

# Stabilization of Clay Soils applying PET at 2%, 4% and 6% on Unpaved Roads

Rosario Del Pilar Bustamante Sánchez, Ing.<sup>1</sup>; Lizbeth Milagros Merma Gallardo, Mg.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. [N00017841@upn.pe](mailto:N00017841@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. [lizbeth.merma@upn.pe](mailto:lizbeth.merma@upn.pe)

*Abstract– Soils that have a CBR of less than 6% require stabilization or replacement with a material or loan; this type of soils are usually; clays, silts and organics. The purpose of this research is to determine how the addition of PET at 2%, 4% and 6% influences the stabilization of a clayey soil for unpaved roads. This research is a type of applied research and experimental method. The sample to be studied was extracted from 01 pit located in block one of Jr. Guadalupe - Tartar Chico town center of the Baños del Inca District of the province of Cajamarca. According to the tests carried out, it was obtained that, with the incorporation of 2% of PET, the CBR increased by 3.58% of the CBR of the standard sample, with the incorporation of 4% and 6% the CBR decreases.*

**Keywords:** Clay floor. Stabilization, Polyethylene Terephthalate (PET) and Californian Bearing Ratio (CBR).

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.45>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando PET al 2%, 4% y 6% en Caminos No Asfaltados.

Rosario Del Pilar Bustamante Sánchez, Ing.<sup>1</sup>; Lizbeth Milagros Merma Gallardo, Mg.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.  
[NO0017841@upn.pe](mailto:NO0017841@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.  
[lizbeth.merma@upn.pe](mailto:lizbeth.merma@upn.pe)

**Resumen**– Los suelos que presentan un CBR menor a 6%, requiere una estabilización o un reemplazo por un material o préstamo; este tipo de suelos suelen ser; arcillas, limos y orgánicos. La presente investigación tiene como propósito de determinar cómo influye la adición de PET en 2%, 4% y 6% en la estabilización de un suelo arcilloso para carreteras no pavimentadas. La presente investigación es un tipo de investigación aplicada y de método experimental. La muestra a estudiar se la extrajo de 01 calicata ubicada en la cuadra uno de Jr. Guadalupe - centro poblado Tartar Chico del Distrito Baños del Inca de la provincia de Cajamarca. De acuerdo a los ensayos realizados se obtuvo que, con la incorporación de 2% de PET, el CBR incrementó en 3.58% del CBR de la muestra patrón, con la incorporación de 4% y 6% el CBR disminuye.

**Palabras clave:** Suelo arcilloso. Estabilización, Tereftalato de polietileno (PET) y Californian Bearing Ratio (CBR)

**Abstract**– Soils that have a CBR of less than 6% require stabilization or replacement with a material or loan; this type of soils are usually; clays, silts and organics. The purpose of this research is to determine how the addition of PET at 2%, 4% and 6% influences the stabilization of a clayey soil for unpaved roads. This research is a type of applied research and experimental method. The sample to be studied was extracted from 01 pit located in block one of Jr. Guadalupe - Tartar Chico town center of the Baños del Inca District of the province of Cajamarca. According to the tests carried out, it was obtained that, with the incorporation of 2% of PET, the CBR increased by 3.58% of the CBR of the standard sample, with the incorporation of 4% and 6% the CBR decreases.

**Keywords:** Clay floor. Stabilization, Polyethylene Terephthalate (PET) and Californian Bearing Ratio (CBR).

## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación deriva de la tesis “Estabilización de un suelo arcilloso para carreteras no pavimentadas incorporando PET en 2%, 4% y 6%”. Tesis. Universidad Privada del Norte. (Bustamante, 2021). [1], en donde se indica que, a nivel mundial, se estima que más de 900 millones de personas de sectores rurales carecen de un acceso adecuado al sistema de transporte formal siendo el aislamiento físico uno de los factores que explican el grado de pobreza. Es importante establecer que la existencia de una conexión entre dos puntos no resulta suficiente para lograr un desarrollo sostenible y con equidad. Se necesita también de medidas físicas y operacionales que posibiliten la existencia de un transporte en condiciones mínimas de periodicidad, calidad y seguridad. Por lo cual es primordial tener en cuenta que los desplazamientos que se dan en el ámbito rural, tanto de la población como de bienes, se ven fuertemente influenciados tanto por la existencia de vías (terrestres, acuáticas y aéreas) como por que estas sean transitables en toda época del año (CEPAL, 2020). [2]

Existen suelos que el ingeniero halle no convenientes de usar para un determinado fin en un lugar específico. Este hecho abre la posibilidad más razonable; que es la de modificar las propiedades del material existente para hacerlo cumplir mejores especificaciones. Esta alternativa da parte a las técnicas de estabilización de suelos (Montejo, et al., 2018). [3]

