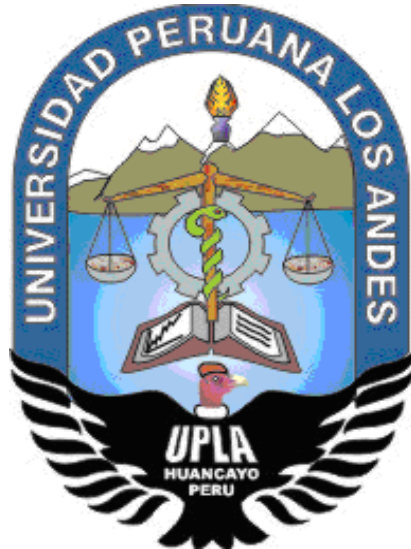


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**APLICACIÓN DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO COMO
ESTABILIZADOR DE SUELO PARA SUBRASANTE**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:
NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**

PRESENTADO POR:

Bach. JOHN JAHNDY ENRIQUEZ TORRES

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

HUANCAYO – PERU

2021

CONTRATAPA

Ing. JULIO FREDY PORRAS MAYTA
ASESOR

DEDICATORIA

“El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a nuestro divino creador, quien me ha otorgado la vida, salud y sabiduría para el logro de mis metas trazadas en esta investigación”.

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

Dr. RUBEN TAPIA SILGUERA
PRESIDENTE

ING. CARLOS ALBERTO GONZALES ROJAS

ING. RANDO PORRAS OLARTE

ING. NATALY LUCIACORDOVA ZORRILLA

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA

ÍNDICE

CONTRATAPA.....	II
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPITULO I.....	17
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación y sistematización del problema.....	18
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Justificación.....	19
1.3.1. Práctica.....	19
1.3.2. Metodológica.....	19
1.4. Delimitaciones.....	20
1.4.1. Espacial.....	20
1.4.2. Temporal.....	20
1.4.3. Económica.....	20
1.5. Objetivos.....	20
1.5.1. Objetivo general.....	20
1.5.2. Objetivos específicos.....	20
CAPITULO II.....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.1.1. Internacionales.....	22
2.1.2. Nacionales.....	25
2.2. Marco conceptual.....	27
2.2.1. Teorías de la investigación.....	27

2.2.1.1 Subrasante	27
2.2.1.2 Estabilización de suelos	29
2.2.1.3 Otros métodos de estabilización.....	41
2.2.1.4 Polímeros reciclados	43
2.2.1.5 Obtención de polímeros reciclados para el trabajo de investigación	47
2.3. Definición de términos	48
2.4. Hipótesis.....	49
2.4.1. Hipótesis general.....	49
2.4.2. Hipótesis específicos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. Variables.....	50
2.5.1. Definición conceptual de la variable	50
2.5.2. Definición operacional de la variable	50
2.5.3. Operacionalización de la Variable	51
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA	52
3.1. Método de investigación	52
3.2. Tipo de Investigación	52
3.3. Nivel de investigación	53
3.4. Diseño de investigación.....	53
3.5. Población y muestra	53
3.5.1. Población.....	53
3.5.2. Muestra	53
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.7. Procesamiento de la información.....	55
3.8. Técnicas y análisis de datos	55
CAPÍTULO IV.....	56
RESULTADOS.....	56
4.1. Presentación de resultados específicos	56
CAPÍTULO V.....	88
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	88
5.1. Discusión de resultados específicos.....	88
CONCLUSIONES	91

RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Categorías de la subrasante	27
Tabla 2 – Variables de investigación.....	50
Tabla 3 – Operacionalización de las variables.....	51
Tabla 4 – Numero de muestras para las propiedades físicas.	53
Tabla 5 – Numero de muestras para las propiedades mecánicas.	53
Tabla 6 – Resultados de la granulometría.	56
Tabla 7 – Contenido del porcentaje por material.....	57
Tabla 8 – Resumen del contenido de humedad.....	57
Tabla 9 – Características plásticas del suelo.	58
Tabla 10 – Clasificación de suelos.....	59
Tabla 11 – Resultados de proctor modificado sin la adición del tereftalato de polietileno.....	59
Tabla 12 – Resultados de proctor modificado con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	62
Tabla 13 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	65
Tabla 14 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	68
Tabla 15 – Resultados de CBR sin la adición del tereftalato de polietileno.	71
Tabla 16 – Resultados de CBR con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	74
Tabla 17 – Resultados de CBR con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	77
Tabla 18 – Resultados de CBR con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.....	80
Tabla 19 – Resumen general del ensayo de proctor modificado.	82
Tabla 20 – Resumen general del ensayo de CBR.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de flujo para la selección del estabilizador de suelo.....	31
Figura 2- Curva de compactación calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	60
Figura 3- Curva de compactación calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	61
Figura 4- Curva de compactación calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	61
Figura 5- Curva de compactación calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	62
Figura 6- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	63
Figura 7- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	63
Figura 8- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	64
Figura 9- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	65
Figura 10- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	66
Figura 11- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	66
Figura 12- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	67
Figura 13- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	68
Figura 14- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.....	69
Figura 15- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.....	70
Figura 16- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.....	70

Figura 17- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	71
Figura 18- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.	72
Figura 19- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.	73
Figura 20- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.	73
Figura 21- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.	74
Figura 22- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	75
Figura 23- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	76
Figura 24- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	76
Figura 25- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	77
Figura 26- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	78
Figura 27- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	78
Figura 28- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	79
Figura 29- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	79
Figura 30- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	80
Figura 31- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	81
Figura 32- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	81

Figura 33- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	82
Figura 34- Evolución de los valores de la máxima densidad seca.....	83
Figura 35- Tendencia creciente de los valores de la máxima densidad seca. .	84
Figura 36- Evolución del optimo contenido de humedad.	84
Figura 37- Tendencia decreciente del optimo contenido de humedad.....	85
Figura 38- Evolución de los valores del CBR al 100%.	86
Figura 39- Tendencia creciente de los valores del CBR al 100%.	86
Figura 40- Evolución de los valores de CBR al 95%.	87
Figura 41- Tendencia creciente de los valores de CBR al 95%.	87

RESUMEN

La investigación tuvo como problema general: ¿Cómo el tereftalato de polietileno posconsumo reciclado (PET - PCR) estabiliza el suelo para subrasante?, el objetivo general fue: Evaluar el tereftalato de polietileno posconsumo reciclado (PET – PCR) como estabilizador de suelo para subrasante, y la hipótesis general fue: El tereftalato de polietileno posconsumo reciclado (PET – PCR) estabiliza el suelo para subrasante en sus propiedades físicas y mecánicas; a su vez cumple con lo estipulado por el MTC (2008).

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación fue explicativo y el diseño de investigación fue cuasi experimental. La población correspondió al suelo para subrasante con adición de tereftalato de polietileno posconsumo reciclado.

La conclusión general fue: Con la adición del tereftalato de polietileno posconsumo reciclado, habrá un mejoramiento en las propiedades mecánicas y físicas del suelo para subrasante. El suelo encontrado es arcilloso y de baja plasticidad según la clasificación de suelos SUCS. Así mismo hacer mención que el suelo natural del tramo en estudio presento una mala granulometría, gran presencia de finos y carencia de gravas.

Palabras claves: Tereftalto de polietileno, estabilizador, suelo y subrasante.

ABSTRACT

The research had as a general problem: How does recycled post-consumer polyethylene terephthalate (PET - PCR) stabilize the soil for subgrade? The general objective was: Evaluate recycled post-consumer polyethylene terephthalate (PET - PCR) as a soil stabilizer for subgrade, and the general hypothesis was: Recycled post-consumer polyethylene terephthalate (PET-PCR) stabilizes the soil for subgrade in its physical and mechanical properties; in turn, it complies with the provisions of the MTC (2008).

The research method was scientific, the type of research was applied, the research level was explanatory, and the research design was quasi-experimental. The population corresponded to the soil for subgrade with the addition of recycled post-consumer polyethylene terephthalate.

The overall conclusion was: With the addition of recycled post-consumer polyethylene terephthalate, there will be an improvement in the mechanical and physical properties of the subgrade soil. The soil found is clayey and of low plasticity according to the SUCS soil classification. Likewise, it should be mentioned that the natural soil of the section under study presented a poor granulometry, a large presence of fines and a lack of gravel.

Keywords: Polyethylene terephthalate, stabilizer, soil and subgrade.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la ingeniería vial está evolucionando a gran escala tanto en nivel de investigación como en la aplicación de nuevas tecnologías, debido a ello, se genera el impulso de numerosos proyectos de infraestructura vial, los cuales brindan el paso a la población, permitiendo conectar los diferentes centros rurales y urbanos para que se integren garantizando mejorar la calidad de vida de las personas y el desarrollo de todo un país. Esto se puede estimar en las nuevas construcciones de carreteras, caminos vecinales u trochas y otros proyectos viales.

La infraestructura vial del Perú se ve afectada debido a que la mayoría de pavimentos a medida del tiempo se deterioran por el aumento del tráfico los cuales los hace vulnerables a cargas pesadas y efectos climáticos, etc., por ello esto se considera un gran problema en el ámbito vial, ya que estas deben cumplir con ser eficientes, rentables, confiables , y ecológicamente sostenibles. Sin embargo, muchas de las obras viales que se proyectan en nuestro país están cimentados en suelos de baja capacidad portante, este es uno de los factores que afecta directamente a los pavimentos , es por ello que antes de la ejecución de una obra vial se debe saber si el terreno de fundación cumple con la resistencia adecuada , en el caso que no cumpliera con lo mencionado necesitarán ser mejorados o cambiados. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (M.T.C) hace mención de diferentes métodos para mejorar los terrenos de fundación deficientes de un pavimento, utilizando cal, cemento, escoria, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, etc., dependiendo del tipo de suelo e importancia de la vía, cumpliendo los parámetros exigidos por el mismo.

Existen otras materias con las que se puede mejorar un terreno que no están dadas por el M.T.C. o alguna otra Normativa, como por ejemplo los polímeros P.E.T., el cual actualmente es considerado como un residuo sólido que afecta al medio ambiente . En el Perú la cantidad de plástico P.E.T. es alrededor de 50 mil toneladas por año, es por ello que a este material se le puede dar uso para mejorar el diseño estructural de un pavimento, siendo una gran alternativa para el ámbito de la construcción y la sostenibilidad del medio ambiente.

Para el entendimiento del tema investigado, la tesis se encuentra dividido mediante capítulos, explicándose cada capítulo de una manera directa y concreta en relación al tema investigado .

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, la justificación, las delimitaciones, limitaciones y los objetivos de la investigación .

En el capítulo II, se redacta los antecedentes (internacionales y nacionales), el marco conceptual, la definición de términos, el planteamiento de las hipótesis y la identificación de variables de la investigación.

En el capítulo III, se redacta la metodología aplicada, describiéndose el método, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información y técnicas de análisis de datos de la investigación.

En el capítulo IV, se plasma los resultados obtenidos sobre el uso del tereftalato de polietileno como estabilizador de suelo.

En el capítulo V, se da la discusión de los resultados obtenidos sobre el diseño del pavimento rígido, y poder formular las respectivas conclusiones y recomendaciones a la investigación desarrollada, y finalmente redactar las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de la investigación.

En la parte final de la investigación, se anexan la documentación que sustenta el desarrollo de la investigación.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El actual crecimiento de la población va con un incremento del consumo; generando grandes desperdicios de residuos entre ellos el plástico; pues es justamente este material que, según Arbeláez y Góngora (2019) es el que más se ha producido en los últimos años pues solo en el 2011 la cantidad de plástico producido osciló entre 220 000 y 280 000 toneladas, valores que en la actualidad según Greenpeace (2018) se ha incrementado hasta 8 millones de toneladas. En el Perú, según Zenteno (2018) además de generar grandes cantidades de plásticos estos no tienen un correcto acondicionamiento, debido esencialmente a una falta de política en limpieza y recolección de estos residuos.

Otra problemática, corresponde la inestabilidad del suelo que se presenta en vías no pavimentadas a nivel mundial (Gutiérrez, 2010) pues este tipo de vías al ser la forma menos costosa de inversión para conectar poblados en zonas rurales, es la más construida; no obstante, según Ulate (2017) indica que en los pasados 100 años una gran variedad de tratamientos se han desarrollado sin embargo resultan ser costosos o peligroso al medio ambiente.

En el Perú, los caminos vecinales en su mayoría afirmados constituyen los tramos finales de la red vial, siendo esta la red vial más extensa; no obstante, estos están ubicados en zonas con elevadas pendientes y gran diversidad geográfica los cuales debido a una falta de tratamiento la transitabilidad es complicada pues el tipo de suelo no soporta las inclemencias del clima ni las cargas diarias, debido a una falta de tratamiento del terreno natural que actúa como sub-rasante.

En este contexto los plásticos (P.E.T.), han tomado relevancia, pues de acuerdo a Arbeláez y Góngora (2019) su uso en diversos campos de la ingeniería ha resultado satisfactorio; además como se ha mencionado su abundante fabricación y mala disposición está perjudicando, al medio ambiente por lo que es importante estudiar diversas alternativas de uso.

En base a lo mencionado, la presente investigación pretende utilizar el tereftalato de polietileno postconsumo (P.E.T. – P.C.R.) en 2, 3 y 4 % como estabilizador de las propiedades del suelo para subrasante.

1.2. Formulación y sistematización del problema

Ante esta disposición se plantea la siguiente interrogante como problema general:

1.2.1. Problema general

¿Cómo el tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (PET - PCR) estabiliza el suelo para subrasante?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo el tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R) estabiliza las propiedades físicas del suelo para subrasante?
- b) ¿Cómo el tereftalato de polietileno posconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza las propiedades mecánicas para subrasante?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica

Según Bernal (2006) existe justificación social o práctica, si se pretende resolver un problema real; en tal sentido la presente investigación pretende dar una alternativa de uso al tereftalato de polietileno posconsumo reciclado, que es usado en la mayoría en envases de bebidas y que por su deficiente disposición contaminan el medio ambiente; asimismo, se pretende dar solución a la deficiente calidad del suelo para actuar como subrasante, esto de acuerdo a las recomendaciones del M.T.C.

1.3.2. Metodológica

La investigación presenta justificación metodológica, en cuanto propone una serie de pasos o procedimientos que enriquezca la investigación, en tal razón la investigación establece una

metodología para determinar el porcentaje óptimo de tereftalato de polietileno postconsumo reciclado en suelos para subrasante.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

La investigación se desarrolló en la ciudad de Huancayo – distrito y provincia Huancayo de la región Junín.

1.4.2. Temporal

La investigación se ejecutó desde el mes de julio 2019 a junio del año 2021.

1.4.3. Económica

Los gastos financieros incurridos en la elaboración del presente trabajo de investigación, no fue inconveniente económico alguno. El gasto mencionado fue asumido en su totalidad por el investigador de la presente tesis.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el tereftalato de polietileno post-consumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) como estabilizador de suelo para subrasante.

1.5.2. Objetivos específicos

a) Analizar cómo el tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza las propiedades físicas del suelo para subrasante.

b) Describir cómo el tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza las propiedades mecánicas del suelo para subrasante.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Arbeláez y Góngora (2019) en su investigación “Refuerzo de estructuras terreras utilizando tereftalato de polietileno (PET)”, demostró el proceso el proceso para mejorar un suelo de características arcillosas (arcilla de alta plasticidad CH), para lo cual realizó un estudio experimental que consistió en inclusiones aleatorias de P.E.T. en el suelo, la forma en que usó el material fue mediante tiras de fibras recicladas de 8 cm de largo, 2 mm de ancho y 0.5 mm de espesor. El trabajo experimental consistió en una muestra alterada, en la que se le ha incorporado P.E.T. en 0.3, 0.8, 1, 1.2 % con respecto al peso de las probetas de suelo; en ese sentido elaboró 45 probetas cilíndricas de 4” de alto y 2” de

diámetro. Como resultado obtuvo que el material de refuerzo con fibras de P.E.T. mejora el comportamiento del suelo hasta en un 136.25% con respecto a la resistencia al corte, especialmente en el espécimen con mayor cantidad de P.E.T. y mayor compactación.

Arteaga (2018) en su investigación “Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos P.E.T. reciclado” comparó el comportamiento de la base granular modificada con cemento, reemplazando el 2, 4 y 6 % de material granular con P.E.T. reciclado tipo escama N°4, con la finalidad de establecer si puede ser utilizado como estabilizante. En este sentido para obtener los resultados realizó ensayos en laboratorio que consistió en un análisis granulométrico del suelo, la determinación del equivalente de arena de suelos y agregados finos, la evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos I.N.V.E.-223, el valor de azul metileno en agregados finos y llenantes minerales I.N.V.E.-234-12, contenido de vacíos, ensayo de resistencia a la abrasión y el ensayo de C.B.R. Como resultado obtuvo que para una mayor cantidad de P.E.T. reciclado se requiere mayor cantidad de cemento; asimismo, estableció que el 2 % de P.E.T. tiene un buen comportamiento como aditivo en bases granuladas estabilizadas con cemento, por lo que es factible reemplazar el material N° 4. En conclusión, la utilización de P.E.T. en la construcción de la base cemento para pavimentos es viable.

Bustos (2016) en su investigación “Análisis del comportamiento de base granular estabilizada con cemento sustituyendo con material no biodegradable tereftalato de polietileno (PET) en la fracción del agregado que pasa el tamiz #4 y se retiene en el #16” analizó las características físico-mecánicas de una base estabilizada con cemento empleando plástico (P.E.T.), por medio de sustituciones progresivas en el material granular en porcentajes de 24, 51, 74 y 101%, con el fin de determinar si, este material es viable para poder utilizarse en la base estabilizada con cemento; para tal fin realizó un estudio experimental que se basó en un análisis granulométrico del suelo, la determinación del equivalente de arena de suelos y agregados finos, la evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos I.N.V.E.-224, el valor de azul metileno en agregados finos y llenantes minerales I.N.V.E.-234-12, contenido de vacíos, ensayo de resistencia a la abrasión y el ensayo de C.B.R. Como resultado obtuvo que para un 25, 50, 74 y 101 % de P.E.T. la resistencia se incrementó en 196, 112, 116 y 123 % respectivamente, indicando así que a medida se incrementa la cantidad de P.E.T. y la cantidad de cemento se mantenga constante la resistencia tiende a bajar. Como conclusión el material granular usado para la investigación, cumplió con todos los requerimientos en cuanto a la caracterización y para el diseño de la base estabilizada con cemento , obteniendo un porcentaje óptimo de 3.23% para un esfuerzo mínimo de 3.4 M.P.a. Además,

que la mezcla del material con P.E.T. en todos sus porcentajes de sustitución, logra obtener una resistencia entre 3.6 a 7 M.P.a.

