



# UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estabilización de suelos Cohesivos con polímeros sintéticos para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas

### TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

### AUTORES

Palomino Huaman, Medalith Brenda  
ORCID: 0009-0006-2154-6426

Davila Moran, Nilton David  
ORCID: 0009-0007-0402-9328

### ASESOR

Torres Chung, Cesar Roberto  
ORCID: 0000-0002-3212-2817

**Lima, Perú**

**2023**

## **METADATOS COMPLEMENTARIOS**

### **Datos de los autores**

Palomino Huaman, Medalith Brenda

DNI: 75905637

Davila Moran, Nilton David

DNI: 71932625

### **Datos de asesor**

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

JURADO 2

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

JURADO 3

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Palomino Huaman, Medalith Brenda, con código de estudiante N° 201510357, con DNI N°75905637, con domicilio en Calle 55 Urb. La Floresta de Pro Mz. WW-2 lt.16, distrito Los Olivos, provincia y departamento de Lima, y Davila Moran, Nilton David, con código de estudiante N° 201611435, con DNI N° 71932625, con domicilio en Calle Alemania Mz. A lote 1, distrito El Agustino, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Estabilización de suelos Cohesivos con polímeros sintéticos para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Torres Chung Cesar Roberto, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 25% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 30 de octubre de 2023



---

Palomino Huaman, Medalith Brenda

DNI N°75905637



---

Davila Moran, Nilton David

DNI N°71932625

## INFORME DE ORIGINALIDAD - TURNITIN

### Estabilización de suelos Cohesivos con polímeros sintéticos para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>25%</b>	<b>23%</b>	<b>4%</b>	<b>10%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.unibague.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unj.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	

  
Dra. Vargas Chang Esther Jori

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su constante apoyo incondicional que me han brindado e impulsando a ser mejor cada día que gracias a sus esfuerzos he logrado culminar mis estudios. Este proyecto también va dirigido a mis hermanos me ayudaron a perseverar en el desarrollo de la tesis

Medalith Brenda Palomino Huaman.

Dedico esta tesis a mis padres, tíos y amigos quienes me brindaron su apoyo a lo largo de mis cinco años de estudio.

Nilton David Davila Moran.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera; a la URP por abrirnos sus puertas; y a todas personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Medalith Brenda Palomino Huaman  
Nilton David Davila Moran.

## ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD - TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	3
1.1.1. Problemática e importancia .....	3
1.1.2. Árbol del Problema (Causas-Problema – Consecuencias) .....	4
1.2. Formulación del Problema.....	5
1.2.1. Problema General .....	5
1.2.2. Problemas Específicos.....	5
1.3. Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1. Objetivo General .....	5
1.3.2. Objetivos Específicos .....	5
1.4. Delimitación de la investigación .....	5
1.4.1. Geográfica .....	5
1.4.2. Temporal.....	5
1.4.3. Temática .....	5
1.4.4. Muestral.....	5
1.5. Justificación del Estudio .....	6
1.5.1. Conveniencia .....	6
1.5.2. Relevancia Social .....	6
1.5.3. Aplicaciones prácticas .....	6
1.5.4. Utilidad metodológica .....	7
1.5.5. Valor Teórico .....	7

1.6. Importancia del Estudio .....	7
1.6.1. Nuevos Conocimientos.....	7
1.6.2. Aporte .....	7
1.7. Limitaciones del estudio .....	7
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación .....	7
1.7.2. Metodológica o prácticos .....	8
1.7.3. Medidas para la recolección de los datos .....	8
1.7.4. Obstáculos en la investigación .....	8
1.8. Alcance .....	8
1.9. Viabilidad del estudio .....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Marco histórico .....	10
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema .....	10
2.2.1. Investigaciones nacionales .....	14
2.2.2. Artículos relacionados con el tema .....	31
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	60
2.3.1. Propiedades físico mecánicas del suelo.....	60
2.3.2. Resistencia al corte .....	60
2.3.3. Suelos Cohesivos.....	60
2.3.4. Tereftalato de Propileno .....	60
2.3.5. Ensayo del Contenido de Humedad .....	61
2.3.6. Ensayo de Límites de Consistencia de un suelo.....	61
2.3.7. Ensayo de Compactación .....	64
2.3.8. CBR (California Bearing Ratio).....	64
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	66
3.1. Hipótesis .....	66
3.1.1. Hipótesis general .....	66
3.1.2. Hipótesis específicas .....	66
3.2. Sistema de variables .....	66
3.2.1. Definición Conceptual y operacional .....	66
3.2.2. Definición Conceptual de Variables .....	66
3.2.3. Definición operacional de Variables.....	66
3.2.4. Operalización de las variables .....	67
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA .....	69



4.1. Método de la Investigación.....	69
4.2. Tipo de la investigación .....	69
4.3. Nivel de la investigación .....	69
4.4. Diseño de la investigación .....	69
4.5. Población y muestra.....	69
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	70
4.6.1. Instrumento de recolección de datos .....	70
4.6.2. Métodos y técnicas .....	70
4.7. Descripción de procesamientos de análisis.....	70
CAPITULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	71
5.1. Presentación de resultados .....	71
5.2. Discusiones .....	73
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de las propiedades del suelo y métodos de ensayo .....	12
Tabla 2 Resumen de las propiedades del suelo y métodos de ensayo .....	13
Tabla 3 Contenido de material según calicata.....	15
Tabla 4 Límites de Atterberg de las tres calicatas realizadas.....	15
Tabla 5 Resumen de CBR muestra natural .....	15
Tabla 6 Resumen de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%.....	15
Tabla 7 Resumen de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%.....	16
Tabla 8 Datos de las Calicatas de la zona de estudio.....	17
Tabla 9 Resultados de Índice de Plasticidad .....	18
Tabla 10 Resultados del Óptimo Contenido de Humedad.....	18
Tabla 11 Resultados de la Máxima Densidad Seca.....	19
Tabla 12 Resultados del CBR al 95% de M.D.S .....	20
Tabla 13 Resultados del CBR al 100% de M.D.S .....	20
Tabla 14 Porcentajes de suelos (grava, arena, finos) .....	21
Tabla 15 Resultados de contenido de humedad y humedad óptima .....	22
Tabla 16 Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de límites de consistencia	22
Tabla 17 Clasificación por el método SUCS .....	22
Tabla 18 Clasificación de suelos por el método AASHTO.....	22
Tabla 19 Resultados de la muestra patrón mediante el ensayo Proctor modificado.....	23
Tabla 20 Resultados de la muestra patrón mediante el ensayo Proctor modificado.....	24
Tabla 21 Resultados del ensayo CBR de la muestra patrón .....	24
Tabla 22 Resultados de CBR más el 1% de polímero reciclado.....	25
Tabla 23 Resultados de CBR más el 3% de polímero reciclado triturado .....	25
Tabla 24 Clasificación del Suelo en Estudio .....	27
Tabla 25 Clasificación del Suelo en Estudio .....	27
Tabla 26 Clasificación del Suelo en Estudio .....	28
Tabla 27 Resultado de límites de Atterberg .....	28
Tabla 28 Resultado del ensayo de Proctor Modificado .....	28
Tabla 29 Resultado del CBR.....	29
Tabla 30 Índice de propiedades del suelo .....	31
Tabla 31 Propiedades de la fibra de polipropileno.....	32
Tabla 32 Propiedades físicas y mecánicas de las tiras de PET .....	33

Tabla 33 Abreviatura de suelo con polvo de piedra más fibra PET .....	37
Tabla 34 Resultados de OMC y MDD para todas las muestras .....	37
Tabla 35 Cuadro de resumen para la prueba UCS .....	38
Tabla 36 Valores de CBR.....	38
Tabla 37 Propiedades físicas del suelo natural .....	39
Tabla 38 Resultados de la prueba UCS para fibras de PE y PP .....	41
Tabla 39 Resultados de la prueba CBR para fibras de 1.0 cm y 2.0 cm de longitud.....	41
Tabla 40 Propiedades geotécnicas del suelo no estabilizado .....	42
Tabla 41 Resultados de límites de Atterberg.....	43
Tabla 42 Características de las fibras de PP utilizadas .....	44
Tabla 43 Propiedades físicas de suelos no tratados .....	47
Tabla 44 Efecto de la fibra plástica reciclada sobre la gravedad específica .....	48
Tabla 45 Efecto de diferentes porcentajes de aditivo sobre el OCH.....	48
Tabla 46 Resultados de la prueba de CBR de la muestra del suelo recolectada.....	50
Tabla 47 Propiedades de la Muestra de Suelo .....	51
Tabla 48 Efecto de diferentes porcentajes de aditivo sobre el CBR.....	52
Tabla 49 Resultados de las pruebas de propiedades del suelo .....	53
Tabla 50 Resultados de las pruebas de propiedades del suelo .....	53
Tabla 51 Valor CBR de la arcilla por adición de cal + pofa .....	54
Tabla 52 Granulometría de PET .....	55
Tabla 53 Límites de Atterberg.....	55
Tabla 54 Densidad Máxima Seca.....	55
Tabla 55 Resultados del CBR al 100% .....	56
Tabla 56 Tierra mezclada con goma guar .....	58
Tabla 57 Tierra mezclada con goma guar y fibra de PET.....	59
Tabla 58 Clasificación de suelos según CBR .....	65
Tabla 59 Operalización de Variable dependiente.....	67
Tabla 60 Operalización de Variable independiente.....	68
Tabla 61 Resultados de Tesis y Artículos.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tiras de PET y preparación de los especímenes de prueba .....	11
Figura 2 Curva de compactación .....	12
Figura 3 Grafica de plasticidad .....	12
Figura 4 Grafica del Incremento porcentual por espécimen a una compactación de 56 golpes por capa.....	13
Figura 5 Suelo Natural e Incorporado vs. CBR y Expansión .....	16
Figura 6 Suelo Natural e Incorporado vs. CBR y Expansión .....	16
Figura 7 Resultados del Índice de Plasticidad .....	18
Figura 8 Resultados del Óptimo Contenido de Humedad obtenidos del ensayo de Proctor Modificado .....	19
Figura 9 Resultados de la Máxima Densidad Seca obtenidos del ensayo de Proctor Modificado .....	19
Figura 10 Resultados del CBR al 95% de M.D.S .....	20
Figura 11 Resultados del CBR al 100% de M.D.S .....	20
Figura 12 Gráfico de CBR para el suelo patrón.....	24
Figura 13 Relación densidad seca vs CBR con adición de 1% de polímero reciclado... 25	
Figura 14 Relación densidad seca vs CBR con adición de 3% de polímero reciclado... 26	
Figura 15 Gráfica de determinación del límite líquido.....	27
Figura 16 Gráfica de curva de Compactación .....	29
Figura 17 Gráfica de CBR .....	29
Figura 18 Tejido de geo sintético propuesto .....	30
Figura 19 Cortado de geo sintético a dimensiones del molde de CBR.....	30
Figura 20 Distribución granulométrica del suelo natural .....	31
Figura 21 Densidad seca máxima (MDD) y contenido de humedad óptimo (OMC) para suelos no estabilizados y estabilizados con FP .....	32
Figura 22 Efecto del contenido de FP sobre el valor de CBR .....	32
Figura 23 Detalles de los elementos de PET en forma de I (dimensiones en mm) .....	34
Figura 24 Espécimen cilíndrico probado por UCS .....	34
Figura 25 Curvas tensión-deformación para 3 mm de ancho .....	34
Figura 26 Curvas tensión-deformación para 6 mm de ancho .....	35
Figura 27 Curvas tensión-deformación de probetas de refuerzo con elementos de PET en forma de I .....	35

Figura 28 Efecto del contenido de PET y la longitud de las tiras de PET en el UCS de probetas reforzadas con tiras de PET de 3 mm de ancho .....	36
Figura 29 Efecto del contenido de PET y la longitud de las tiras de PET en el UCS de probetas reforzadas con tiras de PET de 3 mm de ancho .....	36
Figura 30 Muestra de las fibras utilizadas en este estudio.....	39
Figura 31 Resultados de la prueba Proctor para 1 cm de longitud de PE con diferentes contenidos de estabilizador .....	40
Figura 32 Resultados de la prueba Proctor para 2 cm de longitud de PE con diferentes contenidos de estabilizador .....	40
Figura 33 Resultados de la prueba Proctor para 1 cm de longitud de PP con diferentes contenidos de estabilizador .....	40
Figura 34 Resultados de la prueba Proctor para 2 cm de longitud de PP con diferentes contenidos de estabilizador .....	41
Figura 35 Resultados de la prueba de compactación .....	43
Figura 36 El efecto de las tiras de plástico sobre los valores CBR .....	43
Figura 37 Efecto de diferentes aditivos sobre el UCS .....	44
Figura 38 Efecto de la adición de fibra sobre el valor de CBR .....	45
Figura 39 Variación de las curvas carga-penetración en condición seca .....	45
Figura 40 Variación de las curvas carga-penetración en condición húmeda .....	46
Figura 41 Variación de CBR, valores de muestras de suelo con fibra de PP.....	46
Figura 42 Variación de UCS y E50 con fibra de PP .....	46
Figura 43 Fibra de plástico reciclada.....	48
Figura 44 Variación de CBR, valores de muestras de suelo con fibra de PP.....	48
Figura 45 El efecto de la fibra plástica en el valor CBR .....	49
Figura 46 Hojas de plástico y tierra arcillosa recolectada .....	50
Figura 47 Material plástico de desecho en la muestra de prueba de CBR.....	50
Figura 48 Resultados de la prueba CBR de la muestra de suelo recolectada con y sin lámina de plástico residual .....	51
Figura 49 Prueba CBR con PET .....	52
Figura 50 Valor CBR de la arcilla debido a la adición de cal + pofa con la condición empapada y sin remojar.....	54
Figura 51 Comparación de Proctor .....	55
Figura 52 Variación de Valores UCS .....	56
Figura 53 Variación de Valores CBR .....	57

Figura 54 Fibra de PET.....	58
Figura 55 Características de compactación del suelo tratado con goma guar más diferentes porcentajes de PET .....	60
Figura 56 Localización relativa de los límites de contracción.....	62
Figura 57 Aparato casa grande.....	63
Figura 58 Determinación del límite líquido del suelo .....	63
Figura 59 Detalles del ensayo de CBR .....	65

## RESUMEN

La presente investigación efectuada, se desarrolló en el Departamento de Lima en el año 2023, cuyo objetivo principal es determinar la dosificación de polímeros sintéticos a utilizar como adición, para mejorar las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo. Para ello, investigación se justifica en el desarrollo de un recopilado y síntesis de información para la aplicación de polímeros sintéticos como el Tereftalato de polietileno, polipropileno, entre otros para estabilizar suelos cohesivos, el cual en muchos casos no reúne las condiciones de diseños adecuadas. Con la finalidad de satisfacer posibles necesidades de una población cercana a un punto o proyecto en un futuro, se propone la aplicación de polímeros sintéticos para estabilizar el suelo presente, el estudio estuvo enmarcado en el tipo de investigación de carácter descriptivo, correlacional y explicativo. Los datos obtenidos de la bibliografía analizada fueron procesados mediante programas especializados como el Excel, Word entre otros, así mismo se contó con la orientación de un asesor especializado en la línea de investigación para el análisis de dichos datos obtenidos. Finalmente se concluyó que la dosificación de polímeros sintéticos para adición correcta es optar por un porcentaje que ronde el 1.0% dado que con este porcentaje se llegó a mejorar el UCS hasta un 200%, asimismo longitudes que rondan entre los 12 y 20mm con anchos de 2.5 a 3 mm en forma de tiras y/o forma irregular, ya que con estos se lograron resultados similares en las mejoras que iban del 150 a 165.88%.

*Palabras clave:* polímeros sintéticos, suelos cohesivos, propiedades físico mecánicas, Tereftalato de Polietileno, polipropileno

## ABSTRACT

The present research carried out was developed in the Department of Lima in the year 2023, whose main objective is to determine the dosage of synthetic polymers to be used as an addition, to improve the physical-mechanical properties of a cohesive soil. For this, research is justified in the development of a compilation and synthesis of information for the application of synthetic polymers such as polyethylene terephthalate, polypropylene, among others to stabilize cohesive soils, which in many cases does not meet the adequate design conditions. In order to satisfy possible needs of a population close to a point or project in the future, the application of synthetic polymers is proposed to stabilize the present soil, the study was framed in the type of research of a descriptive, correlational and explanatory nature. The data obtained from the analyzed bibliography were processed using specialized programs such as Excel, Word, among others, and there was guidance from an advisor specialized in the line of research for the analysis of said data obtained. Finally, it was concluded that the dosage of synthetic polymers for correct addition is to opt for a percentage that is around 1.0% given that with this percentage the UCS was improved up to 200%, also lengths that are between 12 and 20mm with widths of 2.5 to 3 mm in the form of strips and/or irregular shape, since with these similar results were achieved in improvements ranging from 150 to 165.88%.

*Keywords:* synthetic polymers, cohesive soils, physical mechanical properties, Polyethylene Terephthalate, polypropylene



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversas formas de estabilización de suelos, siendo una de estas alternativas la inclusión de polímeros ya sea sintéticos (polietileno, tereftalato de polietileno, polipropileno, entre otros) o biopolímeros. Tomando los polímeros sintéticos o también llamados polímeros reciclados como el más viable ya que tienen una mayor cobertura por ser usados en la vida cotidiana y, por otra parte, estos son perjudiciales al medio ambiente. Teniendo en cuenta esto, en la presente investigación se promueve el uso de los polímeros sintéticos debido a que contribuye con la mitigación de los daños provocados al medio ambiente.

Considerando lo descrito anteriormente, esta investigación tiene como objetivo determinar la cantidad de polímeros sintéticos para mejorar las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo, entre estos, determinar los distintos dimensionamientos y dosificaciones porcentuales. En este sentido, se refuerza la hipótesis, que al adicionar el uso de polímeros sintéticos se mejoran las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo, pudiéndose recabar dicha información a través de la recopilación de distintas bibliografías en las cuales los autores efectúan los procedimientos correspondientes para dar una respuesta a esta interrogante.

La presente investigación consta de cinco capítulos:

El capítulo I, se detalla el planteamiento del problema que consiste de nueve ítems comenzando con la descripción de la problemática, luego se formulan el problema general y específicos; asimismo, se plantea el objetivo general y específicos, por consiguiente, viene la delimitación de la investigación, justificación, importancia, limitaciones, alcance y viabilidad del estudio.

En el capítulo II, se detalla el marco teórico, que comprende desde los antecedentes de la investigación, en calidad tanto nacional como internacional, artículos hasta la base teórica que servirá de sustento para la investigación.

En el capítulo III, se define el sistema de hipótesis general y específicos. Además, se define el sistema operacional de variables independientes y dependiente.

En el capítulo IV, se expone la metodología de la investigación, donde se define tanto el método, tipo, nivel como diseño de la investigación. En el cual se detalla la población y muestra, al igual que las técnicas e instrumentos empleados en la recolección de datos y la descripción del procedimiento de análisis.

En el capítulo se presenta el análisis de resultados de la investigación, la cual consta de una presentación de los resultados finales correspondientes explicados a detalle con discusiones, conclusiones y recomendaciones correspondientes a la investigación.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

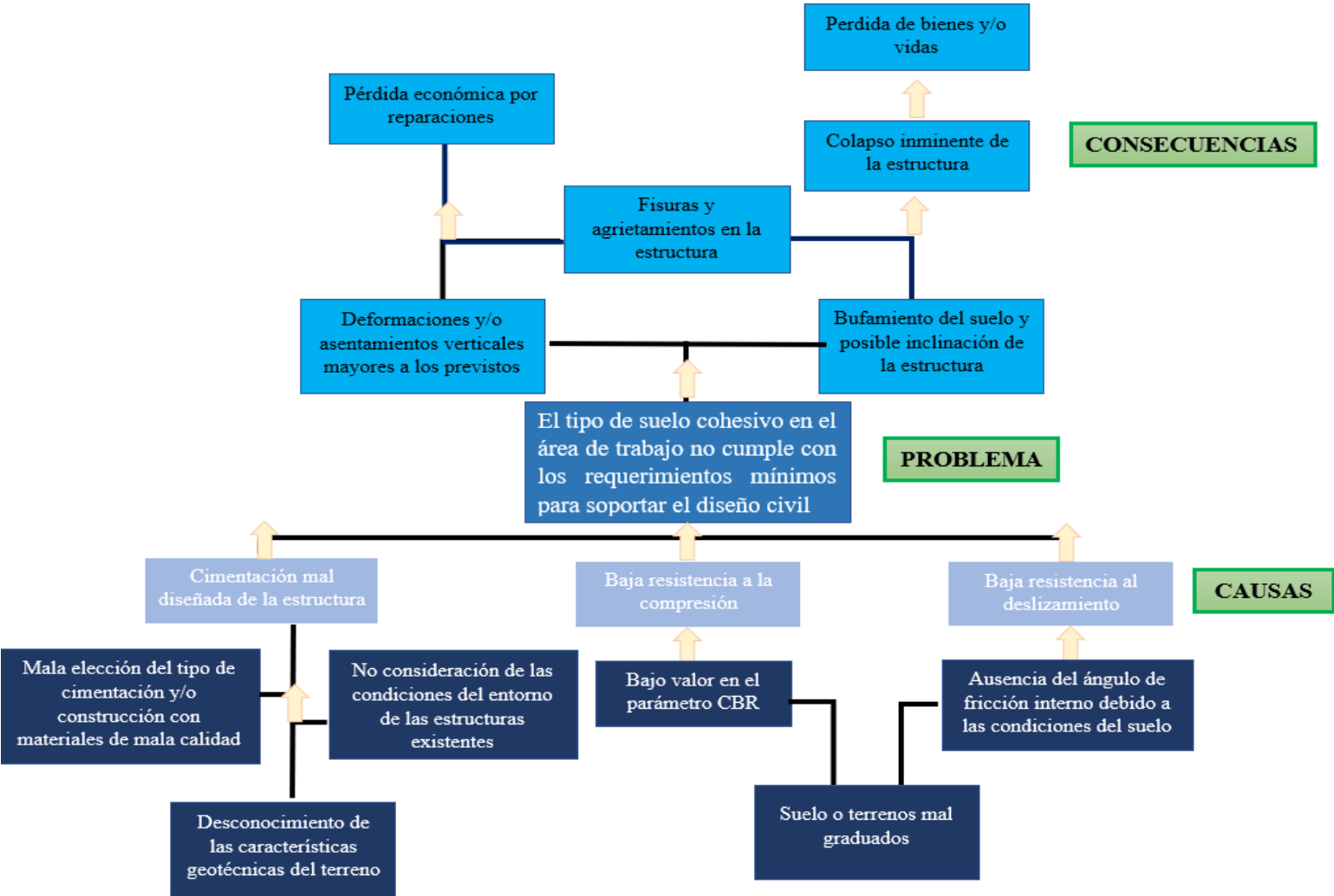
### 1.1. Descripción de la Realidad Problemática

#### 1.1.1. Problemática e importancia

En toda obra civil es de saber que se debe realizar un estudio de suelos para identificar sus características físicas y mecánicas tanto como su composición mineralógica, este trabajo de investigación permitirá estudiar las propiedades fisico-mecánicas de los suelos cohesivos que influyen en el diseño de la estructura base o cimentación de toda obra civil. Dado que muchas veces el tipo de suelo presente en el área de trabajo no cumple con los requerimientos mínimos para soportar el diseño de la obra civil, se opta por alternativas de reemplazo del material de suelo, pero cabe recalcar que esta alternativa tiene costos elevados, es por ello que una de las soluciones a buscar durante el paso del tiempo ha sido el mejoramiento del tipo de suelo, esto mediante distintas técnicas, una de ellas es el uso de polímeros sintéticos aplicado en geomallas o geotextiles. Los problemas de las características de suelos se pueden presentar en distintos tipos de obras civiles como terraplenes, taludes, pavimentos, o cimentaciones, es por ello que se plantea una solución alternativa mediante el uso de polímeros sintéticos, el cual visto en diversas investigaciones debido a las propiedades del mismo se han observado mejoras en ciertas propiedades del suelo, se estudia diversos tipos de polímeros y también se hará énfasis en los polímeros en forma de plástico, el cual es un material reciclable y muy usado en la presente época, de acuerdo al Ministerio del Ambiente en Lima Metropolitana y el callao se generan 886 toneladas de residuos plásticos al día, representando el 46% de dichos residuos a nivel nacional material el cual es producto de contaminación constante, es por ellos que adicionalmente a la solución de mejoras de características mecánicas y físicas de los suelos se tiene en consideración una reducción de este contaminante y un aporte al medio ambiente.

El planteamiento de alternativa proviene de las propiedades que presentan los polímeros en sus diversas aplicaciones siendo una de ellas el plástico, una de las propiedades que presenta el plástico es la resistencia a la tracción, esta es una propiedad ausente en ciertos tipos de suelos debido a que todo tipo de suelo es resistente a la compresión y actúa mediante la resistencia al corte, es por ello que se opta por adicionar diversas dimensiones y dosificaciones de polímero para estudiar el comportamiento del suelo y analizar los resultados, esperando generar grandes mejoras en las distintas propiedades mecánicas de los como parte de estas la cohesión y el esfuerzo ultimo del suelo

1.1.2. *Árbol del Problema (Causas-Problema – Consecuencias)*



## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Qué dosificación de polímeros sintéticos, utilizados como adición, mejora las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Qué dimensionamientos del polímero contribuyen en el CBR de un suelo cohesivo?
- b) ¿Qué porcentaje de polímeros mejora la resistencia a la compresión de los suelos cohesivos?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la dosificación de polímeros sintéticos, utilizados como adición, para mejorar las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar los dimensionamientos y/o forma de polímero sintético que mejoran el CBR de un suelo cohesivo.
- b) Determinar el porcentaje de polímeros sintéticos que mejora la resistencia a la compresión de los suelos cohesivos.