Hay varios tipos de estabilización, siendo la más usual combinar suelo natural con material de préstamo. Esto supone la explotación de canteras para adquirir los agregados necesarios, lo que ha generado un aumento en la demanda de agregados a nivel mundial. Ante esta situación, desde el año 2000 empezaron investigaciones, que plantean el uso de residuos de diversos productos como material de agregado que sustituya a los convencionales, buscando alcanzar así un desarrollo sostenible. (Quezada, 2017) [4]

En Cajamarca, existen los siguientes estudios de estabilización de suelos:

Según (Estrada & Pintado, 2019) en la tesis denominada “Capacidad portante (CBR) del suelo del sector 9 de Cajamarca, incorporando 2%, 4% y 6% de cal hidratada, 4%, 6% y 8% de cemento portland tipo I y 4%, 8% y 12% de cloruro de sodio”, tiene como objetivo determinar la capacidad portante (CBR) del suelo del sector 9 de Cajamarca, incorporando (2%,4% y 6%) de cal hidratada, (4%,6% y 8%) de cemento portland tipo I y (4%, 8% y 12%) de cloruro de sodio; el tipo de investigación es aplicada – cuasi experimental; se realizó la excavación de 01 calicata, se extrajo 10 muestras: 01 muestra se realizó ensayos como muestra patrón, a 03 muestras se le incorporó cal hidratada al 2%, 4% y 6% , a 03 muestras se le adicionó cemento portland tipo I al 4%, 6% y 8% y a 03 muestras se le adicionó cloruro de sodio al 4%, 8% y 12%. Al realizar los ensayos de granulometría y límites de Atterberg se obtuvo según la clasificación SUCS una arcilla de baja a media plasticidad (CL) y según AASHTO un suelo arcilloso A-6 (7), un CBR de la muestra natural de 4.60%, con la incorporación

de cal de 2%, 4% y 6% se obtuvo un CBR de 9.05%, 11.15% y 10.50%, con la adición de cloruro de sodio se obtuvo CBR de 4.80%, 5.10% y 5.10% y con la incorporación de cemento portland tipo I en 4%, 6% y 8% tienen un CBR de 7.00%, 7.70% y 7.70%. De acuerdo a los resultados se concluyó que el CBR incrementó el doble con la adición de 4% y 6% de cal hidratada, con la adición de cloruro de sodio de 8% y 12% incrementó el CBR en 10% y con la incorporación de cemento portland de 6% y 8% el CBR incrementó hasta en un 50%. Por lo tanto, se afirma que, de los tres estabilizantes usados cal hidratada, cemento portland tipo I y cloruro de sodio, la cal hidratada es más efectiva, obteniendo que el CBR patron duplique su resistencia. [5]

El suelo es considerado como un agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas disgregables por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua. (CE.020 Estabilización de suelos y taludes). [6]

El tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos según (MTC, 2008): [7]

TABLA 1.  
TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE SUELO

	Tamaño de partículas
Grava	75 mm – 2 mm Arena gruesa: 2 mm – 0.2 mm
Arena	Arena fina: 0.2 mm – 0.05 mm
Limo	0.05 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: extraído de (MTC, 2008). [8]

Los suelos arcillosos presentan una baja capacidad portante es por ello que para ser usado se requiere una estabilización; la estabilización es considerado como un proceso físico o químico, a través el cual se mejora las condiciones mecánicas de un suelo. (CE.020 Estabilización de suelos y taludes). [9]

Para la presente investigación se utilizó el plástico reciclable como un estabilizante. Se puede decir que todo plástico es reciclable, siendo el primer paso la división por tipo de resina. A continuación se nombra a 7 categorías distintas: PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS, y la séptima última categoría denominada “otros” (CAIRPLAS, 2018). [10]

TABLA 2  
DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE PLÁSTICOS RECICLABLES

Símbolo	Tipos
	<b>PET Tereftalato de polietileno (PET).</b> Se usa para botellas de bebidas, bolsas para hervir y bandejas para comidas calentadas en microondas. Es ligero, resistente y reciclable. Luego del reciclado, el PET se usa en muebles, alfombras, fibras textiles, piezas de automóvil y reciclado convenientemente en nuevos envases de alimentos.



**PEAD Polietileno de alta densidad (HDPE).** Se utiliza en envases de lavandina, detergentes y cosméticos, bidones, baldes y cajones de plásticos. Igualmente, se puede ver en envases de leche, zumos, yogurt, agua, y bolsas de basura. Se recicla de diferentes maneras, produciendo cañerías, botellas de detergentes y limpiadores, muebles de jardín, botes de aceite, etc.



**PVC Cloruro de polivinilo (PVC).** Se elaboran botellas para aceite de cocina, productos de limpieza y en la construcción: ventanas, tubos de drenaje, perfiles, forro para cables, etc. También es muy resistente una vez reciclado, puede ser usado para paneles, tarimas, tapetes, etc.