2.1.2. Nacionales

Zenteno (2018) realizó la investigación: “Efecto de la estabilización de suelos finos con tereftalato de polietileno como material de refuerzo en la estructura de pavimentos flexibles del distrito de Puno”, planteó una alternativa para la reutilización de envases de Tereftalato de Polietileno (P.E.T.) como un agente estabilizador en suelos finos, siendo el objetivo evaluar el efecto de estabilización de suelo fino con tereftalato de polietileno en 2, 4, 6, 8 y 10 % en peso con relación al peso seco del suelo en estudio; para el desarrollo primero procedió con la obtención de la muestra (suelo fino) para luego analizarlo, el estudio se basó en un solo tipo de suelo y la medición de propiedades mecánicas mediante los ensayos de Proctor Modificado y California Bearing Ratio; como resultados obtuvo que, el C.B.R. referido al 100 % de la densidad seca máxima fueron de: 51.64, 20.38, 16.26, 18.39 y 17.30 % respectivamente; con lo que concluye que, al adicionar 2 % de P.E.T. se mejora considerablemente la capacidad de soporte al esfuerzo cortante (C.B.R.), siendo apto para sub rasante y sub base a nivel de pavimentos flexibles, todo ello de acuerdo a lo requerido por la norma peruana (E.G. 2013).

Cuipal (2018) realizó la investigación: “Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018”, para ello

realizó ensayos de C.B.R., expansión y densidad seca máxima considerando dosificaciones de 3, 6 y 9 % de polímero sintético en relación al peso seco de la muestra, siendo la dimensión del PET aquellos que pasan la malla ½” hasta el retenido en la malla N° 4; a las conclusiones que llegó fueron que, el máximo CBR se obtuvo con la adición de 3.25 % de P.E.T. mejorando entre 0.4 a 0.5 % en relación a la muestra sin adición del polímero, respecto a la expansión concluye que, con la adición de 5 y 8 % de P.E.T. la variación volumétrica se da entre 1 a 2 % respecto al suelo natural y por último, en relación a la densidad máxima seca menciona que, los porcentajes considerados disminuyen entre 0.01 a 0.04 g/cm³ respecto a la densidad del suelo sin tratamiento.

Vargas (2017) en su investigación: “Efecto de la adición de fibra de polímeros reciclados en el valor del C.B.R. de suelos granulares en pavimentos” adicionó fibras de P.E.T. con espesor de 1 a 2 mm en diferentes longitudes tales como 2, 3, 4 y 5 cm en dosificaciones de 0.4, 0.76, 1, 1.24, 1.51 y 1.74 %, realizando para cada porcentaje 3 ensayos de C.B.R. y en cada longitud haciendo un total de 72 ensayos, donde incluyó contenido de humedad, granulometría, clasificación de suelos, proctor modificado y C.B.R.; siendo así que, llegó a las siguientes conclusiones: las dosificaciones de 0.51 y 0.71 % con fibras de 40 milímetros son las que presentaron incremento del C.B.R. hasta en un 27 %; asimismo, considera para la aplicación de este aditivo en necesario el procesamiento del material de manera industrial a fin de reducir los costos.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Teorías de la investigación

2.2.1.1 Subrasante

Corresponde a la capa superficial de terreno natural, el espesor de análisis para la construcción de carreteras es de hasta 0.45 m mientras que, para rehabilitación los 0.20 metros (M.T.C., 2008).

Tabla 1 – Categorías de la subrasante

Símbolo	Descripción	CBR
S.0.	Subrasante muy pobre	< 3 %
S.1.	Subrasante pobre	3 % - 5 %
S.2.	Subrasante regular	6 % - 10 %
S.3.	Subrasante buena	11 % - 19 %
S.4.	Subrasante muy buena	> 20 %

Fuente: MTC (2008)

La sub-rasante es la capa superficial de terreno natural, es el soporte de la estructura del pavimento. Para el diseño del pavimento se tendrá que sectorizar desde el punto de vista del suelo de fundación y según ello evaluar las propiedades mecánicas, físicas y químicas, en campo y laboratorio.

Para el diseño de pavimentos se consideran cuatro factores importantes: el primero es el tránsito, interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado. El segundo factor es el clima, se tienen que considerar los efectos de las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su

acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. El tercer factor son los materiales disponibles, que son determinados para la selección de la estructura del pavimento más adecuada con respecto a la economía y técnica. Y el cuarto factor materia de estudio de la investigación es la subrasante, de la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea esta flexible o rígida como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación y los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste. (Montejo Fonseca, 2002)

De los factores mencionados a considerar en el diseño del pavimento, la problemática planteada en la presente investigación radica en la subrasante debido a que presenta un suelo arcilloso y con ello conlleva a una serie de problemas como la expansión y la baja capacidad portante que presenta.

Montejo (2002) afirma que: Con frecuencia el ingeniero debe enfrentarse con suelos que tiene que utilizar para una obra determinada y cuyas características le obligan a tomar una de las siguientes posibles decisiones:

- Aceptar el material como se encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o cuando menos que la calidad obtenida sea la deseada. (p. 75)

Las propiedades importantes para analizar en la subrasante son las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), propiedades de rigidez (módulo resiliente, módulo de elasticidad, C.B.R), propiedades hidráulicas (coeficiente de drenaje, permeabilidad, coeficiente de expansión). (Menéndez, 2013 b).

2.2.1.2 Estabilización de suelos

Es el mejoramiento de las propiedades físicas y dotación de resistencia mecánica y permanencia de estas propiedades en el tiempo, la estabilización puede darse a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos; por lo general, se estabiliza los suelos inadecuados o pobres

para comportarse como sub rasante, afirmado, sub base o bases (M.T.C, 2014).

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tal es estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013 b).

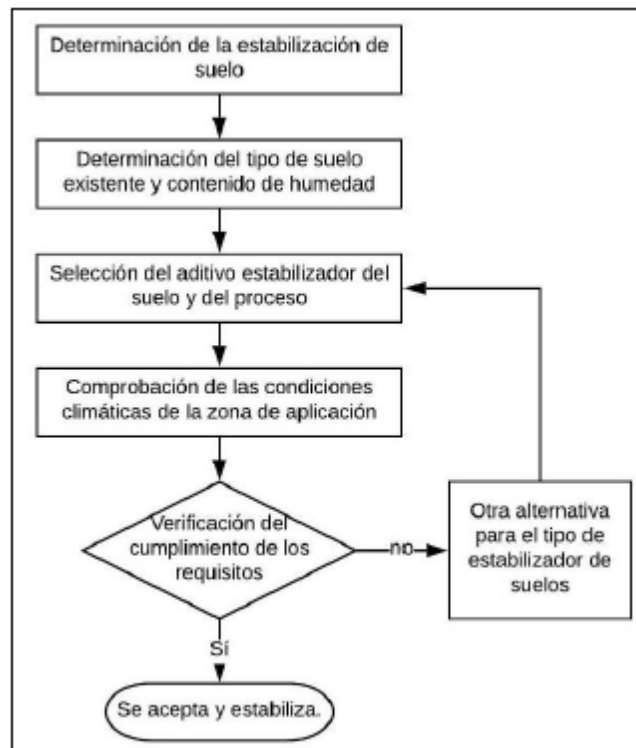
La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

A continuación, se describen algunos criterios que recomienda el M.T.C. (2013 b) para establecer la estabilización de suelos:

- Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub-rasante suelos con C.B.R. $\geq 6\%$. En caso de ser menor, será materia de un estudio para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.

- Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 centímetros de espesor como mínimo o un geotextil.
- Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Figura 1- Diagrama de flujo para la selección del estabilizador de suelo.



Fuente: MTC (2014).

Métodos de estabilización según el MTC: A continuación, se describen diferentes tipos de estabilizaciones recomendados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Cada tipo de estabilización se describe de forma resumida y se profundiza más en la estabilización suelo cal por adaptarse más al tipo de suelo estudiado para poder comparar con la estabilización de la presente investigación.

A) Estabilización mecánica de suelos: Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

B) Al compactar un suelo se obtiene: una mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo; una mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura; una disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo

y por último ocasionará una disminución de los asentamientos. (Ravines 2010)

Estabilización por combinación de suelos: La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo, “con el objetivo de suplir las carencias de gravas o arenas. Los suelos de subrasante analizados en la presente investigación presentan gran presencia de partículas finas y poco de gravas, razón por la cual se adiciona el P.E.T. para que pueda cumplir similar función que la grava.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar, la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. (M.T.C. 2013 b)

C) Estabilización por sustitución de los suelos:

Cuando se prevea la construcción de la subrasante

mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición . En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado . Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación. En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. (M.T.C. 2008 a)

El M.T.C. 2013.b nos muestra un procedimiento para determinar el espesor de reemplazo en función al valor de soporte, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de subrasantes pobres , con

suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre $\text{CBR} \geq 3\%$ y $\text{CBR} < 6\%$.

D) Suelos estabilizados con cemento: La combinación suelo cemento produce la reacción del calcio con la sílice y alúmina produciendo compuestos silicatos y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia de la mezcla, conocido como la acción puzolánica (Montejo Fonseca, 2002).

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto (M.T.C. 2008 a).

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo Proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento dependen del tipo y cantidad de suelo, cemento y agua; ejecución; edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media (L.L. < 41, . I.P. < 17). La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. (Menéndez, 2013b)

E) Estabilización con cloruro de sodio: La desventaja de este método es que puede ser lavada por el agua, por lo cual presenta poca durabilidad en la capa estabilizada (Montejo Fonseca, 2002).

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 97% de N.a.C.I. y un 2.01% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a

un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el Sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante. (M.T.C 2008 a).

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

Las características higroscópicas de este producto ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino. Se puede utilizar de dos formas, en granos regulares o Tipo 1 y en hojuelas o pelotillas o Tipo 11. La dosificación es de 1.01% - 2.02% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio. (M.T.C. 2008 a).

G) Estabilización con cloruro de magnesio: El cloruro de magnesio (M.g.C.I.) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura.

Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.4% de magnesio, un 33.2% de cloro, un 52% de agua y un 4.01% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad. Para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles: (M.T.C. 2008 a).

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Baja temperatura de congelamiento: -32.8 °C.
- Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.

La dosis de cloruro de magnesio se aplica, en una proporción de entre 3 y 5% en peso del suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de M.g.C.I.).

H) Estabilización con productos asfálticos: La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad: (Montejo Fonseca, 2002).

- Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.
- Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas. La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, $LL < 30$ e $IP < 10$.

El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas. (MTC 2008 a).

Se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.

I) Estabilización de suelos con cal: El uso de la cal en la estabilización aumenta su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito y también mejora las características plásticas haciéndolos más friables y aumentando el valor de soporte. (ANCADE 2002)

Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables.

Adicionalmente, el soporte estructural de los suelos estabilizados con cal puede ser aprovechado en el diseño de pavimentos. (MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO TRATADO CON CAL, 2006)

En general casi todos los tipos de suelos susceptibles de estabilizar con cal, pero es más práctico la cal cuando el índice de plasticidad es mayor de 15. La cal produce una disminución de la densidad de los suelos, modifica la plasticidad aumenta la capacidad portante y resistencia al corte del material y reduce su hinchamiento.

La acción de la cal suele explicarse como efectuada por tres reacciones básicas: (Menéndez, 2013)

- El primer proceso es la alteración de la película de agua que rodea los minerales de arcilla.
- El segundo proceso es de coagulación o floculación de las partículas de suelo, dado que la cantidad de cal ordinariamente empleada en las construcciones viales resulta de una concentración de ion de calcio mayor que la realmente necesaria.
- El tercer proceso a través del cual la cal afecta el suelo, es su reacción con los componentes del mismo para formar nuevos productos químicos. Los dos principales componentes que reaccionan con la cal son la alúmina y la sílice.

Esta reacción es prolongada en la acción del tiempo y se manifiesta en una mayor resistencia si las mezclas de suelo cal son curadas durante determinados lapsos de tiempo. Este es conocido como "acción puzolánica".

2.2.1.3 Otros métodos de estabilización

A) Estabilización por medios eléctricos: La más conocida es la electroósmosis, que es la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a una muestra de suelo fino con exceso de humedad, esto produce que el agua se traslade desde el ánodo (electrodo positivo)

hasta el cátodo (electrodo negativo); el caudal que fluye a través de la muestra de suelo en las condiciones anteriormente expuestas es proporcional al potencial eléctrico exterior que haya sido aplicado. Con este método se ha observado un aumento de resistencia al corte y a la compresión simple de los suelos finos (arcillosos).

B) Estabilización de suelos con cal y polímeros: En la tesis de Valle, W. (2010): "Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos". Tesis de maestría, de la Universidad Politécnica de Madrid, España.

Valle, W. señala que las fibras usualmente se utilizan para mejorar la resistencia del suelo, y reducir la retracción. Se destaca como un método novedoso al mezclar fibras de polipropileno con cal, reduciendo así la cantidad de cal necesaria. Menciona también que las fibras incrementan la resistencia al corte del terreno natural sin tratamiento previo, por lo que la combinación cal y fibras permitirá la reducción de cal necesaria para estabilizar el terreno.

Los materiales utilizados para la estabilización según la tesis planteada son la Cal y las Fibras fibriladas de polipropileno. Con la dosificación de fibras los niveles de

cal se podrían reducir al 4%, así limitar la formación de etringita en los suelos con presencia de sulfatos.

Little (citado por Valle 2010) menciona que la etringita se produce cuando existe presencia de los sulfatos y la alúmina, el principal problema de esta patología es la expansión volumétrica hasta en un 250% en presencia de agua.

El incremento del p.H. producto de la adición de la cal al suelo, hace que el suelo libere sílice y alúmina que, al reaccionar con el azufre de los sulfatos, forman los cristales de etringita. Los prismas hexagonales de etringita, generalmente son muy alargados y tiene puntas piramidales hexagonales.

En la investigación de Valle, se obtiene aumento de la capacidad portante hasta en un 400% con una dosificación del 8% de cal y 0.15% de fibras. Los resultados de los ensayos de límites de atterberg muestran como el suelo del terreno cambia de plástico a no plástico, con valores próximos a cero, el autor hace la aclaración que la reducción del índice de plasticidad no depende de las fibras sino únicamente de la cal.

2.2.1.4 Polímeros reciclados

A) Botellas descartables de plástico: Es un polímero no renovable, proveniente del petróleo y procesado con el antimonio para obtener el P.E.T. (Tereftalato de

Polietileno) en pequeñas partículas. El P.E.T. es un material duro de degradar, demora alrededor de 700 años en degradarse ya que los microorganismos no tienen mecanismos para atacarlas, no es sino hasta entonces que los enlaces químicos entre los átomos del plástico comienzan a descomponerse. (Crawford et. al2013)

En el Perú según la organización de las Manos productivas- Villa el Salvador se produce como residuos aproximadamente 140,000 kilogramos de botellas de plástico por día, esta cantidad representa más de 4 millones de botellas que se votan a nivel nacional.

B)Tipos de botellas de plástico y su reciclaje: En la actualidad se producen diversas y en distintas presentaciones los frascos descartables, pero estos se pueden clasificar en 7 grupos según los materiales por los cuales fueron elaborados, para identificar esta clasificación en la parte inferior de cada botella descartable se puede apreciar un número con algunas letras. Dichas letras y números indican qué tipo de botella de plástico es y qué tipo de precauciones se debe de tomar al usar ese tipo de botella en particular. Existen 7 tipos de botellas según los componentes que lo componen y según los usos que se le dan (web: Blog Verde)

a.- P.E.T. (tereftalato de polietileno): Las botellas de plástico de PET, que están hechas de tereftalato de polietileno, tienen el número uno en ellas, están hechas de un plástico fuerte y durable que es bueno por su portabilidad. Las botellas de plástico de P.E.T. se usan principalmente para refrescos, bebidas deportivas, agua y jugo. Sus principales propiedades son: la alta resistencia al desgaste y corrosión, buena resistencia química y térmica.

b.- H.D.P.E. (polietileno de alta densidad): Las botellas H.D.P.E. son las únicas que tienen el número dos impresos en su parte inferior y están hechas de polietileno de alta densidad. Debido a que son botellas de plástico más densas y gracias a su versatilidad y resistencia química se utiliza sobre todo en envases, en productos de limpieza de hogar o químicos industriales, como por ejemplo botellas de champú, detergente, cloro, etc. Las botellas de H.D.P.E. (moldes) comenzaron a reemplazar otros tipos de recipientes como el vidrio y el metal en la década de 1970.

c.- PVC (vinílicos o cloruro de polivinilo): Estas botellas tienen el número tres impresos en la parte inferior, entonces se trata de una botella P.V.C. hecha de policloruro de vinilo. Este tipo de botella de plástico es muy flexible y se usa cuando se sabe que el líquido dentro

de ella se expande o contrae, de manera que pueda hacerlo sin romper el plástico. También es muy resistente, por lo que es muy utilizado como envase en limpiadores de ventanas, botellas de detergente, champú, aceites, etc.

d.- L.D.P.E. (polietileno de baja densidad): El tipo de botellas de plástico del número cuatro son las botellas de L.D.P.E., hechas de polietileno de baja densidad. Este es un plástico delgado que por lo regular se usa como una barrera cerosa contra la humedad que puede fabricarse a un precio bajo. Se funde fácilmente, lo que lo hace ideal cuando es necesario usar el sellado por calor. Este plástico fuerte, flexible y transparente.

e.- P.P. (polipropileno): Presenta el número cinco impresos en la parte inferior, son las botellas P.P. hecha de polipropileno. El polipropileno tiene un punto de fusión muy elevado, razón por la cual se usa tradicionalmente para artículos que necesitan ser calentados o en los que es necesario verter líquidos calientes, como el café. También es bueno para tinas pequeñas que necesitan calentarse. Su alto punto de fusión permite envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes.

f.- P.S. (poliestireno): Es utilizado en platos y vasos de usar y tirar, hueveras, bandejas desechables utilizadas en alimentación, envases de aspirina, etc. Su bajo punto de

fusión hace posible que pueda derretirse en contacto con el calor . Una vez reciclado, se pueden obtener diversos productos entre ellos , material para edificación, aislantes, etc.

j.- Otros: Si el número siete está impresas en la botella, indica que está hecha de otro material diferente a los anteriores, o hecha de una combinación de dos o más capas de otros plásticos. Por ejemplo, con estos plásticos están hechos algunos materiales a prueba de balas, OVO, gafas de sol, MP3 y PC, etc.