## **1.4. Delimitación de la investigación**

### **1.4.1. Geográfica**

No presenta ubicación ya que es una investigación documental, lo cual se desarrollará en gabinete con datos de investigaciones internacionales y nacionales, artículos científicos, así como libros.

### **1.4.2. Temporal**

La presente investigación tiene un periodo de 6 meses desde mayo 2023 hasta noviembre 2023, se obtendrá recopilación de datos de 5 años como máximo de antigüedad.

### **1.4.3. Temática**

En temática de la presente investigación analizaremos el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de suelos cohesivos con polímeros sintéticos que pertenece al área de geotecnia.

### **1.4.4. Muestral**

La presente investigación tiene como muestra los resultados obtenidos de los diversos artículos científicos y trabajos de investigación encontrados en distintos repositorios virtuales disponibles.

## **1.5. Justificación del Estudio**

### ***1.5.1. Conveniencia***

Se plantea el análisis de las investigaciones recopiladas para determinar óptimas dosificaciones que mejoren las propiedades mecánicas de los suelos, para que de esta forma los suelos se consideren aptos para su uso, en función a las normativas de cada país y pueda permitirse su uso en distintas base de estructuras, y así de esta forma obtener una alternativa para el mejoramiento o reforzamiento de suelos como base estructural, de esta forma lograríamos obtener no solo una alternativa técnicamente viable sino que a su vez se puede considerar económica frente a otras alternativas más costosas para el proyecto a ejecutar, de esta forma se genera un aporte al campo de la geotecnia en la ingeniería civil.

### ***1.5.2. Relevancia Social***

La investigación planea generar una alternativa frente a las dificultades que pueden presentar los suelos, considerados como la base de todo proyecto, es así que su enfoque se dirige al uso en todo tipo de estructura, específicamente edificaciones, las cuales siempre deben tener una buena base estructural para prevenir fallas que puedan incurrir en pérdidas de vidas humanas como factor primordial; otro aspecto a tener en cuenta es el económico ya que dichas fallas pueden significar grandes pérdidas económicas ya sea un proyecto público o privado, es así que el alcance va destinado a mejorar los suelos para tener plena seguridad que se desempeñaran correctamente a lo largo de la vida útil de las estructuras a soportar. Por otro lado, en los estudios realizados se toma en cuenta los polímeros sintéticos como parte de las alternativas de solución, esto es de gran relevancia ya que este material el cual es muy comercial a nivel global, genera contaminación en grandes proporciones por lo cual clasificarlo como material óptimo y alternativo para uso en la industria de la construcción significaría un gran aporte a la mitigación de la contaminación ambiental de este producto plástico, asimismo al tratarse de un material reciclable y de fácil acceso podría decirse que aplicando correctos dimensionamientos y dosificaciones podrá ser de gran ayuda a la estabilización de suelos no solo de proyectos grandes sino también para ciertas viviendas que requieran de mejora en los suelos a construir pudiéndose trabajar manualmente este tipo de material y dando un gran aporte a las comunidades que requieran de alternativas como esta.

### ***1.5.3. Aplicaciones prácticas***

El presente estudio tiene la aplicación en el campo de la geotecnia, específicamente en el reforzamiento de suelos cohesivos por medio de polímeros sintéticos utilizando diversas medidas y porcentajes de material con respecto al suelo.

#### ***1.5.4. Utilidad metodológica***

El presente estudio ayudará a corroborar la factibilidad en el reforzamiento de los suelos en lo que respecta a la adición por porcentajes de diversos polímeros sintéticos con referencia de masa, a las longitudes de fibra o a estos dos aspectos en conjunto teniendo también en cuenta el balance, proporcionalidad y aspecto económico, con lo cual se puede estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas de los suelos en función a estas dosificaciones y dimensiones establecidas para los polímeros utilizados.

#### ***1.5.5. Valor Teórico***

Los datos que se obtengan con la presente investigación permitirán determinar de manera general cuan factible es el uso de los polímeros sintéticos en suelos cohesivos y en que magnitud o cuantificación debe aplicarse para lograrse una optimización en la resistencia de este tipo de suelo, esto dejaría una base de datos como precedente a poder utilizarse en posteriores investigaciones que traten temas más específicos asociados a la geotecnia.

### **1.6. Importancia del Estudio**

#### ***1.6.1. Nuevos Conocimientos***

La presente investigación busca darle un valor agregado a los polímeros como material de reforzamiento para diferentes tipos de suelos cohesivos en la realización de distintos proyectos, pero en particular para los proyectos de infraestructura urbana. El material a presentar en esta investigación es el polímero sintético ya que este es un material de fácil acceso y de naturaleza reciclable por el bajo costo que tiene y sus múltiples aplicaciones que se le puede dar, como la de envases de diversos productos, de esta forma se busca reducir el impacto ambiental que genera este tipo de polímero y a la vez generar una alternativa como aporte para la geotecnia.

#### ***1.6.2. Aporte***

El estudio se basa en la problemática que existe cuando no se encuentran suelos adecuados que sirvan como estructura en las estructuras base; ante esta problemática existen alternativas como la de mejoramiento de suelo mediante ciertos materiales establecidos por las normativas de cada país y el reemplazo de los suelos con material de préstamos, esta última conlleva costos más elevados, es por ello que la presente investigación planea generar un aporte al campo de la geotecnia, presentando como alternativa de mejoramiento de propiedades de los suelos mediante el uso de polímeros, siendo esta una alternativa de menor costo y de fácil acceso para los materiales.

### **1.7. Limitaciones del estudio**

#### ***1.7.1. Falta de estudios previos de investigación***

El presente trabajo de investigación es de carácter documental, lo cual no presenta limitaciones, ya que hay los elementos necesarios para realizar el estudio y análisis de las variables como la formulación del problema general se encuentran a plena disposición mediante artículos científicos o trabajos de investigativos relacionados.

#### ***1.7.2. Metodológica o prácticos***

Los ensayos de laboratorio a realizar tienen un precio elevado actualmente, siendo esta la razón principal del por qué se optó por darle el carácter documental, recolectando resultados de distintos artículos o trabajos de investigación relacionados al tema y a partir de ello poder dar conclusiones y recomendaciones que puedan brindar alguna alternativa solución de manera general.

#### ***1.7.3. Medidas para la recolección de los datos***

Debido a que los ensayos de laboratorio tienen un precio elevado y el factor tiempo es muy reducido se recolectaran datos de artículos científicos y/o trabajos de investigación relacionados al tema obtenidos de los distintos repositorios disponibles a navegar.

#### ***1.7.4. Obstáculos en la investigación***

Debido a que los ensayos de laboratorio tienen un precio elevado y el factor tiempo se tomaran datos de artículos científicos y trabajos de investigación, para esto se deben obtener datos de las soluciones dadas con los polímeros sintéticos en suelos cohesivos.

### **1.8. Alcance**

La presente investigación busca estudiar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo cohesivo que influyen en el dimensionamiento y/o diseño de cimentaciones de toda obra civil, dado que la gran mayoría de veces el tipo de suelo no cumple con los requerimientos mínimos para soportar el peso de toda obra civil. En base a ello, se optan por alternativas de mejoramiento del suelo como el reemplazo del material, lo cual genera costos muy elevados, y, es por ello que se opta por una alternativa solución distinta como el mejoramiento del suelo mediante distintas técnicas como la adición de polímeros sintéticos. Con lo cual el alcance de esta investigación presentará una alternativa solución de carácter general para el mejoramiento de dichas propiedades físico- mecánicas de los suelos cohesivos en su gran mayoría.

### **1.9. Viabilidad del estudio**

La presente investigación al tener un carácter documental y optar por una recolección de resultados de distintos artículos, los cuales serán obtenidos de los distintos repositorios disponibles, y en base al análisis y la comparación estos resultados dar una alternativa solución de manera general para el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de



los suelos cohesivos. De esta forma lograríamos obtener una alternativa técnicamente viable y que a su vez puede considerarse económica frente a otras alternativas que demandarían gastos mayores.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco histórico

La industria del plástico, en el año de 1909, inicia su desarrollo con la aparición de los primeros plásticos por Baekeland, donde se produce el primer polímero sintético que llegó a la capacidad de producir diversos artículos de comercio logrando un nivel alto en lo que refiere al nivel de demanda en todo el mundo y a las diversas posibilidades de uso de este mismo.

A lo largo de las últimas décadas de vida del polímero sintético, este, a podido adaptarse a su uso en múltiples sectores, tanto es así que llegó a reemplazar a otros materiales o también ser considerado como una alternativa solución para cada situación o circunstancia en la vida cotidiana. Tal es el caso del reforzamiento de suelos, con el objetivo de aumentar la resistencia de este mismo y de mitigar la contaminación ambiental que este polímero genera. Descubriéndose así, diversos métodos de mejora geotécnica que incluyen compactación, humedad, estabilización y refuerzo, como es el caso para terraplenes y los rellenos.

### 2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

Arbeláez y Góngora (2019) presentaron como objetivo principal, estudiar el cambio de las propiedades geotécnicas de un suelo arcilloso de alta plasticidad, añadiendo fibras de tereftalato de polietileno (PET) con el fin de obtener un porcentaje que mejore notablemente la resistencia de un suelo arcilloso. La aplicación de dicho polímero sintético es dada en forma de tiras tratadas manualmente en longitudes de 2 mm. de ancho, 80 mm de largo y 0.5 mm. de espesor, utilizando dosificaciones de 0.3%, 0.5%, 0.8%, 1.0% y 1.2% con respecto al peso seco de la muestra del suelo (Ver **Figura 1**). El suelo en estudio se extrajo de un talud ubicado en Ibagué-Tolima. La caracterización del suelo da como resultado un contenido de humedad natural de 58.5%, gravedad específica de 2.425 g/cm<sup>3</sup>, un índice de plasticidad de 35.9%. Como resultado de la curva de compactación del ensayo Proctor se obtuvo una máxima densidad seca (MDS) de 1.08 g/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo (CHO) del 22.2%, estos resultados pueden observarse en la **Tabla 1** y Figura 2. En función a la caracterización del suelo, los resultados de los Límites Atterberg se ubican en la gráfica de Casa Grande y se determina que se trata de un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH) según clasificación SUCS (Ver Figura 3). La prueba de compresión no confinada dio como resultado un aumento significativo en la resistencia al corte mejorando el valor del suelo natural de 0.284

Kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.330 Kg/cm<sup>2</sup> para un suelo tratado con 1.20% de fibra PET con una compactación de 56 golpes por capa, esta mejora representa un aumento del 132.39% (Ver **Tabla 2** *Resumen de las propiedades del suelo y métodos de ensayo* Tabla 2 y Figura 4), para este caso, al tratarse de una arcilla y no poseer ángulo de fricción, la resistencia a la compresión sería el doble del valor de la resistencia al corte, por lo que tendríamos los valores de 0.284 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.660 Kg/cm<sup>2</sup> tanto para suelo natural como suelo reforzado respectivamente. Como conclusión de la presente investigación, se determina que la adición de fibras de tereftalato de polietileno (PET) como material de refuerzo, mejoraron positivamente los parámetros y comportamiento del suelo arcilloso de alta plasticidad (CH) estudiado, como mejor dosificación se determina la inclusión del 1.2% de fibra respecto al peso seco del suelo, ya que con esta dosificación la prueba de resistencia a la compresión aumentó notablemente con un compactación de 56 golpes lográndose una resistencia de 0.660 Kg/cm<sup>2</sup>. Cabe recalcar que durante el ensayo de las probetas a diferentes dosificaciones se pudo determinar que, a mayor inclusión de fibras, la interacción con el suelo es menos efectiva ya que queda menos compactos y homogéneos, por lo que las probetas se vuelven menos manejables, adicionalmente para obtener mejores resultados es conveniente aplicar una compactación elevada.

### **Figura 1**

*Tiras de PET y preparación de los especímenes de prueba*



*Nota.* Arbeláez, J. y Góngora, D. (2019).

**Tabla 1**

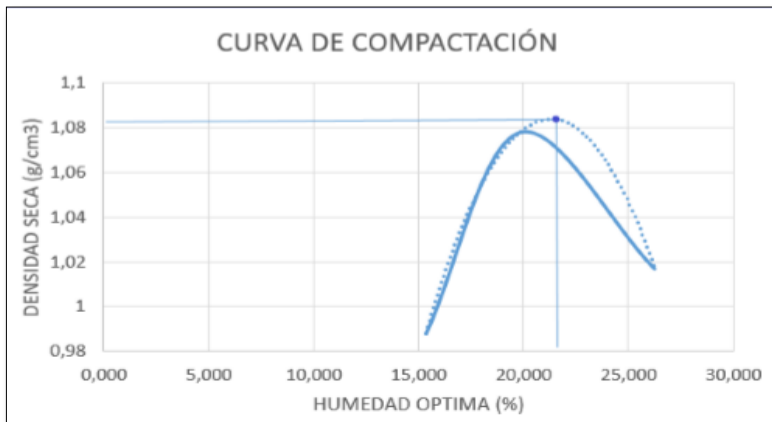
*Resumen de las propiedades del suelo y métodos de ensayo*

<b>Propiedades</b>	<b>Método</b>	<b>Valor</b>
Contenido de humedad	INV E 122 - 13	58.5
Gravedad específica	INV E 128 – 13	2.425
Límites de consistencia		
Limite liquido	INV E 125 – 13	58.5
Limite plástico	INV E 126 – 13	22.6
Índice de plasticidad		35.9
Parámetros de compactación		
Contenido de humedad óptimo	INV E 141 - 13	22.2
Densidad máxima seca		1.08 (g/cm <sup>3</sup> )

*Nota.* Arbeláez, J. y Góngora, D. (2019).

**Figura 2**

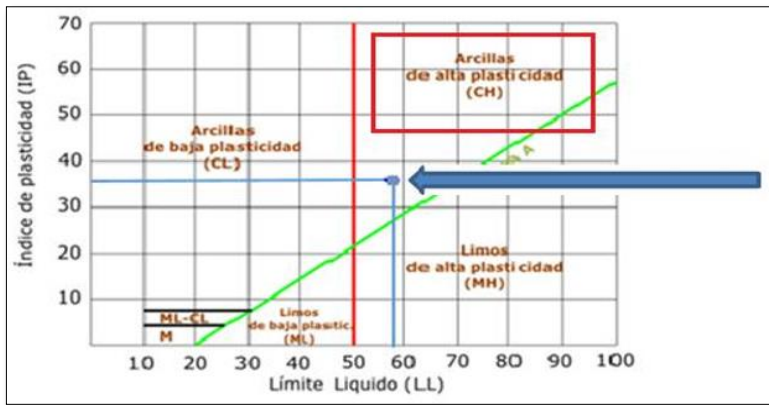
*Curva de compactación*



*Nota.* Arbeláez, J. y Góngora, D. (2019).

**Figura 3**

*Grafica de plasticidad*



Nota. Arbeláez, J. y Góngora, D. (2019)

**Tabla 2**

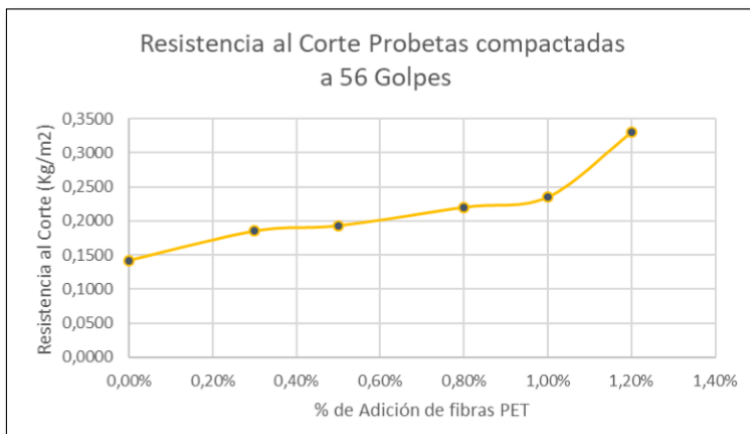
*Resumen de las propiedades del suelo y métodos de ensayo*

<b>PROBETAS COMPACTADAS A 56 GOLPES</b>		
<b>PORCENTAJE DE ADICIÓN</b>	<b>RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>INCREMENTO PORCENTUAL</b>
0,00%	0,1420	0
0,30%	0,1850	30,28%
0,50%	0,1930	4,32%
0,80%	0,2200	13,99%
1,0%	0,2350	6,82%
1,20%	0,3300	40,23%
INCREMENTO ENTRE EL MAYOR Y EL MENOR %		132,39%

Nota. Arbeláez, J. y Góngora, D. (2019).

**Figura 4**

*Gráfica del Incremento porcentual por espécimen a una compactación de 56 golpes por capa*



*Nota.* Arbeláez, J. y Góngora, D. (2019).

### **2.2.1. Investigaciones nacionales**

Quispe y Sañac (2019) plantearon como objetivo el estudio del mejoramiento de un suelo arcilloso de baja plasticidad como indican las Tabla 3 y Tabla 4, ubicado en la zona noreste del distrito de Tamburco (Apurímac), a nivel de sub rasante cuando se le incorpora plástico reciclado triturado PET obtenido del reciclaje de botellas descartables. La investigación del mejoramiento de suelo se realizó de la siguiente manera: Inicialmente, se obtuvieron 3 muestras, cada una de una calicata distinta cavada a 1.50m en puntos distintos a lo largo de toda la vía como son las progresivas 0+050, 0+200 y 0+350 llegando a observar que cada una de estas contenían principalmente arcillas, siendo limos y gravas en menor proporción, las cuales se caracterizaban como suelo de sub rasante insuficiente o pobre. Posteriormente a esto se realizaron los ensayos que determinan las propiedades físicas, los límites de Atterberg, Proctor Modificado y el CBR. El suelo que la presente investigación se dispuso a mejorar fue el extraído en la calicata C-02, mostrado en la Tabla 5, ubicada en la progresiva 0+200 debido a que los resultados CBR calificaban a esta como pobre con  $3\% \leq \text{CBR} \leq 6\%$ , pero con posibilidad de mejoramiento, caso distinto a las calicatas 0+050 y 0+350, las cuales fueron calificadas como inadecuada e imposible de mejorar con  $\text{CBR} \leq 3\%$ , y sub rasante regular con valores de  $6\% \leq \text{CBR} \leq 20\%$  que no requiere mejoramiento respectivamente (Tabla 6), se tuvo un enfoque analítico y comparativo. Se estudiaron los cambios de los resultados que se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio, que vendría a ser el suelo con adiciones de granulometrías diferentes con respecto al PRT-PET triturado como son los retenidos por las mallas 3/8", nro. 4 y nro. 200, una vez obtenidos los resultados vistos en la Tabla 7, Figura 5 y Figura 6 se pudo deducir que a medida que se reduce la dimensión de partículas el valor del CBR aumenta y la expansión llega a mantenerse, por lo cual el diámetro escogido como adición fue el retenido de la malla nro. 200. Llegando a la conclusión que añadiendo 5% de PRT-PET ondulado respecto al peso seco del suelo, se tuvo el más significativo crecimiento en lo que vendría a ser el CBR, llegando a mejorar de 3.4% a 5.64% que representó un incremento en 129% pasando a ser una sub rasante regular y reduciendo su expansión de 1.1% a 0.78%.

**Tabla 3***Contenido de material según calicata*

<b>Suelo</b>	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>	<b>C-03</b>
Grava	3.37%	3.68%	12.54%
Arena	39.96%	17.22%	28.96%
Finos	56.67%	79.10%	58.50%

*Nota.* Quispe, E. y Sañac, M. (2019).**Tabla 4***Límites de Atterbebrg de las tres calicatas realizadas*

<b>Calicata</b>	<b>L.L</b>	<b>L.P</b>	<b>I.P</b>
C-01	29	18	11
C-02	28	18	10
C-03	29	19	10

*Nota.* Quispe, E. y Sañac, M. (2019).**Tabla 5***Resumen de CBR muestra natural*

<b>Calicata</b>	<b>100%MDS</b>	<b>95%MDS</b>	<b>Exp.</b>
C-01	3.4	2.6	1.3
C-02	5.2	3.4	1.1
C-03	14.5	10.4	1.2

*Nota.* Adaptado de Quispe, E. y Sañac, M. (2019).**Tabla 6***Resumen de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%*

<b>Ensayo</b>	<b>CBR a 1”</b>		
	<b>100%MDS</b>	<b>95%MDS</b>	<b>Exp.</b>
Ensayo 01	3.4	2.6	1.3
Ensayo 02	5.2	3.4	1.1
Ensayo 03	14.5	10.4	1.2

*Nota.* Quispe, E. y Sañac, M. (2019).

**Tabla 7**

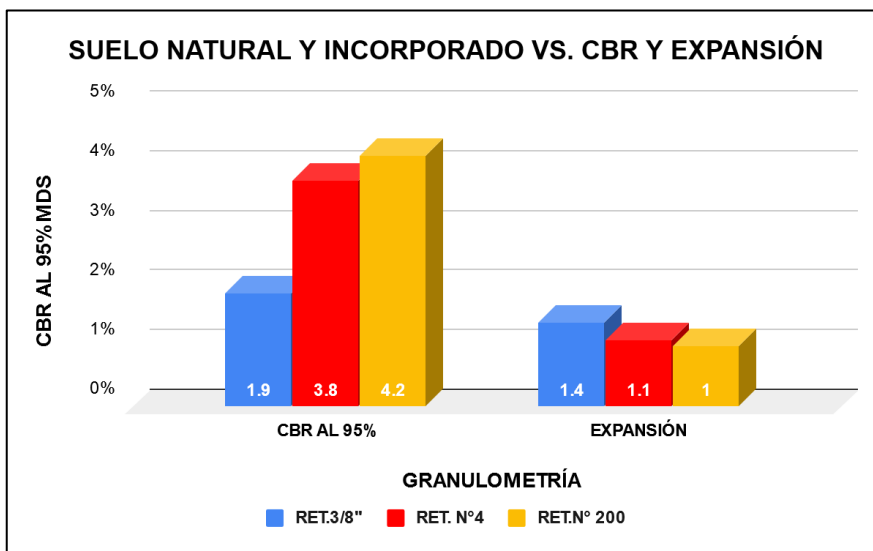
*Resumen de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%*

CBR a 1''								
Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3		
100%mds	95%mds	Exp.	100%mds	95%mds	Exp.	100%mds	95%mds	Exp.
2.4	1.9	1.4	4.9	3.8	1.1	5.9	4.2	1
Incr. %	-	27	Incr. %	12	-	Incr. %	24	-
Red. %	56	-	Red. %	-	-	Red. %	-	9.9

*Nota.* Quispe, E. y Sañac, M. (2019).

**Figura 5**

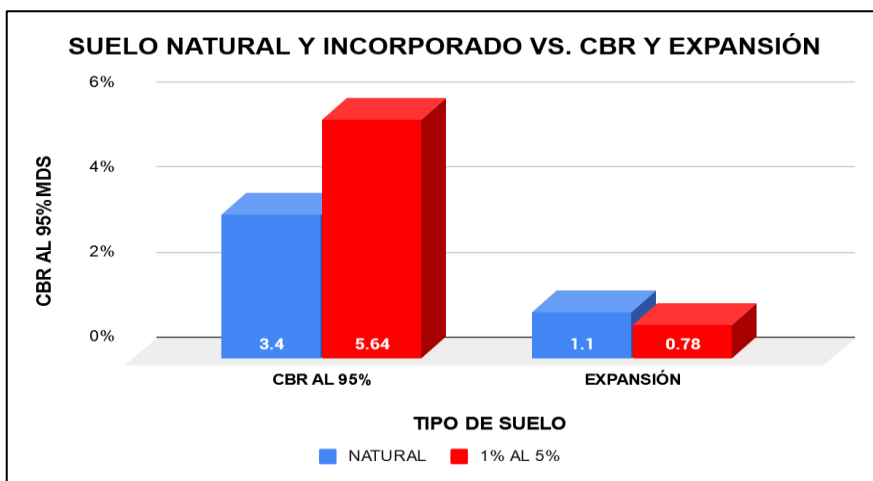
*Suelo Natural e Incorporado vs. CBR y Expansión*



*Nota.* Quispe, E. y Sañac, M. (2019).

**Figura 6**

*Suelo Natural e Incorporado vs. CBR y Expansión*



*Nota.* Quispe, E. y Sañac, M. (2019).



Ñauis (2020) aplicó el uso de polímeros sintéticos (Plástico PET) para estabilizar los suelos que comprenden una subrasante en el distrito de Carabayllo, Lima, para el procedimiento comenzaron con realizar la calicata en 2 puntos recopilando información que se muestra en la Tabla 8 que en ambos casos es un suelo arcilloso de plasticidad baja a media, los ensayos que realizaron en esta investigación fueron tanto para el suelo patrón como para los suelos con polímeros sintéticos al 2%, 5% y 7%, para los ensayos de límites de Atterberg, en la Tabla 9 y Figura 7 se muestra los resultados de índice de plasticidad (IP), que obtuvieron para el suelo patrón el valor de 9 % siendo mayor que los suelos con polímeros, los resultados del ensayo Proctor modificado se encuentra en la Tabla 10 y Figura 8 observando que a medida que la adicción de polímeros aumenta, el óptimo contenido de humedad también incrementa su valor, siendo 10.30% y 13.10% el menor y mayor respectivamente, en la Tabla 11 y Figura 9 se muestran los resultados correspondientes a la máxima densidad seca que es para el suelo con 2% de PET obteniendo el valor de 2.017 gr/cm<sup>3</sup>, finalmente realizaron los ensayos de CBR al 95% y 100% del MDS para determinar la resistencia del esfuerzo del suelo, en la Tabla 12 y Figura 10 se muestra los resultados del CBR al 95% del MDS que para el suelo patrón obtuvieron un valor de CBR de 9.20%, al añadirle 2%, 5% y 7% del PET obtuvieron 11.70%, 6.30% y 4.00% respectivamente observando que al añadirle el 2% del PET se obtiene un mayor porcentaje del CBR siendo el más adecuado. En la Tabla 13 y Figura 11 se muestra los resultados del CBR al 100% del MDS que para el suelo patrón obtuvieron un valor de CBR de 11.00%, al añadirle 2%, 5% y 7% del PET obtuvieron 14.10%, 7.50% y 4.80% respectivamente observando que al añadirle el 2% del PET se obtiene un mayor porcentaje del CBR siendo el más adecuado.

