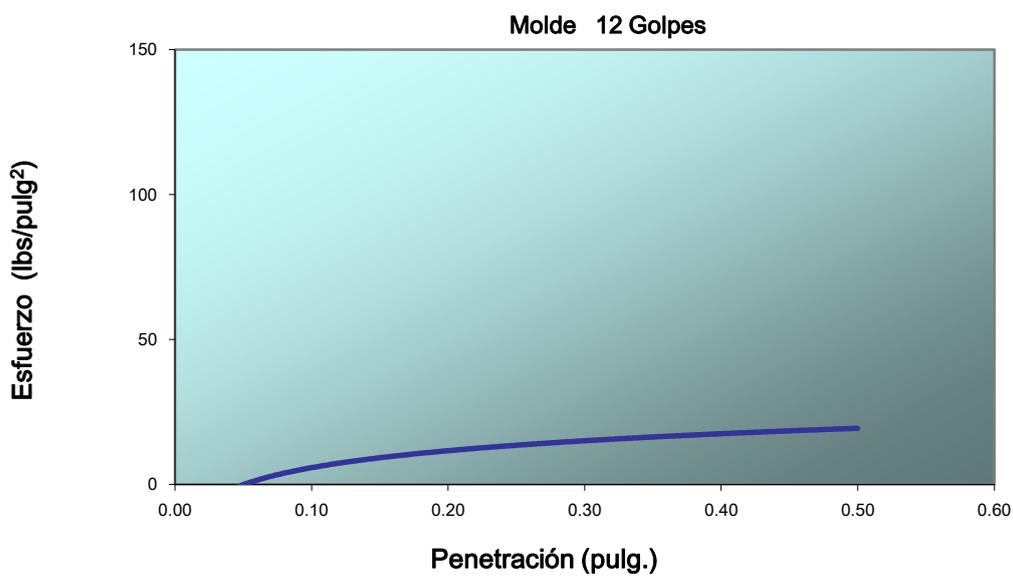
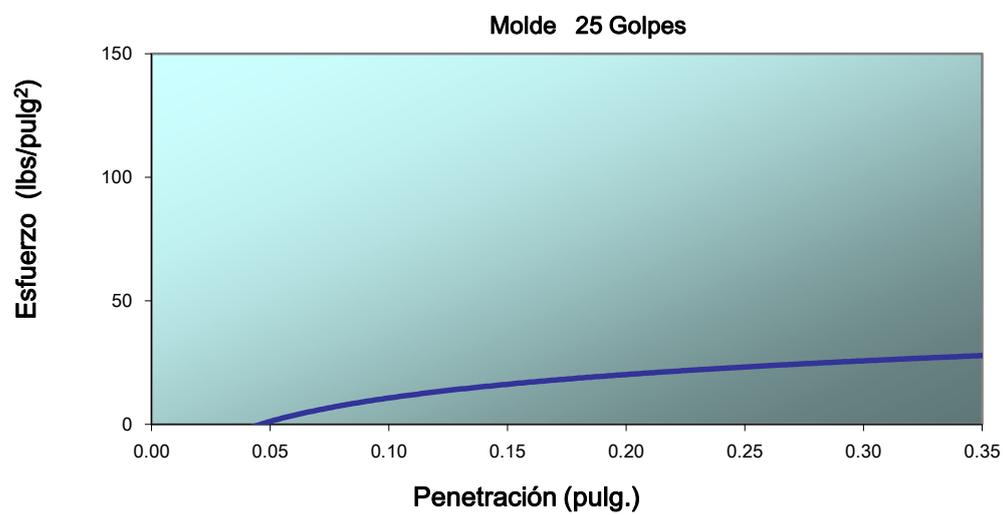
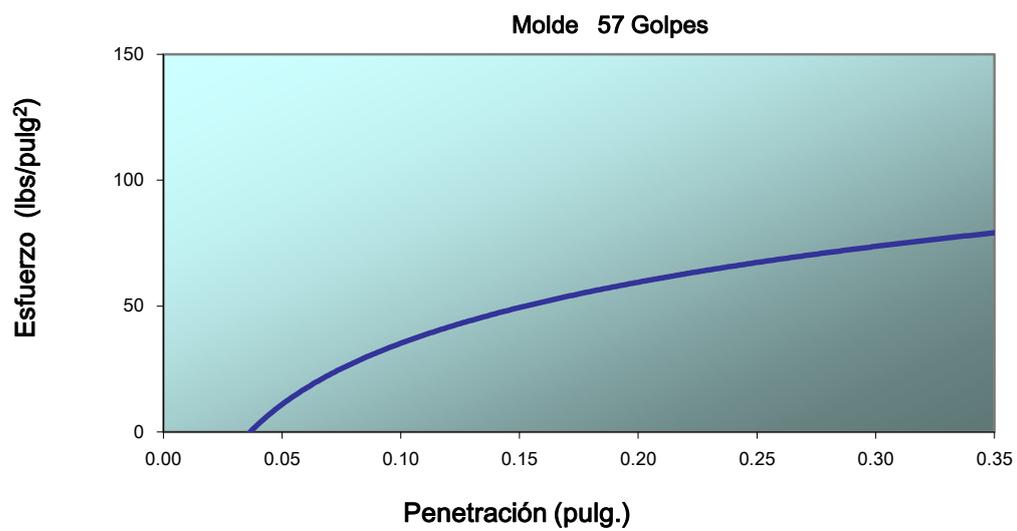
RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)			
NTP 339.145 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata N° 02		
PROFUNDIDAD:	1.50 metros		
METODO DE COMPACTACIÓN	MOLDES		
Molde N°	1	2	3
Número de Capas	5	5	5
Número de golpes por capas	56	25	12
Sobrecarga (gr)	8582	8582	8582
Muestra húmeda + Molde (gr.)	11825.00	11655.00	11170.00
Peso del Molde (gr.)	7195.00	7245.00	7185.00
Peso de la Muestra húmeda (gr.)	4630.00	4410.00	3985.00
Volumen de la Muestra (cm ³)	2084.99	2084.99	2084.99
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.22	2.12	1.91
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Muestra húmeda + Tara (gr.)	136.25	198.89	170.30
Muestra seca + Tara (gr.)	130.40	160.87	137.23
Peso del Agua (gr.)	5.85	38.02	33.07
Peso de la Tara (gr.)	27.65	27.59	27.38
Muestra Seca (gr.)	102.75	133.28	109.85
Contenido de Humedad (%)	0.06	0.29	0.30
Contenido de Humedad Promedio (%)	5.69	28.53	30.10
DENSIDAD SECA (gr./cm³)	1.96	1.48	1.25