2.2.1.5 Obtención de polímeros reciclados para el trabajo de investigación

A) Recolección: Se recolecta el plástico ya que hay en un sinnúmero de P.E.T. que nos rodea de formas diferentes, cantidades de plástico que es desechada y se recolecta; después todo el producto reciclado es enviado un almacén donde son envueltas para que se dirijan a las fábricas para ser trituradas o transformadas en granulados.

B) Clasificación: Para el proceso de reciclaje del plástico se comienza con la clasificación de las diferentes piezas de plástico con base en su contenido de resina y color . Ya en la actualidad existen máquinas especialmente diseñadas para ayudar a clasificar el plástico según sus niveles de contenido de resina .

C) Trituración: La trituradora realiza su trabajo cortando las piezas en pequeños trozos más manejables. Las botellas y los envases de plástico se aplastan y cortan en pequeñas piezas del tamaño de una hojuela de maíz.

D) Limpieza: Para la limpieza de las fibras de plástico se lavan con detergentes especiales para poder limpiar en su totalidad y remover toda la contaminación que quede. Al final, son expuestas a un nivel moderado de calor para secarlas.

E) Obtención del aditivo P.E.T. reciclado: Para la obtención del polímero para utilizar como aditivo, se tuvo que cortar de forma rectangular de diferentes dimensiones, para realizar el corte se usó una cizalla para poder obtener los polímeros reciclados en cortes de diferentes dimensiones, de forma cacerá. Existe también máquinas como la Trituradora P.E.T. G-34 que sirven para cortar en diferentes dimensiones y así obtener hojuelas de P.E.T.

2.3. Definición de términos

- **Límite líquido del suelo (L.L.):** Es el contenido de humedad que se expresa en porcentaje donde el suelo se halla entre el estado líquido y plástico; se fundamenta de acuerdo al M.T.C.E. 110 (M.T.C., 2016).
- **Límite plástico del suelo (L.P.):** Es la humedad más baja con la cual se puede formar barras de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro,

sin que esta se desmorone; se fundamenta de acuerdo al M.T.C. E-111 (M.T.C., 2016).

- **Índice de plasticidad (I.P.):** Corresponde a la diferencia del límite líquido y plástico del suelo; se fundamenta de acuerdo al M.T.C. E-111 (M.T.C., 2016).
- **CBR de suelos:** California Bearing Ratio, es el índice de resistencia de los suelos que se denomina como valor de relación de soporte del suelo; se fundamenta de acuerdo al MTC E 132 (MTC, 2016).
- **Desgaste de los Ángeles:** Corresponde a una medida de degradación de agregados minerales de gradación normalizadas resultantes de una combinación de acciones, incluyen la abrasión o desgaste, impacto o trituración; se fundamenta de acuerdo al M.T.C.E. 207 (M.T.C, 2016).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El tereftalato de polietileno post-consumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza el suelo para subrasante en sus propiedades físicas y mecánicas; a su vez cumple con lo estipulado por el M.T.C. (2008).

2.4.2. Hipótesis específicas

a) El tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza las propiedades físicas del suelo para subrasante.

b) El tereftalato de polietileno post-consumo reciclado (P.E.T.–P.C.R.) estabiliza las propiedades mecánicas del suelo para subrasante.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (PET – PCR). “Polímero termoplástico en su forma final posterior al consumo para lo cual fue diseñado”. (Ley N°30884, 2018).

Variable dependiente (Y): Subrasante. “Capa compactada de material granular natural o procesado, presenta una gradación específica capaz de soportar directamente las cargas y esfuerzos del tránsito”. (M.T.C., 2014).

2.5.2. Definición operacional de la variable

Para la investigación se ha considerado las siguientes variables:

Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.), se utilizará en 2, 3 y 4 % respecto al peso seco del suelo.

Variable dependiente (Y): Sub-rasante, “se medirá las propiedades físicas y mecánicas del suelo de acuerdo a lo estipulado en el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito”.

Tabla 2 – Variables de investigación.

Variable Independiente	Variable Dependiente
-------------------------------	-----------------------------

Tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.)	Subrasante
--	------------

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Operacionalización de la Variable

Tabla 3 – Operacionalización de las variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – PCR)	Tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – PCR)	Cantidad en porcentaje
Variable dependiente: Subrasante	Propiedades físicas Propiedades mecánicas	Límite líquido Límite plástico Índice de plasticidad (C.B.R.)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

En la investigación utilizo el método científico, esto fundamenta según Del Cid, Sandoval y Sandoval (2007) pues se seguirá una serie de pasos ordenados y sistematizados para generar conocimiento basado en evidencia, siendo estos: observación, planteamiento del problema, planteamiento de hipótesis, experimentación para finalmente obtener conclusiones.

3.2. Tipo de Investigación

La investigación fue del tipo aplicada, pues se aplicó el conocimiento existente para solucionar un problema real; en el caso de la presente investigación establecer las propiedades físicas y mecánicas del suelo con la adición de P.E.T. – P.C.R. (Del Cid, Sandoval y Sandoval, 2007).

3.3. Nivel de investigación

La investigación fue de nivel explicativo, pues se centró en determinar las relaciones de causa – efecto, en la adición del P.E.T. – P.C.R. y las propiedades físicas y mecánicas del suelo para subrasante (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.4. Diseño de investigación

En base a lo establecido por Hernández et al. (2014), la presente investigación fue experimental del tipo cuasi experimental, pues se manipuló la variable independiente y existió un grupo de control y otro patrón con el que se compararon sus propiedades.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Correspondió al suelo para subrasante con adición de tereftalato de polietileno postconsumo reciclado.

3.5.2. Muestra

De acuerdo al tipo de muestreo no probabilístico intencional o dirigido, la muestra fue:

Tabla 4 – Numero de muestras para las propiedades físicas.

Ensayo	Patrón	2%	3%	4%	Total
Granulometría	1	1	1	1	4
Limite liquido	3	3	3	3	12
Limite plástico	3	3	3	3	12
Índice de plasticidad	3	3	3	3	12
Total					40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 – Numero de muestras para las propiedades mecánicas.

Ensayo	Patrón	2%	3%	4%	Total
CBR	3	3	3	3	12
Proctor modificado	3	3	3	3	12

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación directa: La observación fue una de las principales técnicas para la recolección de datos, está se aplicó en la fase de planificación mediante visitas previas a campo en especial para la recolección de P.E.T. – P.C.R.

Análisis de documentos: El análisis documentario consistió en la recopilación de bibliografía en digital y físico, con la cual se pudo establecer una metodología para realizar adecuadamente la adición del P.E.T. – P.C.R. en el suelo.

Trabajo en campo: El trabajo en campo consistió con el cumplimiento del proyecto en laboratorio, en el que se realizó la manipulación de la variable independiente para determinar la influencia con la dependiente; esto implico, la aplicación de fichas de tomas de datos e instrumentos de laboratorio especializados con los que se midió las principales características del suelo con adición de P.E.T. – P.C.R.

Para esto se siguió lo siguiente pasos:

- ✓ Recolección del P.E.T. – P.C.R. (botellas de plástico usadas).
- ✓ Limpieza y trituración del P.E.T. – P.C.R.
- ✓ Selección del P.E.T. – P.C.R. pasante de la malla ½” y retenido en la malla N° 4.
- ✓ Análisis granulométrico del suelo que actuará como sub-rasante .
- ✓ Determinación de los límites de Atterberg del suelo para sub-rasante .
- ✓ Determinación del C.B.R. del suelo para subrasante.

- ✓ Adición del P.E.T. – P.C.R. en 2, 3 y 4 % del peso seco del suelo.
- ✓ Medición de las propiedades físicas (límites de Atterberg) y mecánicas del suelo (C.B.R.) con adición del P.E.T. – P.C.R.
- ✓ Comparación de los resultados con lo establecido por el M.T.C. referente a aceptación de suelo para subrasante.

3.7. Procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información obtenida en campo y en laboratorio fue necesario crear tablas y gráficos en softwares especializados como Microsoft Excel, este software permitieron una adecuada distribución gráfica de los resultados obtenidos y el cálculo de algunos promedios.

3.8. Técnicas y análisis de datos

Las técnicas y análisis de datos, se consideró la técnica establecida para datos cuantitativos, basada en la estadística descriptiva, esto para la descripción, realización de figuras, el análisis, la comparación, el establecimiento de la relación y sobre todo para resumir los datos obtenido en laboratorio, además de probar la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados específicos

4.1.1. Resultados del estudio de las propiedades físicas del suelo para sub rasante

a.- Análisis granulométrico por tamizado: Este ensayo nos sirve para poder clasificar los suelos, y poder apreciar las distribuciones granulométricas del suelo. En la tabla 6 siguiente se muestra el resumen de los ensayos para las cuatro calicatas.

Tabla 6 – Resultados de la granulometría.

MALLA		%PASANTE			
TAMIZ	MM	C-01	C-02	C-03	C-04
3"	75.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2"	50.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1 ½"	37.500	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1"	25.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
¾"	19.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
⅜"	9.500	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Nº4	4.750	100.0%	100.0%	99.7%	99.7%
Nº10	2.000	96.7%	98.4%	97.6%	97.3%
Nº20	0.850	93.1%	95.9%	94.3%	94.1%
Nº40	0.425	90.2%	93.1%	92.2%	91.9%
Nº60	0.250	88.6%	91.4%	89.9%	89.2%
Nº140	0.106	86.2%	89.0%	86.7%	87.0%
Nº200	0.075	85.3%	88.2%	85.6%	86.5%
Fondo					

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar de los resultados mostrados, que el material fino es el 86% en promedio, lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso, en la tabla siguiente se muestra el porcentaje de cada material correspondiente a grava, arena y limoarcilla (finos).

Tabla 7 – Contenido del porcentaje por material.

MATERIAL	C-01	C-02	C-03	C-04
% Grava	0.0%	0.0%	0.3%	0.3%
% Arena	14.7%	11.8%	14.1%	13.2%
% Finos	85.3%	88.2%	85.6%	86.5%

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 7, existe gran presencia de material fino (limo y arcilla). Como se indica en el manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos del M.T.C., las gravas proporcionan resistencia al corte, las arenas ocupan los vacíos entre gravas y las partículas finas aportan en la cohesión del suelo. Es recomendable que en la distribución granulométrica del suelo se presente mayor porcentaje de grava seguido del porcentaje de arena y en menor porcentaje los finos.

b.- Contenido de Humedad: El contenido de humedad nos da una referencia para saber si es mayor o menor del contenido óptimo para poder compactar la subrasante. Los contenidos de humedad obtenidos se muestran en la tabla 8 y las planillas de cálculo están adjuntadas en el anexo. En promedio el contenido de humedad de la subrasante del camino vecinal Santa Felisa II es de 17.25%.

Tabla 8 – Resumen del contenido de humedad.

CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	% DE HUMEDAD
01	00+500	1.50	16.5
02	01+000	1.50	18.2
03	01+500	1.50	17.4
04	02+000	1.50	16.9

Fuente: Elaboración propia.

c.- Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad: Los suelos analizados presentan una baja plasticidad, en promedio tienen un índice de plasticidad (I.P.) igual a 14%. En la tabla 9 se muestra el resumen de los ensayos del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, estos datos son muy importantes para poder clasificar el suelo y en el caso de mejorar el suelo, nos ayuda a tomar la mejor decisión sobre el tipo de estabilizador a utilizar.

Tabla 9 – Características plásticas del suelo.

CALICATA	MUESTRA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
01	M-01	34	21	13
02	M-01	36	20	16
03	M-01	37	22	15
04	M-01	35	23	12

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos del índice plástico (IP) de la subrasante del camino vecinal Santa Feliza II, se puede indicar que el tramo en estudio presenta un $IP > 10\%$, por lo tanto, se considera como un "suelo arcilloso".

d.- Clasificación S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O: Para la clasificación SUCS se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes de la malla N°4, N°200 y las características plásticas.

Para la clasificación A.A.S.H.T.O. se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes de la malla No 10, No 40, No 200; las características plásticas y el índice de grupo. Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras es muy importante conocer el índice de grupo (I.G.), que está en función del límite líquido (L.L.), índice plástico (I.P.) y el porcentaje pasante de la malla N°200. En la tabla 10 se muestra en la última columna el I.G. entre paréntesis, de los resultados mostrados se

puede mencionar que el tramo del camino vecinal Santa Feliza II en estudio es "muy pobre" por tener un I.G. mayor a 9.

En la tabla 10 se muestra el símbolo de grupo y nombre de grupo en el caso de la clasificación S.U.C.S. y en el caso de la A.A.S.H.T.O. se muestra la clasificación de grupo y el índice de grupo.

Tabla 10 – Clasificación de suelos.

CALICATA	MUESTRA	SUCS	AASHTO
01	M-01	CL	A-6(11)
02	M-01	CL	A-6(14)
03	M-01	CL	A-6(13)
04	M-01	CL	A-6(10)

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados del estudio de las propiedades mecánicas del suelo para sub rasante

a.- Ensayo proctor modificado: Se determinó la relación del contenido de humedad y el peso específico seco obteniendo la curva de compactación del suelo, con el objetivo de determinar la densidad seca máxima para un contenido de humedad óptimo.

a.1.- Ensayo proctor modificado sin la adición del tereftalato de polietileno: En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

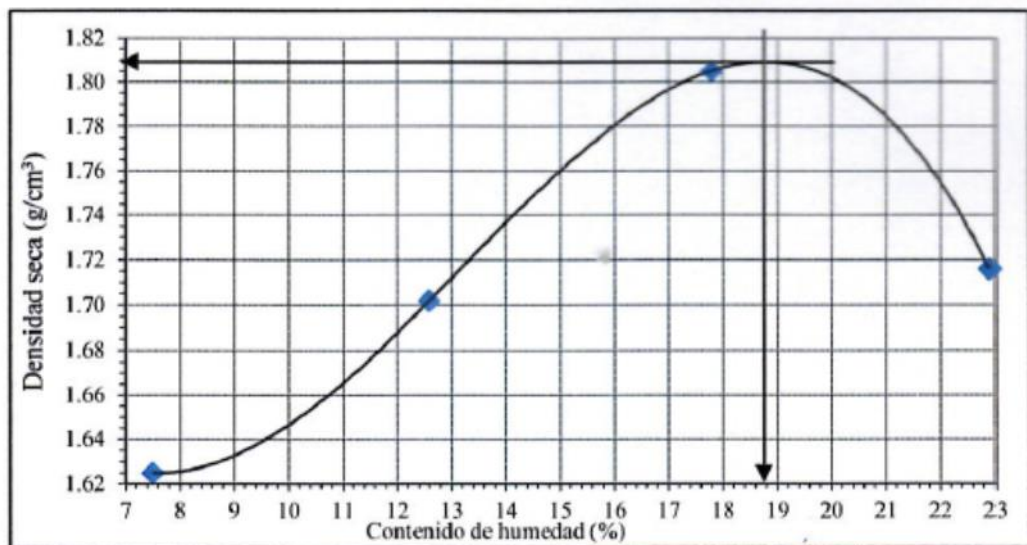
Tabla 11 – Resultados de proctor modificado sin la adición del tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	1.801 gr/cm ³	18.7%
02	M-01	1.786 gr/cm ³	19.5%
03	M-01	1.817 gr/cm ³	18.2%
04	M-01	1.774 gr/cm ³	19.2%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

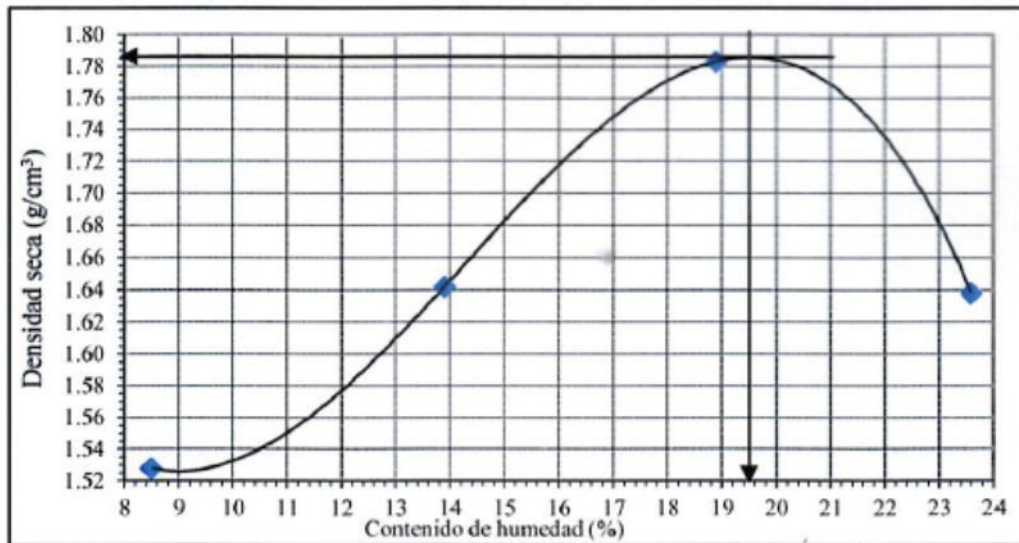
Figura 2- Curva de compactación calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 3 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

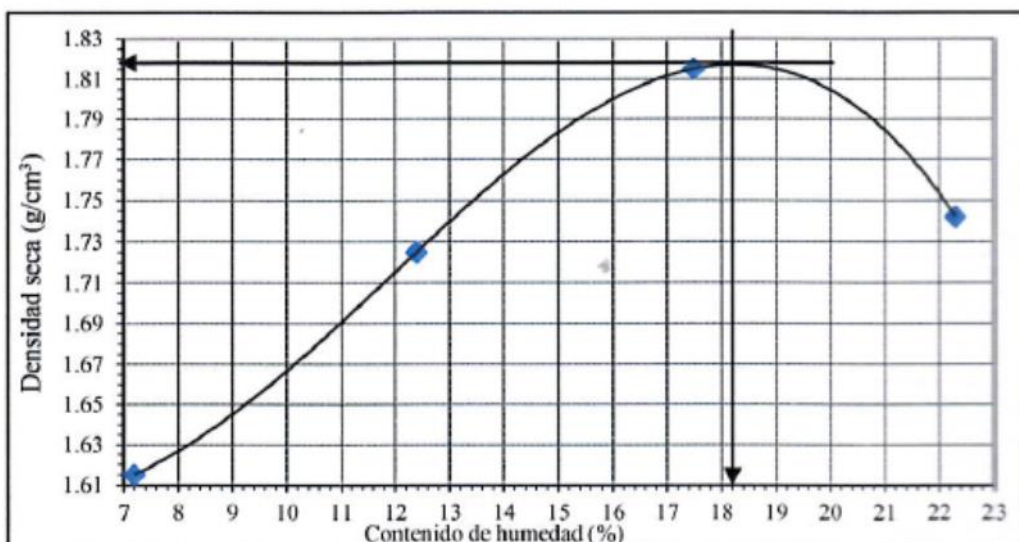
Figura 3- Curva de compactación calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 4 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

Figura 4- Curva de compactación calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.