**Tabla 8**

*Datos de las Calicatas de la zona de estudio*

<b>N° de calicatas</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Lado de margen</b>	<b>Progresiva (km)</b>	<b>Sentido de flujo vehicular</b>	<b>Tipo de suelo</b>
Calicata (C-1)	1.50	Izquierdo	1+200	Norte-Sur	CL
Calicata (C-2)	1.50	Izquierdo	1+550	Norte-Sur	CL

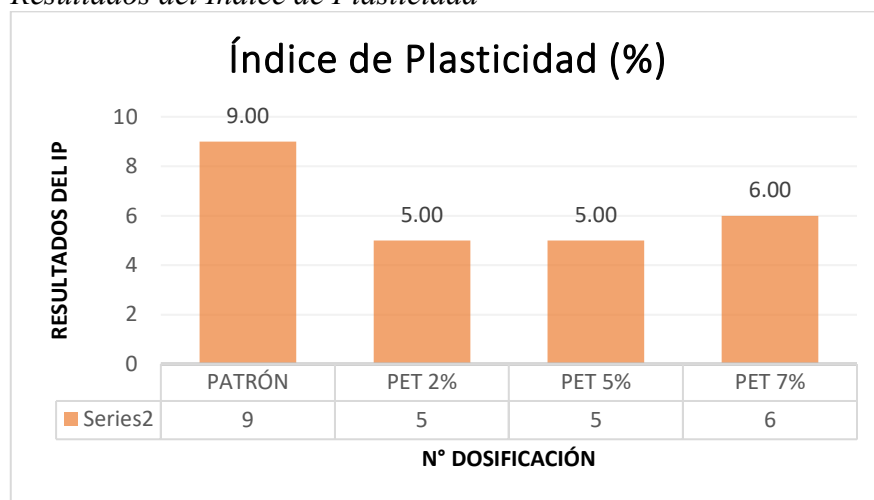
*Nota.* Ñauis, B. (2020).

**Tabla 9**  
*Resultados de Índice de Plasticidad*

Muestras	Índice de plasticidad (%)	Diferencia con respecto a la muestra patrón (%)	Tipo de suelo
Patrón	9.00		CL
PET 2%	5.00	-4.00	CL-ML
PET 5%	5.00	-4.00	CL-ML
PET 7%	6.00	-3.00	CL-ML

Nota. Ñauis, B. (2020).

**Figura 7**  
*Resultados del Índice de Plasticidad*



Nota. Adaptado de Ñauis, B. (2020).

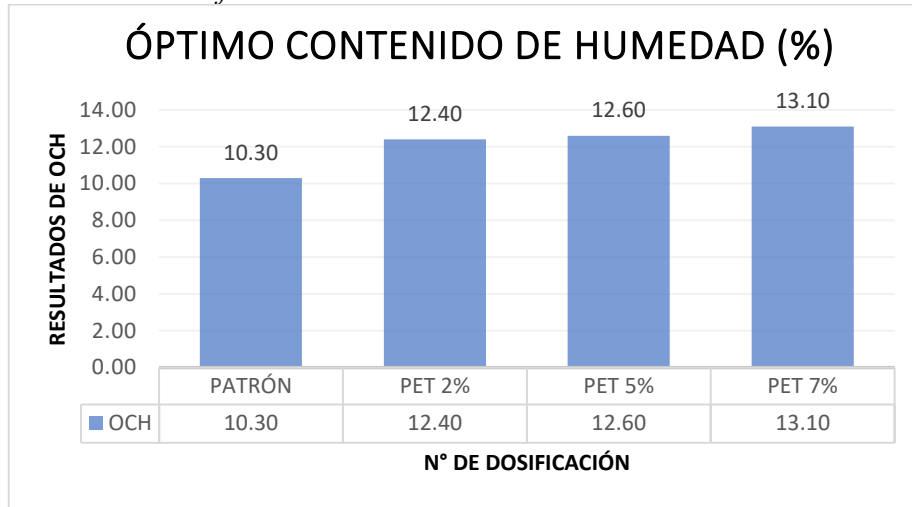
**Tabla 10**  
*Resultados del Óptimo Contenido de Humedad*

Muestras	Óptimo contenido de humedad (%)	Diferencia con respecto a la muestra patrón (%)	Tipo de suelo
Patrón	10.30		CL
PET 2%	12.40	2.10	CL-ML
PET 5%	12.60	2.30	CL-ML
PET 7%	13.10	2.80	CL-ML

Nota. Adaptado de Ñauis, B. (2020).

**Figura 8**

*Resultados del Óptimo Contenido de Humedad obtenidos del ensayo de Proctor Modificado*



*Nota.* Ñauis, B. (2020).

**Tabla 11**

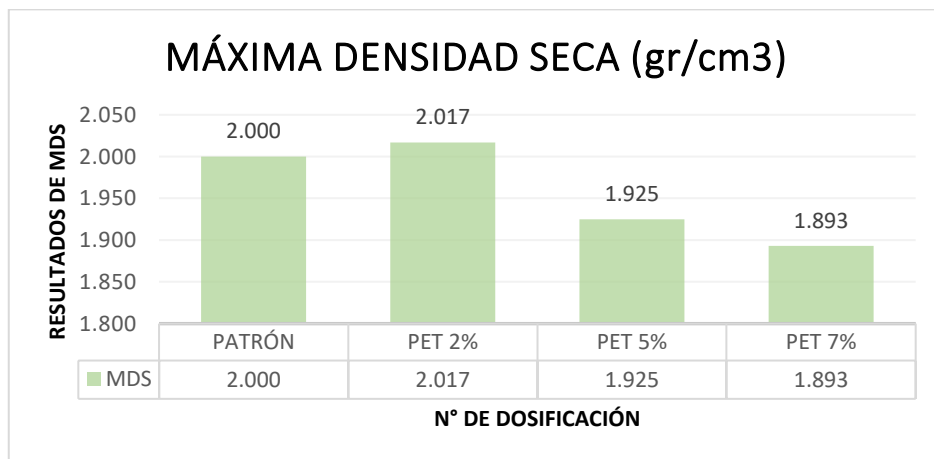
*Resultados de la Máxima Densidad Seca*

Muestras	Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Diferencia con respecto a la muestra patrón (gr/cm <sup>3</sup> )	Tipo de suelo
Patrón	2.000		CL
PET 2%	2.017	0.017	CL-ML
PET 5%	1.925	-0.075	CL-ML
PET 7%	1.893	-0.107	CL-ML

*Nota.* Ñauis, B. (2020)

**Figura 9**

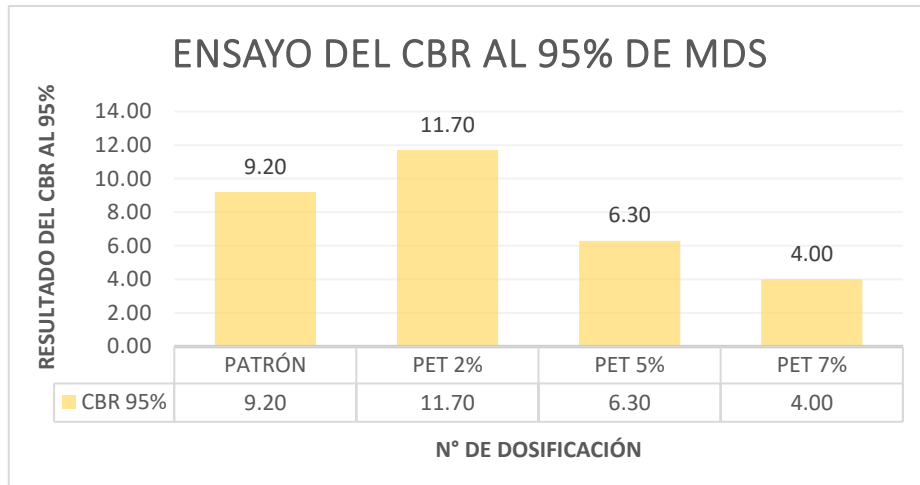
*Resultados de la Máxima Densidad Seca obtenidos del ensayo de Proctor Modificado*



*Nota.* Ñauis, B. (2020).

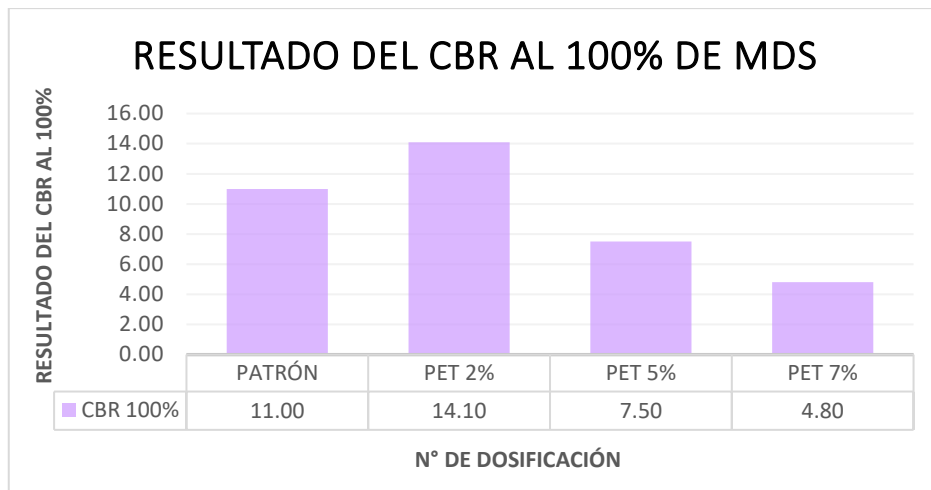
**Tabla 12***Resultados del CBR al 95% de M.D.S*

Muestras	CBR al 95% (%)	Diferencia con respecto a la muestra patrón (%)	Tipo de suelo
Patrón	9.20		CL
PET 2%	11.70	2.50	CL-ML
PET 5%	6.30	-2.90	CL-ML
PET 7%	4.00	-5.20	CL-ML

*Nota.* Ñauis, B. (2020).**Figura 10***Resultados del CBR al 95% de M.D.S**Nota.* Ñauis, B. (2020).**Tabla 13***Resultados del CBR al 100% de M.D.S*

Muestras	CBR al 100% (%)	Diferencia con respecto a la muestra patrón (%)	Tipo de suelo
Patrón	11.00		CL
PET 2%	14.10	3.10	CL-ML
PET 5%	7.50	-3.50	CL-ML
PET 7%	4.80	-6.20	CL-ML

*Nota.* Ñauis, B. (2020).**Figura 11***Resultados del CBR al 100% de M.D.S*



*Nota.* Ñauis, B. (2020).

Zapana (2022) planteó como objetivo estabilizar suelos de carácter arcilloso con la adición de polímeros PET reciclados para una subrasante con dosificaciones que iban de 1% a 3% para 3 calicatas que realizaron a una distancia de 500m, analizaron los resultados obtenidos en base a un resultado de referencia previo para cada uno mediante los ensayos mínimos que son: Ensayo Proctor modificado y CBR. La muestra de los polímeros reciclados fue triturada para que luego realicen el análisis granulométrico, que comprendía desde la malla  $\frac{3}{4}$ " a la malla No. 4 como se muestra en la Tabla 14, incluyeron gravas con la finalidad que el CBR alcance un porcentaje admisible y pueda ser considerado para una subrasante. Calcularon la humedad natural mediante su ensayo respectivo para poder definir si está por encima o debajo a la humedad optima y observaron que para la calicata 1, 2 y 3 se obtuvo 26.12%, 24.91% y 23.46% respectivamente, lo que resulto ser la humedad natural mayor a la humedad optima ver Tabla 15 luego realizaron los ensayos de límites de consistencia que demostró que los suelos son altamente plásticos ver Tabla 16, y para la clasificación de suelo por el método SUCS y el método de AASHTO se muestra en las Tabla 17 y Tabla 18 respectivamente que dio como resultado un suelo arcilloso para ambas clasificaciones.

**Tabla 14**

*Porcentajes de suelos (grava, arena, finos)*

Suelo	C-01	C-02	C-03
Grava (No.2" a No.4)	3.04	2.56	3.05
Arena (No.4 a No.200)	50.00	58.33	54.07
Finos (menor a 200)	46.93	39.11	42.88

*Nota.* Zapana, R. (2022).

**Tabla 15***Resultados de contenido de humedad y humedad óptima*

<b>Calicata</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Estrato</b>	<b>Contenido de humedad (%)</b>	<b>Humedad óptima</b>
C-01	2+500	E-02	26.12	14.40
C-02	3+000	E-02	24.91	14.70
C-03	3+500	E-02	23.46	14.50

*Nota.* Zapana, R. (2022).**Tabla 16***Resumen de los resultados obtenidos del ensayo de límites de consistencia*

<b>Calicata</b>	<b>Estrato</b>	<b>Límite líquido (%)</b>	<b>Límite plástico (%)</b>	<b>Índice de plasticidad (%)</b>
C-01	E-02	34.60	17.73	16.87
C-02	E-02	36.00	20.65	15.35
C-03	E-02	34.90	26.87	8.03

*Nota.* Zapana, R. (2022).**Tabla 17***Clasificación por el método SUCS*

<b>Calicata</b>	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>	<b>C-03</b>
Progresiva	2+500	3+000	3+500
Estrato	E-02	E-02	E-02
Profundidad (m)	1.50	1.50	1.50
Grava (No.2" a No.4)	3.07	2.56	3.05
Arena (No.4 a No.200)	50.00	58.33	54.07
Finos (menor a 200)	46.93	39.11	42.88
Límite líquido	34.60	36.00	34.90
Índice de plasticidad	16.87	15.35	8.03
Clasificación SUCS	CL-ML	CL	CL
Denominación	Arcilla y limo de baja plasticidad		Arcilla de baja plasticidad

*Nota.* Zapana, R. (2022).**Tabla 18***Clasificación de suelos por el método AASHTO*

<b>Calicata</b>	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>	<b>C-03</b>
Progresiva	2+500	3+000	3+500
Estrato	E-02	E-02	E-02
Profundidad (m)	1.50	1.50	1.50
Porcentaje pasante No 10	3.07	2.56	3.05
Porcentaje pasante No 40	50.00	58.33	54.07
Porcentaje pasante No 200	46.93	39.11	42.88
Límite líquido	34.60	36.00	34.90
Índice de plasticidad	16.87	15.35	8.03

Clasificación AASHTO	CL-ML	CL	CL
Denominación	Arcilla y limo de baja plasticidad		Arcilla de baja plasticidad

*Nota.* Zapana, R. (2022).

Para el ensayo Proctor modificado, lo cual después que realizaron las gráficas representativas para 3 ensayos para cada calicata que determina EL OCH y MDD como se muestra en la Tabla 19, que es para el suelo natural y en la Tabla 20 para el suelo con la adicción de polímeros, a medida que el Óptimo Contenido de Humedad disminuye, la MDD disminuye de igual manera, por lo tanto, se concluyó que al aumentar el porcentaje de polímeros los valores de estos van disminuyendo. Los resultados del ensayo CBR para el suelo natural se muestra en la Tabla 21 y se grafica en la Figura 12 la curva de Relación CBR vs Densidad seca al 95% y 100%, obteniendo los valores de CBR de 5.80, 5.40 y 5.80 para cada calicata, del mismo modo lo realizo para el suelo con polímeros, pero en este caso optó por el porcentaje pasante comprendido entre los 4.76mm y los 12.70mm de longitud para que sustituyan la porción de grava que hace falta para alcanzar un valor de CBR admisible. La Tabla 22 y la Tabla 23 se muestran los resultados de adición de polímeros al 1% y 3% respectivamente para cada muestra de calicata y en las Figura 13 y Figura 14 se muestra la curva obteniendo los valores de CBR para el 1% de 5.98, 5.91 y 5.59 respectivamente y para el 3% de 6.70, 6.10 y 6.50 respectivamente, concluyendo que el suelo con la adicción de polímeros al 3% puede usarse como subrasante ya que cumple al 95% y 100% valores mayores al 6% y según la norma el mínimo CBR debe de ser de 6% además el OCH y MDD disminuye, también cabe resaltar que si se adicionan polímeros con diferentes dimensiones o con dosificaciones inexactas, estos resultados podrían ser variables.

**Tabla 19**

*Resultados de la muestra patrón mediante el ensayo Proctor modificado*

Calicata	Progresiva	Estrato	Contenido de humedad (%)	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )
C-01	2+500	E-02	14.40	1.871
C-02	3+000	E-02	14.70	1.850
C-03	3+500	E-02	14.50	1.860

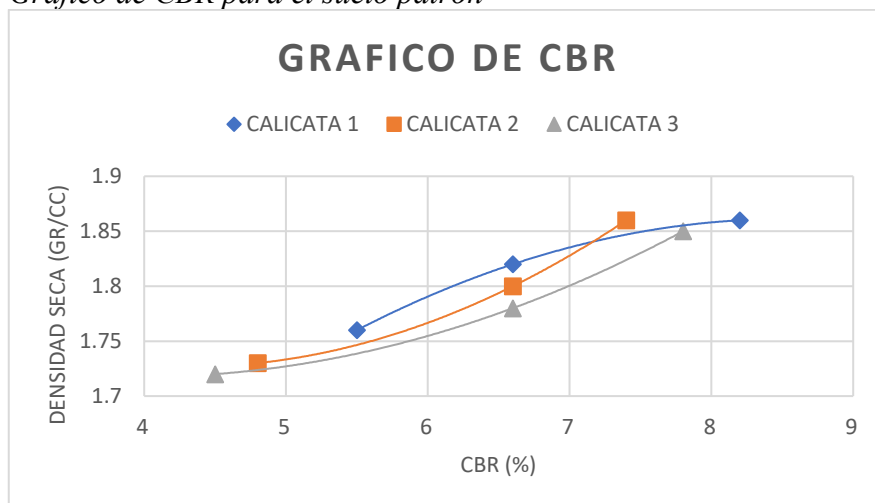
*Nota.* Zapana, R. (2022).

**Tabla 20***Resultados de la muestra patrón mediante el ensayo Proctor modificado*

Calicata	Progresiva	Estrato	Polímero añadido (%)	Contenido de humedad (%)	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )
C-01	2+500	E-02	1%	13.93	1.852
C-01	2+500	E-02	3%	13.85	1.822
C-02	3+000	E-02	1%	14.66	1.831
C-02	3+000	E-02	3%	14.40	1.810
C-03	3+500	E-02	1%	14.10	1.840
C-03	3+500	E-02	3%	14.20	1.810

*Nota. Zapana, R. (2022).***Tabla 21***Resultados del ensayo CBR de la muestra patrón*

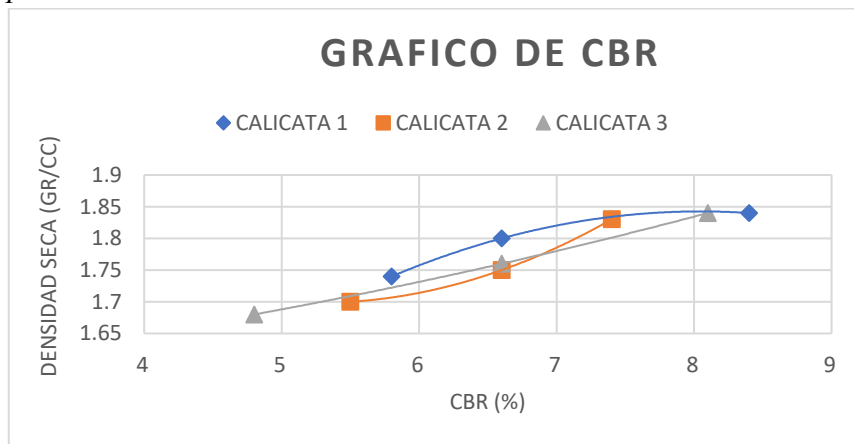
Golpes		Calicata 1			Calicata 2			Calicata 3		
		12	25	56	12	25	56	12	25	56
D.M. Seca	Gr/cm <sup>3</sup>	1.76	1.82	1.86	1.73	1.80	1.86	1.72	1.78	1.85
Expansión	%	0.82	0.80	0.36	1.38	1.30	0.84	0.84	0.38	0.08
Valor CBR 1"	100% D.M.S	5.5	6.6	8.2	4.8	6.6	7.4	4.5	6.6	7.8

*Nota. Zapana, R. (2022).***Figura 12***Gráfico de CBR para el suelo patrón**Nota. Zapana, R. (2022).*



**Tabla 22***Resultados de CBR más el 1% de polímero reciclado*

Golpes		Calicata 1			Calicata 2			Calicata 3		
		12	25	56	12	25	56	12	25	56
D.M. Seca	Gr/cm <sup>3</sup>	1.74	1.80	1.84	1.70	1.75	1.83	1.68	1.76	1.84
Expansión	%	1.28	1.28	1.06	1.32	1.68	1.78	1.64	1.65	1.30
Valor CBR 1''	100% D.M.S	5.8	6.6	8.4	5.5	6.6	7.4	4.8	6.6	8.1

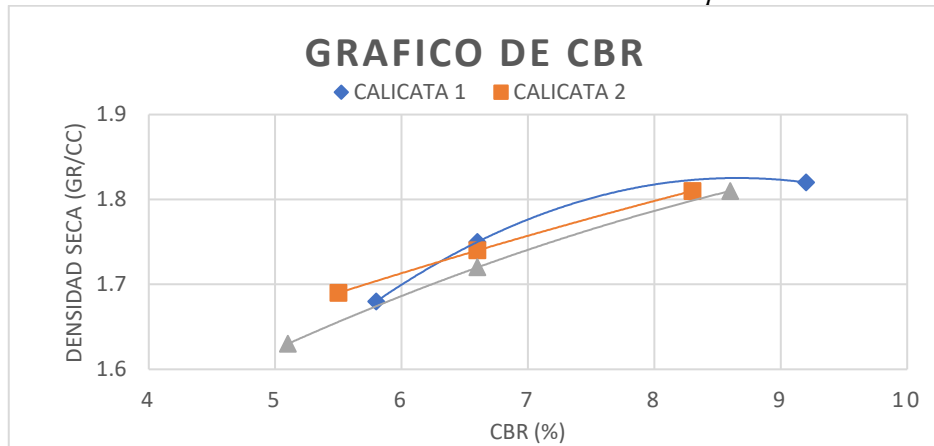
*Nota. Zapana, R. (2022).***Figura 13***Relación densidad seca vs CBR con adición de 1% de polímero reciclado**Nota. Zapana, R. (2022).***Tabla 23***Resultados de CBR más el 3% de polímero reciclado triturado*

Golpes		Calicata 1			Calicata 2			Calicata 3		
		12	25	56	12	25	56	12	25	56
D.M. Seca	Gr/cm <sup>3</sup>	1.68	1.75	1.82	1.69	1.74	1.81	1.63	1.72	1.81
Expansión	%	1.28	1.28	1.06	1.92	1.72	1.96	2.07	1.30	1.30
Valor CBR 1''	100% D.M.S	5.8	6.6	9.2	5.5	6.6	8.3	5.1	6.6	8.6

*Nota. Zapana, R. (2022).*

**Figura 14**

*Relación densidad seca vs CBR con adición de 3% de polímero reciclado*



Nota. Zapana, R. (2022).

Cuellar y Vega (2020) estudiaron un suelo de subrasante mediante su reforzamiento con geo sintéticos provenientes de Polietileno de Tereftalato (PET) reciclado. Asimismo, surge de la necesidad en obra de mejorar la capacidad portante del suelo para satisfacer los requerimientos del proyecto a ejecutar, se opta por esta alternativa ya que es económica en comparación al uso de un material de compra. El suelo en estudio se extrajo de una carretera ubicada en la provincia de Jaén en Cajamarca, mientras que el PET fue recolectado de puntos de almacenaje y/o de reciclaje de botellas plásticas. Los ensayos realizados para obtener resultados en la investigación fueron: Análisis granulométrico, límites de consistencia, ensayo de compactación Proctor y CBR. De los ensayos se puede obtener la clasificación de las partículas de suelos gracias al análisis granulométrico, el cual indica que el material predominante es el material fino Tabla 24. Asimismo, mediante el ensayo de Límites de Atterberg, se halló un valor de límite líquido del 49.2 promedio para el suelo en estudio (Ver Tabla 25 y Figura 15); mientras que el valor del límite plástico es 24.39 (Ver Tabla 26), de estos dos valores se obtuvo el índice de plasticidad del suelo dando como resultado 24.71 de lo cual podemos ver que se trata de una arcilla de baja plasticidad (Ver Tabla 27). El ensayo Proctor Estándar dio como resultado una máxima densidad seca (MDD) 1.764 gr/cm<sup>3</sup> y un óptimo contenido de humedad (OCH) 14.40 % producto de los resultados obtenidos en la Tabla 28 y graficados en la Figura 16. La capacidad portante del suelo natural determinada por el ensayo CBR indica un valor de 2.06 el cual de acuerdo a las normas peruanas no es admisible, por lo que se adiciono el geo sintético a una altura de 1.27 cm de la superficie, lográndose un aumento de valor hasta 6.54 el cual es calificado como un suelo regular que no necesita mejoramiento (Ver Tabla 29 y Figura 17). Como conclusión se observa que la aplicación

del geo sintético hecho de material reciclado PET (Ver Figura 18 y Figura 19) a una altura de 1.27 cm. de profundidad aumenta la capacidad portante del suelo (CBR), convirtiéndolo en un suelo regular admisible para su uso en la ejecución de obra, y siendo esta una solución que ayuda a reducir el impacto ambiental del PET.