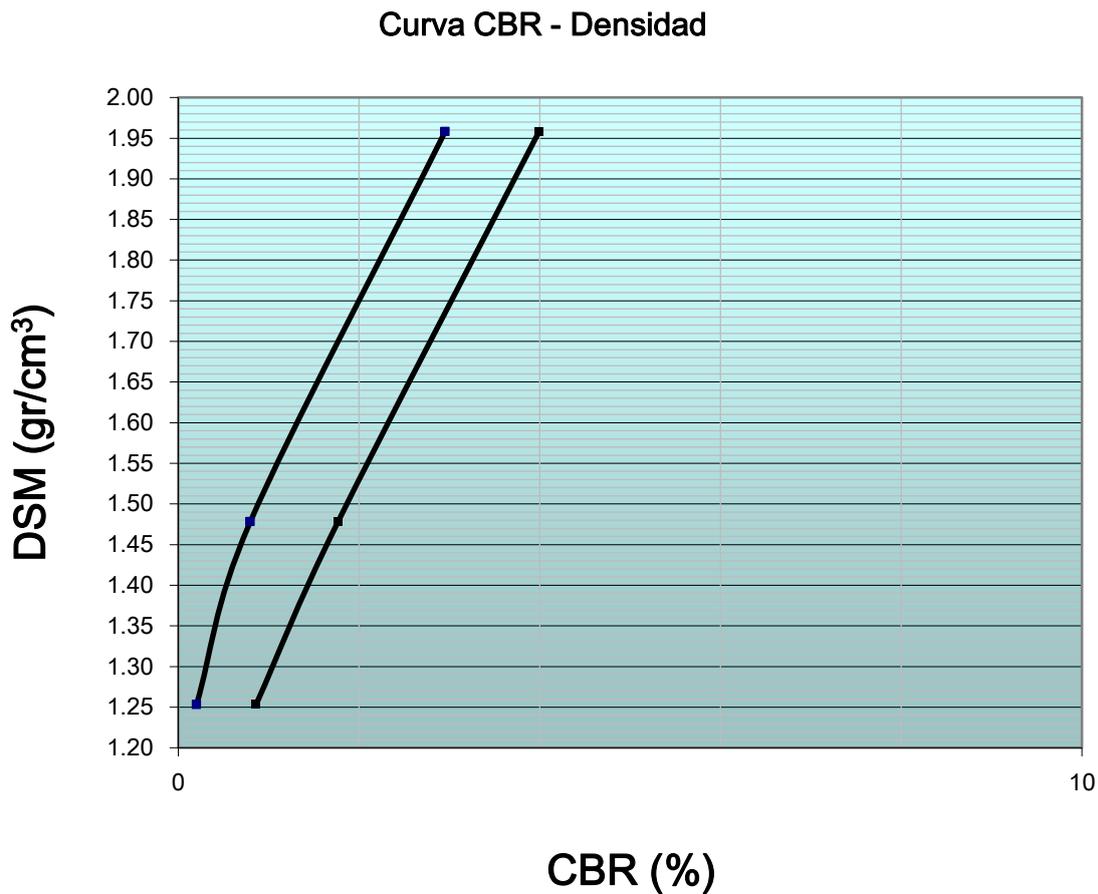
DATOS DE EXPANSIÓN								
Molde N°			1		2		3	
Sobrecarga (g)			4530		4530		4530	
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %
04-Oct	09:00	0	0.60	0.0000	2.58	0.0000	1.09	0.0000
05-Oct	09:00	24	1.74	1.1400	4.37	1.7910	1.41	0.3220
06-Oct	09:00	48	2.38	0.6440	4.66	0.2870	1.65	0.2360
07-Oct	09:00	72	2.76	0.3710	4.72	0.0550	1.71	0.0650
08-Oct	09:00	96	3.65	0.8900	4.75	0.0310	1.75	0.0380

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN									
Penetración (pulg)	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga	
		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²
0.025		0.0	0.0		0.0	0.00		0.00	0.00
0.050		51.4	16.4		7.2	2.30		1.85	0.59
0.075		65.7	20.9		13.9	4.43		4.94	1.57
0.100		92.8	29.5		25.1	7.98		6.37	2.03
0.125		117.3	37.3		30.8	9.80		10.76	3.42
0.150		129.4	41.2		38.8	12.34		17.39	5.54
0.175		143.0	45.5		52.9	16.84		22.00	7.00
0.200		188.1	59.9		83.3	26.52		40.61	12.93
0.300		2329.1	72.9		89.8	28.57		45.33	14.43
0.400		261.1	83.1		103.9	33.07		51.10	16.27
0.500		315.8	100.5		118.5	37.73		65.94	20.99

GOLPES		56	25	12
C.B.R.	0.1	2.95%	0.80%	0.20%
	0.2	3.99%	1.77%	0.86%

Fuente: Elaboración Propia.





VALORES PROCTOR MODIFICADO:

DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.94**

HUMEDAD OPTIMA (%): **12.60**

95% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.84**

C.B.R. (%): **3.05** %

100% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.94**

C.B.R. (%): **3.70** %

Fuente: Elaboración Propia.

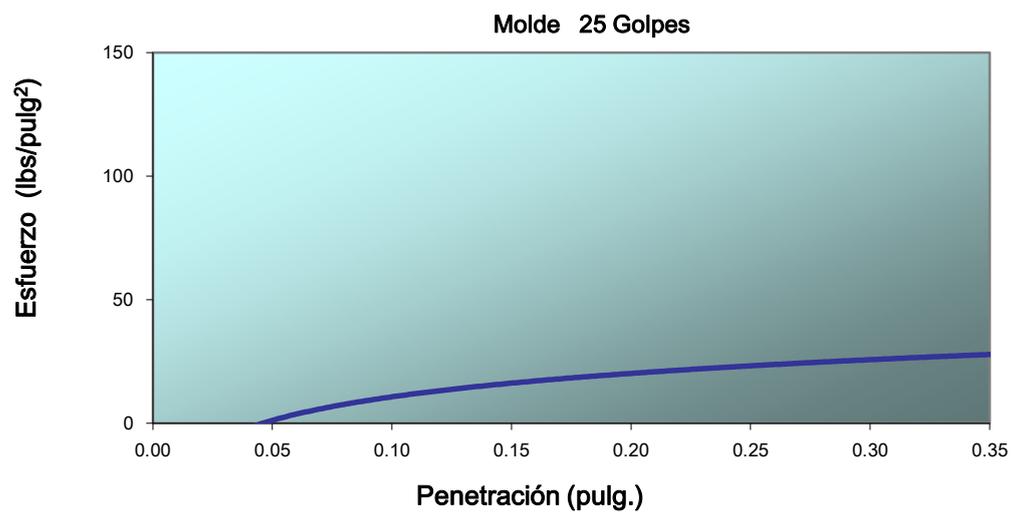
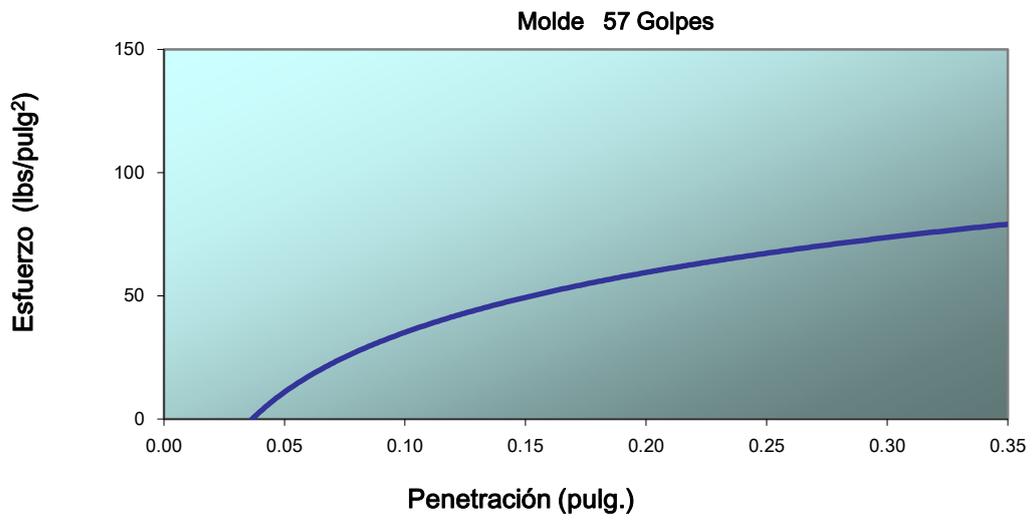
RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)			
NTP 339.145 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata N° 03		
PROFUNDIDAD:	1.50 metros		
METODO DE COMPACTACIÓN	MOLDES		
Molde N°	1	2	3
Número de Capas	5	5	5
Número de golpes por capas	56	25	12
Sobrecarga (gr)	8575	8575	8575
Muestra húmeda + Molde (gr.)	11740.00	11555.00	11100.00
Peso del Molde (gr.)	7185.00	7190.00	7055.00
Peso de la Muestra húmeda (gr.)	4555.00	4365.00	4045.00
Volumen de la Muestra (cm ³)	2084.99	2084.99	2084.99
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.18	2.09	1.94
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Muestra húmeda + Tara (gr.)	164.32	147.76	148.11
Muestra seca + Tara (gr.)	148.53	119.42	117.37
Peso del Agua (gr.)	15.79	28.34	30.74
Peso de la Tara (gr.)	27.43	27.33	27.31
Muestra Seca (gr.)	121.10	92.09	90.06
Contenido de Humedad (%)	13.04	30.77	34.13
Contenido de Humedad Promedio (%)	13.04	30.77	34.13
DENSIDAD SECA (gr./cm³)	1.83	1.48	1.27