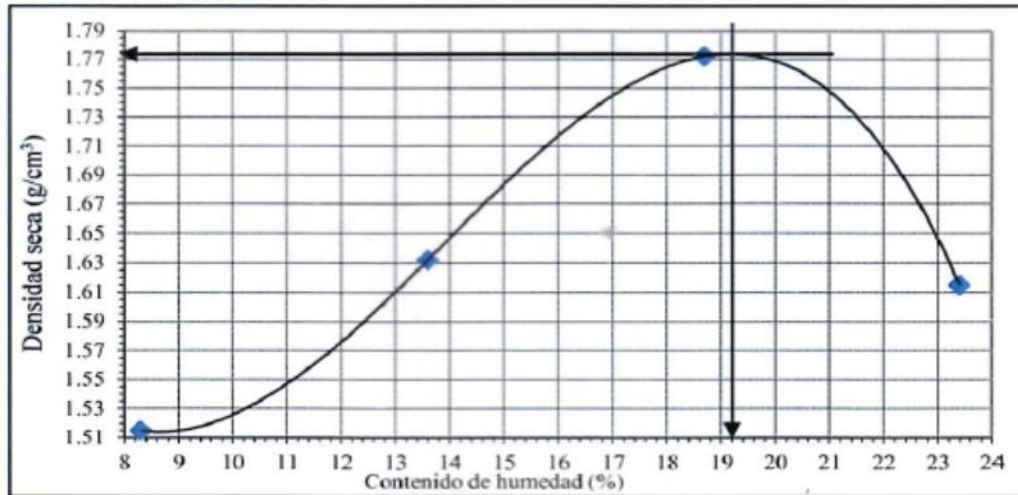


Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 5 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la

calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

Figura 5- Curva de compactación calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

a.2.- Ensayo proctor modificado con la adición del 2% de tereftalato de polietileno: En la tabla 12 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

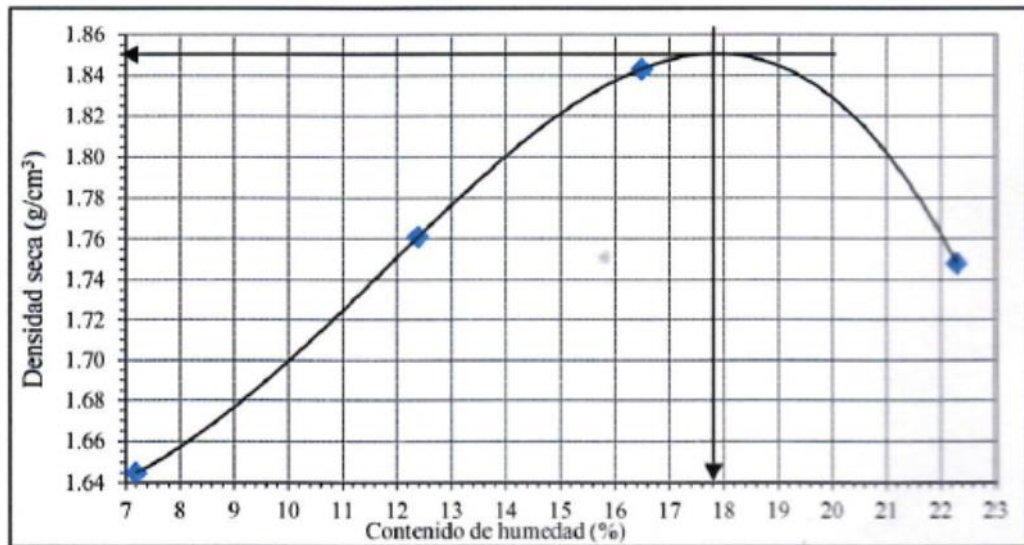
Tabla 12 – Resultados de proctor modificado con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	2%	1.851 gr/cm ³	17.8%
02	M-01	2%	1.804 gr/cm ³	18.9%
03	M-01	2%	1.839 gr/cm ³	17.5%
04	M-01	2%	1.826 gr/cm ³	18.5%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

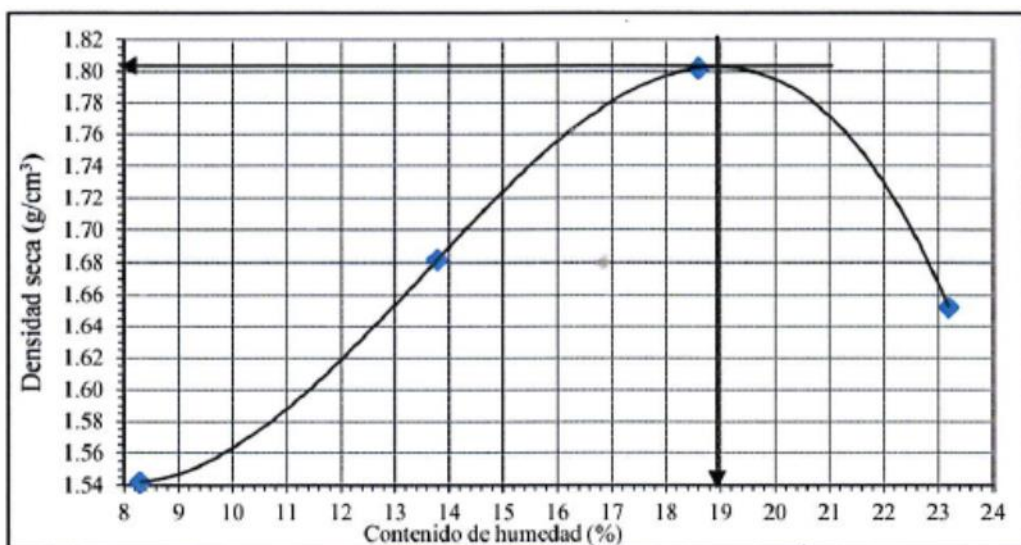
Figura 6- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 7 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

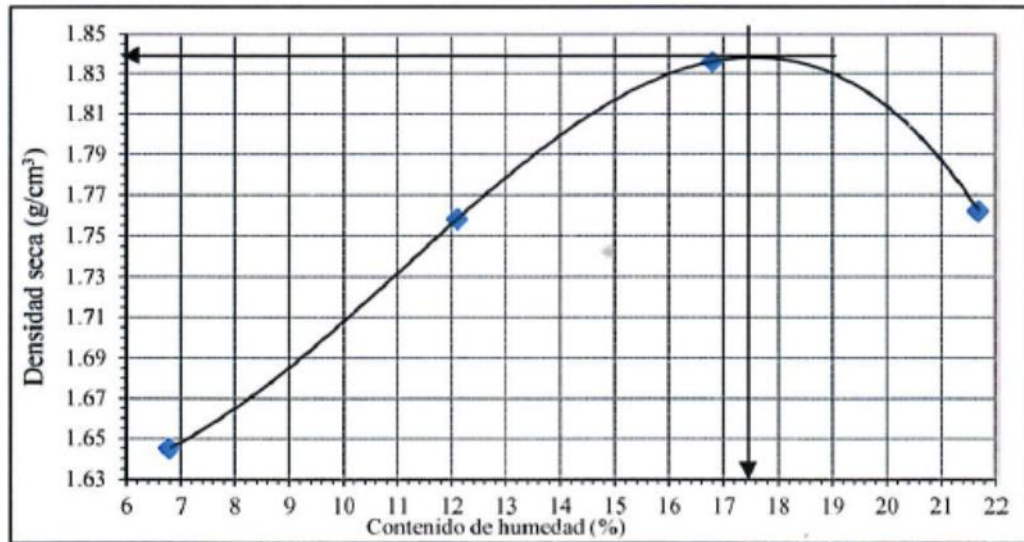
Figura 7- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 8 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

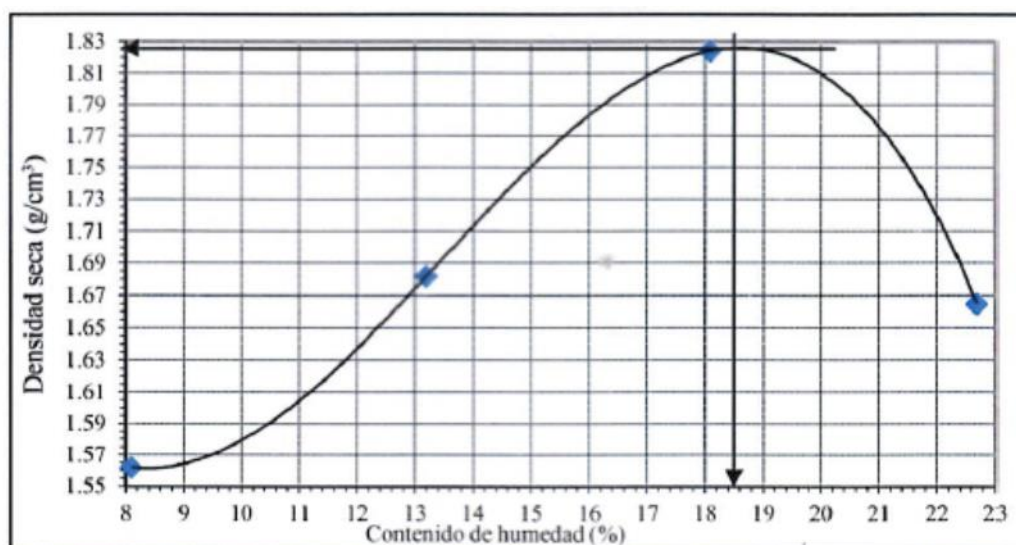
Figura 8- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 9 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

Figura 9- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

a.3.- Ensayo proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno: En la tabla 13 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

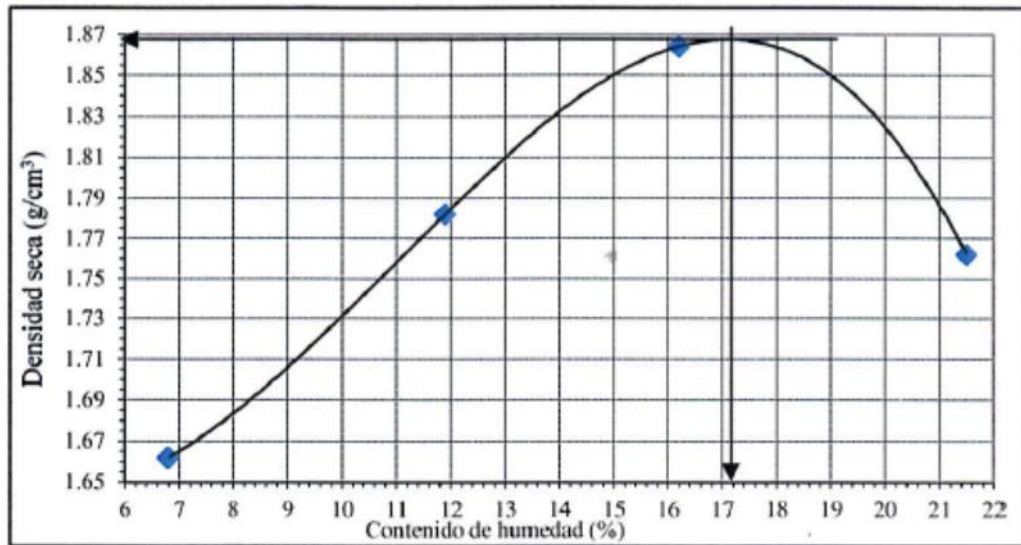
Tabla 13 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	4%	1.867 gr/cm3	17.1%
02	M-01	4%	1.829 gr/cm3	18.5%
03	M-01	4%	1.866 gr/cm3	16.6%
04	M-01	4%	1.845 gr/cm3	18.0%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

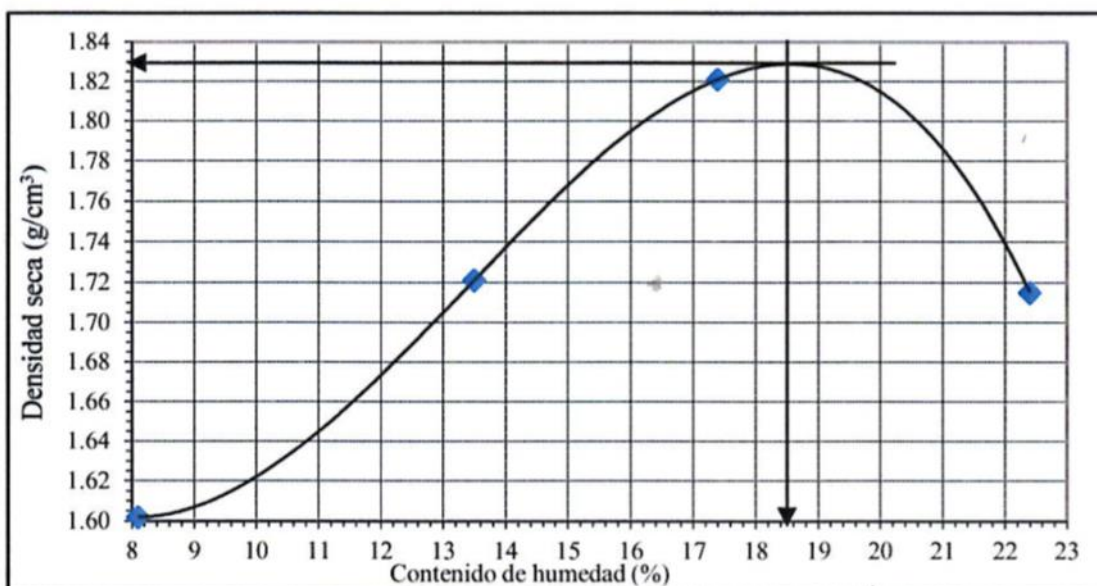
Figura 10- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 11 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

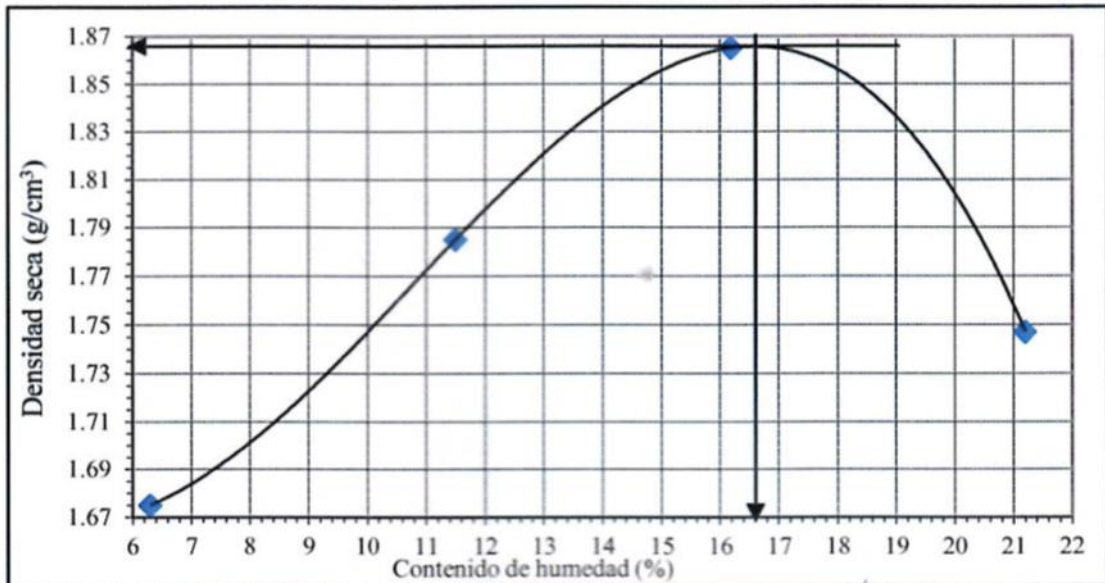
Figura 11- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 12 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