**Tabla 24**

*Clasificación del Suelo en Estudio*

Material	% Retenido
Grava	3.63
Arena	13.85
Material Fino	82.47

*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

**Tabla 25**

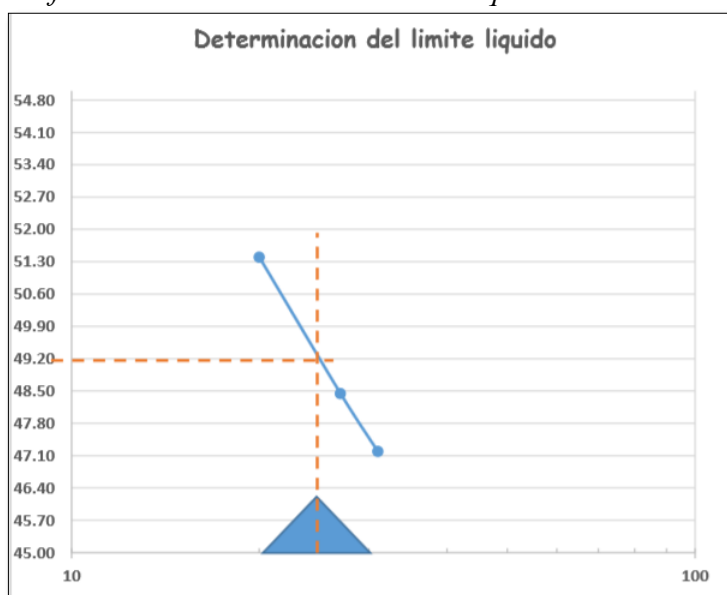
*Clasificación del Suelo en Estudio*

Ensayo	Límite Líquido		
	I	II	III
Número de Ensayo	I	II	III
Contenedor N°	9	1	2
N° de golpes	31	27	20
W del contenedor + Suelo Húmedo(gr)	28.40	31.28	28.74
W del contenedor + Suelo Seco(gr)	21.43	23.17	21.22
Peso del Contenedor en (gr)	6.66	6.43	6.59
Peso del Agua (gr)	6.97	8.11	7.52
Peso de partículas sólidas (gr)	14.77	16.74	14.63
Contenido de Humedad (%)	47.19	48.45	51.30

*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

**Figura 15**

*Gráfica de determinación del limite liquido*



*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

**Tabla 26***Clasificación del Suelo en Estudio*

<b>Ensayo</b>	<b>Límite Plástico</b>	
	I	II
Número de Ensayo	I	II
Contenedor N°	5	9
W del contenedor + Suelo Húmedo(gr)	15.2	15.47
W del contenedor + Suelo Seco(gr)	13.5	13.65
Peso del Contenedor en (gr)	6.33	6.39
Peso del Agua (gr)	1.70	1.82
Peso de partículas sólidas (gr)	7.17	7.26
Contenido de Humedad (%)	23.71	25.07
Promedio (W)	24.49	

*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).**Tabla 27***Resultado de límites de Atterberg*

<b>Gráficamente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
LL	49.20
LP	24.39
IP	24.71

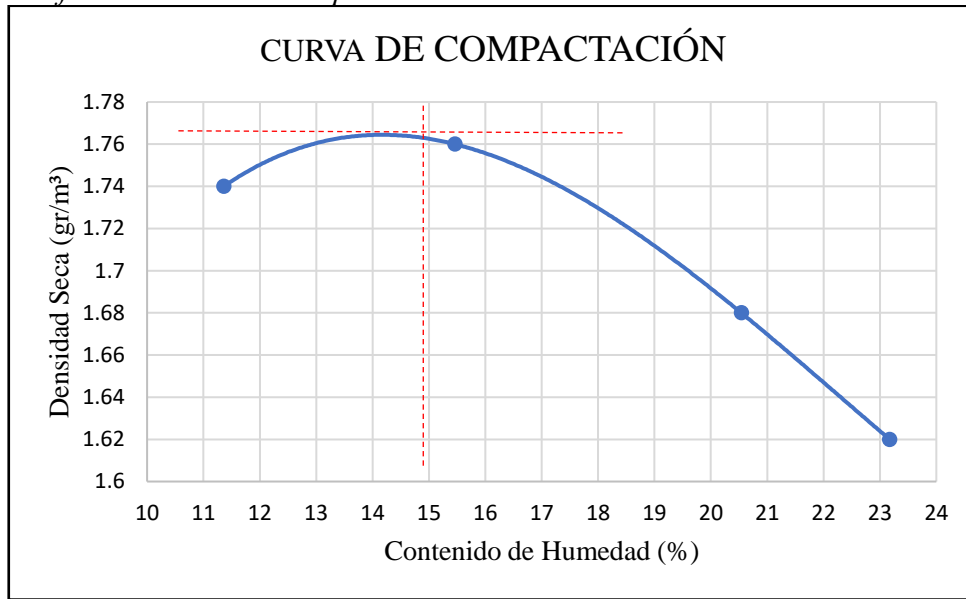
*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).**Tabla 28***Resultado del ensayo de Proctor Modificado*

<b>Ítem</b>	<b>Muestras</b>			
	1	3	5	7
N° contenedor	1	3	5	7
P. cont. + suelo húmedo (gr.)	348.1	372	442.3	352.9
P. cont. + suelo seco (gr.)	290.3	317.8	393.1	321.1
Peso del contenedor (gr.)	40.8	53.9	74.8	41.2
Peso del suelo húmedo (gr.)	307.3	318.1	367.5	311.7
Peso del suelo seco (gr.)	249.5	263.9	318.3	279.9
peso del agua	57.8	54.2	49.2	31.8
Contenido de humedad (%)	23.17	20.54	15.46	11.36
Contenido de hum. prom. (%)	23.17	20.54	15.46	11.36
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.62	1.68	1.76	1.74

*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

**Figura 16**

*Gráfica de curva de Compactación*



*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

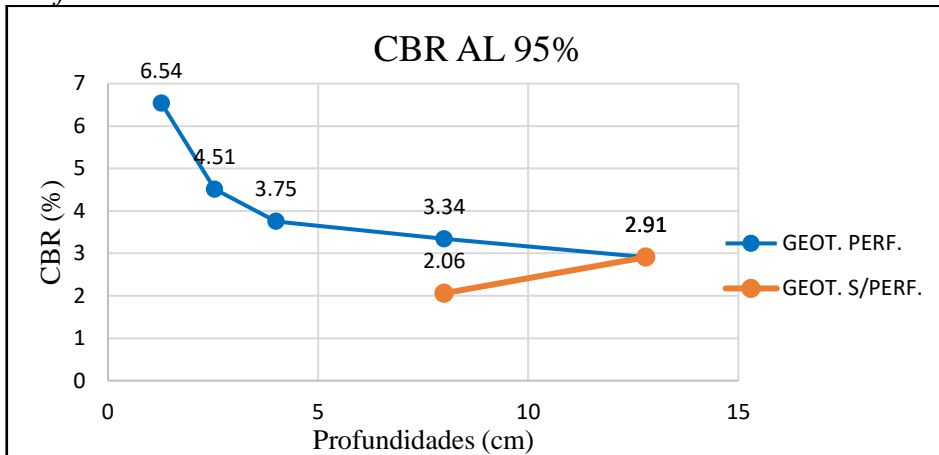
**Tabla 29**

*Resultado del CBR*

Muestras	CBR					Promedio
Suelo Natural (CL)	2.80	2.85	2.88	2.90	3.10	2.91
CL+ Geosintético a 8 cm s/perf	1.87	1.90	2.10	2.15	2.30	2.06
CL+ Geosintético a 8 cm perf	3.21	3.30	3.37	3.39	3.45	3.34
CL+ Geosintético a 4 cm perf	3.60	3.72	3.75	3.80	3.90	3.75
CL+ Geosintético a 2.54 cm perf	4.40	4.48	4.52	4.55	4.60	4.51
CL+ Geosintético a 1.27 cm perf	6.30	6.40	6.60	6.68	6.72	6.54

*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

**Figura 17**  
*Gráfica de CBR*



*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020)

**Figura 18**  
*Tejido de geo sintético propuesto*



*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

**Figura 19**  
*Cortado de geo sintético a dimensiones del molde de CBR*



*Nota.* Cuellar Tenorio & Vega Frías (2020).

### 2.2.2. Artículos relacionados con el tema

Taha et al. (2020) investigaron los efectos de la estabilización de FP sobre las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso, el suelo arcilloso es de Mongolia interior de China que se obtuvo de una profundidad de 15 cm teniendo las propiedades que se muestran en la Tabla 30, en la Figura 20 se muestra la granulometría del suelo natural que se clasifico como arcilla de alta plasticidad (CH) y las muestras de FP de la provincia de Hebei que fue añadido al porcentaje de 0.75%, 1.5%, 2.25% y 3% por peso seco del suelo, las propiedades de FP se muestran en la Tabla 31. Para la prueba de compactación Proctor se efectuaron ensayos tanto para el suelo natural como para el suelo con fibra, los resultados se muestran en la Figura 21, se observa que el aumento del contenido de FP provoco el aumento correspondiente en la MDD y una disminución en la OMC. En la Figura 22 se muestra la resistencia del suelo a través del ensayo de CBR, el valor de CBR más alto fue cuando le añadieron la FP al 3% en peso del suelo.

**Tabla 30**

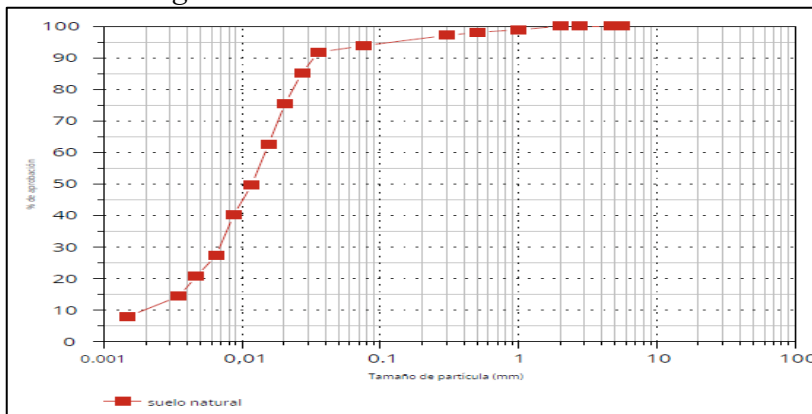
*Índice de propiedades del suelo*

Propiedad	Valor
Gravedad específica	2.58
Contenido de humedad (%)	13.35
Límite líquido (%)	67
Límite plástico (%)	36.09
Índice de plasticidad (%)	30.91
Parámetros de compactación	
Contenido de humedad óptimo (%)	27.38
Densidad seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1.52
Parámetros de resistencia al corte C (kN/cm <sup>2</sup> )	175
$\Phi$ (°)	2.83

Nota. Taha, M. et al (2020).

**Figura 20**

*Distribución granulométrica del suelo natural*



Nota. Taha, M. et al (2020).

**Tabla 31**

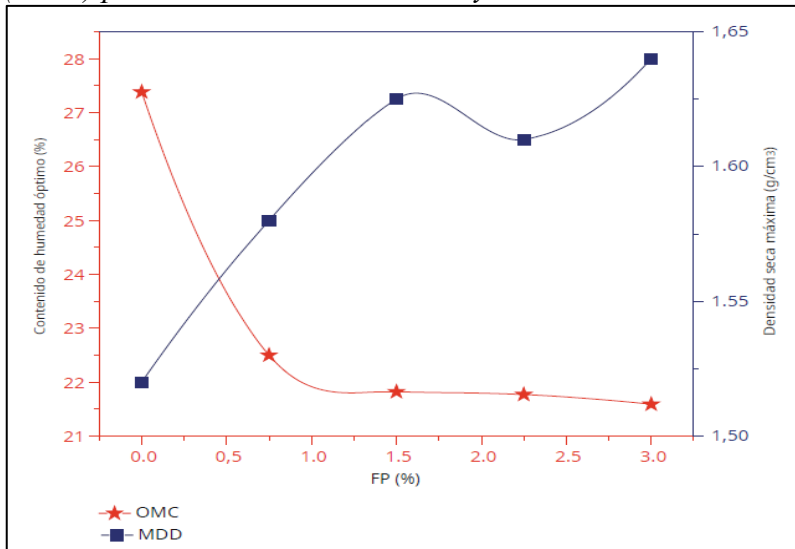
*Propiedades de la fibra de polipropileno*

Propiedad	Valor
Densidad	0.91 gr/cm <sup>3</sup>
Largo del corte	12 mm
Diámetro	0.034 mm
Color	Blanco
Humedad	< 0.1 %
Resistencia a los ácidos	Muy bien
Resistencia a los álcalis	Muy bien

*Nota.* Taha, M. et al (2020).

**Figura 21**

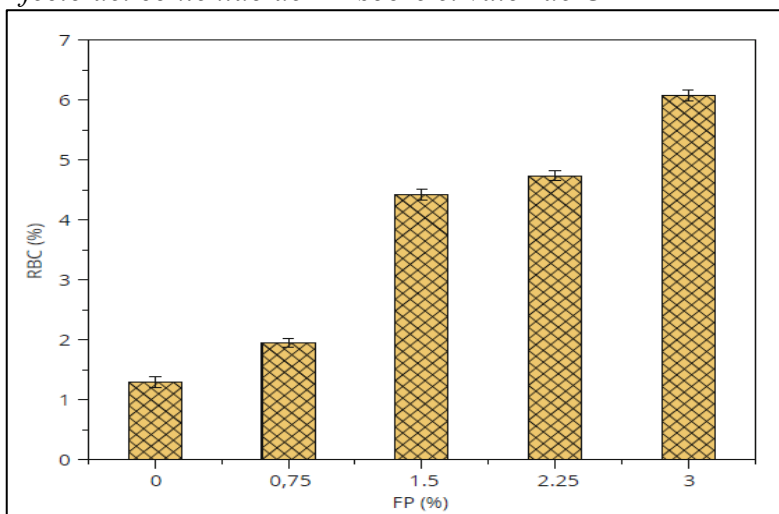
*Densidad seca máxima (MDD) y contenido de humedad óptimo (OMC) para suelos no estabilizados y estabilizados con FP*



*Nota.* Taha, M. et al (2020).

**Figura 22**

*Efecto del contenido de FP sobre el valor de CBR*



*Nota.* Adaptado de Taha, M. et al (2020).



Roustaei et al. (2021) estudiaron el efecto de agregar tiras y en forma de I de PET como elementos de refuerzo a un suelo arcilloso, las tiras utilizadas de PET fueron en 3 y 6mm de ancho y longitudes de 12, 15, 18 o 21 mm que se mezclaron con el suelo en contenidos de 0, 0.4, 0.6, 0.8 y 1% por peso seco del suelo y en PET en forma de I se cortó en 3mm de ancho y longitudes de 15 o 18mm que se mezclaron con el suelo en contenidos de 0, 0.6 y 0.8% por peso seco del suelo. El suelo se clasificó según SUCS como CL. Las propiedades físicas y mecánicas del PET se muestran en la Tabla 32 y en la Figura 23 se muestra las dimensiones del PET en forma de I.

Para el ensayo UCS, en la Figura 24 se muestra el espécimen cilíndrico probado por el ensayo, en la Figura 25, Figura 26 y Figura 27 se muestran las curvas de tensión – deformación para las muestras con tiras de 3, 6 mm de ancho y para los elementos en forma de I que contienen 6 y 8% de PET respectivamente. En la Figura 28 se muestra la variación en el contenido de UCS vs PET y las longitudes de las tiras de PET para las muestras reforzadas con un ancho de 3 mm, observando que el máximo aumento es para la muestra que contenía tiras de PET al 0.8% con una longitud de 18 mm, los resultados de las tiras de PET con 6 mm de ancho se muestran en la Figura 29 observando que llega a la mayor resistencia a las tiras de PET al 0.6% con una longitud de 18 mm. Comparando las Figura 28 y Figura 29 se observa que la resistencia sube en el rango de 0.4 a 0.8% / 12 a 18 mm y de 0.8 a 1% / 18 a 21 mm disminuye el UCS, las tiras de 3 mm aumenta el UCS aproximadamente 2.17 veces más que el suelo no reforzado, sin embargo hay un mayor aumento de UCS para los elementos de PET en forma de I, lo que se debe a la creciente fricción entre las partículas de suelo y los elementos de PET.

**Tabla 32**

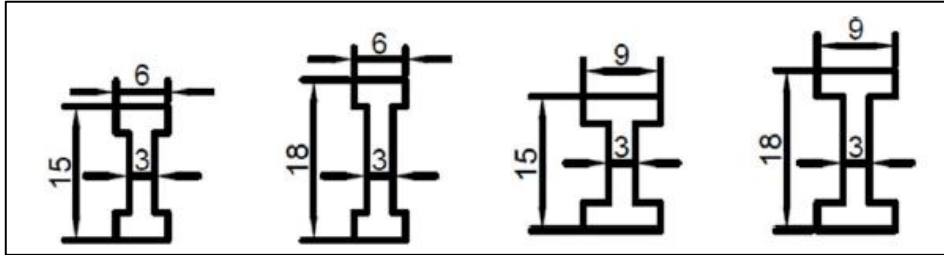
*Propiedades físicas y mecánicas de las tiras de PET*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Gravedad específica ( $G_s$ )	2.66
Límite líquido (LL) (%)	36
Límite plástico (LP) (%)	20
Índice de plasticidad (IP) (%)	16
Peso unitario máximo seco ( $gr/cm^3$ )	1.82
Contenido de humedad óptimo (%)	18.5

*Nota.* Roustaei et al. (2021).

**Figura 23**

*Detalles de los elementos de PET en forma de I (dimensiones en mm)*



*Nota.* Roustaei et al. (2021).

**Figura 24**

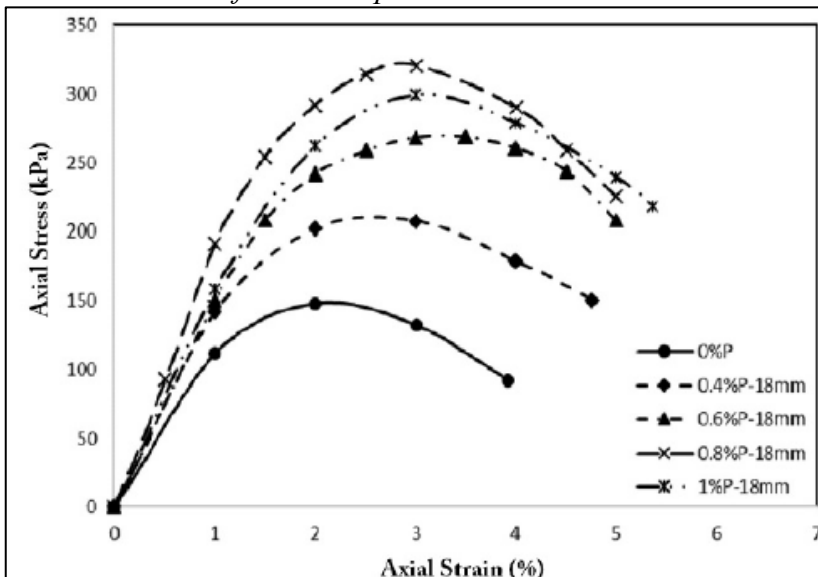
*Espécimen cilíndrico probado por UCS*



*Nota.* Roustaei et al. (2021).

**Figura 25**

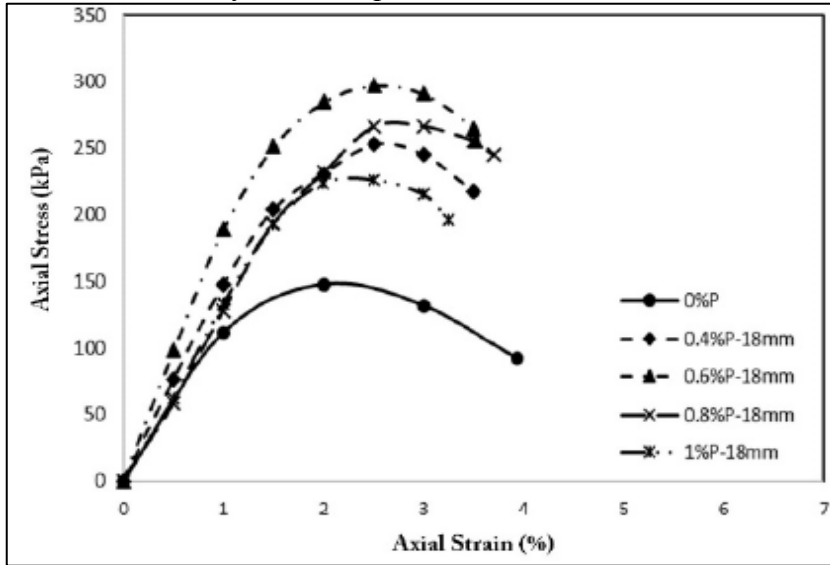
*Curvas tensión-deformación para 3 mm de ancho*



*Nota.* Roustaei et al. (2021).

**Figura 26**

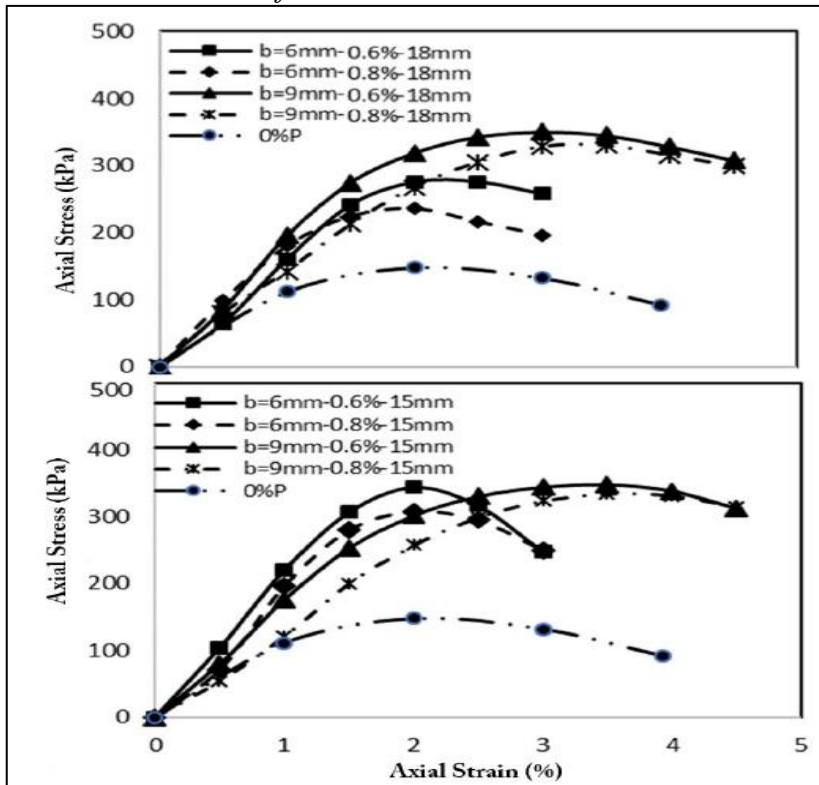
Curvas tensión-deformación para 6 mm de ancho



Nota. Roustaei et al. (2021).

**Figura 27**

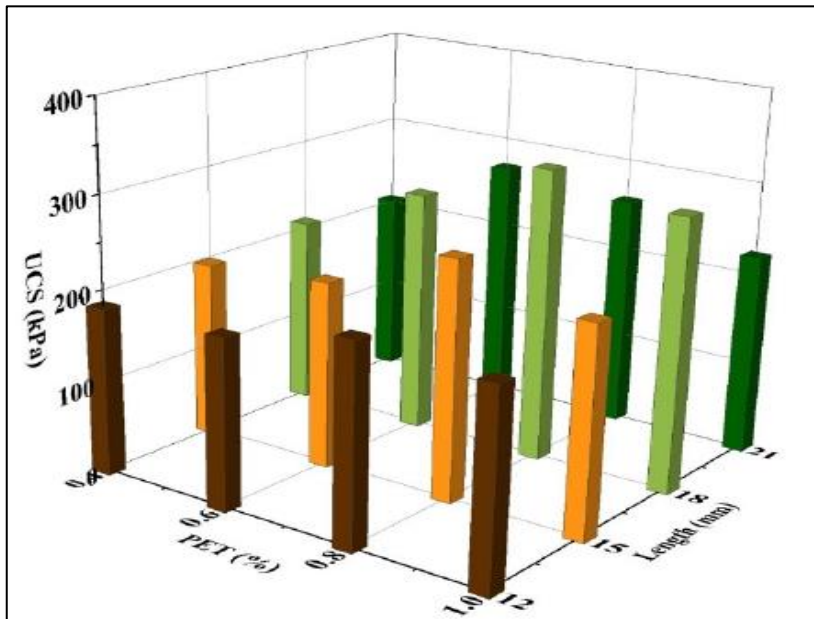
Curvas tensión-deformación de probetas de refuerzo con elementos de PET en forma de I



Nota. Roustaei et al. (2021).