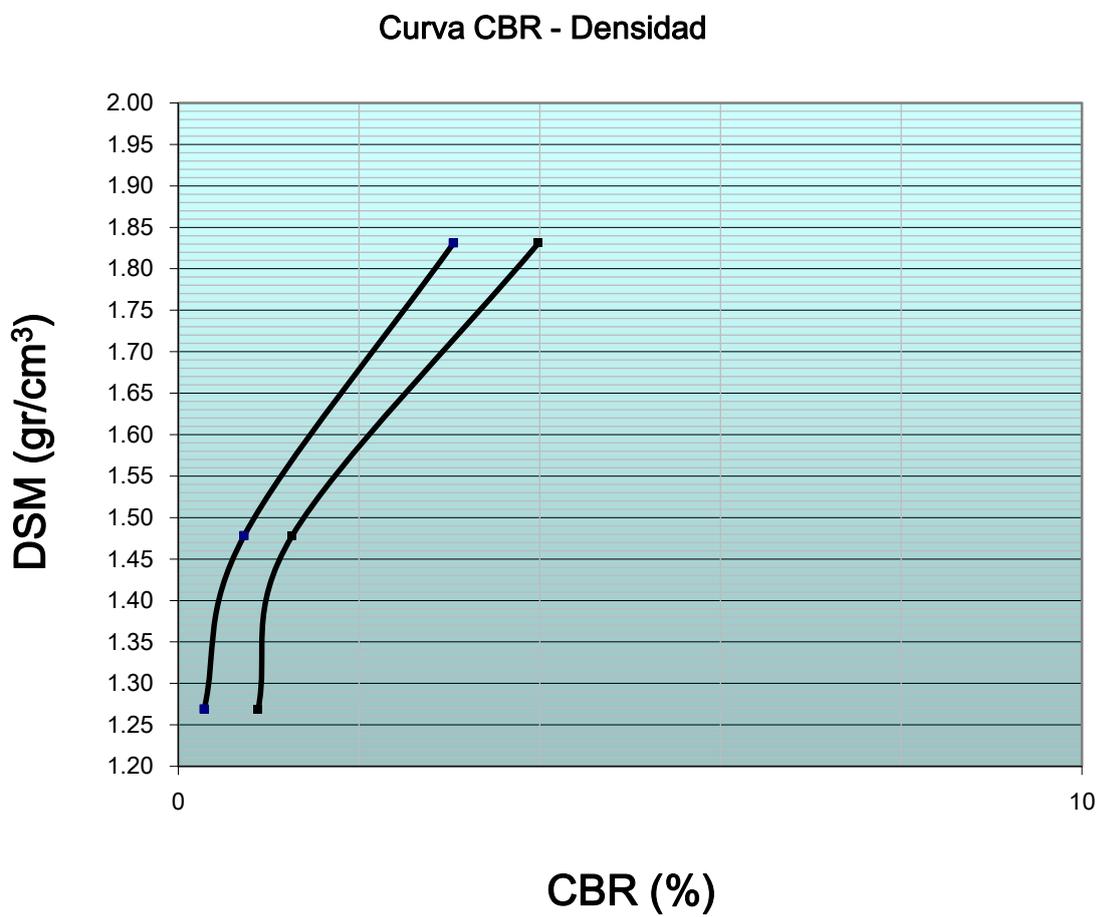
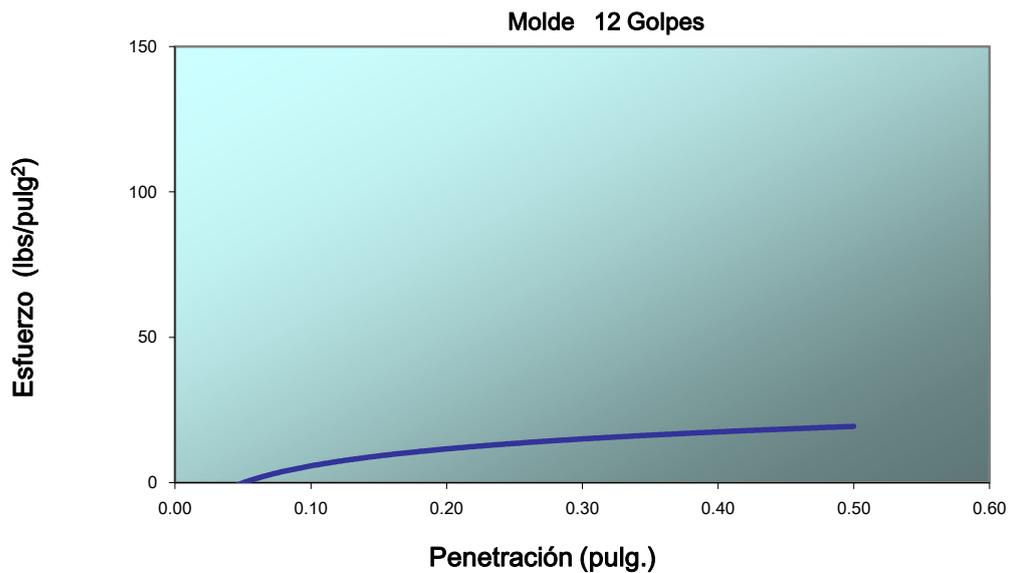
DATOS DE EXPANSIÓN								
Molde N°			1		2		3	
Sobrecarga (g)			4530		4530		4530	
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %
04-Oct	10:00	0	0.29	0.0000	0.09	0.0000	0.08	0.0000
05-Oct	10:00	24	0.61	0.3270	0.30	0.2060	1.41	1.3290
06-Oct	10:00	48	1.33	0.7220	0.65	0.3460	2.38	0.9650
07-Oct	10:00	72	1.86	0.5280	0.74	0.0980	2.44	0.0630
08-Oct	10:00	96	2.05	0.1830	0.77	0.0210	2.48	0.0370

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN									
Penetración (pulg)	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga	
		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²
0.025		0.0	0.0		0.0	0.00		0.00	0.00
0.050		60.1	19.1		7.2	2.30		0.79	0.25
0.075		71.0	22.6		11.9	3.80		7.36	2.34
0.100		95.8	30.5		23.0	7.31		9.08	2.89
0.125		115.9	36.9		30.6	9.75		15.32	4.88
0.150		136.0	43.3		38.9	12.39		23.59	7.51
0.175		149.6	47.6		52.3	16.63		27.29	8.69
0.200		187.6	59.8		59.5	18.94		41.76	13.29
0.300		235.7	75.0		91.7	29.19		54.15	17.24
0.400		258.8	82.4		106.8	34.01		66.40	21.14
0.500		326.9	104.1		126.7	40.32		72.27	23.00

GOLPES		56	25	12
C.B.R.	0.1	3.05%	0.73%	0.29%
	0.2	3.99%	1.26%	0.89%

Fuente: Elaboración Propia.