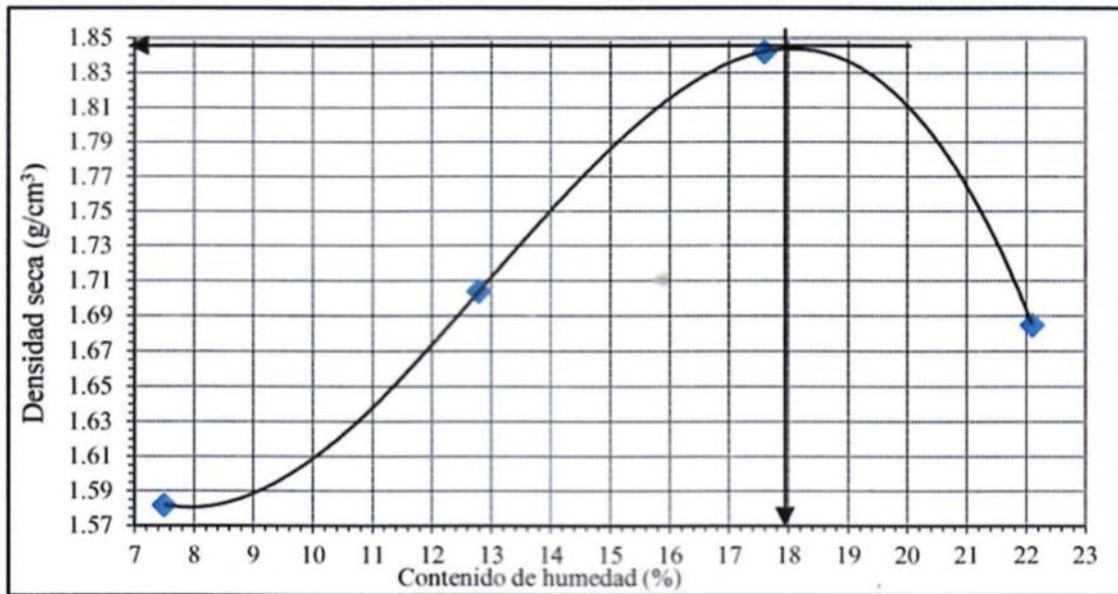
Figura 12- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 13 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

Figura 13- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

a.4.- Ensayo proctor modificado con la adición del 6% de tereftalato de polietileno: En la tabla 14 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

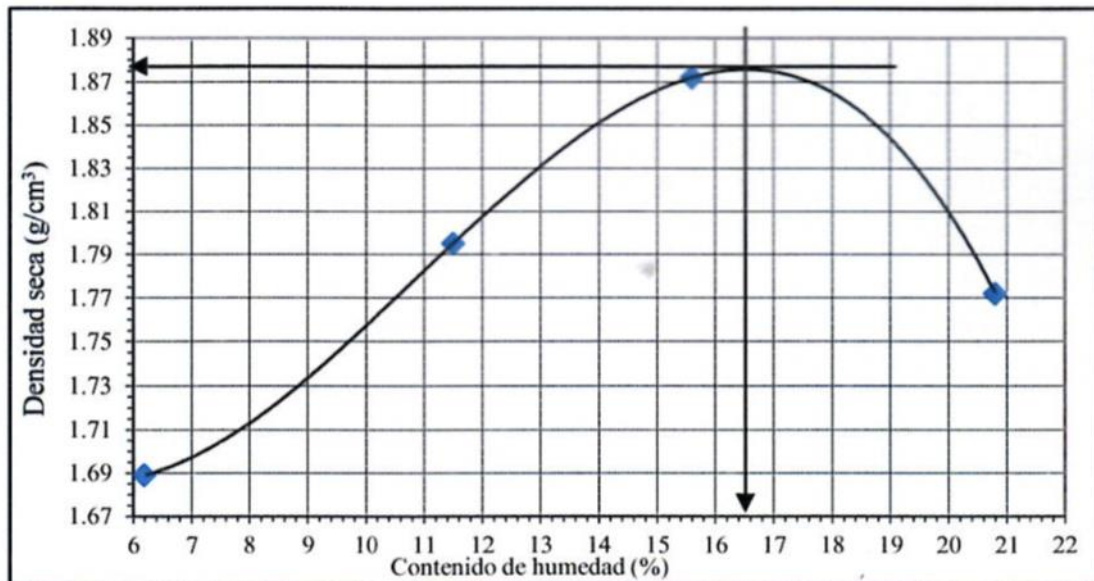
Tabla 14 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	6%	1.876 gr/cm3	16.5%
02	M-01	6%	1.837 gr/cm3	17.8%
03	M-01	6%	1.871 gr/cm3	16.5%
04	M-01	6%	1.854 gr/cm3	17.6%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

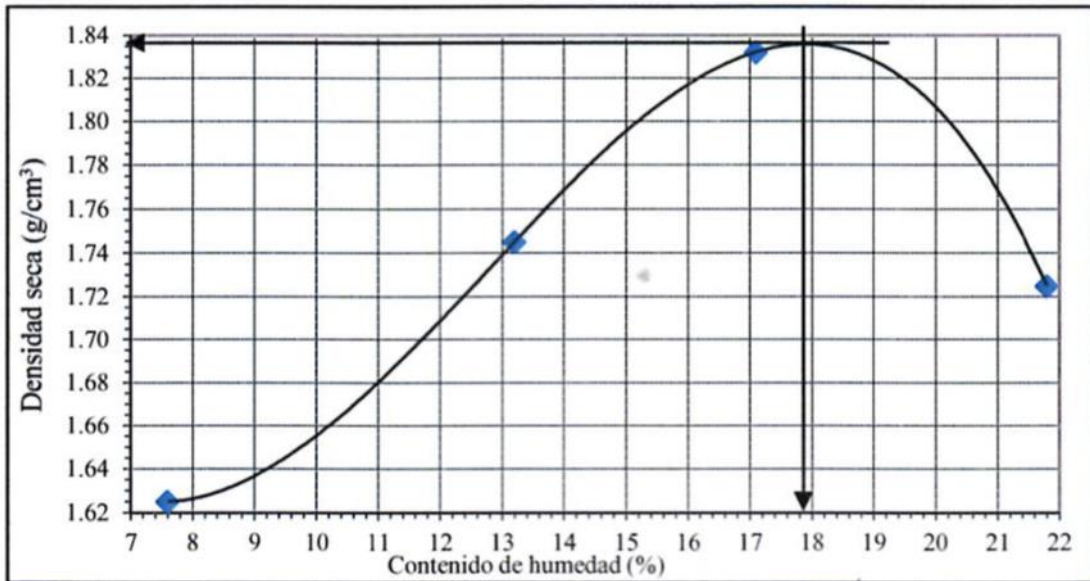
Figura 14- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 15 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

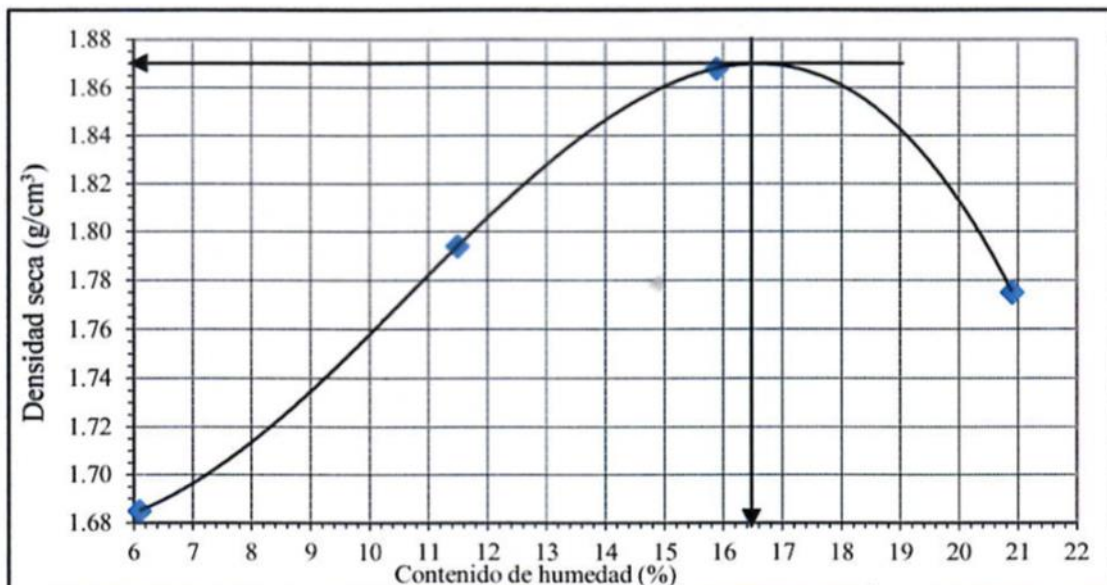
Figura 15- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 16 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

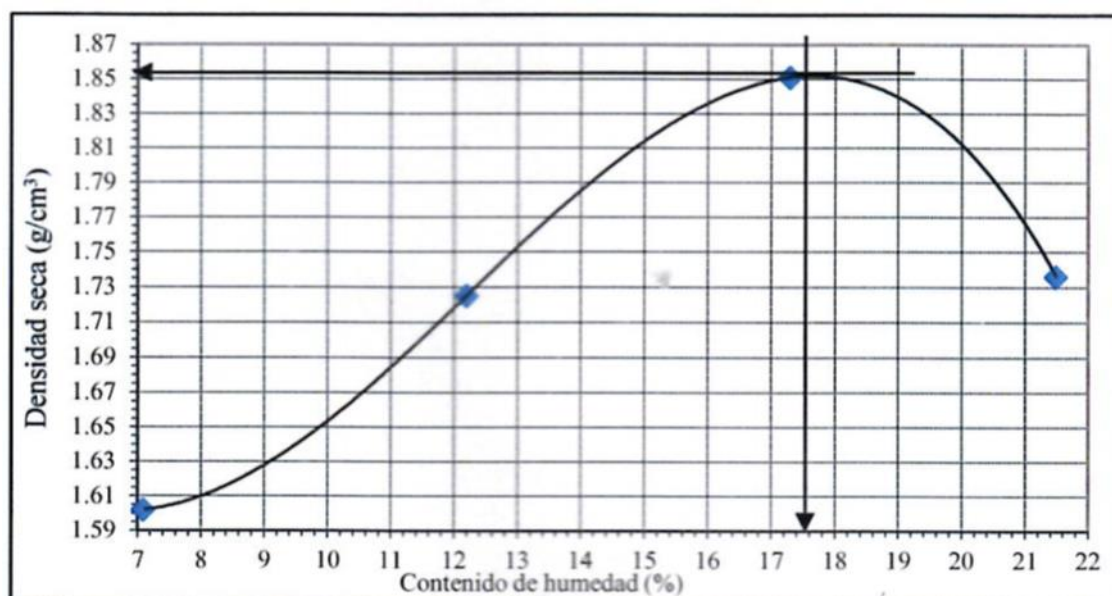
Figura 16- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 17 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

Figura 17- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

b.- Ensayo CBR: Este ensayo es la más determinante y de suma importancia para la presente investigación. El ensayo de CBR se realizó para cada muestra de las 04 calicatas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II.

b.1.- Ensayo CBR sin la adición del tereftalato de polietileno:

En la tabla 15 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del tereftalato de polietileno.

Tabla 15 – Resultados de CBR sin la adición del tereftalato de polietileno.

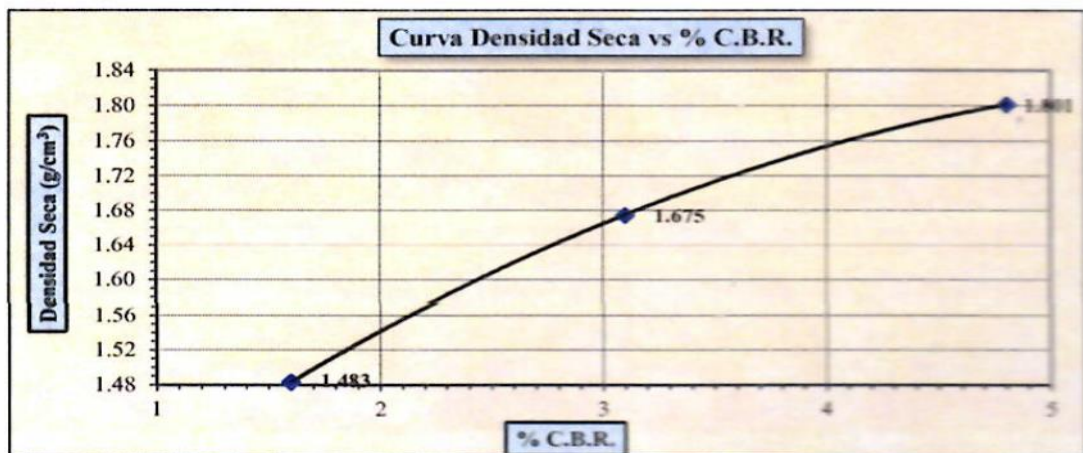
CALICATA	MUESTRA	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	4.8%	3.4%
02	M-01	4.6%	3.3%
03	M-01	4.2%	3.1%
04	M-01	4.1%	2.8%

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de la subrasante del camino vecinal Santa Feliza II, presenta muchos problemas que conllevan a tener inestabilidad volumétrica y una baja capacidad portante, tal como se demuestra en los resultados del CBR, encontrándose estos valores por debajo del 6% y por lo tanto se tendría que estabilizar la subrasante mediante algún método que recomienda el MTC o el método que se plantea en la presente investigación (adición del tereftalato de polietileno).

En la figura 18 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del tereftalato de polietileno.

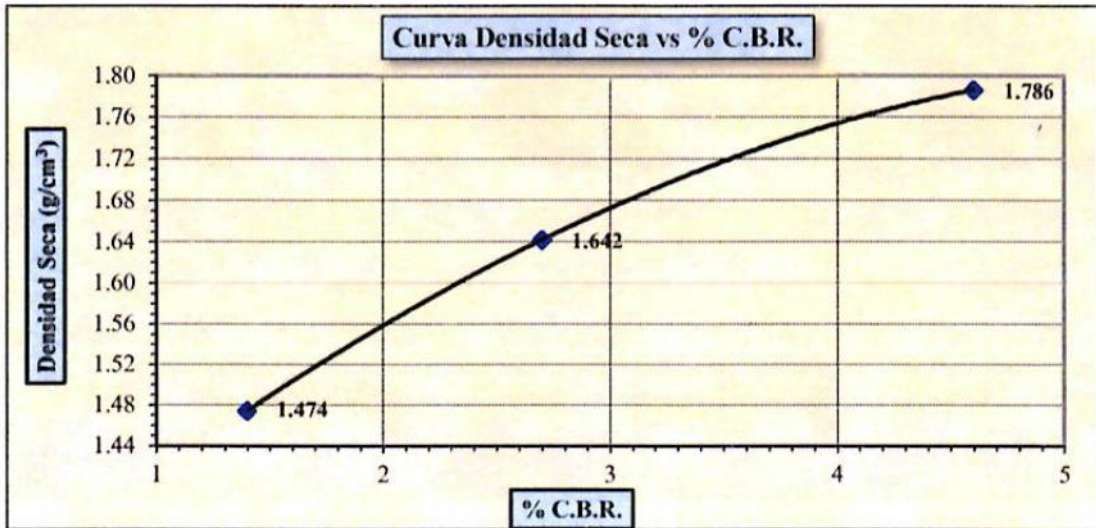
Figura 18- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 19 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del tereftalato de polietileno.

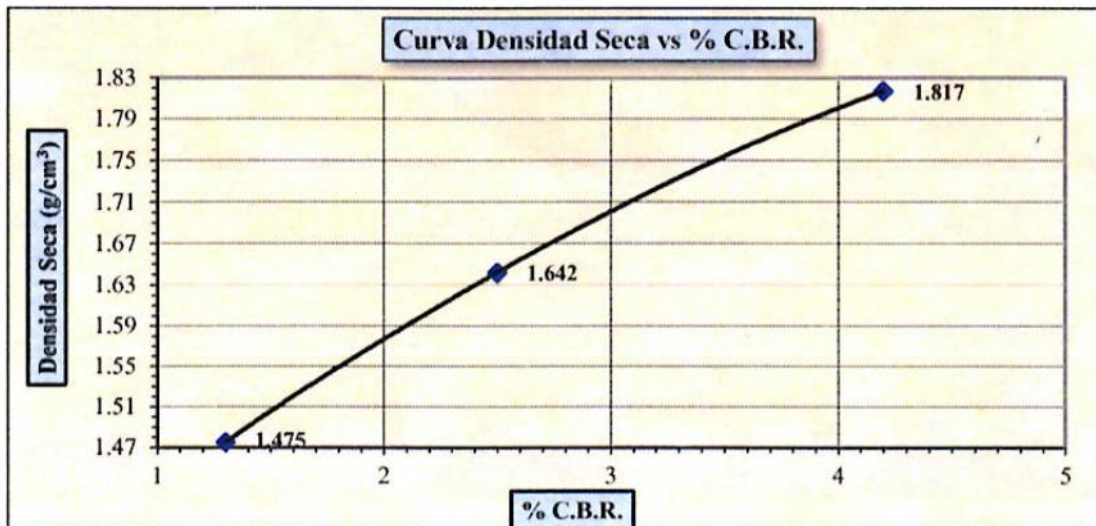
Figura 19- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 20 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del tereftalato de polietileno.

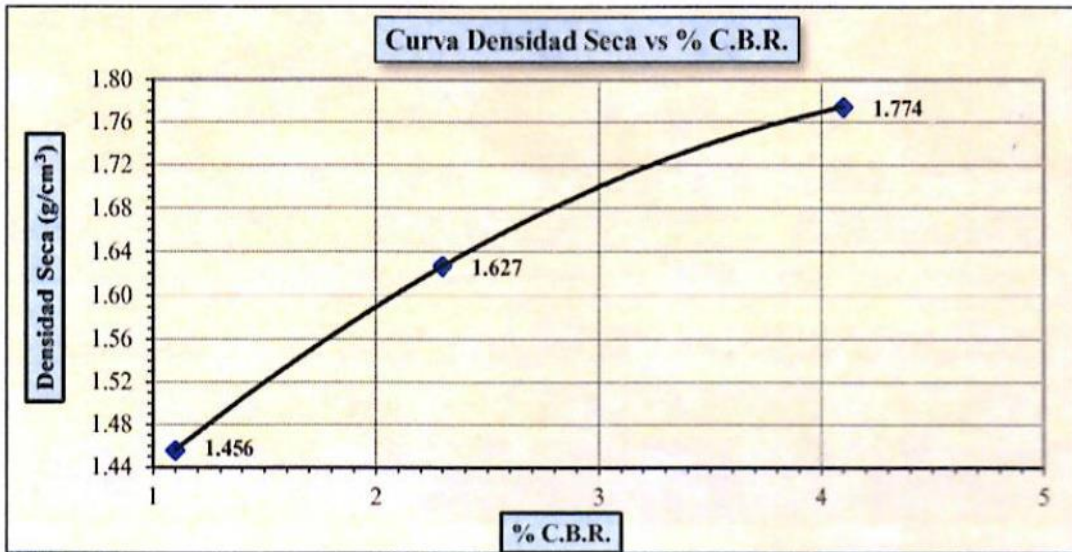
Figura 20- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 21 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II sin la adición del tereftalato de polietileno.