**Figura 28**

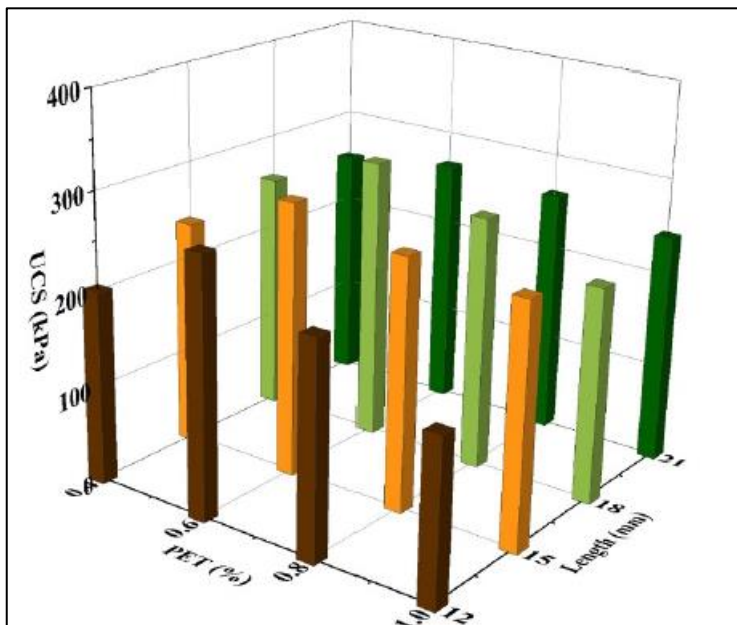
*Efecto del contenido de PET y la longitud de las tiras de PET en el UCS de probetas reforzadas con tiras de PET de 3 mm de ancho*



Nota. Roustaei et al. (2021).

**Figura 29**

*Efecto del contenido de PET y la longitud de las tiras de PET en el UCS de probetas reforzadas con tiras de PET de 3 mm de ancho*



Nota. Roustaei et al. (2021).

Sajad y Singh (2021) investigaron los efectos estabilizadores (Polvo de piedra y PET) sobre la resistencia, las características de compactación y durabilidad del suelo extraído de India Mart, pero nosotros en esta investigación analizaremos solo para el

comportamiento con el polímero PET. Utilizaron tiras de PET de 20 mm de largo y 3 mm de ancho y el suelo fue identificado altamente plástico y es expansivo por lo que antes de cualquier construcción requirieron investigar sus propiedades geotécnicas. En la Tabla 33 se muestra la abreviatura del suelo (suelo de algodón negro + valor optimo del polvo de piedra (7%)) más diferentes porcentajes de fibra PET, los resultados de la prueba Proctor son expuestos por la Tabla 34, se observa que el MDD es de 1.86 para M6 (suelo con 7% de polvo de piedra + 1.0% de PET). Para la resistencia a la compresión no confinada (UCS) ensayaron para 0, 7, 14 y 28 días de curado como se muestra en la Tabla 35 observando que presenta una mayor resistencia para M6 siendo de 216, 300, 401 y 492 para 0, 7, 14 y 28 de días de curado respectivamente. La prueba CBR lo estudiaron con una penetración de 2.5 mm a 5 mm teniendo los resultados que muestran en Tabla 36 que se concluye que para M6 tiene un mayor valor de CBR siendo de 5.9%

**Tabla 33**

*Abreviatura de suelo con polvo de piedra más fibra PET*

<b>Mezcla de diseño</b>	<b>Fibra PET</b>
M5	0.0
M6	1.0
M7	2.0
M8	3.0
M9	4.0
M10	5.0

*Nota.* Sajad, S., Singh, H. (2021).

**Tabla 34**

*Resultados de OMC y MDD para todas las muestras*

<b>Muestra</b>	<b>Densidad seca (gm/cc)</b>	<b>Contenido de agua (%)</b>
M5	1.68	21
M6	1.86	19
M7	1.83	19
M8	1.82	19
M9	1.81	19
M10	1.78	19

*Nota.* Sajad, S., Singh, H. (2021).

**Tabla 35***Cuadro de resumen para la prueba UCS*

Muestra	UCS (kPa)			
	0 días	7 días	14 días	28 días
M5	184	244	263	343
M6	216	300	401	492
M7	213	281	357	454
M8	206	282	341	461
M9	201	273	320	432
M10	195	262	310	389

*Nota.* Sajad, S., Singh, H. (2021).**Tabla 36***Valores de CBR*

Mezcla	CBR (%)
M5	2.90
M6	5.90
M7	5.50
M8	4.90
M9	4.50
M10	4.45

*Nota.* Sajad, S., Singh, H. (2021).

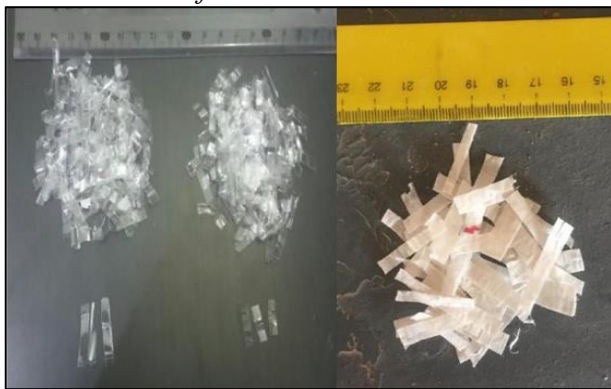
Aswad, H. et al (2021), este artículo científico, tiene como objetivo estudiar el efecto de la estabilización del suelo arcilloso a través de las fibras de Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Para resolver el objetivo se realizaron la preparación de las fibras cortando botellas y bolsas de desecho en dos tamaños con longitudes de 1.0 y 2.0 cm y anchos de 2.5 a 3.0 mm como se muestra en la Figura 30 en cuatro contenidos de 1%, 2%, 3% y 4% del peso del suelo arcilloso. En la Tabla 37 se muestra las propiedades físicas del suelo natural, en las Figura 31, Figura 32, Figura 33 y Figura 34 se muestran los resultados de las pruebas de compactación para los suelos naturales y estabilizados, se observa que los resultados de OMC y MDD disminuyen para los suelos estabilizados en comparación con los suelos naturales, la disminución de estas dos propiedades se puede notar a medida que aumenta el contenido de fibra.

Para la prueba de resistencia de compresión no confinada (UCS) los resultados se muestran en la Tabla 38 como se observa que la adición de PE y PP incremento considerablemente la resistencia del suelo estabilizado a comparación del suelo natural, la mejora fue de 76.4% y 96.6% para ambas longitudes de fibras de PE y de 57.4% y 73.0% para ambas longitudes de fibras de PP, respectivamente. En todos los casos los

resultados de fibra con longitud de 2.0 cm son superiores a los de 1.0 cm. Teniendo como el más alto UCS 291 kPa para EP y 256 kPa para PP con las características de fibra iguales para ambos casos; 1.0 % de fibra de PET y 2.0 cm de longitud. En la Tabla 39 se muestra los resultados de la prueba CBR, como se observa que para el suelo natural el CBR fue del 4%, pero la adición de fibras al suelo a medida del aumento en la proporción de contenido de fibra también aumenta considerablemente su resistencia, esta prueba determino que tanto para el suelo con EP y PP tiene una mejor resistencia cuando tiene un contenido de fibra de 4% con 2.0 cm de longitud

**Figura 30**

*Muestra de las fibras utilizadas en este estudio*



*Nota.* Aswad, H. et al (2021).

**Tabla 37**

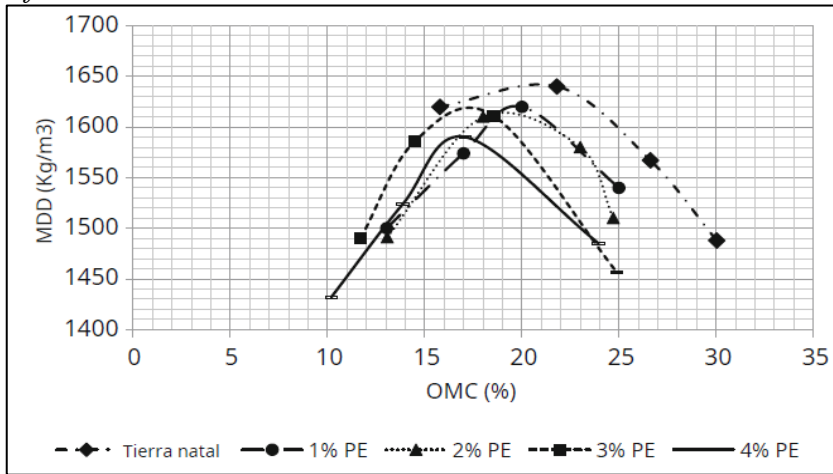
*Propiedades físicas del suelo natural*

<b>Propiedades del suelo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Estándares</b>
Gravedad específica (Gs)	2.7	ASTM D854-02
Límite líquido (%)	48.2	ASTM D4318-00
Límite plástico (%)	29.1	ASTM D4318-00
Índice de plasticidad (%)	19.1	ASTM D4318-00
Densidad seca máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1645	ASTM D698
Contenido óptimo de humedad (%)	21	ASTM D698
Arena (%)	7	
Limo (%)	42	
Arcilla (%)	51	
Clasificación de suelos (SUCS)	CL	ASTM D2487-00

*Nota.* Aswad, H. et al (2021).

**Figura 31**

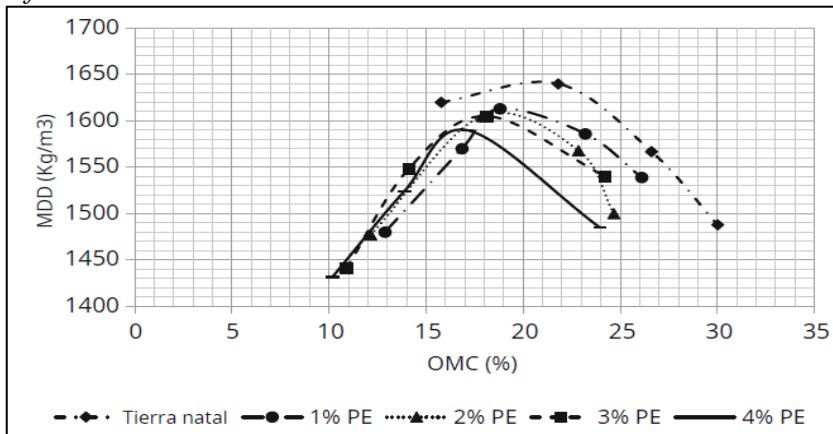
Resultados de la prueba Proctor para 1 cm de longitud de PE con diferentes contenidos de estabilizador



Nota. Aswad, H. et al (2021).

**Figura 32**

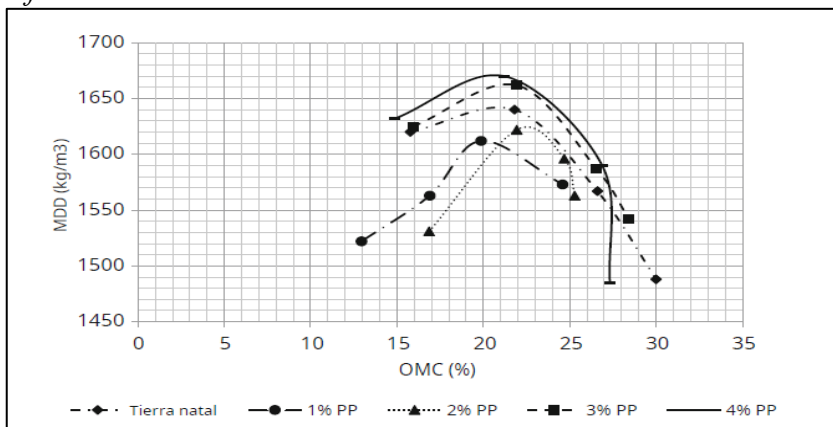
Resultados de la prueba Proctor para 2 cm de longitud de PE con diferentes contenidos de estabilizador



Nota. Aswad, H. et al (2021).

**Figura 33**

Resultados de la prueba Proctor para 1 cm de longitud de PP con diferentes contenidos de estabilizador

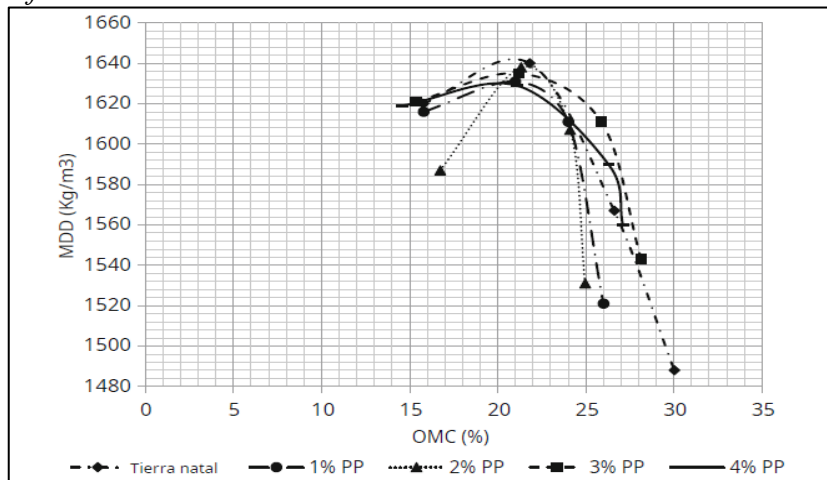


Nota. Aswad, H. et al (2021).



**Figura 34**

Resultados de la prueba Proctor para 2 cm de longitud de PP con diferentes contenidos de estabilizador



Nota. Aswad, H. et al (2021).

**Tabla 38**

Resultados de la prueba UCS para fibras de PE y PP

Contenido de fibra (%)	Longitud de fibra (cm)	UCS (kPa) EP	UCS (kPa) PP
0	-	148	148
1	1	261 (+76.4%)	233 (+57.4%)
	2	291 (+96.6%)	256 (+73 %)
2	1	246 (+66.2%)	223 (+50.7%)
	2	266 (+79.7%)	238 (+60.8%)
3	1	245 (+65.5%)	221 (+49.3%)
	2	272 (+83.3%)	242 (+63.5%)
4	1	242 (63.5%)	220 (48.6%)
	2	276 (86.5%)	245 (65.5%)

Nota. Aswad, H. et al (2021).

**Tabla 39**

Resultados de la prueba CBR para fibras de 1.0 cm y 2.0 cm de longitud

Contenido de fibra (%)	Longitud de fibra (cm)	CBR (%) EP	CBR (%) PP
0	-	4.0	4.0
1	1	4.9	4.2
	2	5.4	4.8
2	1	5.1	4.9
	2	6.0	5.1
3	1	5.9	5.3
	2	6.7	5.6
4	1	6.2	5.7
	2	7.2	6.0

Nota. Adaptado de Aswad, H. et al (2021).

Niyomukiza et al. (2021) investigaron las propiedades de ingeniería del suelo arcilloso reforzado con tiras de botellas de plástico de tereftalato de polietileno (PET). Las tiras de PET de desecho estuvieron en porcentajes de 0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.4% del peso unitario seco del suelo y con longitud de 5 mm y 0.5mm de ancho, la muestra de suelo utilizado fue arcilla de color gris verdoso claro con materia orgánica negra que fue recolectado de la aldea de Kyitetika en el ayuntamiento de Kasangati, distrito de Wasiko, Uganda a una profundidad de 0.5 m las propiedades geotécnicas del suelo no estabilizado se muestra en la Tabla 40, se observa que por la clasificación AASHTO es un suelo arcilloso plástico (A-6) y por la clasificación SUCS es un suelo arcilloso de baja plasticidad, luego realizaron los límites de Atterberg sus resultados se muestran en la Tabla 41 se concluye que es un suelo arcilloso de baja plasticidad ya que el índice de plasticidad es de 11.7%, que es inferior al 35%, para la prueba de compactación, los resultados de MDD para los suelos reforzados con PET (0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 %) son de 1946, 1960, 1970, 1981 y 1972 kg/m<sup>3</sup> respectivamente se observa que los resultados aumentan con porcentajes crecientes de inclusión de plástico (0-0.3%), mientras que para 0.4% disminuye debido a que el contenido de plástico se encuentra en grandes cantidades en la matriz plástica del suelo, en la Figura 35 se muestra que la densidad máxima y el contenido húmedo óptimo fueron de 1946 kg/m<sup>3</sup> y 9.1 % respectivamente. La función vital de la compactación es aumentar la resistencia al corte del suelo, disminuir la permeabilidad y aumentar la densidad. Para la prueba de CBR, los resultados se exponen en la Figura 36 observando que para el suelo no reforzado fue de 12.2 %, mientras que el mayor CBR fue para el suelo reforzado con 0.3% de PET siendo de 16.2 % esto significa que el suelo mejora la resistencia, sin embargo, se observa una caída al añadirle 0.4% de PET lo que puede atribuirse a las grandes cantidades de residuos de plásticos podrían haber debilitado el suelo

**Tabla 40**

*Propiedades geotécnicas del suelo no estabilizado*

<b>No</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
1	Porcentaje que pasa el tamiz No 20	66.7%
2	Contenido de humedad natural	20.2%
3	Límite líquido	25%
4	Límite plástico	13.3%
5	Índice de plasticidad	11.7%
6	Clasificación AASHTO	A-6
7	Sistema unificado de clasificación de suelos	CL

*Nota.* Niyomukiza, J. et al (2021).

**Tabla 41**

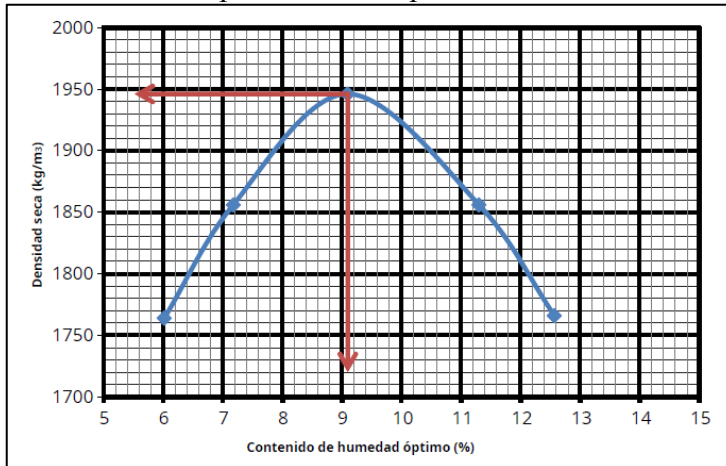
*Resultados de límites de Atterberg*

No.	Parámetro	Resultados (%)
1	Límite líquido (LL)	25.0
2	Límite plástico (LP)	13.3
3	Índice de plasticidad (IP)	11.7

*Nota.* Niyomukiza, J. et al (2021).

**Figura 35**

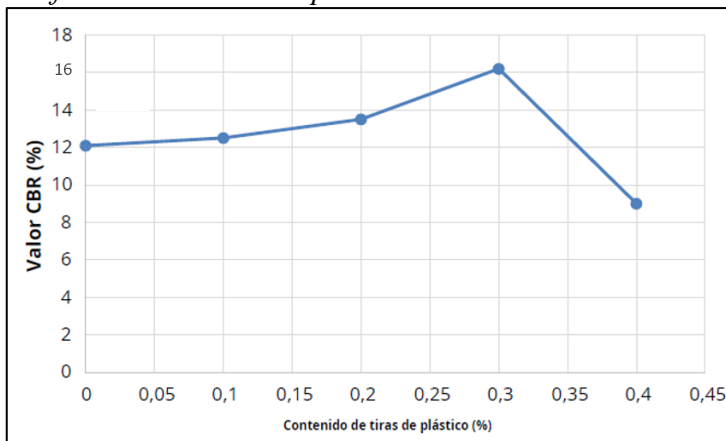
*Resultados de la prueba de compactación*



*Nota.* Adaptado de Niyomukiza, J. et al (2021).

**Figura 36**

*El efecto de las tiras de plástico sobre los valores CBR*



*Nota.* Adaptado de Niyomukiza, J. et al (2021).

Meddah et al. (2022) investigaron las mejoras de las propiedades físicas y mecánicas de suelos de baja resistencia, con adiciones combinadas de arena, cal y fibras de polipropileno, lo cual para esta investigación solo nos enfocaremos en la mejora del suelo ya estabilizado (arcilla + arena + cal) con la adición de la fibra de polipropileno, el suelo utilizado lo recogieron de la región de Sidi-Hadjeres en M'sila, Argelia clasificándose según el sistema SUCS como arcilla alta plasticidad (CH) . Las

características de las fibras PP utilizadas se muestra en la Tabla 42. En la Figura 37 se muestra los resultados del UCS para 28 y 90 días con el suelo estabilizado (arcilla + arena (20%) + cal (3.4%)) y con diferentes porcentajes de fibras de: 0.3, 0.6, 0.8, 0.9 y 1.2%, observando que tiene mayor resistencia cuando se añade fibras al 0.6% alcanzando 2864 y 4593 kPa para los 28 y 90 días respectivamente, en la Figura 38 se observa el comportamiento del suelo estabilizado con los diferentes porcentajes de fibra para el ensayo de CBR concluyendo que para el 0.9% de fibra llega a tener el mayor valor de CBR siendo de 32.9.

**Tabla 42**

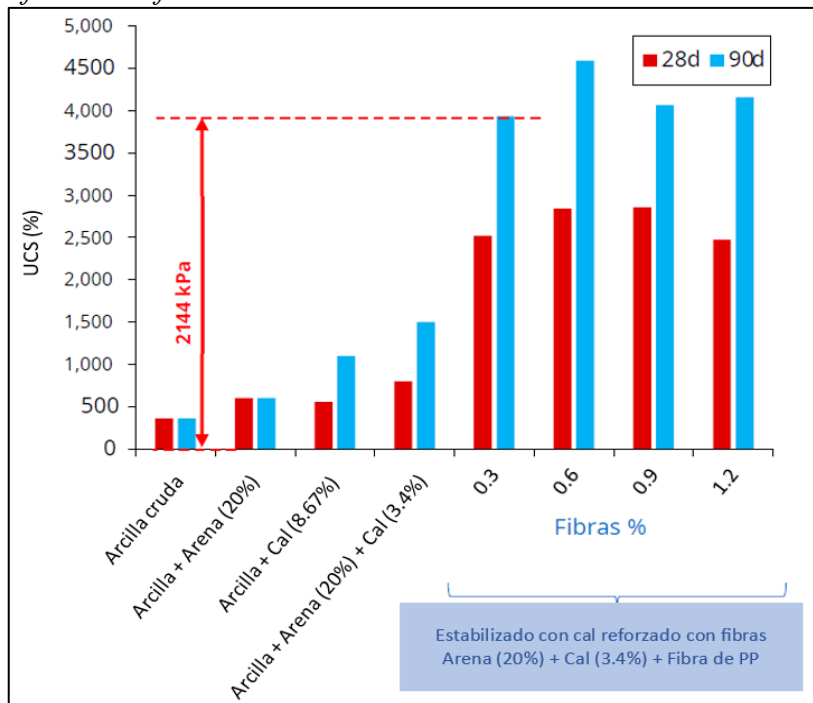
*Características de las fibras de PP utilizadas*

Propiedad	Valor
Longitud (mm)	6
Diámetro (mm)	0.034
Relación de aspecto (L/d)	176
Fuerza (MPa)	350
Módulo de elasticidad (MPa)	3500

*Nota.* Meddah, A. et al (2022).

**Figura 37**

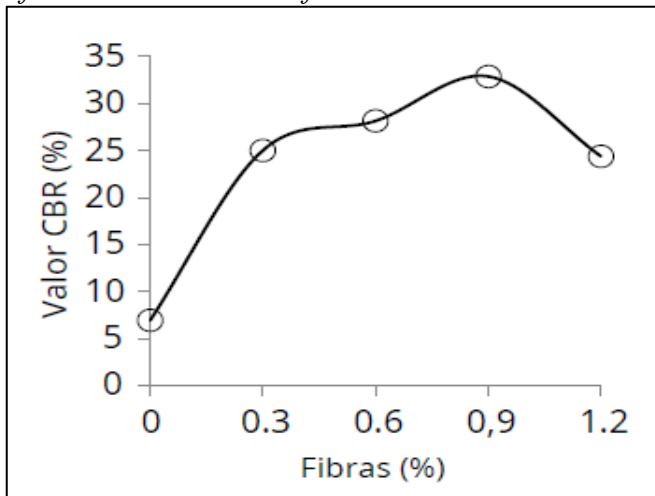
*Efecto de diferentes aditivos sobre el UCS*



*Nota.* Meddah, A. et al (2022).

**Figura 38**

*Efecto de la adición de fibra sobre el valor de CBR*

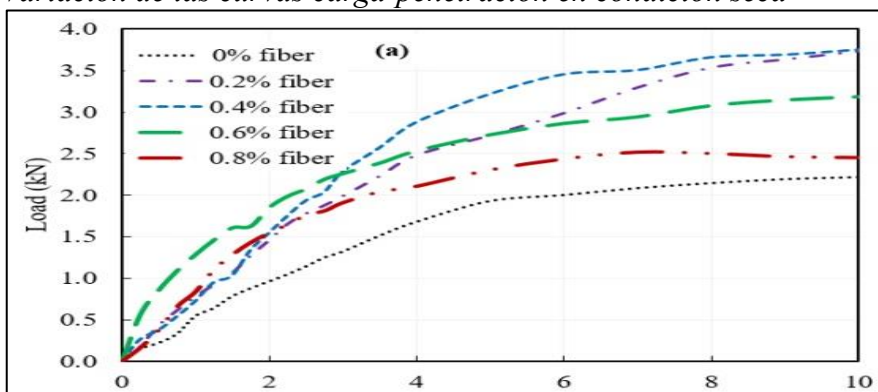


*Nota.* Meddah, A. et al (2022).