VALORES PROCTOR MODIFICADO:DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.83**HUMEDAD OPTIMA (%): **14.18**95% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.74**C.B.R. (%): **2.98** %100% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **1.83**C.B.R. (%): **3.65** %

Fuente: Elaboración Propia.

RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)			
NTP 339.145 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata N° 01 + 10% POLÍMEROS PET Y CENIZAS DE CARBÓN		
PROFUNDIDAD:	1.50 metros		
METODO DE COMPACTACIÓN	MOLDES		
Molde N°	1	2	3
Número de Capas	5	5	5
Número de golpes por capas	56	25	12
Sobrecarga (gr)	8582	8582	8582

Muestra húmeda + Molde (gr.)	11720.00	11610.00	11510.00
Peso del Molde (gr.)	7194.00	7190.00	7194.00
Peso de la Muestra húmeda (gr.)	4526.00	4416.00	4316.00
Volumen de la Muestra (cm ³)	2084.99	2084.99	2084.99
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.17	2.12	2.07
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Muestra húmeda + Tara (gr.)	138.15	161.27	179.54
Muestra seca + Tara (gr.)	136.75	141.12	153.82
Peso del Agua (gr.)	11.40	20.15	25.72
Peso de la Tara (gr.)	27.22	28.76	28.02
Muestra Seca (gr.)	109.53	112.36	125.80
Contenido de Humedad (%)	1.28	17.93	20.48
Contenido de Humedad Promedio (%)	1.28	17.93	20.48
DENSIDAD SECA (gr./cm³)	2.01	1.64	1.40

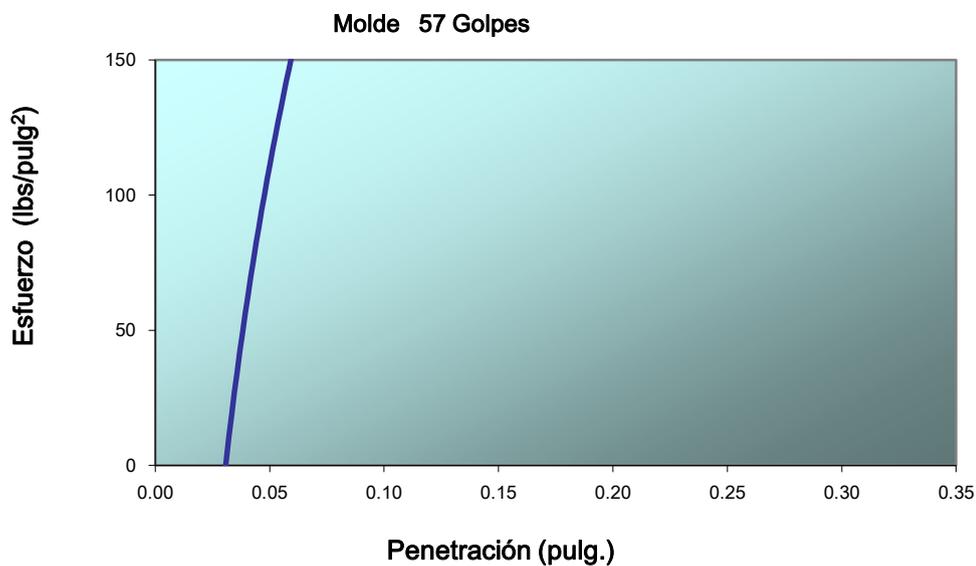
DATOS DE EXPANSIÓN								
Molde N°			1		2		3	
Sobrecarga (g)			4530		4530		4530	
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %
04-Oct	11:00	0	5.61	0.0000	5.81	0.0000	5.15	0.0000
05-Oct	11:00	24	6.38	0.7620	5.84	0.0350	6.13	0.9800
06-Oct	11:00	48	7.87	1.4990	6.00	0.1520	6.62	0.4900
07-Oct	11:00	72	8.28	0.4060	6.02	0.0250	6.89	0.2700
08-Oct	11:00	96	8.41	0.1270	6.07	0.0510	6.98	0.0980

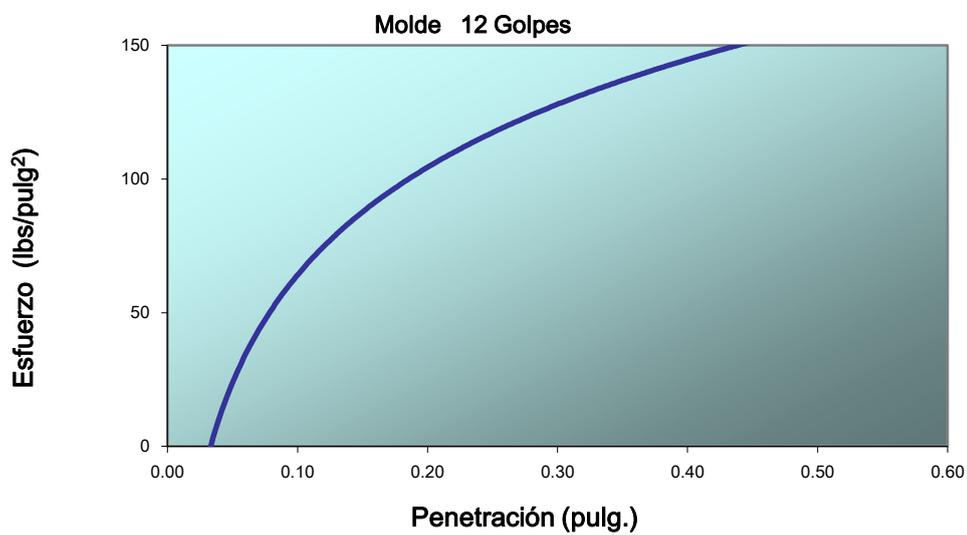
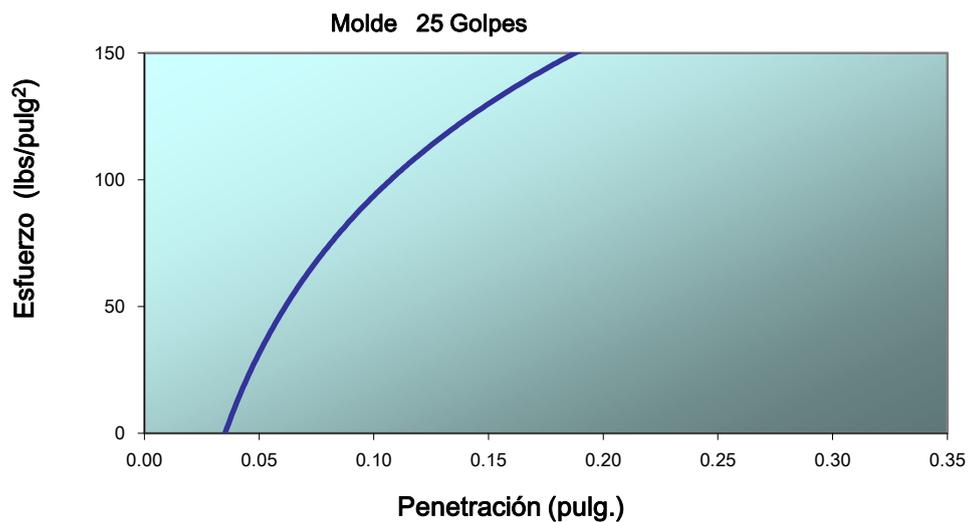
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN									
Penetración (pulg)	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga	
		lbs	lb/plg²		lbs	lb/plg²		lbs	lb/plg²
0.025		0.0	0.0		0.0	0.00		0.00	0.00
0.050		460.3	146.5		143.8	45.77		119.36	37.99
0.075		564.8	179.8		187.6	59.72		139.60	44.43