Figura 21- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

b.2.- Ensayo CBR con la adición del 2% de tereftalato de polietileno: Los valores del CBR de los suelos ensayados al presentar un índice muy bajo, menor al 6%, lo cual se debe a la ausencia de gravas, por lo que, en mérito al objetivo de la presente investigación, en los siguientes ensayos se adicionarán partículas de tereftalato de polietileno, con el fin de que pueda cumplir dicho material la función similar de las partículas mayores a 4.75mm (gravas), lo cual le dará mayor fricción y por ende mayor resistencia al corte.

En la tabla 16 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

Tabla 16 – Resultados de CBR con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

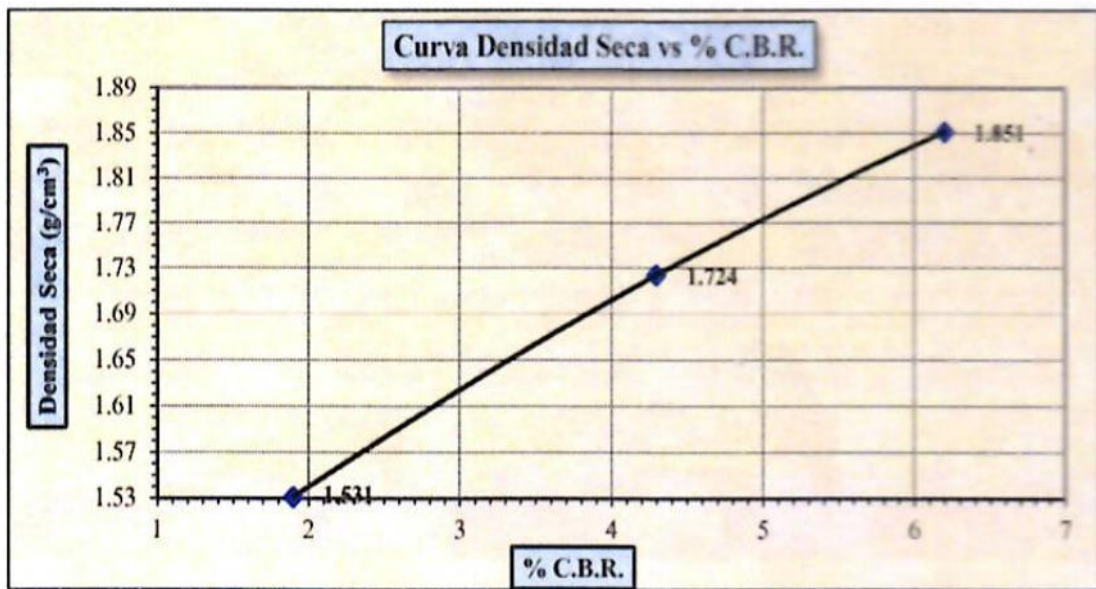
CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
----------	---------	----------------------------	-----------------------	----------------------

01	M-01	2%	6.2%	4.7%
02	M-01	2%	6.1%	4.6%
03	M-01	2%	6.5%	4.6%
04	M-01	2%	6.3%	4.9%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 22 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

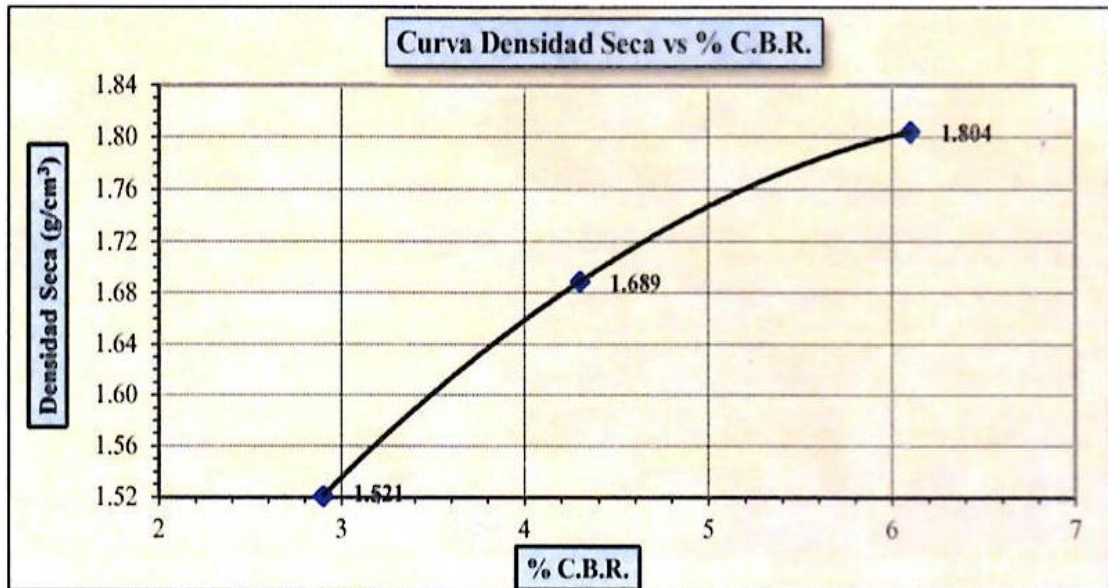
Figura 22- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 23 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

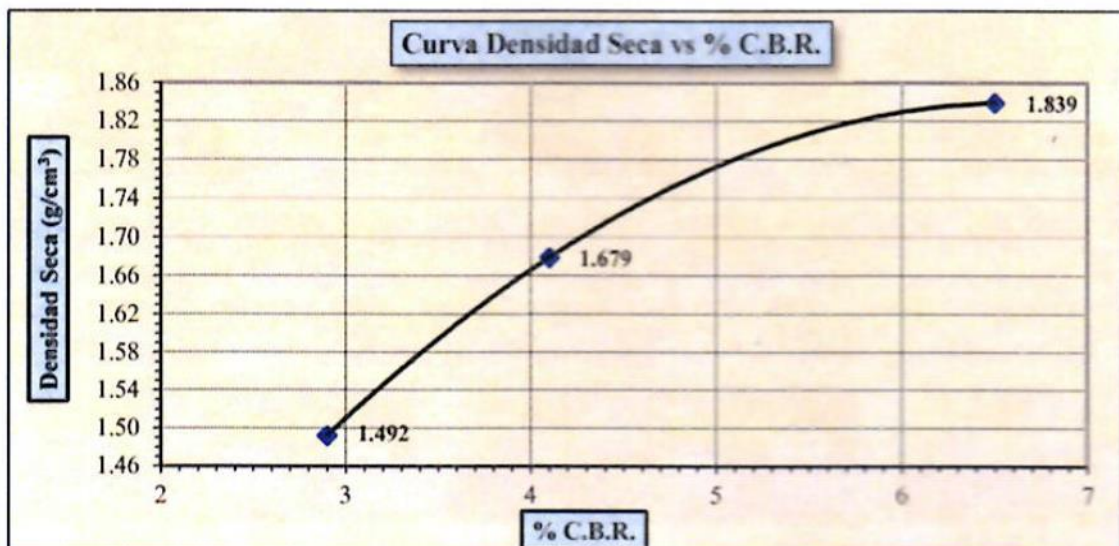
Figura 23- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 24 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

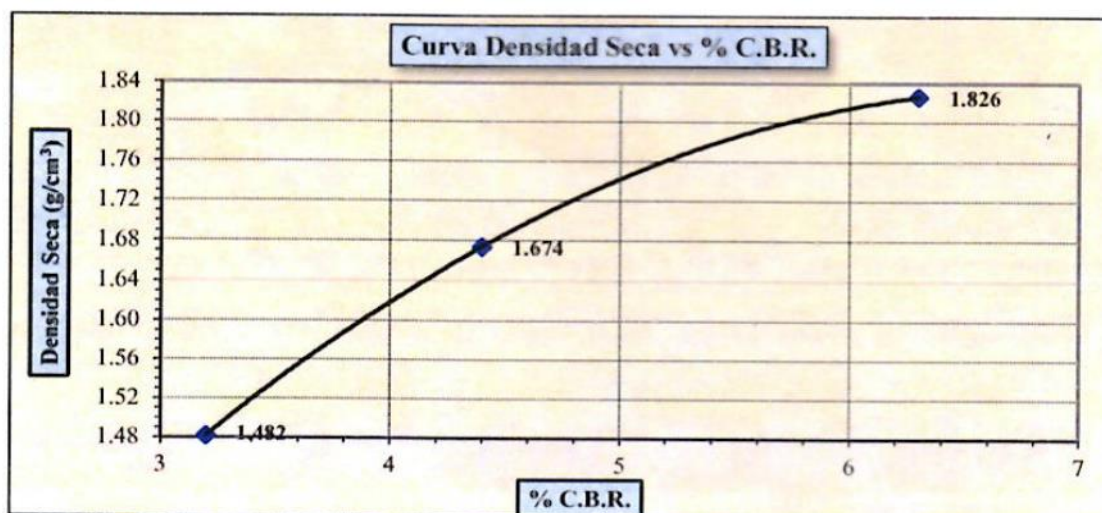
Figura 24- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 25 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

Figura 25- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

b.3.- Ensayo CBR con la adición del 4% de tereftalato de polietileno: En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas correspondientes al camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

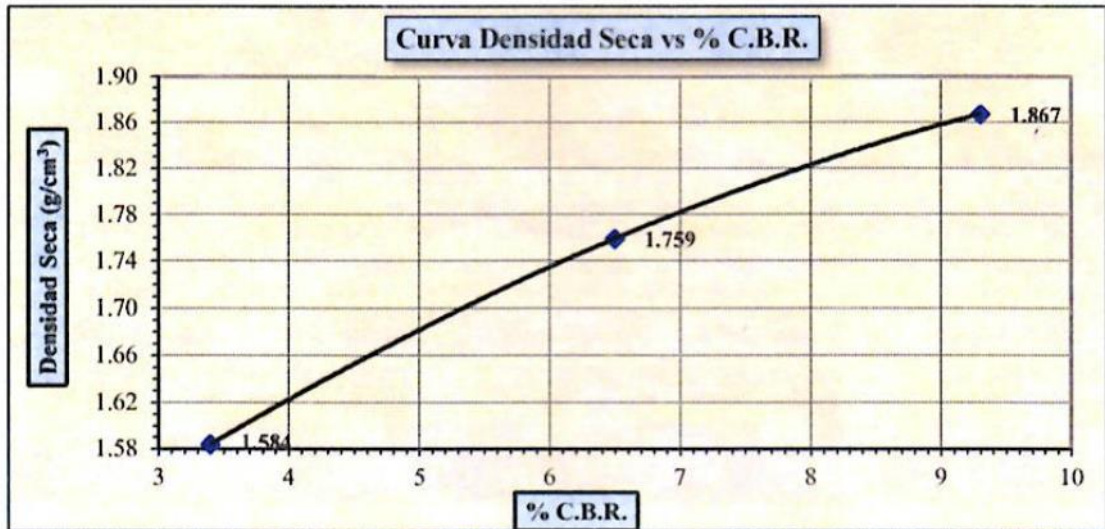
Tabla 17 – Resultados de CBR con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	4%	9.3%	6.8%
02	M-01	4%	9.1%	6.6%
03	M-01	4%	9.6%	7.8%
04	M-01	4%	9.2%	7.7%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

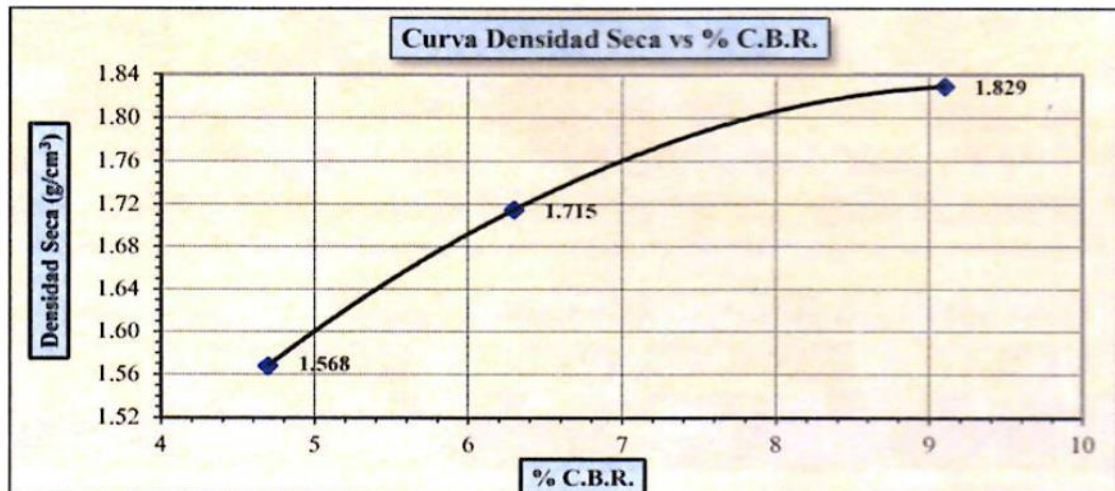
Figura 26- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 27 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

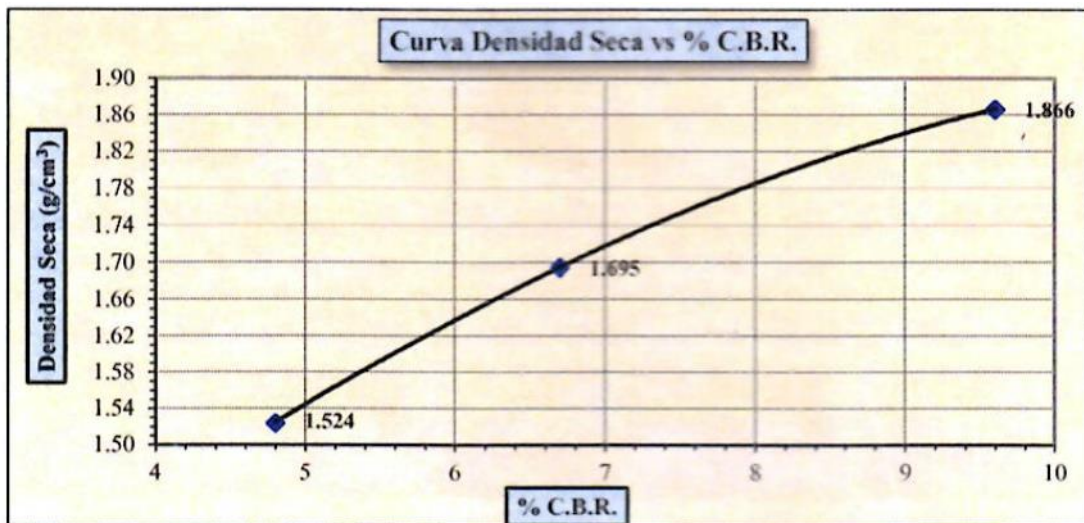
Figura 27- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 28 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

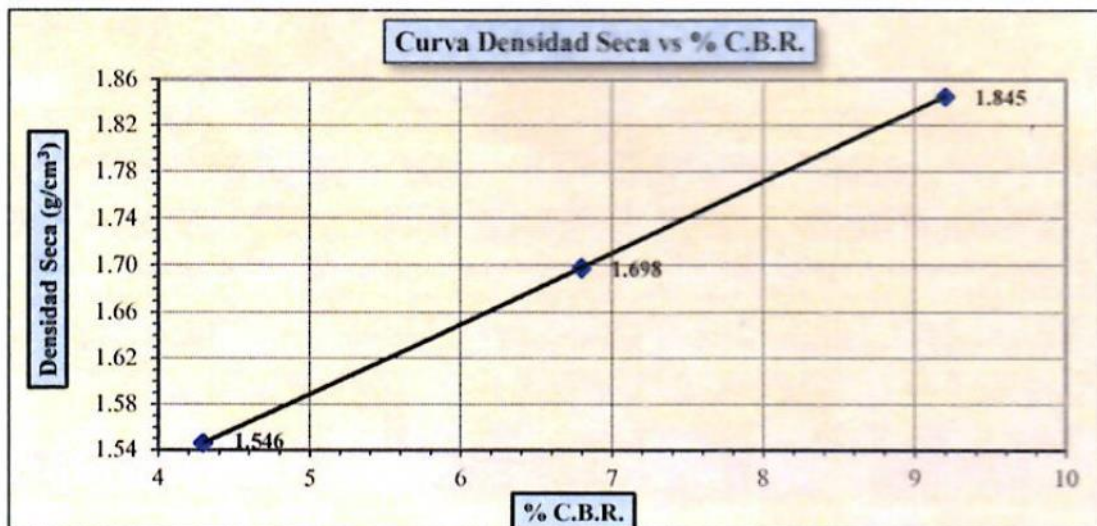
Figura 28- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 29 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