Hamza et al. (2022) investigaron la eficacia de la inclusión de fibras de polipropileno en arcillas expansivas en porcentajes que variaron entre el 0% y 8%. Los autores indican que con el aumento del porcentaje de fibra en las muestras de suelo en un 0.4%, la resistencia del CBR en condiciones secas aumentó de 9.7% a 16.1%, mientras que en húmedas de 5.2% a 8.2% (Ver Figura 41), en comparación con la del suelo no reforzado, debido a la interacción de las fibras de polipropileno con las partículas del suelo ,haciendo que estas se muevan en menor medida, la Figura 39 y Figura 39 indican las variaciones, para el caso del ensayo UCS incrementa su valor de 0.126 MPa a 0.211 MPa. Dando como conclusión que este material mejora significativamente las propiedades físico mecánicas del suelo cohesivo de carácter arcilloso y recomiendan utilizar el 0.4% con longitudes de 12mm y diámetros o anchos de 0.04mm en relación al peso natural del suelo (Ver Figura 42).

**Figura 39**

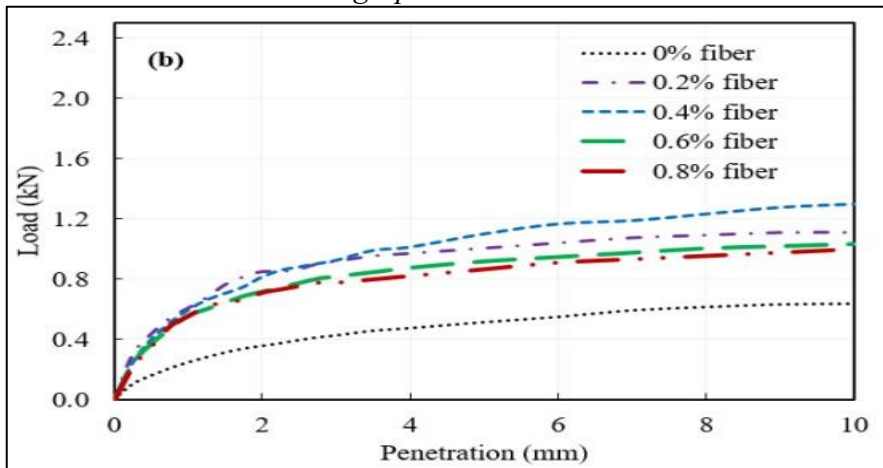
*Variación de las curvas carga-penetración en condición seca*



*Nota.* Hamza M. et al, (2022).

**Figura 40**

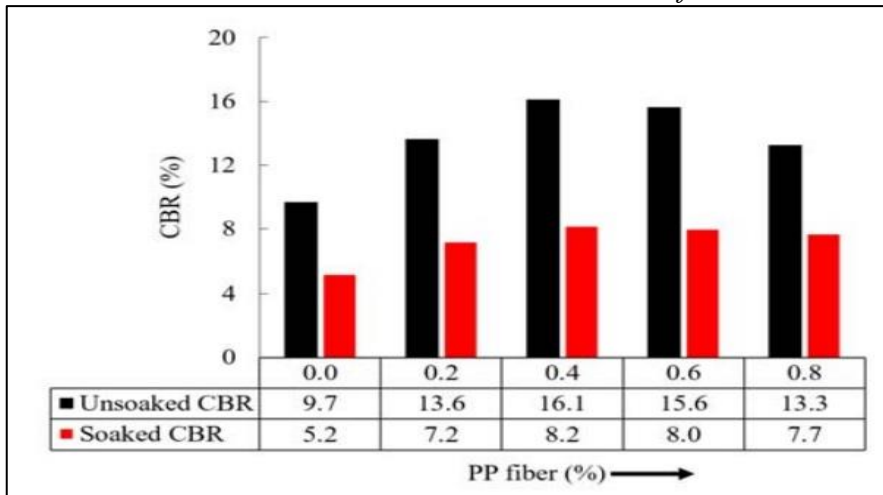
Variación de las curvas carga-penetración en condición húmeda



Nota. Hamza M. et al, (2022).

**Figura 41**

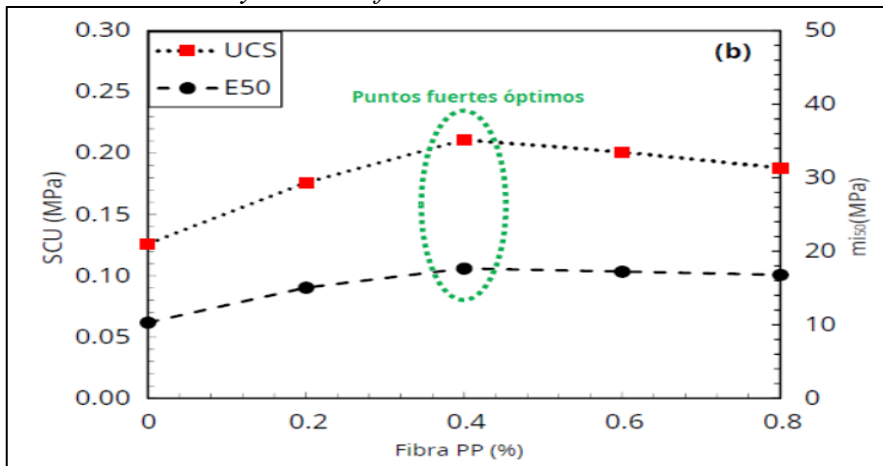
Variación de CBR, valores de muestras de suelo con fibra de PP



Nota. Hamza M. et al, (2022).

**Figura 42**

Variación de UCS y E50 con fibra de PP



Nota. Hamza M. et al, (2022).

Salim et al. (2018) investigaron las mejoras de un suelo arcilloso blando iraquí ubicado en la ciudad de Bagdad tanto en su resistencia, su estabilidad y sus propiedades físicas y mecánicas proponiendo el uso de fibras plásticas recicladas (PET) (ver Figura 43), estudiando el comportamiento de este suelo con las adiciones de estas fibras en distintos porcentajes para, posteriormente, explicar el efecto que producen estas adiciones anteriormente mencionadas. Inicialmente se realizaron los ensayos de Límites de Atterberg, gravedad específica, granulometría, compresión no confinada, Proctor estándar y CBR en su estado natural (ver Tabla 43), luego de esto, realizaron un análisis comparativo con las adiciones en porcentajes de 1%, 2% y 4% con respecto al peso seco del suelo (ver Tabla 44). En el caso del ensayo de límites de Atterberg el límite líquido del suelo disminuye considerablemente de un 47% a 40% con la adición de 4% de fibra plástica, asimismo disminuye el valor del índice de plasticidad de 23% a 12% con lo que, el contenido de humedad de este nuevo suelo disminuye. Sin embargo, en la curva Proctor se aprecia que el MDD disminuye de manera directamente proporcional conforme se adiciona ciertas cantidades de fibra plástica (ver Tabla 45), indistintamente esto logra suceder en el ensayo de compresión no confinada, pues el mayor incremento que se logró obtener fue de un 180% con la adición del 4% adicionalmente logrando una mejora en la resistencia al corte de 20KN/m<sup>2</sup> a 55 KN/m<sup>2</sup>. En cuanto al ensayo CBR el suelo con adición de 4% logra mejorar de un 0.6 Mpa a 1.4Mpa en lo que viene referido a Esfuerzo de penetración y llegando a alcanzar un valor de 9% (ver Figura 44). Finalmente se concluyó que, estas fibras causan una reducción en el Límite líquido del suelo, lo que mejora su trabajabilidad y propiedades físicas como es la gravedad específica y en el ensayo CBR aumenta aproximadamente un 200% con la adición de un 4% de fibra plástica (ver Figura 45), que vendría a ser la recomendada a utilizar en la dosificación del suelo.

**Tabla 43**

*Propiedades físicas de suelos no tratados*

No.	Propiedades Índice	Valor de índice
1	Límite Líquido % (LL)	47
2	Límite plástico % (PL)	25
3	Índice de plasticidad % (PI)	22
4	Gravedad específica (Gs)	2.69
5	Grava (más grande que 4.75 mm) %	0
6	Arena (0.075 a 4.75 mm) %	4.2
7	Limo (0.005 a 0.075 mm) %	29.5
8	Arcilla (menos de 0.005 mm) %	66.3

Nota. Salim, N. et al (2018).

**Figura 43**

*Fibra de plástico reciclada*



Nota. Salim, N. et al (2018).

**Tabla 44**

*Efecto de la fibra plástica reciclada sobre la gravedad específica*

	Gravedad Específica (Gs)			
% de fibra usada	0%	1%	2%	4%
Gravedad Específica	2.69	2.53	2.4	2.28

Nota. Salim, N. et al (2018).

**Tabla 45**

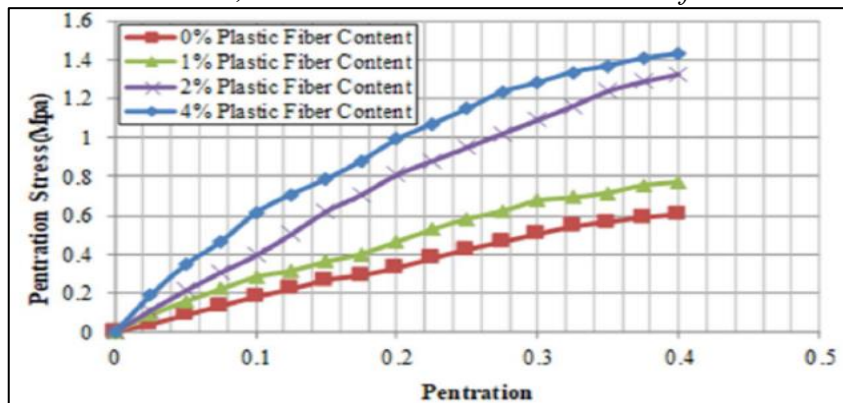
*Efecto de diferentes porcentajes de aditivo sobre el OCH*

% de Adición de Fibra	Max $\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	Óptimo Contenido de Humedad
0	17.2	21.3
1	16.43	20.8
2	15.81	20.1
4	15.3	19.7

Nota. Salim, N. et al (2018).

**Figura 44**

*Variación de CBR, valores de muestras de suelo con fibra de PP*

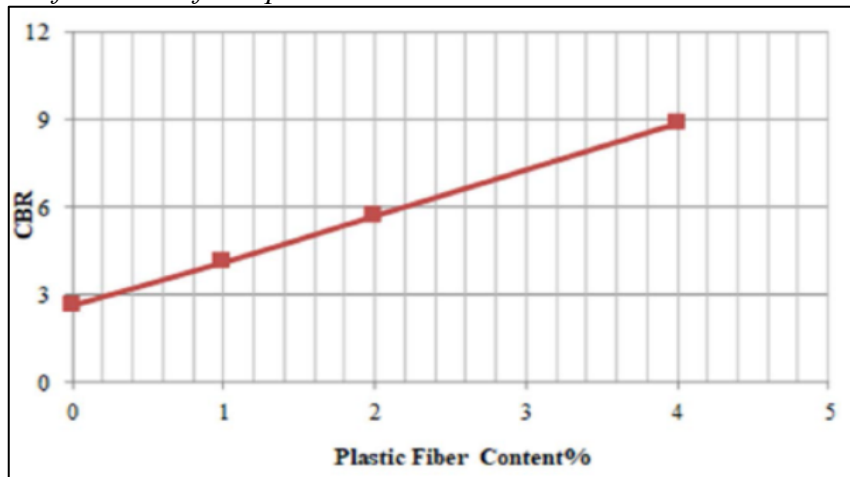


Nota. Tomado de Salim, N. et al (2018)



**Figura 45**

*El efecto de la fibra plástica en el valor CBR*



*Nota.* Tomado de Salim, N. et al (2018).

Boobalan et al. (2023) analizaron el aumento de la capacidad de carga y la densidad del suelo mezclando la lámina de plástico de desecho. Para resolver este objetivo realizaron pruebas físicas, los resultados obtenidos de muestran a continuación:

- Análisis de tamiz: suelo arcilloso
- Gravedad específica: 2.33 g/cc
- Contenido óptimo de humedad: 22 %
- Valor límite líquido: 67%
- Valor límite plástico: 43.75 %
- Densidad máxima seca: 15.6 kN/m<sup>3</sup>

Después de analizar las propiedades físicas, se realizó la prueba CBR colocando los materiales de láminas de plástico en H/2 de profundidad, H/3 de profundidad y suelo vacío, en la Figura 46 se muestra la hoja de plástico de desecho y la tierra arcillosa que recolectaron, luego realizaron pruebas CBR para el suelo arcilloso sin lamina de plástico y colocando las láminas de plástico a una profundidad H/2 y H/3 de la muestra de la prueba CBR como se muestra en la Figura 47. En la Tabla 46 y Figura 48 se muestran los resultados del ensayo CBR lo cual concluyeron que la lámina de plástico residual hizo que el suelo mejorara los valores de la relación de carga y la distribución efectiva de la carga que se presenta en la muestra, la colocación a profundidades de H/2 y H/3 resulto cambios mínimos en el valor de CBR teniendo 5.69% y 6.0% respectivamente.

**Figura 46**

*Hojas de plástico y tierra arcillosa recolectada*



*Nota.* Boobalán, S. et al (2023).

**Figura 47**

*Material plástico de desecho en la muestra de prueba de CBR*



*Nota.* Boobalán, S. et al (2023).

**Tabla 46**

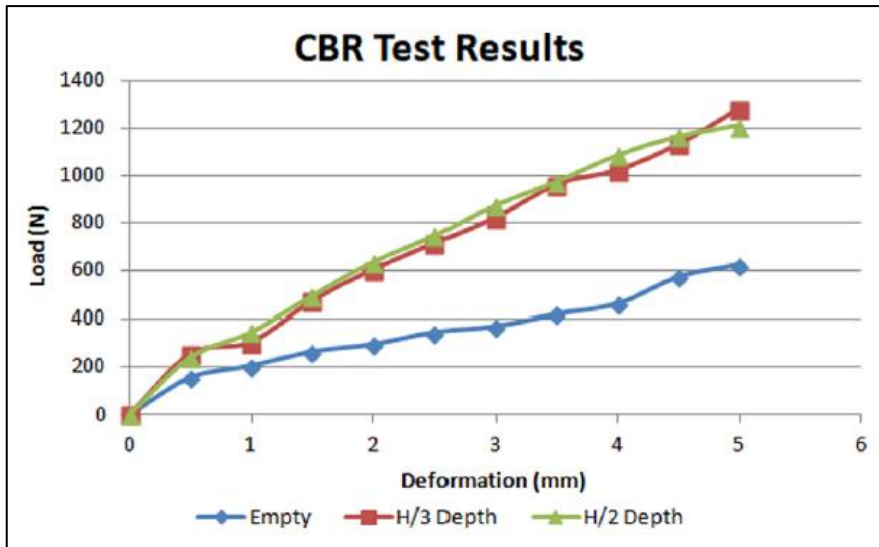
*Resultados de la prueba de CBR de la muestra del suelo recolectada*

<b>Muestra</b>	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Carga en divisiones</b>	<b>Carga (N)</b>	<b>CBR (%)</b>
Muestra sin lamina de plástico				
Muestra 1	2.50	11	517	3.8 %
Muestra 2	5.00	14	658	
Muestra con lamina de plástico a profundidad H/2				
Muestra 1	2.50	14	658	5.69 %
Muestra 2	5.00	24	1128	
Muestra con lamina de plástico a profundidad H/3				
Muestra 1	2.50	17	799	6.0 %
Muestra 2	5.00	22	1034	

*Nota.* Boobalán, S. et al (2023).

**Figura 48**

*Resultados de la prueba CBR de la muestra de suelo recolectada con y sin lámina de plástico residual*



Nota. Boobalán, S. et al (2023).

Ahayla y Prasad (2023) concretaron un estudio a la estabilización de un suelo arcilloso inorgánico de alta plasticidad con las propiedades indicadas en la Tabla 47, utilizando PET (Tereftalato de Polietileno), Ceniza de bagazo y ceniza de cáscara de arroz utilizando distintos porcentajes (2% a 8%). La forma de o estado en cómo se añadió el PET fue en estado triturado con 2mm de longitud en proporciones de 2,4,6 y 8, de igual manera se repitió para la ceniza de bagazo y la ceniza de cáscara de arroz, las cuales no son tomadas en este resumen a profundidad. Luego de realizar los ensayos y obtener los resultados de propiedades del suelo en su estado natural se procedió a hacer las pruebas de CBR tanto para la muestra natural como con las distintas adiciones de PET, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 48 y Figura 49 .Como parte de las conclusiones los autores indican que el porcentaje de PET más adecuado como adición es el de 6% con longitudes de 2 mm y recomiendan adicionar al suelo tanto PET como ceniza de cáscara de arroz ya que, con la adición de estos, el CBR alcanza un valor de hasta 22.6%.

**Tabla 47**

*Propiedades de la Muestra de Suelo*

S.No	Pruebas de laboratorio	Resultados
1	Gravedad específica	21.3
2	Índice de oleaje libre	68.9%
3	Límites de Atterberg	
	Límite Líquido (LL)	63%
	Límite Plástico (PL)	32%

4	Índice de Plasticidad (IP) Prueba Proctor Modificado	31%
	Contenido de humedad óptimo	18%
5	Densidad Seca Máxima CBR	1.52 g/cc 4.6

*Nota.* Ahayla, A. y Prasad, S. (2023).

**Tabla 48**

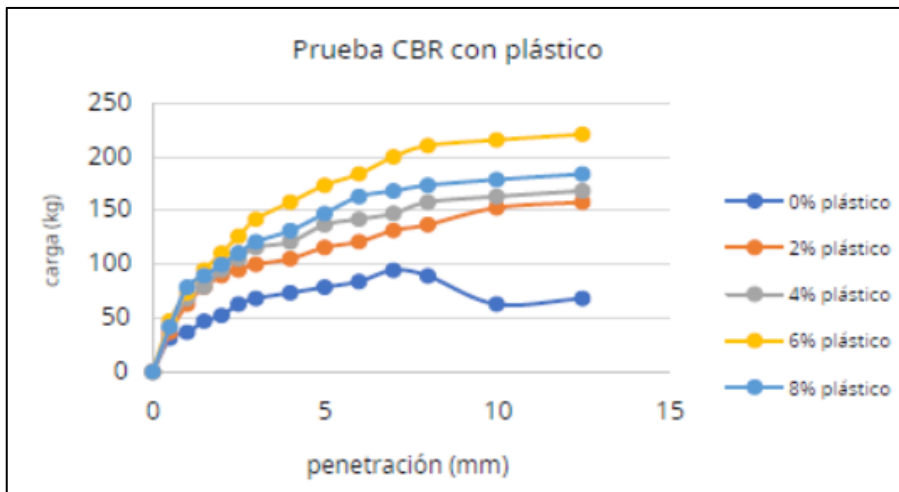
*Efecto de diferentes porcentajes de aditivo sobre el CBR*

Porcentajes de botellas PET (%)	Valor CBR (%)
2	6.9
4	7.6
6	9.2
8	8.0

*Nota.* Ahayla, A. y Prasad, S. (2023).

**Figura 49**

*Prueba CBR con PET*



*Nota.* Ahayla, A. y Prasad, S. (2023).

Andriani et al. (2023) determinaron las características físicas que puede mejorar el suelo arcilloso blando (de alta plasticidad), el cual tiene inestabilidad y baja capacidad de carga con las propiedades mostradas en la Tabla 49, ubicado en la costa oeste de la isla Sumatra, utilizando cal y Ceniza de Combustible de Aceite de Palma (Pofa), el cual presenta polietileno mayormente en su composición. Los autores propusieron la adición de cal al 5% mientras que el porcentaje de pofa fue del 4%, 8%, 12% y 16% del peso total de la mezcla en forma de polvo, para los cuales se realizaron pruebas de compactación hinchazón y CBR en todas sus variaciones, registrando los resultados para ambas en las

Tabla 50, Tabla 51 y la Figura 50 respectivamente. Luego de obtener los resultados los autores dan cuenta que la adición del 16% es la que aporta al valor de la densidad y el CBR, por lo que es la adición que los autores recomiendan

**Tabla 49**

*Resultados de las pruebas de propiedades del suelo*

N°	Prueba	Resultado
1	Contenido de Humedad	8.374
2	Densidad	1.288
3	Peso específico	2.589
4	Análisis de Tamizado (%)	
	a. Tamizado que pasa por n°10	96.97
	b. Tamizado que pasa por n°40	93.20
	c. Tamizado que pasa por n°200	85.77
5	Límite de Atterberg	
	a. Límite Líquido LL (%)	51.942
	b. Límite Plástico PL (%)	30.161
	c. Índice de Plasticidad IP (%)	21.781
6	Peso unitario máximo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.088
7	Contenido óptimo de agua w (%)	40.150
8	CBR de suelo sin aditivo, sin remojar (%)	12.870
9	CBR de suelo sin aditivo, empapado (%)	8.980
10	Suelo hinchable sin materia aditiva (%)	4.362

*Nota.* Andriani et al (2023).

**Tabla 50**

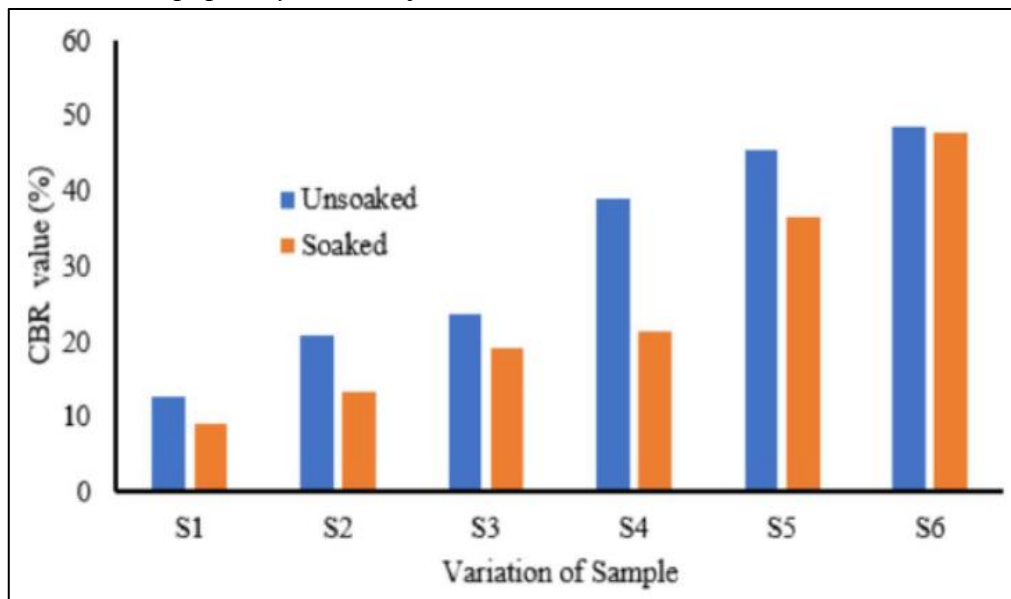
*Resultados de las pruebas de propiedades del suelo*

Muestra	Compactación	
	Y <sub>dry</sub> max(gr/cm <sup>3</sup> )	W <sub>opt</sub> (%)
S1 Suelo sin aditivos	1.088	40.150
S2 Suelo en un 95% + cal 5%	1.288	35.350
S3 Suelo en un 91% + cal 5% + Pofa 4%	1.297	33.681
S4 Suelo en un 87% + cal 5% + Pofa 8%	1.307	30.761
S5 Suelo en un 83% + cal 5% + Pofa 12%	1.322	29.990
S6 Suelo en un 79% + cal 5% + Pofa 16%	1.347	28.661

*Nota.* Andriani et al (2023).

**Tabla 51***Valor CBR de la arcilla por adición de cal + pofa*

N°	CBR		Valor de hinchazón (%)
	Sin remojar (%)	Empapado (%)	
S1 Suelo sin aditivos	12.870	8.980	4.362
S2 Suelo en un 95% + cal 5%	20.870	13.254	4.223
S3 Suelo en un 91% + cal 5% + Pofa 4%	23.623	19.130	1.631
S4 Suelo en un 87% + cal 5% + Pofa 8%	38.961	21.435	0.845
S5 Suelo en un 83% + cal 5% + Pofa 12%	45.624	36.568	0.566
S6 Suelo en un 79% + cal 5% + Pofa 16%	48.508	47.887	0.424

*Nota.* Andriani et al (2023).**Figura 50***Valor CBR de la arcilla debido a la adición de cal + pofa con la condición empapada y sin remojar**Nota.* Andriani et al (2023).

Bustamante y Merma (2022) determinaron como la implementación del 2%, 4% y 6% de PET triturado, en la estabilización de un suelo arcilloso de baja plasticidad ubicado en el centro poblado Tartar Chico en Cajamarca mejora su capacidad portante (CBR), realizando 3 ensayos tanto para el suelo en su estado natural, como para las distintas dosificaciones propuestas en dicha investigación. Las pruebas que las autoras efectuaron en esta investigación fueron el Ensayo del Análisis granulométrico (ver Tabla 52), contenido de humedad, Proctor Modificado (ver Tabla 54 y Figura 51), Límites de

consistencia o Atterberg (ver Tabla 53) y CBR. Las autoras concluyen que la adición de PET en estado triturado no mejora las propiedades físicas y mecánicas, sino que existe un incremento del CBR (ver Tabla 55) con respecto al suelo natural.