0.100		747.1	237.8		254.8	81.11		150.44	47.89
0.125		884.1	281.4		278.4	88.60		183.64	58.46
0.150		1002.4	319.1		330.5	105.19		233.51	74.33
0.175		1078.9	343.4		375.1	119.38		259.84	81.71
0.200		1389.9	442.4		461.3	146.83		334.84	106.58
0.300		1708.6	543.9		648.2	206.33		425.18	135.34
0.400		1914.8	609.5		723.6	230.33		477.70	152.06
0.500		2127.5	677.2		848.7	270.16		553.49	176.18

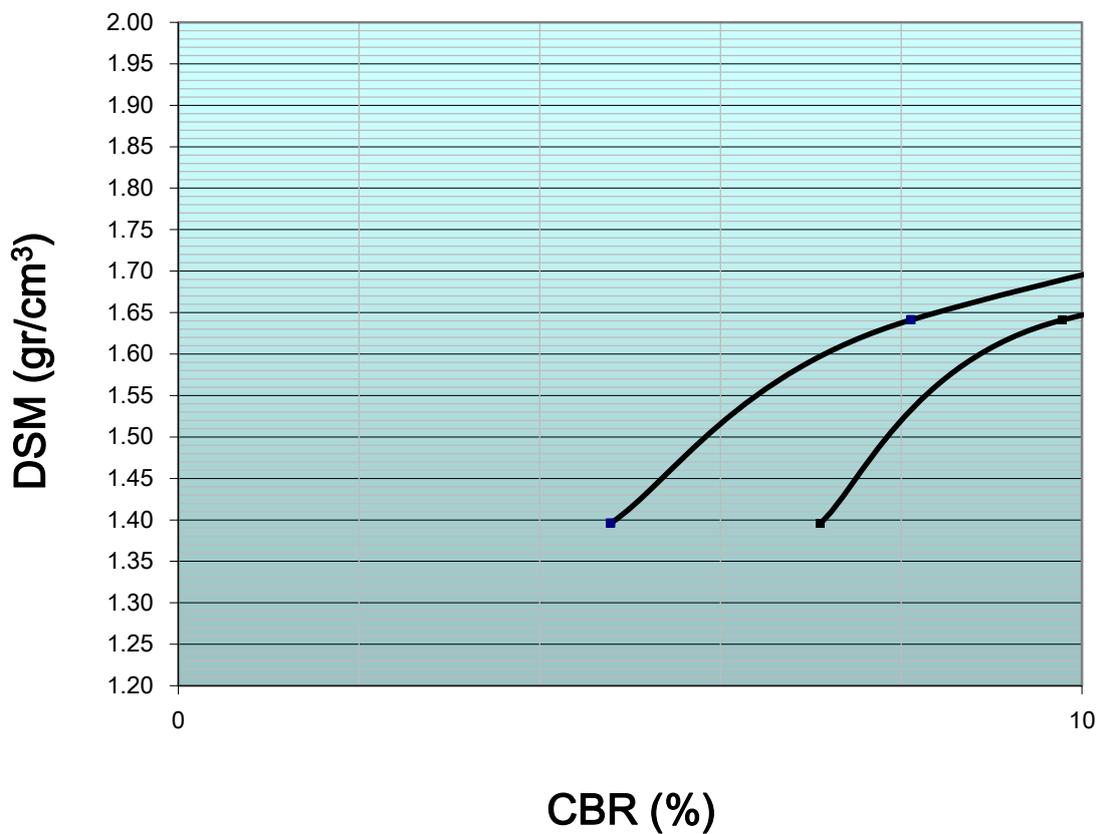
GOLPES		56	25	12
C.B.R.	0.1	23.78%	8.11%	4.79%
	0.2	29.50%	9.79%	7.11%

Fuente: Elaboración Propia.





Curva CBR - Densidad



VALORES PROCTOR MODIFICADO:

DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): 2.09
 HUMEDAD OPTIMA (%): 13.60

95% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): 1.99
 C.B.R. (%): 22.50 %

100% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): 2.09
 C.B.R. (%): 27.50 %

Fuente: Elaboración Propia.

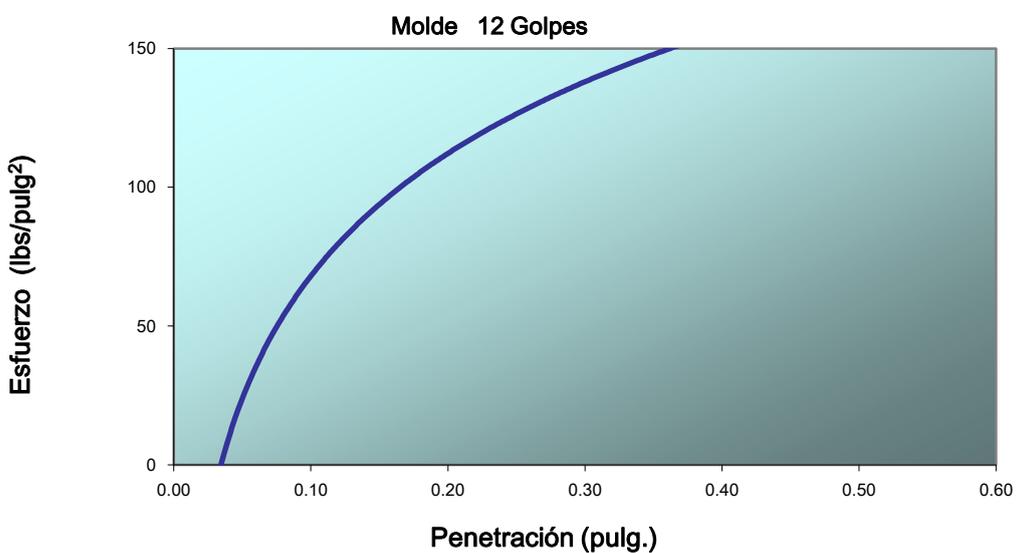
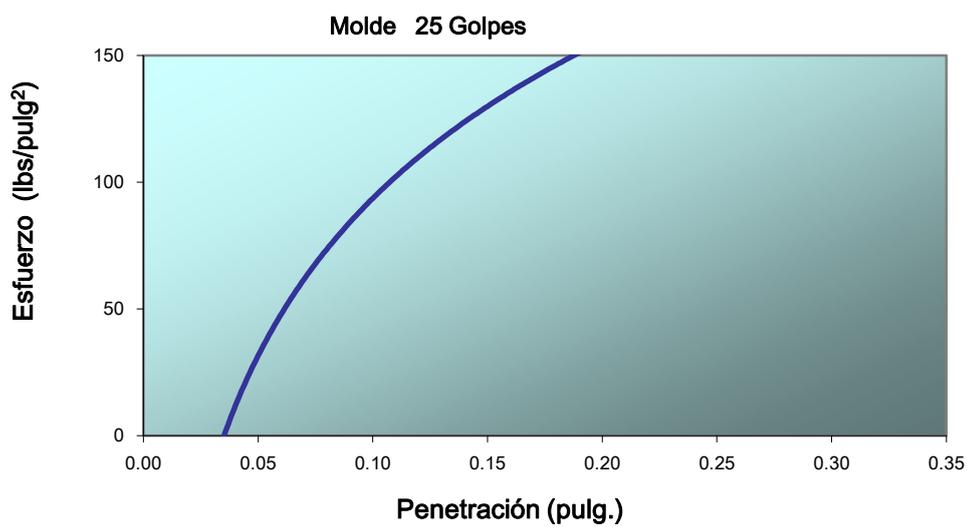
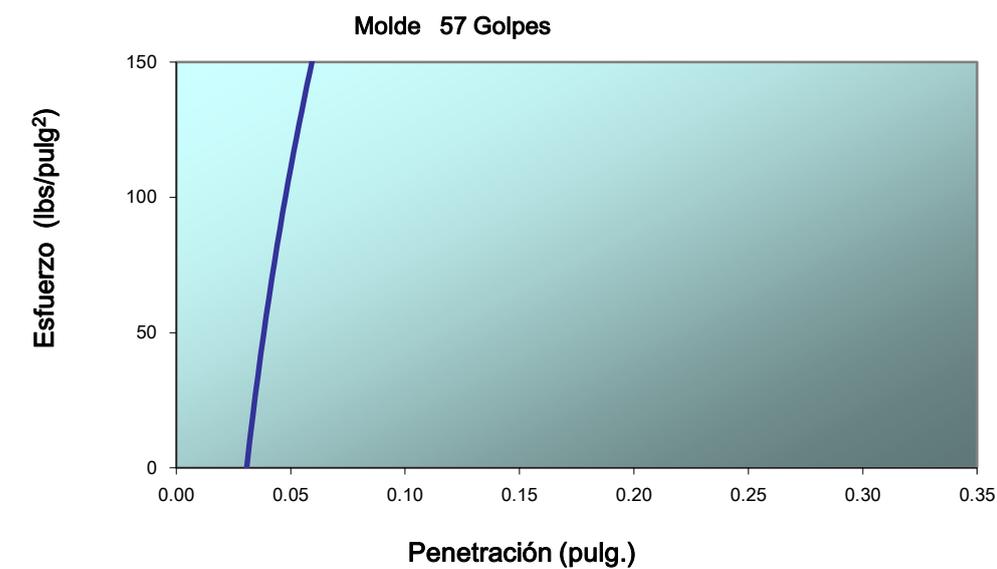
RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)			
NTP 339.145 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita		
	Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata N° 02 + 10% POLÍMEROS PET Y CENIZAS DE CARBÓN		
PROFUNDIDAD:	1.50 metros		
METODO DE COMPACTACIÓN	MOLDES		
Molde N°	1	2	3
Número de Capas	5	5	5
Número de golpes por capas	56	25	12
Sobrecarga (gr)	8550	8550	8550
Muestra húmeda + Molde (gr.)	11895.00	11745.00	11425.00
Peso del Molde (gr.)	7194.00	7194.00	7194.00
Peso de la Muestra húmeda (gr.)	4701.00	4551.00	4231.00
Volumen de la Muestra (cm ³)	2084.99	2084.99	2084.99
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.25	2.18	2.03
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Muestra húmeda + Tara (gr.)	167.63	199.99	186.15
Muestra seca + Tara (gr.)	162.12	177.02	155.45
Peso del Agua (gr.)	5.51	22.97	30.70
Peso de la Tara (gr.)	27.69	27.66	27.41
Muestra Seca (gr.)	134.43	149.36	128.04
Contenido de Humedad (%)	4.10	15.38	23.98
Contenido de Humedad Promedio (%)	4.10	15.38	23.98
DENSIDAD SECA (gr./cm³)	2.10	1.72	1.53