Figura 29- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

b.4.- Ensayo CBR con la adición del 6% de tereftalato de polietileno: En la tabla 18 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas correspondientes

al camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

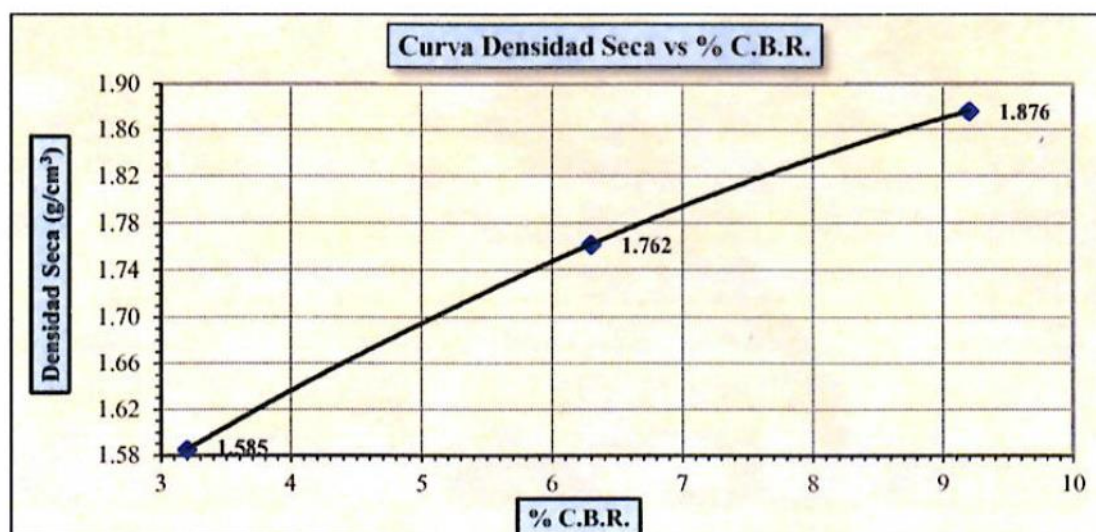
Tabla 18 – Resultados de CBR con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	4%	9.2%	6.7%
02	M-01	4%	8.9%	6.7%
03	M-01	4%	9.4%	7.7%
04	M-01	4%	9.1%	7.6%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 01 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

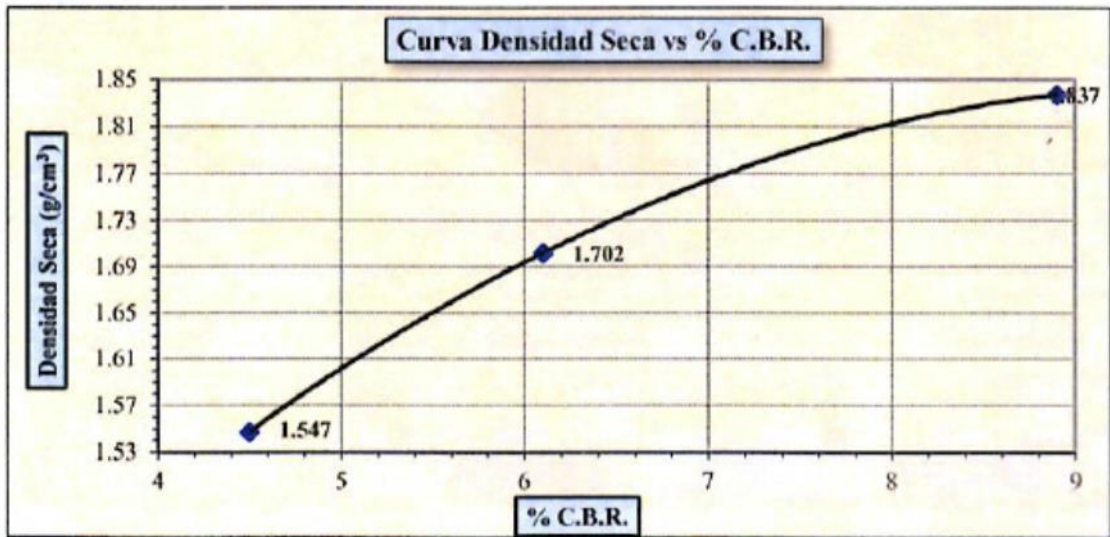
Figura 30- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 31 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 02 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

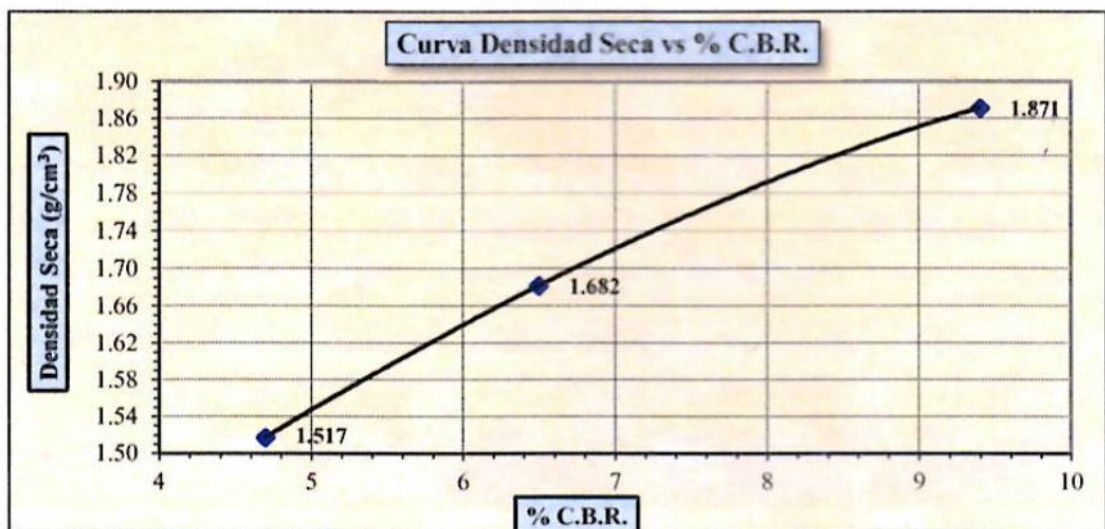
Figura 31- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 32 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 03 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

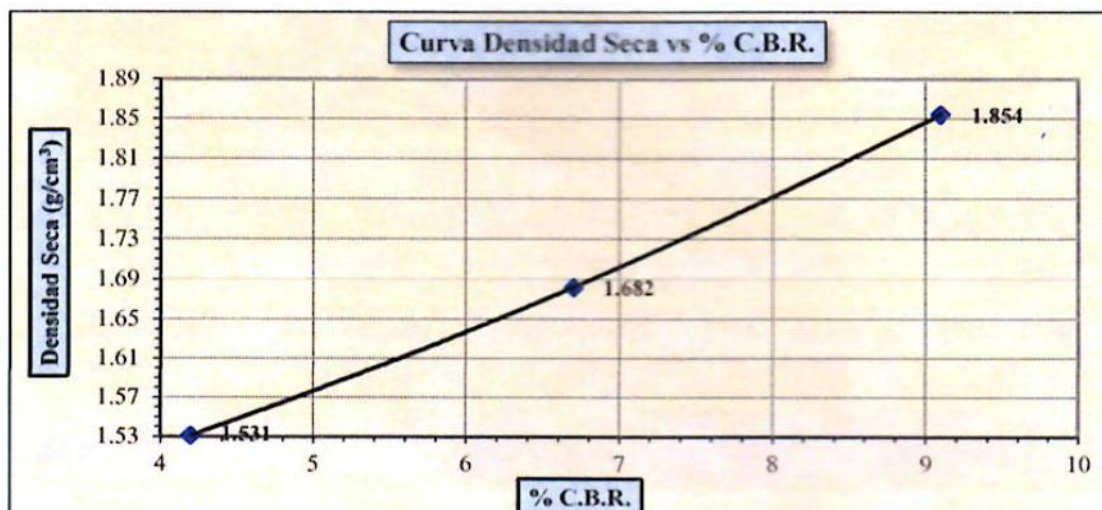
Figura 32- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 33 se muestra la curva densidad seca vs %CBR con material obtenido de la calicata 04 del camino vecinal Santa Feliza II con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

Figura 33- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Resumen de los resultados obtenidos

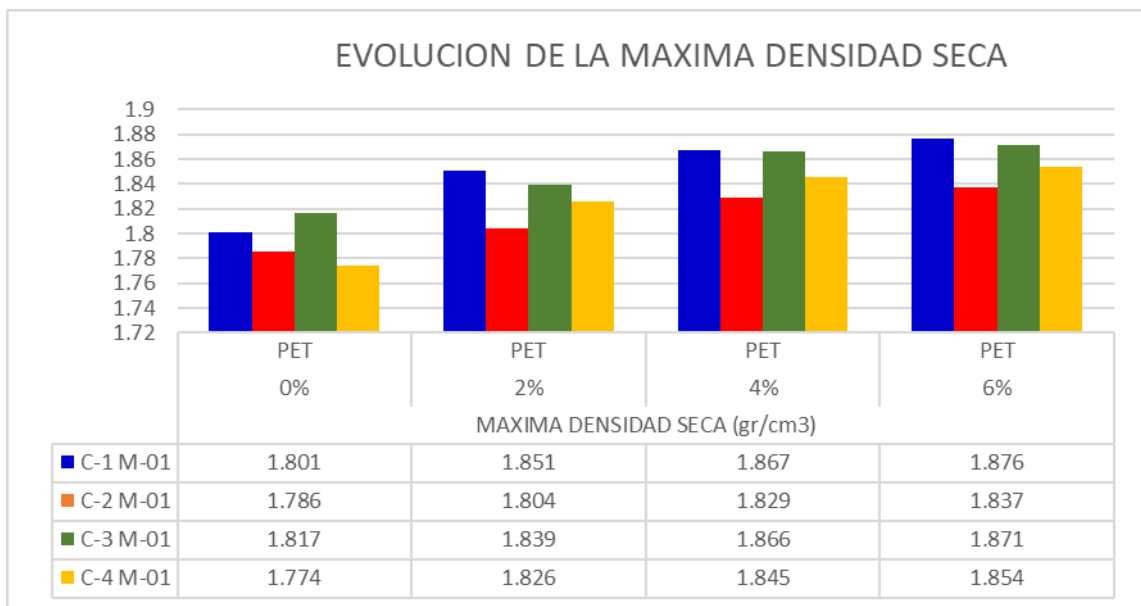
Con la adición de tereftalato de polietileno se logró incrementar la máxima densidad seca en términos de 1.801 gr/cm³ (0%PET) a 1.876 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 1.786 gr/cm³ (0%PET) a 1.837 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 1.817 gr/cm³ (0%PET) a 1.871 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 04 y de 1.774 gr/cm³ (0%PET) a 1.854 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 04, asimismo se logró la disminución del contenido óptimo de humedad del suelo de 18.7% (0%PET) a 16.5% (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 19.5% (0%PET) a 17.8% (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 18.2% (0%PET) a 16.5% (6%PET) de la muestra de la calicata 03 y de 19.2% (0%PET) a 17.6% (6%PET) de la muestra de la calicata 04.

Tabla 19 – Resumen general del ensayo de proctor modificado.

CALICATA	MUESTRA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)				OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
		0% PET	2% PET	4% PET	6% PET	0% PET	2% PET	4% PET	6% PET
01	M-01	1.801	1.851	1.867	1.876	18.7	17.8	17.1	16.5
02	M-01	1.786	1.804	1.829	1.837	19.5	18.9	18.5	17.8
03	M-01	1.817	1.839	1.866	1.871	18.2	17.5	16.6	16.5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34- Evolución de los valores de la máxima densidad seca.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 35- Tendencia creciente de los valores de la máxima densidad seca.

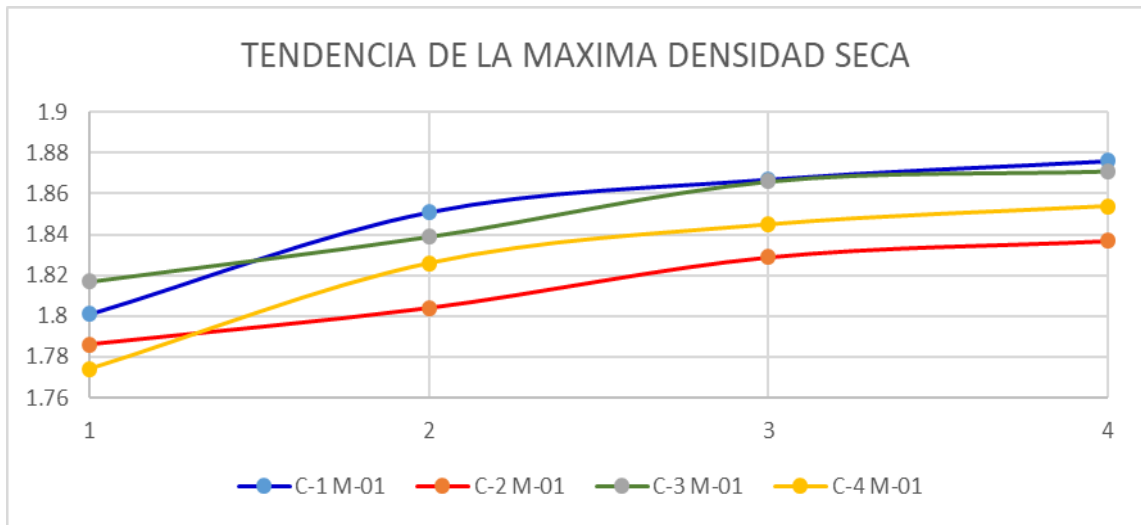


Figura 36- Evolución del óptimo contenido de humedad.

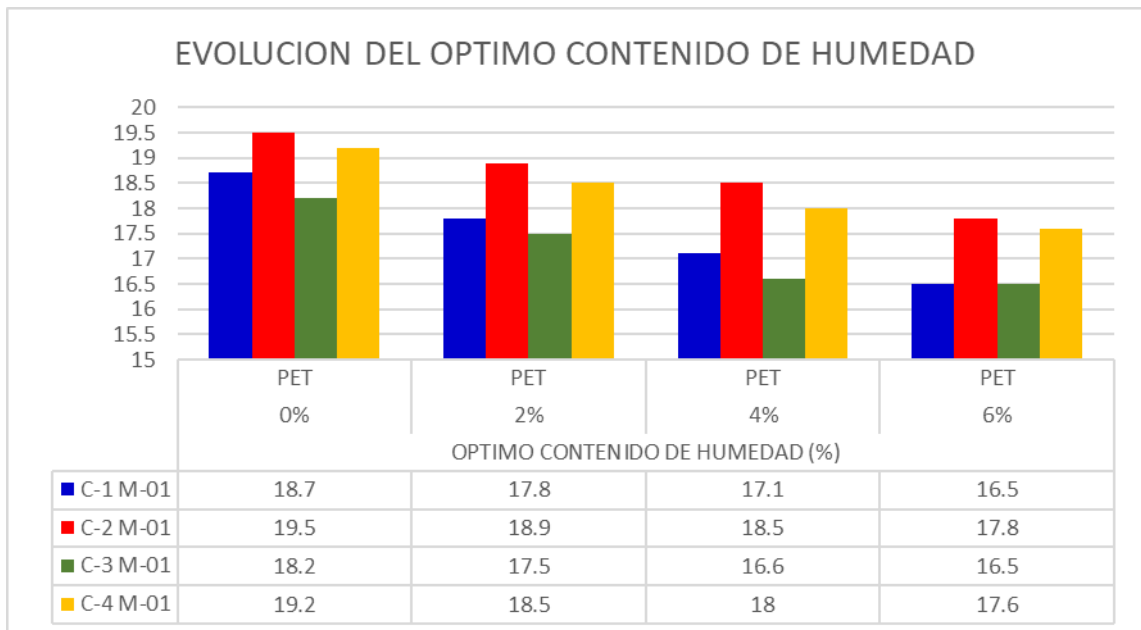
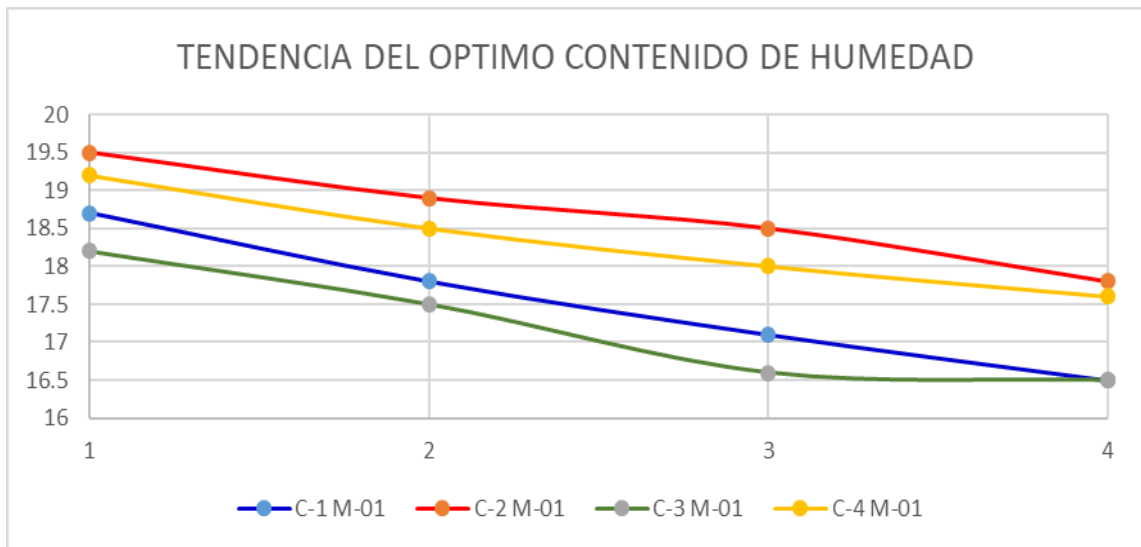


Figura 37- Tendencia decreciente del optimo contenido de humedad.



Fuente: Elaboración Propia.