**Tabla 52**

*Granulometría de PET*

Tamiz	Abertura	% que pasa
(1/2 pulg)	12.70 mm	88.9
(3/8 pulg)	9.52 mm	38.3
(1/4 pulg)	6.35 mm	29.6
(N°4)	4.75 mm	11.0
(N°10)	2.00 mm	0.30

*Nota.* Bustamante, R. y Merma, L. (2022).

**Tabla 53**

*Límites de Atterberg*

Tamiz	Porcentaje
Límite Líquido	38.8
Límite Plástico	24.3
Índice de plasticidad	14.5

*Nota.* Bustamante, R. y Merma, L. (2022).

**Tabla 54**

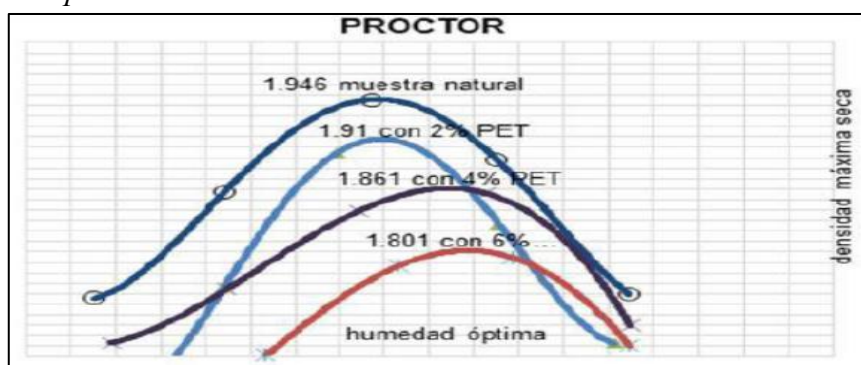
*Densidad Máxima Seca*

Tamiz	D.M. S	Óptimo contenido de humedad
Muestra patrón	1.95	9.90
Muestra con 2% de PET	1.91	9.95
Muestra con 4% de PET	1.86	11.40
Muestra con 6% de PET	1.80	11.80

*Nota.* Bustamante, R. y Merma, L. (2022).

**Figura 51**

*Comparación de Proctor*



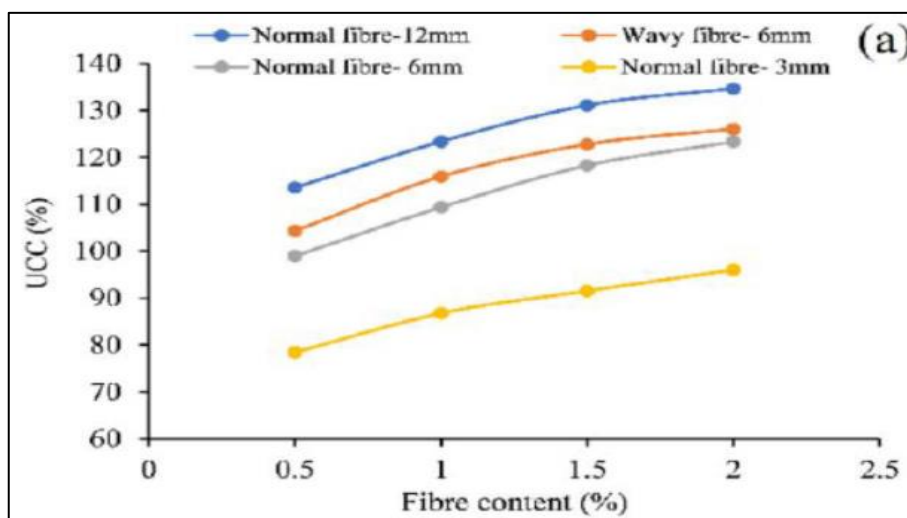
*Nota.* Bustamante, R. y Merma, L. (2022).

**Tabla 55***Resultados del CBR al 100%*

Muestra	CBR (%)
CBR patrón	5.68
CBR con 2% PET	5.88
CBR con 4% PET	4.65
CBR con 6% PET	3.90

*Nota.* Bustamante, R. y Merma, L. (2022).

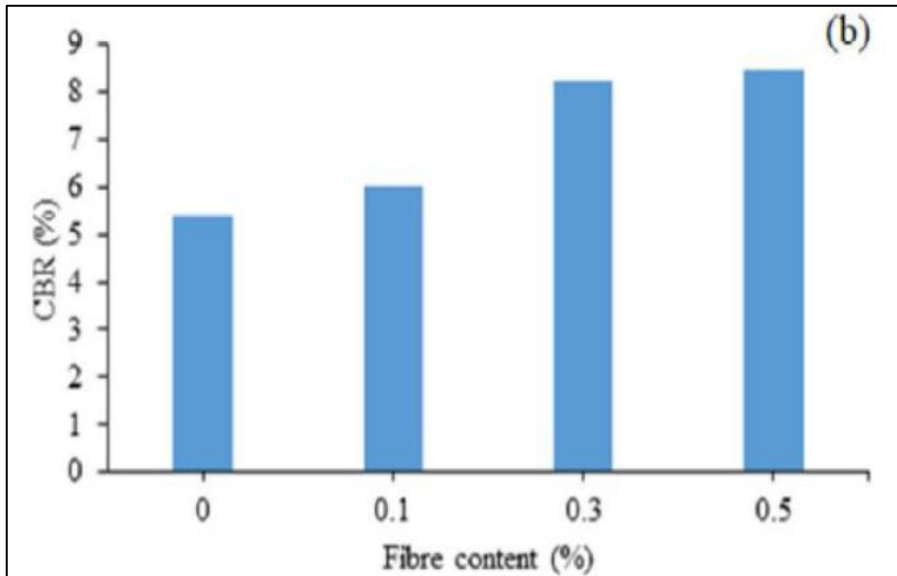
Zafar et al. (2023) examinaron como los diferentes tipos de fibras, ya sean naturales o sintéticas, afectan las propiedades físicas y mecánicas de un suelo arcilloso expansivo. Para el presente caso de estudio solo se tomaron en cuenta las fibras sintéticas analizadas en dicho artículo como por ejemplo el polipropileno en el cual los autores toman como conclusión que el porcentaje adecuado para adición de contenido de fibra es 0.6% debido a que incrementó en un 157.41% el valor de CBR (Ver Figura 53), y que mientras el largo o longitud de estas fibras sea mayor las presiones y el hinchamiento se reducen, por lo que mejora la resistencia de UCS de la arcilla en estudio como se puede ver en la Figura 52, por lo que recomendaron una dosificación que corresponde al 0.5% de fibras con respecto al peso del suelo, con 12mm de longitud de fibra en forma de tiras obteniendo resultados de 165.98% de incremento en el CBR 157.41%.

**Figura 52***Variación de Valores UCS**Nota.* Zafar et al (2023).



**Figura 53**

*Variación de Valores CBR*



Nota: Zafar et al (2023).

Sathyapriya et al (2023) investigaron el potencial del efecto de acoplamiento de la goma guar con la fibra de tereftalato de polietileno (PET) para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo expansivo, pero en la presente investigación nos enfocaremos en la reacción de la fibra de PET en el suelo con goma guar, el suelo según el sistema de clasificación de suelos estándar de la india se clasifico como arcilla altamente compresible (CH), en la Figura 54 se muestra la fibra de PET, el suelo arcilloso se mezcla a temperatura ambiente con la dosis optima de fibras de PET en porcentajes del 0.4%, 0.8%, 1.2% y 1.6%, en la Tabla 56 y Tabla 57 se muestra los resúmenes los límites de consistencia, las características de compactación, el valor de CBR y las características de consolidación del “suelo arcilloso + goma guar” y “suelo arcilloso + goma guar + fibra de PET” respectivamente, en la Figura 55 se observa que al añadirle la fibra de PET, el MDD y el OMC disminuye a medida que aumenta el contenido de fibra debido a la baja capacidad de absorción de agua de la fibra.

**Figura 54***Fibra de PET*

*Nota.* Sathyapriya, S. et al (2023).

**Tabla 56***Tierra mezclada con goma guar*

<b>Pruebas</b>	<b>Límite superior</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Medio</b>
Límite líquido (%)	35.82	49.72	41.77
Límite plástico (%)	35.1	33.4	34.25
OMC (%)	19	15	17
MDD (%)	1.91	1.79	1.85
CBR (%)	2.87	2.45	2.66

*Nota.* Sathyapriya, S. et al (2023).

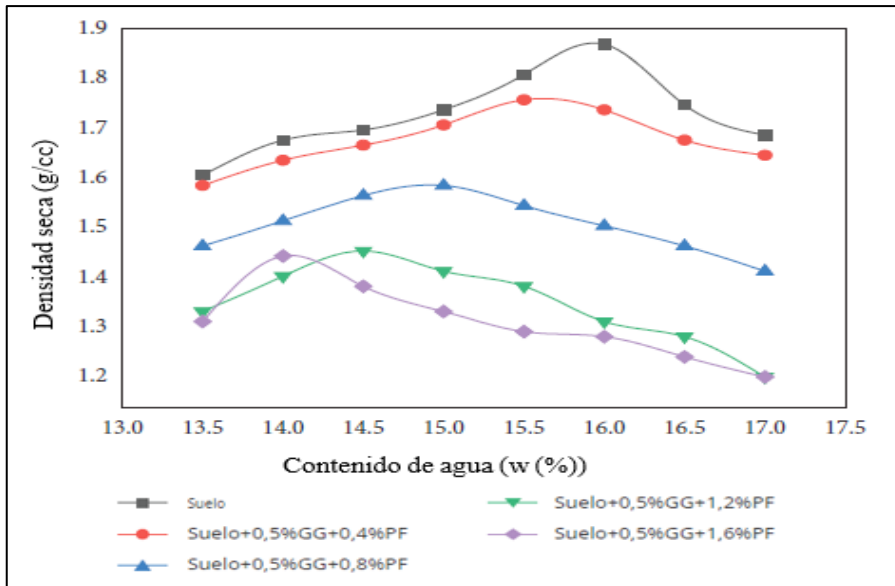
**Tabla 57***Tierra mezclada con goma guar y fibra de PET*

Pruebas	Límite superior				Límite inferior				Medio				
	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG	0.5GG +
llevado a cabo	+ 0.4PF	+ 0.8PF	+ 1.2PF	+ 1.6PF	+ 0.4PF	+ 0.8PF	+ 1.2PF	+ 1.6PF	+ 0.4PF	+ 0.8PF	+ 1.2PF		1.6PF
OMC (%)	16.5	16.4	16	15.6	14.5	13.6	13	12.4	15.5	15	14.5		14
MDD (%)	1.82	1.67	1.52	1.49	1.7	1.51	1.4	1.35	1.76	1.59	1.46		1.42
CBR (%)	3.24	3.61	6.74	6.97	2.86	3.13	6.2	6.41	3.05	3.37	6.47		6.69

*Nota.* Sathyapriya, S. et al (2023). GG: Goma Guar; PF: Fibra PET

**Figura 55**

*Características de compactación del suelo tratado con goma guar más diferentes porcentajes de PET*



Nota. Sathyapriya, S. et al (2023).

### 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

#### 2.3.1. Propiedades físico mecánicas del suelo

Son aquellas propiedades que posee un suelo como resistencia al corte, cohesión, esfuerzo último, las cuales indican o nos dan un concepto de qué tanto puede sostener o soportar una carga determinada.

#### 2.3.2. Resistencia al corte

Es la resistencia interna por área unitaria que la masa del suelo ofrece para resistir la falla y deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro del suelo.

#### 2.3.3. Suelos Cohesivos

Son suelos compuesto en gran parte por una propiedad en específico como es la cohesión. La cual es una cualidad que permite a las partículas del terreno que se mantengan unidas por reacción de las fuerzas internas del suelo. Esto los convierte en suelos de textura pesada, pegajosos cuando se encuentran en estado húmedo y muy compactos o resistentes cuando carece de agua.

#### 2.3.4. Tereftalato de Propileno

Es un material con una gran transparencia y dureza, muy resistente, tanto al desgaste y a los productos químicos, como al impacto, a la rotura y al fuego. Además, hay que sumarle que es totalmente reciclable y respetuoso con el medio ambiente. A la par que genera poco

humo no tóxico y no emite sustancias tóxicas que contaminen en los vertederos, actúa como barrera contra los gases.

### **2.3.5. Ensayo del Contenido de Humedad**

Este, es un ensayo rutinario en el laboratorio para determinar el porcentaje de agua presente en una cantidad o muestra de suelo con respecto a su peso seco, Según (E.Bowles, 1981) “Podría definirse el contenido de humedad como la relación del peso de agua presente y el total de peso de la muestra ( $W_{s+w}$ , peso de agua más suelo)” sin embargo (E.Bowles, 1981) indica que dicha definición es muy raramente usada en Estados Unidos. El contenido de humedad se define mediante la siguiente expresión:

**Ecuación 1:** Contenido de Humedad

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

donde:

- ✓  $W_w$  es el peso del agua presente en la muestra del suelo
- ✓  $W_s$  es el peso de sólidos presentes en la muestra del suelo

El procedimiento a seguir consta de cinco pasos:

1. Pesar un recipiente de aluminio donde se colocará la muestra en su estado natural ( $W_{\text{húmedo}}$ ).
2. Pesar el recipiente de aluminio con la muestra del suelo natural ( $W_{\text{Recipiente+Muestra}}$ ).
3. Secar la muestra en un horno a 110°C por 24 horas o hasta que tenga un peso constante, que es el punto en el que dicha muestra este en su estado seco ( $W_s$ ) y pesarla.
4. Calcular el contenido de humedad  $\omega$  utilizando la ecuación 1, en el cual  $W_w$  se calcula como la diferencia entre el peso del suelo húmedo más el recipiente y el peso del suelo seco más el recipiente, y  $W_s$  se calcula como la diferencia entre el peso del suelo seco más el recipiente y el peso del recipiente.

### **2.3.6. Ensayo de Límites de Consistencia de un suelo**

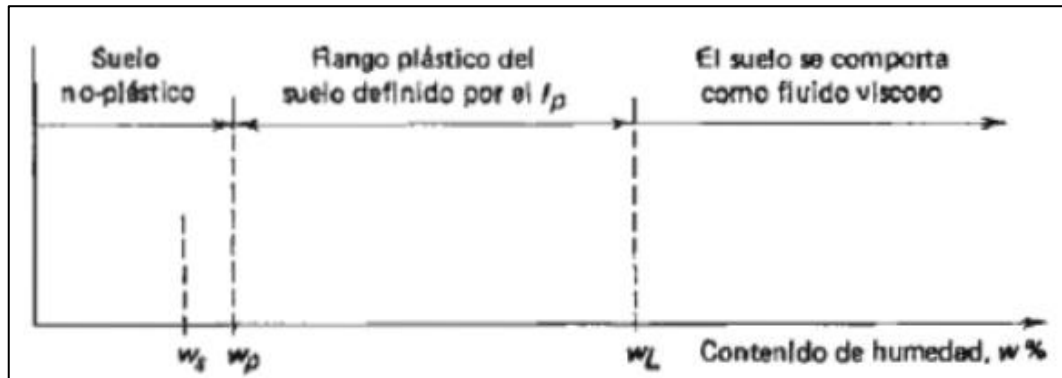
Este es un ensayo necesario para poder conocer y/o identificar la clasificación y comportamiento de un suelo con cierto porcentaje de agua. Según Bowles, J. (1981) “El límite líquido en ocasiones puede utilizarse para estimar asentamientos en problemas de consolidación y ambos límites (líquido y plástico) son algunas veces útiles para predecir la máxima densidad en estudios de compactación”. De acuerdo con Bowles, J. (1981), “Los ensayos de límites de Atterberg deben hacerse sobre suelos tamizados a través de la

mallas No. 40". Esto por motivo de lograr una mayor comodidad al momento de efectuar el ensayo.

Los límites de consistencia están representados gráficamente de la siguiente manera:

**Figura 56**

*Localización relativa de los límites de contracción*



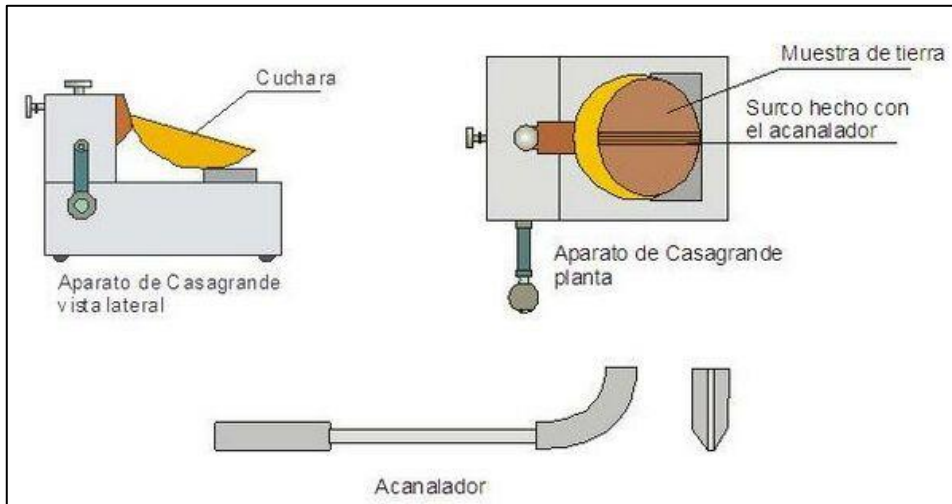
*Nota.* Bowles, J. (1981)

### **Procedimiento del Ensayo de Límite Líquido**

1. Obtener una muestra representativa de suelo (250gr aprox.) que pasa a través del tamiz N°40, destruir los posibles grumos presentes en la muestra, secarla al aire, humedecer con un gotero y mezclar hasta conseguir una mezcla homogénea.
2. Verificar que el aparato (copa Casagrande) con la que se efectuará el ensayo este calibrada adecuadamente y colocar una cantidad pequeña humedecida de suelo en la parte central del aparato y con la ayuda de la espátula nivelarlo, luego pasar por el centro con la ayuda del acanalador (ranura de 12.7 mm) de tal forma que el suelo se corte en dos partes. En la Figura X se muestra el aparato de casa grande.
3. Se comienza a suministrar golpes (anotar los números de golpes) a la copa Casagrande con ayuda de la manija de manera constante hasta que llegue a cerrar la ranura de 12.7 mm. Tomar en cuenta que se tiene como dato que son 25 golpes aproximadamente.
4. Se toma una muestra del suelo de la parte central, es decir de la unión y se coloca en un recipiente y es llevado al horno por 24 horas.
5. Este procedimiento se efectúa para tres muestras adicionales con numero de golpes de 15-20 y 20-25 para así poder realizar una gráfica y estimar el límite líquido y contenido de humedad. Para finalizar se realizan los cálculos respectivos para encontrar el límite líquido de la muestra.

**Figura 57**

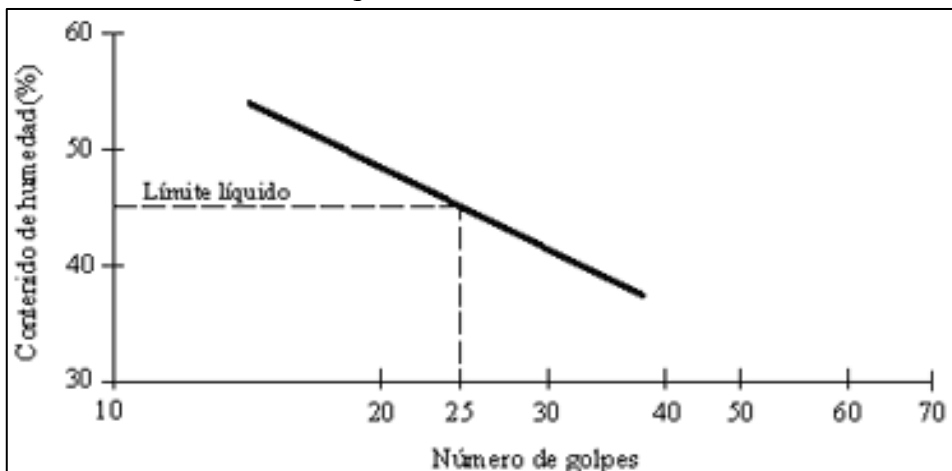
*Aparato casa grande*



Nota. Construmática (2009)

**Figura 58**

*Determinación del límite líquido del suelo*



Nota. (Ingeniería Civil, s.f.)

**Ecuación 2:** Determinación de límite líquido

$$LL = W_N \times \left(\frac{N}{25}\right)^{\tan\beta}$$

donde:

- ✓ LL = Límite líquido.
- ✓  $W_N$  = Contenido de humedad natural.
- ✓ N = Número de golpes.
- ✓  $\tan\beta$  = Pendiente de la línea de flujo (0.121 es una buena aproximación)

### **Procedimiento del Ensayo de Límite Plástico**

1. Dividir en pequeñas muestras el suelo con el que se había trabajado para la toma y ensayo del límite líquido.
2. Enrollar y frotar el suelo sobre una plataforma lisa, de tal manera que se pueda moldear un cilindro o un hilo de diámetro constante hasta llegar a los 3mm de diámetro, normalmente son entre 80 a 90 golpes los que se suelen dar para llegar a esta condición teniendo en cuenta que cada golpe es un movimiento de adelante hacia atrás. A partir de este punto la muestra se empezará a desmoronar por separación en pequeños pedazos, por desprendimiento de pequeñas escamas o pedazos sólidos en forma cilíndrica.
3. Con el paso anterior concluido, los restos de la muestra se colocan en un recipiente y se secan en un horno durante 24 horas, con el fin de obtener el contenido de humedad de la muestra, el cual sería el límite plástico de la muestra ensayada.

#### **2.3.7. Ensayo de Compactación**

Es un proceso en el cual se espera mejorar las propiedades de los suelos que formen un talud, o pavimento, con la finalidad que pueda cumplir con los requerimientos necesarios que exija una obra en un futuro. El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad que puede tener una muestra de suelo, reduciendo el porcentaje de vacíos presentes en la misma, con la cual alcance la mayor densidad seca posible. Existen dos tipos de Compactación o pruebas llamadas Proctor Estándar y Proctor Modificado

En la prueba de Proctor modificado se hace utilidad de un molde de volumen 943.3 cm<sup>3</sup>, en el cual se compactará posteriormente la muestra de suelo en 5 capas por un martillo o pistón 25 veces cada una. Este pistón tiene un peso de 44.5 N y tiene una distancia perpendicular de caída 457.2 mm. Por lo que la energía de compactación E estaría definida por:

$$E = \frac{25 \frac{\text{golpes}}{\text{capa}} \times 5 \text{ capas} \times 44.5 \times 10^{-3} \times \text{kN} \times 0.4572 \text{ m}}{943.3 \times 10^{-6} \text{m}^3} = 593.7 \text{ kNm/m}^3$$

#### **2.3.8. CBR (California Bearing Ratio)**

Es un ensayo que evalúa la calidad de un suelo en base a su resistencia al corte que es medida a través de la aplicación de una carga por determinar de un pistón hacia una muestra del suelo compactada en condiciones de humedad y densidad controladas, la cual se toma lecturas con incrementos de 0.1". Con la carga calculada se hace una relación porcentual con otra carga obtenida mediante el mismo procedimiento hacia una muestra



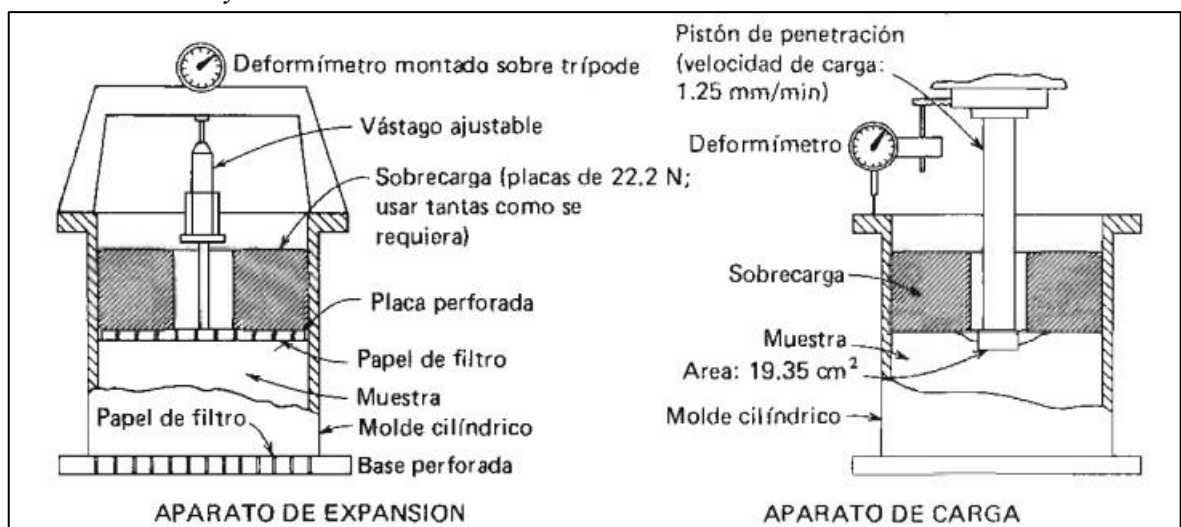
de piedra chanchada con el fin de poder darle una clasificación a la capacidad del suelo para ser utilizado como material de base o subbase. Según W. Botía (2015), “Este método es normalmente utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de  $\frac{3}{4}$ ”, existiendo metodologías adicionales para los casos en los cuales no se cumpla con esta granulometría” (p. 133). A continuación, se presenta una tabla donde con base a los valores de CBR se establece una clasificación general para el suelo.