DATOS DE EXPANSIÓN								
Molde N°			1		2		3	
Sobrecarga (g)			4530		4530		4530	
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %
04-Oct	12:00	0	4.57	0.0000	5.32	0.0000	5.15	0.0000
05-Oct	12:00	24	4.95	0.3810	5.56	0.2460	6.13	0.9800
06-Oct	12:00	48	5.72	0.7620	5.74	0.1780	6.62	0.4900
07-Oct	12:00	72	6.60	0.8890	5.97	0.2290	6.89	0.2700
08-Oct	12:00	96	6.94	0.3300	6.02	0.0510	6.98	0.0980

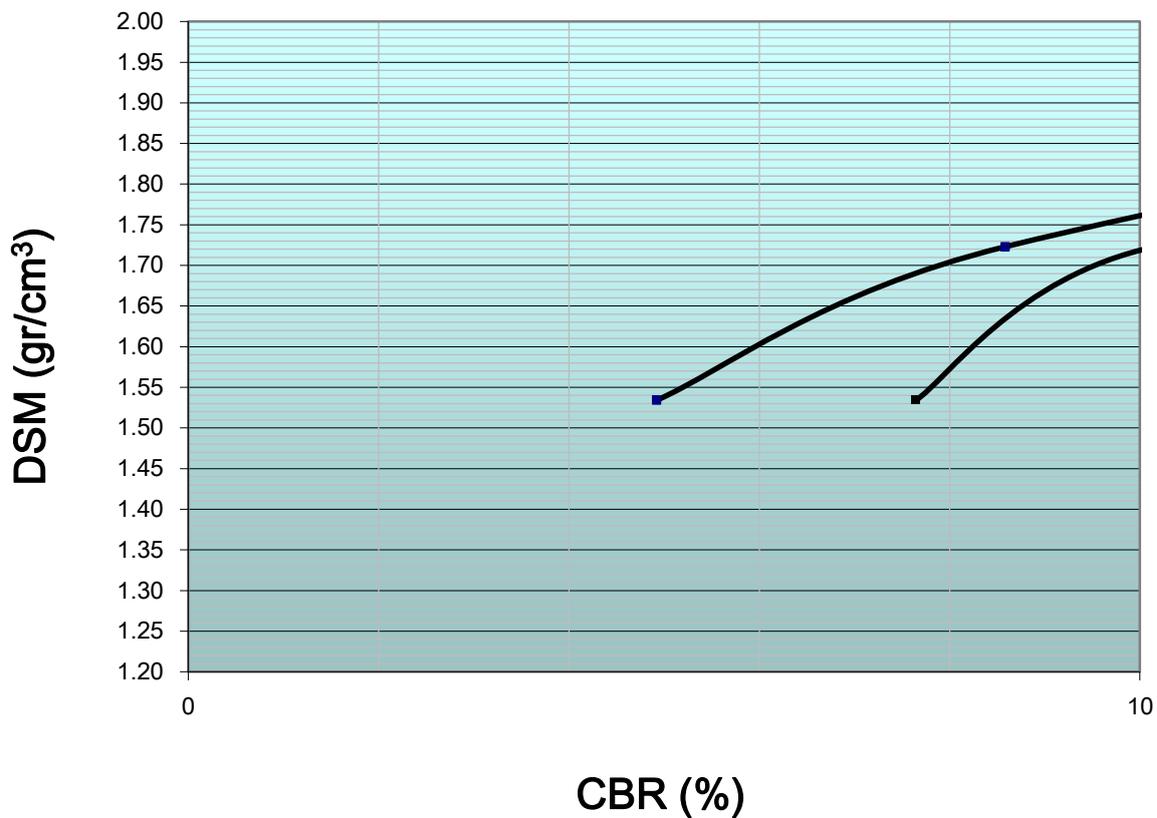
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN									
Penetración (pulg)	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga	
		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²
0.025		0.0	0.0		0.0	0.00		0.00	0.00
0.050		515.0	163.9		146.1	46.49		121.63	38.72
0.075		626.3	199.4		201.1	64.00		143.70	45.74
0.100		770.9	245.4		269.7	85.85		154.59	49.21
0.125		928.3	295.5		290.0	92.32		197.84	62.98
0.150		1022.9	325.6		332.9	105.98		239.51	76.24
0.175		1082.8	344.7		386.8	123.14		265.02	84.36
0.200		1444.5	459.8		478.8	152.42		360.26	114.67
0.300		1766.4	562.3		681.1	216.80		477.43	151.97
0.400		1969.2	626.8		769.4	244.92		517.53	164.74
0.500		2160.8	687.8		905.1	288.10		595.58	189.58

GOLPES		56	25	12
C.B.R.	0.1	24.54%	8.59%	4.92%
	0.2	30.65%	10.16%	7.64%

Fuente: Elaboración Propia.