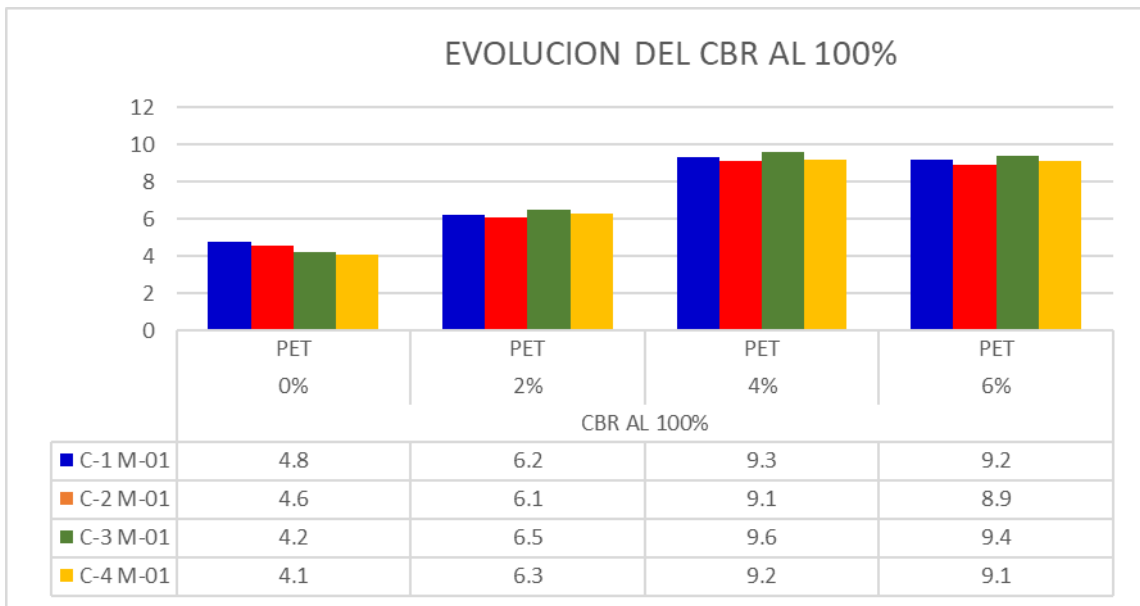
Con la adición de tereftalato de polietileno se logró incrementar porcentualmente la capacidad portante en términos de CBR al 100%, de 4.8% (0%PET) a 9.2% (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 4.6% (0%PET) a 18.9% (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 4.2% (0%PET) a 9.4% (6%PET) de la muestra de la calicata 04 y de 4.1% (0%PET) a 9.1% (6%PET) de la muestra de la calicata 04, asimismo se logró incrementar porcentualmente la capacidad portante en términos de CBR al 95% de 3.4% (0%PET) a 6.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 3.3% (0%PET) a 6.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 3.1% (0%PET) a 7.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 03 y de 2.8% (0%PET) a 7.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 04.

Tabla 20 – Resumen general del ensayo de CBR.

CALICATA	MUESTRA	CBR AL 100%				CBR AL 95%			
		0% PET	2% PET	4% PET	6% PET	0% PET	2% PET	4% PET	6% PET
01	M-01	4.8	6.2	9.3	9.2	3.4	4.7	6.8	6.7
02	M-01	4.6	6.1	9.1	8.9	3.3	4.6	6.6	6.7
03	M-01	4.2	6.5	9.6	9.4	3.1	4.6	7.8	7.7
04	M-01	4.1	6.3	9.2	9.1	2.8	4.9	7.7	7.7

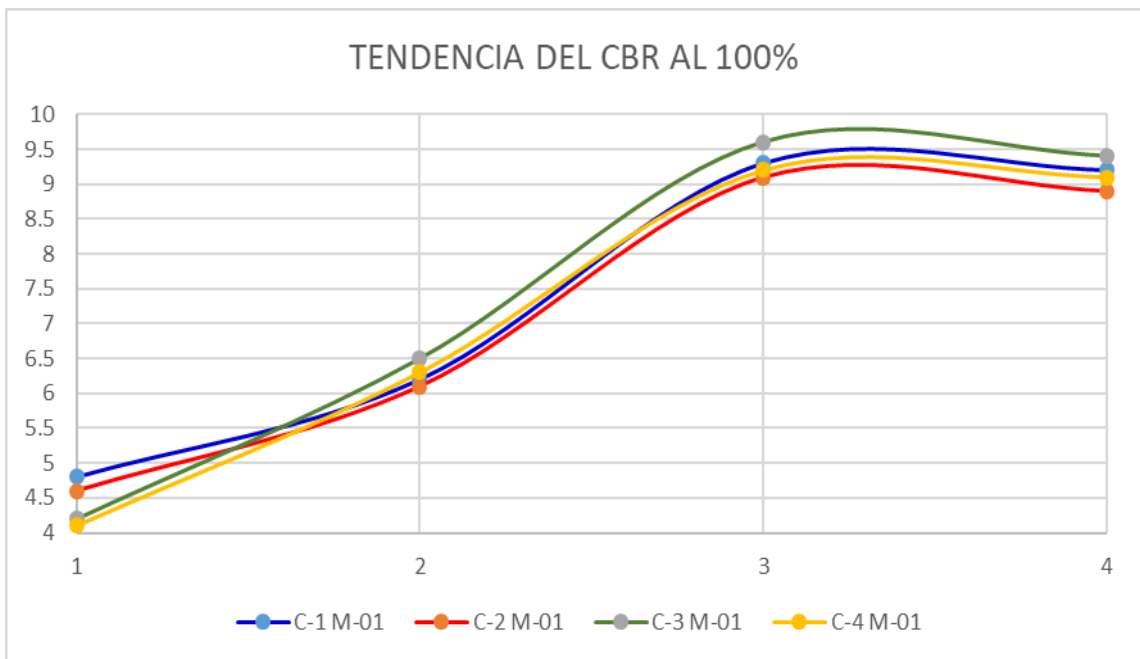
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38- Evolución de los valores del CBR al 100%.



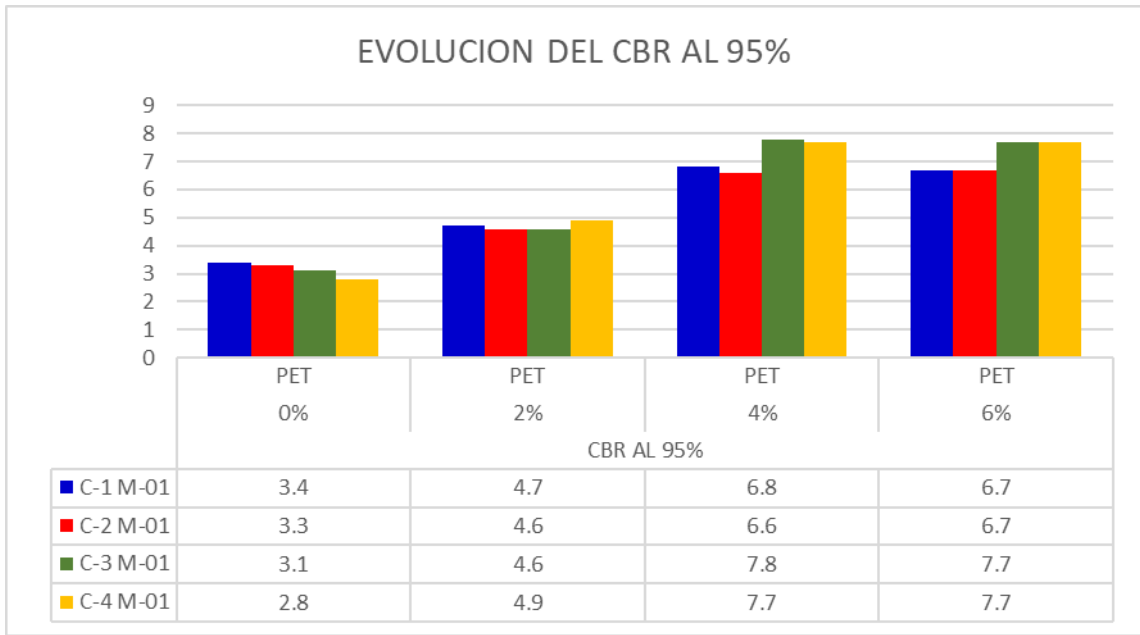
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 39- Tendencia creciente de los valores del CBR al 100%.



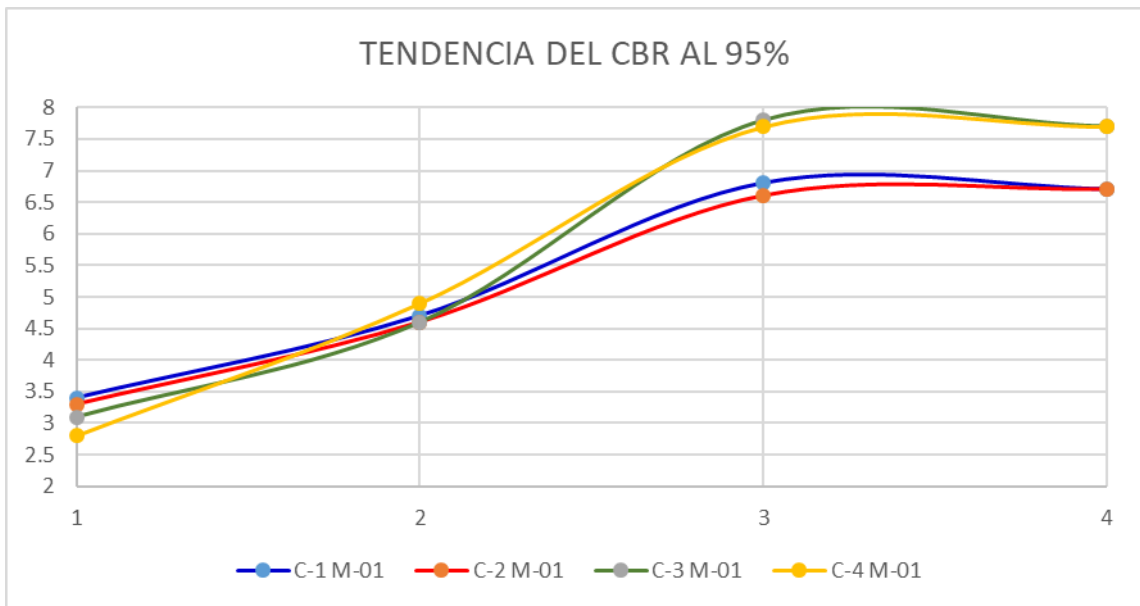
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 40- Evolución de los valores de CBR al 95%.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 41- Tendencia creciente de los valores de CBR al 95%.



Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de resultados específicos

Una vez obtenidos los resultados de los respectivos ensayos realizados a las muestras extraídas de las cuatro calicatas del camino vecinal Santa Feliza II, en el laboratorio de Mecánica de Suelos “C3 Ingeniería Especializada S.A.C.”, se procederá a realizar la discusión de cada uno de los objetivos específicos con los trabajos previos del presente trabajo de investigación.

1.- Del estudio de las propiedades físicas del suelo para sub rasante:

De acuerdo con nuestro primer objetivo, que señala; “Analizar cómo el tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza las propiedades físicas del suelo para subrasante”. Para el logro de dicho objetivo se tuvo que ir al lugar de estudio insitu y obtener muestras con el fin de poder realizar los respectivos ensayos de laboratorio según la Norma Técnica Peruana (NTP), para ello se tuvieron que realizar los siguientes ensayos: análisis granulométrico, contenido de humedad, límites de atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) y por último la clasificación de suelos S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O.

El análisis granulométrico de las cuatro muestras ensayadas (01 por calicata), en promedio el 86% eran partículas finas, lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso y la humedad natural que éstas muestras presentaban en promedio es de 17.25%, posteriormente para los límites de Atterberg se logró determinar el límite líquido y plástico de cada muestra, obteniendo de esta forma el índice de plasticidad, cuyo valor se encuentra entre 12% y 16%, por lo que, se considera como un "suelo arcilloso". Ya obtenidos los datos de granulometría y límites de atterberg se pudo determinar qué tipo de suelo resulta cada muestra de forma independiente, por lo que, la clasificación S.U.C.S. ratifico que las muestras son un suelo del tipo arcilloso de baja plasticidad (CL) y la clasificación A.A.S.H.T.O. registró un suelo arcilloso (A-6).

2.- Del estudio de las propiedades mecánicas del suelo para subrasante: De acuerdo con nuestro segundo objetivo, que señala; "Describir cómo el tereftalato de polietileno postconsumo reciclado (P.E.T. – P.C.R.) estabiliza las propiedades mecánicas del suelo para subrasante". Para el logro de dicho objetivo se tuvo que ir al lugar de estudio insitu y obtener muestras con el fin de poder realizar los respectivos ensayos de laboratorio según la Norma Técnica Peruana (N.T.P.), para ello se tuvieron que realizar los siguientes ensayos: ensayo de compactación (proctor modificado) y finalmente ensayo de C.B.R.

Según el ensayo de compactación (proctor modificado), se obtuvo una máxima densidad seca de 1.801, 1.786, 1.817 y 1.774 gr/cm³, estos valores son de importancia para el ensayo de C.B.R., tal es así, que a partir de estos valores se lograra determinar el valor de soporte del suelo, las muestras dieron como resultado 4.8%, 4.6%, 4.2% y 4.1% de C.B.R. con una penetración de 0.2" a 56 golpes, de acuerdo a estos resultados se determina que la subrasante se encuentra identificada como "Pobre", ello de acuerdo a la clasificación de la tabla N° 1 (categorías de subrasante) establecida por el M.T.C. Por lo que, en mérito al objetivo de la presente investigación, en los siguientes ensayos se adicionaran partículas de tereftalato de polietileno (2%, 4% y 6% de P.E.T.), con el fin de que pueda

cumplir dicho material la función similar de las partículas mayores a 4.75 miligramos (gravas), lo cual le dará mayor fricción y por ende mayor resistencia al corte. Lo indicado líneas arriba, se relaciona con la tesis de Roly Roberth Leiva Gonzales, titulada “UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO, PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 – KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN”, en esta investigación se utiliza bolsas plásticas, un material que pertenece al grupo de los polímeros. Leyva emplea las bolsas de polietileno fundida como agente de mejora de un suelo arcilloso de mediana y baja plasticidad con un valor de soporte de 5%, obteniendo como resultado un aumento al 8.31% del valor de soporte con un 6% de bolsas plásticas.

Finalmente, para el cumplimiento de nuestro segundo objetivo se determinó los valores de soporte (C.B.R) de la subrasante con la adición del tereftalato de polietileno en proporciones de 2%, 4% y 6%, de los ensayos practicados se logró tener un resultado favorable, puesto que el CBR aumento desde un 4% (0% P.E.T.) en promedio hasta un 9%(6% P.E.T.) en promedio. Estos resultados guardan relación con los resultados obtenidos en la tesis de Ramos Hinojosa Gabriel Paul, titulada “MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE, MEDIANTE EL USO DE POLÍMEROS RECICLADOS EN CARRETERAS, PAUCARÁ HUANCVELICA 2014”, donde se obtuvo resultados favorables en el valor de soporte del suelo, aumentándolo de 3.77% hasta 4.85% con 1.5% de Polímeros reciclados.

CONCLUSIONES

- A. El análisis granulométrico de las cuatro muestras ensayadas (01 por calicata), en promedio el 86% eran partículas finas, lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso y la humedad natural que éstas muestras presentaban en promedio es de 17.25%, el índice de plasticidad, cuyo valor se encuentra entre 12% y 16%, por lo que, se considera como un "suelo arcilloso", la clasificación S.U.C.S. ratifico que las muestras son un suelo del tipo arcilloso de baja plasticidad (C.L.) y la clasificación A.A.S.H.T.O. registró un suelo arcilloso (A.-6.).
- B. Con la adición de tereftalato de polietileno se logró incrementar porcentualmente la capacidad portante en términos de C.B.R. al 100%, de 4.8% (0% P.E.T.) a 9.2% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 01, de 4.6% (0% P.E.T.) a 18.9% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 02, de 4.2% (0% P.E.T.) a 9.4% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 04 y de 4.1% (0% P.E.T.) a 9.1% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 04, asimismo se logró incrementar porcentualmente la capacidad portante en términos de CBR al 95% de 3.4% (0% P.E.T.) a 6.7% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 01, de 3.3% (0% P.E.T.) a 6.7% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 02, de 3.1% (0% P.E.T.) a 7.7% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 03 y de 2.8% (0% P.E.T.) a 7.7% (6% P.E.T.) de la muestra de la calicata 04.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso del tereftalato de polietileno como estabilizador de subrasante en suelos de baja capacidad portante.
2. Se recomienda realizar un estudio de mecánica de suelos (E.M.S.), para poder caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (terreno de fundación), ello con el objeto de poder elegir el tipo de agente que actuara como estabilizador recomendado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arbeláez, J., & Góngora, D. (2019). Refuerzo de estructuras térreas utilizando tereftalato de polietileno (PET). Universidad de Ibagué.
2. Bernal, C. (2006). Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. (Segunda; L. Gaona, Ed.). México: Pearson Educación.
3. Cuipal, B. (2018). Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018 (Universidad César Vallejo). Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/25124>
4. Del Cid, A., Sandoval, R., & Sandoval, F. (2007). Investigación. Fundamentos y metodología (Primera; H. Rivera, Ed.). México: Pearson Educación.
5. Greenpeace. (2018). Plásticos en los océanos. Dossier de Prensa, p. 7. Retrieved from http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf
6. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta; J. Mares, Ed.). México: McGRAW-HILL.
7. Ley N°30884. (2018). Ley que regula el plástico de un sólo uso y los recipientes o envases descartables (p. 5). p. 5. Lima - Perú: Congreso de la República del Perú.
8. MTC. (2008). Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen 24 de tránsito. Retrieved from <http://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedisenodecarreterasnopavimentadasdebajovolumendetransito.pdf>
9. MTC. (2013). Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) (Tomo I). Retrieved from [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - \(Versión Revisada - JULIO 2013\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20-%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construccion%20-%20EG-2013%20-%20(Versi3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)

10. MTC. (2014). Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección suelos y pavimentos) (p. 305). p. 305. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
11. MTC. (2016). Manual de ensayo de materiales. Retrieved from [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
12. MTC. (2018). Glosario de términos de uso frecuente en los proyectos de infraestructura vial (pp. 1–27). pp. 1–27. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
13. Vargas, N. (2017). Efecto de la adición de fibra de polímeros reciclados en el valor del CBR de suelos granulares en pavimentos. Universidad Continental.
14. Zenteno, S. (2018). Efecto de la estabilización de suelos finos con tereftalato de polietileno como material de refuerzo en la estructura de pavimentos flexibles del distrito de Puno (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from 25 http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2383/Oblitas_Huayllapuma_Elizabeth_Quinto_Apaza_Deyse.pdf?sequence=1

ANEXOS

ANEXO 01 – Matriz de Consistencia.

ANEXO 02 – Resultados de Ensayos de Laboratorio.