**Tabla 58**  
*Clasificación de suelos según CBR*

Valor CBR	Clasificación General	Usos
0 – 3	Muy Pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre o Regular	Subrasante
7 – 20	Regular	Sub-base
20 – 50	Bueno	Base, Sub-base
>50	Excelente	Base

*Nota.* Bowles, J. (1981).

**Figura 59**  
*Detalles del ensayo de CBR*



*Nota.* Bowles, J. (1981).

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. *Hipótesis general*

Al adicionar una correcta dosificación de polímeros sintéticos se mejoran las propiedades físico- mecánicas de un suelo cohesivo.

#### 3.1.2. *Hipótesis específicas*

- a) Al adicionar adecuados dimensionamientos y/o forma de polímero sintético se mejora el CBR de un suelo cohesivo.
- b) Al establecer un adecuado porcentaje de adición de polímeros se mejora la resistencia a la compresión de los suelos cohesivos.

### 3.2. Sistema de variables

#### 3.2.1. *Definición Conceptual y operacional*

#### 3.2.2. *Definición Conceptual de Variables*

- Propiedades físico mecánicas del suelo: Son aquellas que están relacionadas con la resistencia y/o deformación de un suelo, y, por lo tanto, son directamente aplicables a una posible solución de estabilización, entre ellas tenemos la resistencia al corte, capacidad de carga, estabilización, entre otros.
- Implementación de polímeros sintéticos: Es una técnica de mejoramiento de suelos que consiste en la adición de dichos elementos para mejorar sus propiedades físico- mecánicas.

#### 3.2.3. *Definición operacional de Variables*

- Propiedades físico mecánicas: Se recolectan, analizan e interpretan los resultados obtenidos en artículos científicos e investigaciones mediante los ensayos: Corte Directo, CBR y Compresión. Con la finalidad de determinar cómo mejoraron las propiedades del suelo.
- Implementación de polímeros sintéticos: Se recolecta información sobre longitud, diámetro, porcentaje y tipo de polímeros sintéticos utilizados en artículos científicos e investigaciones: tereftalato, polietileno y polipropileno. Con la finalidad de determinar que dimensión, porcentaje y tipo sería el más adecuado a adicionar a un suelo cohesivo.

### 3.2.4. Operalización de las variables

**Tabla 59**

*Operalización de Variable dependiente*

Variable (dependiente)	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índice	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta
Propiedades físico mecánicas del suelo	Están determinadas fundamentalmente por la cohesión y el parámetro de esfuerzo último del suelo, es por ello la importancia de usar un porcentaje adecuado de agua y/u otro agregado/elemento que mejore dichas propiedades	Es un parámetro que se define como la máxima que puede soportar previamente a la falla	Esfuerzo último del suelo	Resultados de los ensayos de corte directo y Compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	Cuantitativa continua		Norma Técnica Peruana
				Resultados de curva esfuerzo-deformación	Kg/cm <sup>2</sup> mm			
			Es una propiedad del suelo por la cual las partículas del mismo pueden mantenerse unidas ofreciendo resistencia	Cohesión	Resultado del ensayo de compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	Adim.	Formatos, ensayos y cálculos de laboratorio
					Condiciones en las que se encuentra el suelo	a/c		

**Tabla 60**

*Operalización de Variable independiente*

Variable (Independiente)	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índice	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta
Implementación de polímeros sintéticos	Es una técnica que busca la mejora de las propiedades físico mecánicas del suelo sin tener que efectuar gastos elevados y que contribuye en cierta medida a la mitigación de la contaminación ambiental	Medida con la cual se podrá trabajar de manera cómoda o accesible en la investigación	Dimensión de polimérico	Ensayos de laboratorio Fuentes bibliográficas	cm	Cuantitativa		
		Medida comparativa con respecto al peso del suelo en su estado natural	Porcentaje de polímero sintético	Ensayos de laboratorio Fuentes bibliográficas		Adim.	Formatos, ensayos y cálculos de laboratorio	Norma Técnica Peruana
		Es un área dividida en dos grandes grupos o tipos de material: orgánicos y sintéticos	Tipo de polímero sintético	Material	a/c	Adim.		

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA**

### **4.1. Método de la Investigación**

La metodología que se aplicó en la presente investigación tiene un carácter descriptivo, deductivo y explicativo. Es descriptivo debido a que se describirán como actúan los polímeros sintéticos para ayudar a estabilizar los suelos cohesivos y mejorar las propiedades de este, también es deductivo debido a que las conclusiones resuelven a los objetivos, además es explicativo ya que explican las causas del por qué los polímeros sintéticos mejoran las propiedades de los suelos cohesivos.

### **4.2. Tipo de la investigación**

El tipo de la presente investigación será Descriptivo, ya que se detallan las características de la combinación entre los polímeros sintéticos y los suelos cohesivos, en este caso sus propiedades físico-mecánicas. Asimismo, es correlacional porque se pretende responder cuanto es la mejora de la resistencia de los suelos cohesivos al añadirle polímeros sintéticos. Por último, es explicativo porque se dará a responder e indicar la razón por la cual mejora la resistencia de los suelos cohesivos al añadir polímeros sintéticos.

### **4.3. Nivel de la investigación**

El nivel correspondiente a la presente investigación es descriptivo, puesto que se utilizará gráficas y tablas estadísticas que permitan analizar los resultados obtenidos para así poder dar respuesta a las interrogantes planteadas en dicha investigación.

### **4.4. Diseño de la investigación**

El diseño de la presente investigación será de carácter no experimental, transversal y descriptivo. Es no experimental debido a que las variables no se manipularan porque estas ya han sido utilizadas y el análisis de la relación entre estas se realizará sin dar una intervención directa. Es transversal porque se hará una recolección de datos y/o bibliografía en un momento único (Liu, 2008 y Tucker, 2004). Es descriptivo porque se analizará la incidencia de los polímeros sintéticos, tomando en cuenta sus dimensiones, proporciones y tipos, en los suelos cohesivos.

### **4.5. Población y muestra**

Para conformar la muestra de la presente investigación se estudiaron los resultados obtenidos de 18 investigaciones entre tesis y artículos científicos recopilados de los repositorios disponibles en internet, estas investigaciones fueron estudiadas y mediante un análisis minucioso de sus resultados, se determinó cuáles eran más convenientes para contrastar con los objetivos propuestos en la presente investigación, en las cuales se

seleccionaron como parámetros para la población el estudio de los suelos cohesivos, distintos tipos de polímeros sintético y las diferentes dosificaciones en porcentaje de uso de estos mismos.

#### **4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

##### **4.6.1. Instrumento de recolección de datos**

La forma de obtención de datos será de tipo Retrolectiva, pues se recopilará información de data ya ocurrida que nos otorgará información que nos permita dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación.

##### **4.6.2. Métodos y técnicas**

- a) Se crea una base de datos respecto a resultados obtenidos en artículos e investigaciones científicas desde distintos repositorios.
- b) Se realiza un análisis minucioso e íntegro del aumento de las propiedades físico mecánicas de los suelos cohesivos identificando los porcentajes y dimensiones de fibras de polímeros sintéticos más adecuados.

#### **4.7. Descripción de procesamientos de análisis**

- Se realiza una búsqueda exhaustiva en distintos repositorios acreditados, de los cuales se extraerá bibliografías seleccionadas que guarden una estrecha relación
- Con las bibliografías seleccionadas, se crea una base de datos respecto a los resultados obtenidos en cada una de ellas
- Se efectúa un análisis e identificación de las dimensiones y los porcentajes de fibras de polímeros sintéticos más adecuados para el aumento de propiedades físico mecánicas de suelos cohesivos.

## CAPITULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1. Presentación de resultados

**Tabla 61**

*Resultados de Tesis y Artículos*

Referencia	Autor(es)	Suelo	Polimero	Dosificación (%)	Dimensión, largo	Ancho	Forma	CBR % INCREMENTO	UCS %
Internacional	Arbeláez, J., Góngora, D. (2019) (Quispe Serrano & Sañac Vilca, 2019)	Arcilloso de alta Plasticidad	PET	1.2	80 mm	2 mm	Tiras	-	232,03
T. Nacional	2019)	Arcilloso de baja plasticidad	PET	5	-	-	Ondulado	165,88	
T. Nacional	Ñauis, B. (Zapana, 2022) (Cuellar Tenorio & Vega Frías, 2020)	Arcilloso de baja plasticidad	PET	2	-	-	-	127,17	
T. Nacional	2022)	Arcilloso de baja plasticidad	PET	3	4,76-12,70 mm	-	triturado	112,20	
T. Nacional	2020)	Arcilloso de baja plasticidad	PET				Lámina	224,74	
Articulo	(Taha y otros, 2020) (Roustaei y otros, 2022)	Arcilloso de alta plasticidad	Polipropileno	3	12 mm	0,034 mm	Tiras	469,23	-
Articulo	Sajad, S., Singh, H. (2021),	Arcilloso	PET	0,8	18 mm	3mm	Tiras	-	216,89
Articulo	(2021),	Arcilloso de alta plasticidad	PET	1	20 mm	3 mm	Tiras	203,45	200,00
Articulo	Aswad, H. et al (2021),	Arcilloso	Polietileno	4	20mm	2,5-3mm	Tiras	185,00	197,00
			Polipropileno	4	20mm	2,5-3mm	Tiras	150,00	165,50

Articulo	Niyomukiza, J. et al (2021),	Arcilloso de baja plasticidad	PET	0,3	5 mm	0,5 mm		132,79	
Articulo	Boobalán, S. et al (2023),	Arcilloso de	PET	-	152 mm diametro	1 mm	Lámina circular	157,89	-
Articulo	Meddah, A. et al (2022), (Hamza M. et al., 2022).	Alta Plasticidad Arcilla expansiva	polipropileno	0,6	6 mm	0,034 mm	Triturado	470,00	1272,30
Articulo	(Andriani et al., 2023)	Arcilloso de Alta Plasticidad	POFA (polietileno)	16	--	-	Ceniza	376,92	
Articulo	(Bustamante Sánchez y Merma Gallardo, 2022)	Arcilloso de baja plasticidad	PET	2	-	-	Triturado	103,52	
Articulo	Zafar et al., 2024	Arcilloso de	Polipropileno	0,5	12 mm		Tiras	157,41	115,00
Articulo	Sathyapriya, S. et al (2023)	Alta Plasticidad Arcilloso de	PET	1,6	10 mm	0,35 mm	Ondulado	242,86	
Articulo	Ahalya, A. & Prasad, K.S.R. (2023).	Alta Plasticidad	PET	6	2mm		triturado	200,00	



La Tabla 61 muestra la bibliografía recopilada y analizada, de la cual se extrajeron las investigaciones más representativas y que obtienen resultados similares o muy cercanos entre sí, para así a partir de ello podamos obtener una dosificación adecuada en lo que respecta la adición de polímero sintético.

## **5.2. Discusiones**

En las discusiones de la investigación, haremos mención de los resultados de las investigaciones recopiladas, tal cómo se presenta en la tabla de resultados (Figura X), y se realizará un comentario acerca de la comparación de resultados obtenidos.

**Discusión 1.** En concordancia con los datos y resultados obtenidos:

(Quispe Serrano y Sañac Vilca, 2019) Llegó a la conclusión que añadiendo 5% de PET ondulado respecto al peso seco del suelo, se tuvo el mayor crecimiento de CBR, llegando a mejorar de 3.4% a 5.64% que representó un incremento de 165.88% pasando a ser una sub rasante regular.

(Boobalan y otros, 2023) Concluyeron que la lámina circular de plástico residual hizo que el suelo mejorara su valor de CBR de 3.8% a un 6.0%, siendo una mejora del 157.89%.

(Hamza M. y otros, 2022) Dio como conclusión que este material mejora significativamente las propiedades físico mecánicas del suelo cohesivo de carácter arcilloso y recomiendan utilizar el 0.4% con longitudes de 12mm y diámetros o anchos de 0.04mm en relación al peso natural del suelo obteniendo resultados de 165.98% de incremento en el CBR.

(Zafar y otros, 2023) recomendaron una dosificación que corresponde al 0.5% de fibras con respecto al peso del suelo, con 12mm de longitud de fibra en forma de tiras obteniendo resultados de 165.98% de incremento en el CBR 157.41%.

Comparando los resultados de las bibliografías obtenidas, podemos determinar que el aumento del CBR es directamente proporcional al dimensionamiento y/o forma añadida del polímero sintético, de igual manera para el caso del UCS con el porcentaje añadido, sin embargo, existe un punto de inflexión en el cual la adición de polímeros sintéticos perjudica las propiedades físico-mecánicas del suelo. En base a ello, la dosificación más adecuada dependerá de que propiedad (CBR o UCS) se busca reforzar o mejorar en específico. Para el presente caso los autores Hamza. Et al. y Zafar. Et al. Coinciden en utilizar polipropileno con longitudes de 12mm y porcentajes de 0.4 y 0.5% respectivamente, mientras que Quispe S. & Sañac V. y Boobalan. Et al. Utilizan PET en forma irregular y obtienen resultados muy cercanos en el aumento del CBR siendo 165.88 y 157.89% respectivamente.

## **Discusión 2.**

(Aswad Hassan y otros, 2021), determinaron que el suelo con adiciones de Polipropileno tiene una mejor resistencia cuando tiene un contenido de fibra de 4% con 2.0 cm de longitud con anchos que varían entre 2.5 y 3 mm, obteniendo mejoras en el CBR de 150% y en el UCS 165.5%.

(Zafar y otros, 2023) recomendaron una dosificación que corresponde al 0.5% de fibras con respecto al peso del suelo, con 12mm de longitud de fibra en forma de tiras, ya que estas obtuvieron mejoras en el CBR de 157.41%.

Según (Roustaei y otros, 2022) “En base a los resultados, cuando el PET se agregan aleatoriamente y tienen una forma irregular, se produce un mayor aumento de la resistencia que cuando la forma de los plásticos es regular.”. Contrastando los resultados y usando como apoyo la aseveración citada, podemos determinar que el incremento de CBR dependerá de la forma en cómo se adiciona el polímero sintético y, en caso sea una forma regular, de sus dimensionamientos. Adicionalmente a ello los autores citados encontraron mejoras similares optando por longitudes de adición idénticas que van desde 12 mm a 20 mm de longitud con anchos de 2.5mm y en forma de tiras.

## **Discusión 3.**

(Sajad & Singh, 2021) Concluyeron que utilizando PET con porcentajes de 1%, longitudes de 20 mm de largo, 3mm de ancho en forma de tiras obtuvieron incrementos de CBR y UCS de hasta 203.45 y 200% respectivamente.

(Arbeláez Varón y Góngora Plazas, 2019) Determinaron que utilizando PET con porcentajes de 1.20%, longitudes de 80 mm de largo, 2mm de ancho en forma de tiras obtuvieron incrementos de UCS de hasta 232.03%.

(Roustaei y otros, 2022) De igual manera, determinó que utilizando PET con porcentajes de 0.80%, longitudes de 18 mm de largo, 3mm de ancho en forma de tiras obtuvieron incrementos de UCS de hasta 216.89%.

Según (Hamza M. y otros, 2022) “Mientras tanto, con un contenido de fibra superior al valor óptimo (es decir, 0,4%), el valor UCS tiende a reducirse de 0,211 MPa a 0,188 MPa con una adición de fibra del 0,8%. La reducción de la resistencia del suelo más allá del valor óptimo podría atribuirse al exceso de fibra de PP que afecta negativamente la fuerza de enclavamiento entre la fibra y las partículas del suelo”.

Analizando los resultados obtenidos y apoyándonos en la afirmación citada, podemos determinar que el incremento de la resistencia a la compresión (UCS) dependerá del porcentaje del polímero sintético a utilizar como adición, sin embargo, existe un límite en

el cual la adición de fibra podría perjudicar la resistencia del suelo. Agregando a lo anterior, los autores citados encontraron mejoras en el UCS muy cercanas entre sí, desde 200 hasta 232.03%, utilizando PET y optando por porcentajes que rondan desde 0.8 a 1.20%.

## CONCLUSIONES

Después de haber realizado la recopilación y síntesis de las investigaciones seleccionadas, las cuales estudian los cambios y/o mejoras en el CBR y resistencia a la compresión (UCS) utilizando adiciones de polímero sintético, para el estudio se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- a. En base a lo mencionado en la discusión 1 y analizando la tabla de resultados, la incorporación de polímero sintético, se determinó que la dosificación de polímeros sintéticos para adición correcta es optar por un porcentaje que ronde el 1.0% dado que con este porcentaje se llegó a mejorar el UCS hasta un 200% como mínimo, asimismo longitudes que rondan entre los 12 y 20mm con anchos de 2.5 a 3 mm en forma de tiras y/o utilizar la forma irregular ondulada, ya que con estos se lograron resultados similares en las mejoras que iban del 150 a 165.88% en el incremento de CBR
- b. Se determinó que los dimensionamientos y forma adecuados, según la bibliografía analizada, son 20mm de longitud con anchos de 2.5mm en forma de tiras en caso de optar por una forma regular, dado que se obtuvieron mejoras de hasta 185.00%, asimismo la forma irregular obtuvo resultados muy cercanos al mencionado llegando a ser la adición del polímero en forma ondulada quien alcanza un aumento del CBR en un 165.88%, esto debido a que la adición de este material crea fricción entre las partículas del suelo.
- c. Se determinó que el porcentaje adecuado, según la bibliografía analizada es el 1.20% de polímero sintético con respecto al suelo, dado que este logró incidir con mayor significancia en la mejora del UCS, llegando a obtener valores de hasta 232.03%

## RECOMENDACIONES

- a. Se sugiere usar dosificaciones de polímeros sintéticos que ronden el 1.0% con los 12 mm de largo y 2.5 mm de ancho en caso se trate de adiciones de forma regular, y en caso de ser irregular optar por las adiciones onduladas. En cualquier caso, de las mencionadas, realizar una distribución la cual sea lo más homogénea y compactada posible, ya que de estos dependerán los enlaces que formen las partículas del suelo entre ellas con adición del polímero sintético y, por ende, la mejora en su CBR y UCS, adicionalmente a ello, sería factible optar por esta alternativa solución cuando se requiera evitar cualquier tipo de filtración que pueda producir en un futuro el fenómeno de cuarteamiento en el suelo.
  
- b. Tener en cuenta y utilizar en caso de optar por formas regulares de polímero sintético, longitudes de polímero sintético no tan extensas o que no sobrepasen los 20 mm como máximo debido a que pueden llegar a perjudicar considerablemente los enlaces formados entre partículas de suelo y con ello, pueda llegarse a reducir el CBR en lugar de aumentarlo, en caso de optar por formas irregulares, adicionar en pequeñas porciones menores a los 20 mm con el mismo fin explicado anteriormente
  
- c. Finalmente se sugiere utilizar porcentajes que ronden entre el 0.8 y 1.2% debido a que, según las bibliografías encontradas, estos fueron los porcentajes que lograron un mayor aumento en el UCS del suelo tomando en cuenta también la mejora en el CBR, su facilidad de mezclarse con el suelo en el caso que se coloquen muestras de polímero sintético pequeñas y, por último, su resistencia a la tracción influye en que el suelo pueda soportar cargas mayores y aumente su UCS.

## REFERENCIAS

- Ahayla, A., & Prasad, D. (2023). Stabilization of black cotton soil with waste plastic and admixtures. *IOP Publishing*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1130/1/012038>
- Andriani, Putra, H., & Yulier, R. (2023). Analysis of clay improvement as subgrade using Palm Oil Fuel Ash (Pofa). *3rd International Conference on Disaster Management*, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012024>
- Arbeláez Varón, J. S., & Góngora Plazas, D. F. (2019). Refuerzo de estructuras terreas utilizando tereftalato de polietileno (PET). pág. 99.
- Arrelucé, S. y. (2021). *Incorporación de fibras de polipropileno como método de reforzamiento de suelos arcillosos en Pailan - Huancayo*. Huancayo.
- Aswad Hassan, H. J., Rasul, J., & Samin, M. (2021). Effect of Plastic Waste Materials on Geotechnical Properties of Clayey Soil. *Transportation Infrastructure Geotechnology*(8), 390-413. <https://doi.org/10.1007/s40515-020-00145-4>
- Boobalan, S., Anandakumar, P., & Sathasivam, M. (2023). Utilization of waste plastic sheets as soil stabilization materials. *Materials Today: Proceedings*, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.184>
- Bustamante Sánchez, R., & Merma Gallardo, L. M. (2022). Stabilization of Clay Soils applying PET at 2%, 4% and 6% on Unpaved Roads. *LACCEI International Multi Conference for Engineering Education, and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.45>
- Construmática*. (18 de 08 de 2009). [https://www.construmatica.com/construpedia/Cuchara\\_de\\_Casagrande](https://www.construmatica.com/construpedia/Cuchara_de_Casagrande)
- Cuellar Tenorio, D. E., & Vega Frías, G. K. (2020). *Estabilización de subrasante de suelos inadecuados con geosintético producido de botellas plásticas recicladas*. Universidad Nacional de Jaén.
- E.Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de suelos en ingeniería Civil*. McGraw-Hill.
- Hamza, M., Ijaz, N., & Fang, C. (2022). Stabilization of Problematic Expansive Clays Using Polypropylene Fiber Reinforcement . *Jordan Journal of Civil Engineering*, 16(4), 531-539.
- Ingeniería Civil*. (s.f.). [https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/normal-0-false-false-false\\_06.html](https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/normal-0-false-false-false_06.html)

- Meddah, A., Goufi, A. E., & Pantelidis, L. (2022). Improving very high plastic clays with the combined effect of sand, lime, and polypropylene fibers. *applied sciences*, 13. <https://doi.org/doi.org/10.3390/app12199924>
- Niyomukiza, J. B., Bitekateko, A., & Nsemerirwe, J. (2021). Investigating the effect of PET plastic bottle strips on the strength and compressibility properties of clayey soil. *IOP Publishing*, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012021>
- Ñauis Rios, B. A. (2020). *Estabilización de suelos con el uso de polímero sintético en la subrasante en la Av. Universitaria Carabayllo, Lima - 2020*. Universidad César Vallejo.
- Quispe Serrano, E., & Sañac Vilca, M. (2019). *Influencia de la incorporación de plástico reciclado triturado-PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco - Abancay*. Universidad Tecnológica de los Andes.
- Rojas Pintado, W. R., & Piedra Tineo, J. L. (2020). *Estabilización de subrasante de suelos inadecuados con geosintético producido de botellas plásticas recicladas*. Universidad Nacional de Jaén.
- Roustaei, M., Tavana, J., & Bayat, M. (2022). Influence of adding waste polyethylene terephthalate plastic strips on uniaxial compressive and tensile strength of cohesive soil. *University of Tehran*, 1(12), 39-51. <https://doi.org/10.22059>
- Sajad, S., & Singh, H. (29 de 10 de 2021). Stimulation of black cotton soil through stone dust and pet fiber. pág. 5. [www.elsevier.com/locate/matpr](http://www.elsevier.com/locate/matpr)
- Salim, N. M., Al-Soudany, K. Y., & Ahmed, A. A. (2018). The Impact of Using Recycled Plastic Fibres on the Geotechnical properties of soft Iraqi soils. *Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/433/1/012017>
- Sathyapriya, S., Abdul Fasith, M. S., Senthil Kumar, P., & Karthik, V. (2023). Investigación geotécnica y microanálisis de suelos de algodón negro modificados con goma guar y fibra de terflato de polietileno. 13.
- Taha, M. M., Feng, C. P., & Ahmed, S. S. (2020). Influence of Polypropylene Fibre (PF) Reinforcement on Mechanical Properties of Clay Soil. *Hindawi*, 2020, 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2020/9512839>
- Zafar, T., Asif Ansari, M., & Husain, A. (2023). Soil stabilization by reinforcing natural and synthetic fibers - A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*(1), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.503>

Zapana Bustincio, R. A. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos con polímeros reciclados a nivel de la subrasante de la carretera que une el C.P. de Santa María con la Av. Circunvalación del distrito de San Miguel - San Román - Puno*. Universidad Continental.



## ANEXOS

### Anexo A: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	MÉTODO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES DE LA V. I	TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿Qué dosificación de polímeros sintéticos, utilizados como adición, mejora las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo?	Determinar la dosificación de polímeros sintéticos, utilizados como adición, para mejorar las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo.	Al adicionar una correcta dosificación de polímeros sintéticos se mejoran las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo.	Implementación de polímeros	<hr/> Longitud de fibra plástica <hr/> Porcentaje de fibras plásticas	Tipo: Descriptivo, correlacional y explicativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDINTE	INDICADORES DE LA V. D	Diseño: No experimental, transversal y descriptivo
¿Qué dimensionamientos y/o forma del polímero contribuyen en el CBR de un suelo cohesivo?	Determinar los dimensionamientos y/o forma de polímero sintético que mejoran el CBR de un suelo cohesivo.	Al adicionar adecuados dimensionamientos y/o forma de polímero sintético se mejora el CBR de un suelo cohesivo.	Propiedades físico mecánicas del suelo	CBR	
¿Qué porcentaje de polímeros mejora la resistencia a la compresión de los suelos cohesivos?	Determinar el porcentaje de polímeros sintéticos que mejora la resistencia a la compresión de los suelos cohesivos	Al establecer un adecuado porcentaje de adición de polímeros se mejora la resistencia a la compresión de los suelos cohesivos.		UCS	

Nota: Elaboración Propia.