Curva CBR - Densidad

**VALORES PROCTOR MODIFICADO:**DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): **2.09**HUMEDAD OPTIMA (%): **15.70****95% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): 1.98****C.B.R. (%): 23.50 %****100% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³): 2.09****C.B.R. (%): 29.80 %**

Fuente: Elaboración Propia.

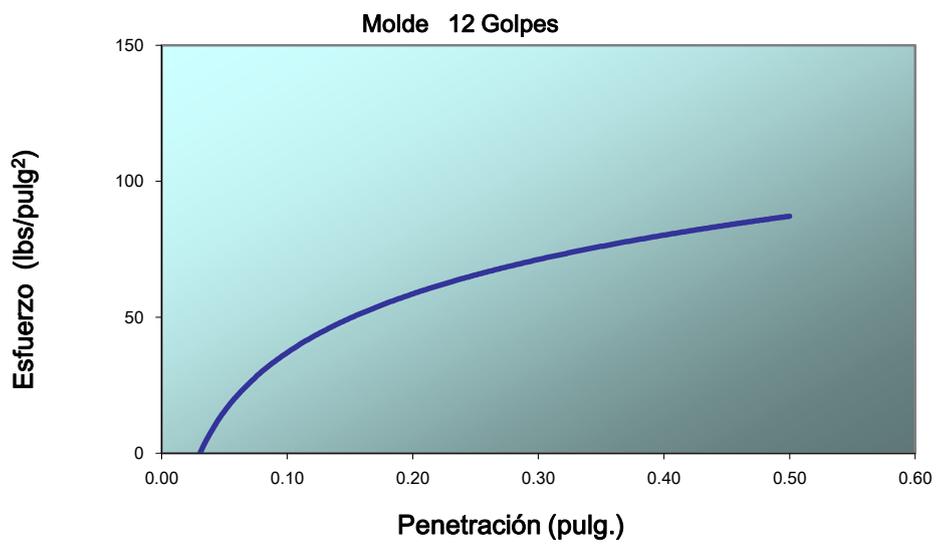
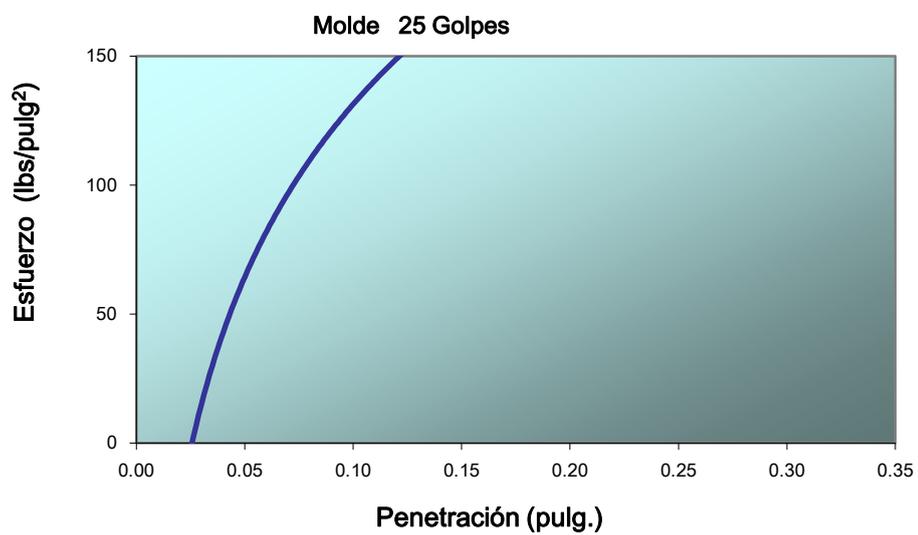
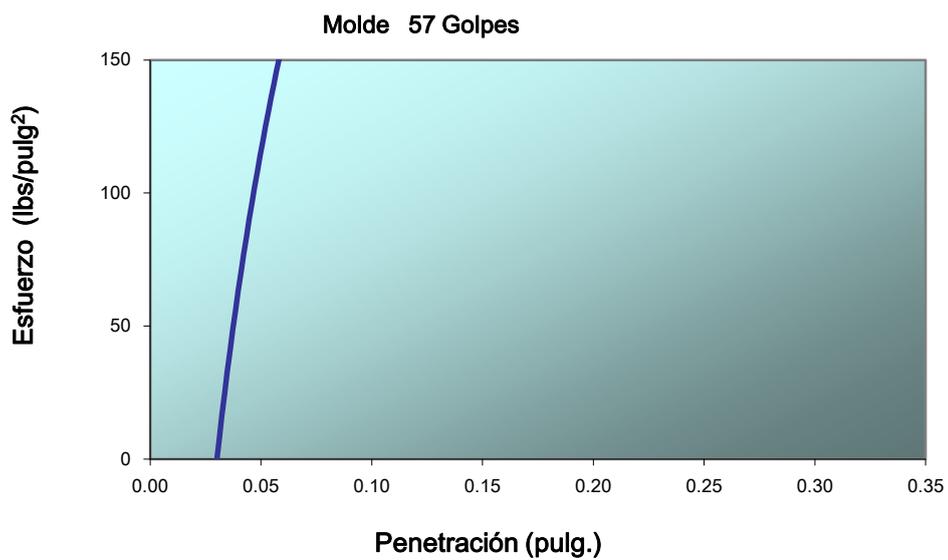
RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)			
NTP 339.145 INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS			
<u>DATOS GENERALES</u>			
PROYECTO:	Influencia del porcentaje PET y cenizas de carbón con fines de estabilización de subrasante para un pavimento, aplicado en el sector Barraza, Laredo, Trujillo – La Libertad.		
UBICACIÓN:	Sector Barraza, Laredo, Trujillo - La Libertad		
RESPONSABLE:	Br. García Rojas, Daniela Margarita Br. Marquina Villanueva, Luis		
MUESTRA:	Calicata N° 03 + 10% POLÍMEROS PET Y CENIZAS DE CARBÓN		
PROFUNDIDAD:	1.50 metros		
METODO DE COMPACTACIÓN	MOLDES		
Molde N°	1	2	3
Número de Capas	5	5	5
Número de golpes por capas	56	25	12
Sobrecarga (gr)	8550	8550	8550
Muestra húmeda + Molde (gr.)	11850.00	11645.00	11425.00
Peso del Molde (gr.)	7194.00	7194.00	7194.00
Peso de la Muestra húmeda (gr.)	4656.00	4551.00	4231.00
Volumen de la Muestra (cm ³)	2084.99	2084.99	2084.99
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.23	2.13	2.03
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Muestra húmeda + Tara (gr.)	131.78	172.72	185.32
Muestra seca + Tara (gr.)	129.11	149.45	160.42
Peso del Agua (gr.)	2.67	23.27	24.90
Peso de la Tara (gr.)	27.48	27.38	27.31
Muestra Seca (gr.)	101.63	122.07	133.11
Contenido de Humedad (%)	2.63	19.06	18.71
Contenido de Humedad Promedio (%)	2.63	19.06	18.71
DENSIDAD SECA (gr./cm³)	2.06	1.67	1.59

DATOS DE EXPANSIÓN								
Molde N°			1		2		3	
Sobrecarga (g)			4530		4530		4530	
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %	Lectura mm	Hincham. %
04-Oct	1:00 pm	0	3.30	0.0000	2.70	0.0000	2.94	0.0000
05-Oct	1:00 pm	24	3.61	0.3050	4.32	1.6230	3.06	0.1230
06-Oct	1:00 pm	48	5.00	1.3970	5.33	1.0160	3.16	0.0980
07-Oct	1:00 pm	72	5.21	0.2030	5.74	0.4060	3.46	0.2940
08-Oct	1:00 pm	96	5.49	0.2790	5.82	0.0760	3.58	0.1230

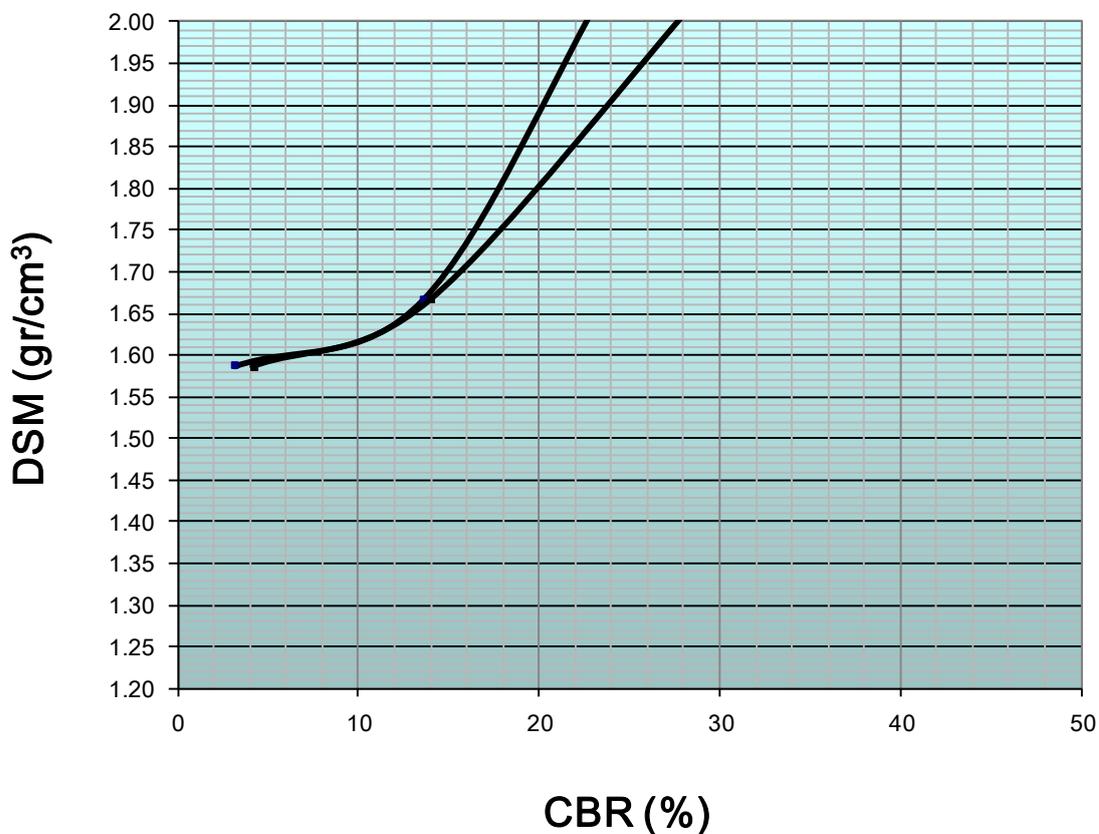
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN									
Penetración (pulg)	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga		Lectura dial	Ensayo Carga	
		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²		lbs	lb/plg ²
0.025		0.0	0.0		0.0	0.00		0.00	0.00
0.050		487.7	155.2		157.7	50.21		65.90	20.98
0.075		595.6	189.6		309.0	98.36		84.26	26.82
0.100		759.0	241.6		426.3	135.70		98.72	31.42
0.125		906.2	288.5		502.4	159.92		113.21	36.03
0.150		1012.6	322.3		551.5	175.56		133.86	42.61
0.175		1075.4	342.3		585.2	186.27		156.81	49.92
0.200		1417.2	451.1		65732.0	209.21		195.18	62.13
0.300		1737.5	553.1		756.3	240.74		226.39	72.06
0.400		1942.0	618.2		817.7	260.29		260.81	83.02
0.500		2144.1	682.5		871.0	277.26		296.85	94.49

GOLPES		56	25	12
C.B.R.	0.1	24.16%	13.57%	3.14%
	0.2	30.07%	13.95%	4.14%

Fuente: Elaboración Propia.



Curva CBR - Densidad

**VALORES PROCTOR MODIFICADO:**DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm^3): **2.03**HUMEDAD OPTIMA (%): **15.60**95% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm^3): **1.93**C.B.R. (%): **23.40** %100% DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm^3): **2.03**C.B.R. (%): **28.00** %

Fuente: Elaboración Propia.

2. Panel Fotográfico

Foto N° 1

Ubicación de la zona estudiada desde Google Earth.



Foto N° 2

Ubicación de la zona estudiada desde Google Earth.



Foto N° 3

Ubicación de la zona estudiada desde Google Earth.

**Foto N° 4**

Ubicación de la zona estudiada desde Google Earth.



Foto N° 5*Sector Barraza.*

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 6*Sector Barraza.*

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 7

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 8

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 9

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 10

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 11

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 12

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 13

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 14

Sector Barraza.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 15

Ubicación de donde se hará las calicatas.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 16

Inicio de la excavación de la calicata 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 17

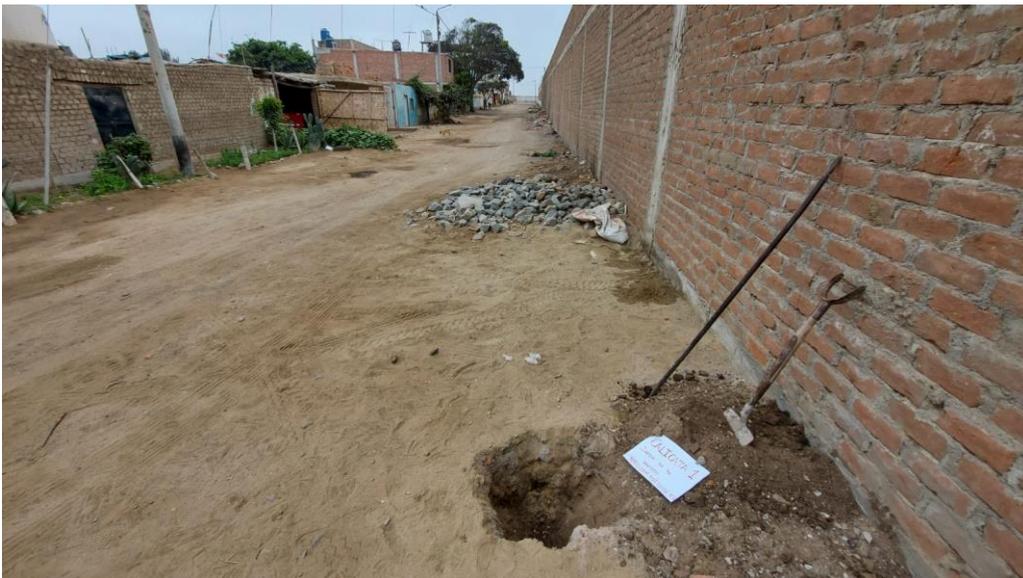
Inicio de la excavación de la calicata 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 18

Inicio de la excavación de la calicata 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 19**Calicata 1.**

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 20**Calicata 1.**

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 19*Calicata 1.*

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 20*Calicata 1.*

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 21

Inicio de la excavación de la calicata 2.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 22

Calicata 2



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 23**Calicata 2**

Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 24

Inicio de la excavación de la calicata 3.

**Foto N° 25**

Calicata 3.



Fuente: Elaboración Propia.

Foto N° 26**Calicata 3.**

Fuente: Elaboración Propia.