**PEBD Polietileno de baja densidad (LDPE).** Utilizado para bolsas para vegetales en supermercados, bolsas para pan, envolturas de alimentos, silos bolsa. Este plástico fuerte, flexible y transparente se puede hallar en bolsas muy diversas, mangueras, etc. Tras su reciclado se puede usar de nuevo en contenedores y papeleras, sobres, paneles, tuberías o baldosas.



**PP Polipropileno (PP).** Se elaboran envases para yogurt, botellas para champú, potes, muebles de jardín y recipientes para margarina. Por su elevado punto de fusión se logra adquirir envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes. Se suele usar en la elaboración de envases médicos, yogures, pajitas, envases de ketchup, tapas, algunos contenedores de cocina, autopartes, cajones, etc. Una vez reciclado se puede usar en señalizaciones luminosas, cables de batería, escobas, cepillos, rastrillos, baldes, palets, bandejas, etc.



**PS Poliestireno (PS).** Espuma plástica usada para tazas, envase para comidas rápidas, hueveras y bandejas. Su bajo punto de fusión hace dable que pueda derretirse en contacto con el calor. Una vez reciclado, se logra obtener varios productos entre ellos, material para edificación, aislantes, etc.



**Otros.** Todas las demás resinas de plástico o mezclas no señaladas anteriormente. Pertenecen a una gran variedad de plásticos. Se elaboran materiales a prueba de balas, DVD, anteojos de sol, MP3 y PC, etc.

Fuente: extraído de (CAIRPLAS, 2018). [11]

El tipo de plástico a utilizar como estabilizante son las botellas de plástico también llamada como PET (tereftalato de polietileno); es por ello que la presente tesis plantea la estabilización de un suelo arcilloso incorporando PET en 2%, 4% y 6%.

Luego de lo antes explicado se formula la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la incorporación del PET en 2%, 4% y 6% en la estabilización de suelos arcillosos para carreteras no pavimentadas?; respondiendo a la pregunta formulada el objetivo principal fue determinar la influencia de la adición de PET en 2%, 4% y 6% en la estabilización de un suelo arcilloso para carreteras no pavimentadas y como objetivos específicos fue determinar la clasificación del suelo de acuerdo al sistema Unificado de clasificación de Suelos (SUCS) y Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO); realizar ensayos de contenido de humedad, granulometría, Proctor modificado y CBR a un suelo arcilloso patrón; realizar Proctor y CBR a suelo arcilloso adicionando PET al 2%, 4% y 6%. Respondiendo a la pregunta de investigación proponemos como hipótesis que, la adición de

PET en 2%, 4% y 6% influye en la estabilización de suelos arcillosos mejorando sus propiedades físicas mecánicas en un 15%.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Enfoque, tipo y diseño de la investigación

De acuerdo al propósito de la investigación, problemas y objetivos planteados, esta investigación se considera un tipo de investigación aplicada, Según (Lozada, 2014) la investigación aplicada busca la generación de conocimiento con la aplicación directa a los problemas de la humanidad o el sector productivo [12]. Y de acuerdo al diseño de estudio es un método de investigación experimental, según (Tam, Vera, & Oliveros, 2008) en este método el investigador ha manipulado la variable independiente, por lo cual que se tiene el mayor control y evidencia de la causa –efecto. [13]

### B. Población y muestra

La población seleccionada para la presente investigación es un suelo arcilloso del centro poblado Tartar Chico del Distrito Baños del Inca de la ciudad de Cajamarca y la muestra fue seleccionada a criterio y conveniencia del autor fue extraída de una calicata realizada en Jr. Guadalupe cuadra 1 del centro poblado Tartar Chico; en el punto de la calicata se estuvo ejecutando un proyecto de instalación de alcantarillado, y se observó la excavación, logrando visualizar un material marrón rojizo; se tomó la muestra y se realizó los ensayos respectivos de clasificación de suelos obteniendo un tipo de suelo arcilloso. De la muestra extraída de la calicata se hicieron los siguientes ensayos de CBR:

TABLA 2.  
MUESTRAS DE CBR ENSAYADAS

CBR	Número de ensayos
CBR patrón	3
CBR patrón + 2% de PET	3
CBR patrón + 4% de PET	3
CBR patrón + 6% de PET	3

Fuente: (Bustamante, 2021).[1]

### C. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos es la observación visual. Se realizó una visita de campo en el Jr. Guadalupe cuadra 1, y se procedió a realizar una calicata de 0.80x0.80x1.50m, luego se procedió a trasladar la muestra al laboratorio para los estudios requeridos para el desarrollo de la investigación. Los instrumentos que se utilizaron en campo fueron bolsas, palana, pico y wincha; y los instrumentos que se utilizaron en el laboratorio fueron equipos para realizar el estudio de suelos, normas técnicas peruanas, normas ASTM y MTC. Se usaron las siguientes normas para realizar los ensayos:

- Contenido de Humedad (NTP 339.127 Y ASTM 2216) [14]
- Análisis Granulométrico (NTP 339.128 Y ASTM 422) [15]
- Clasificación SUCS (NTP 339.134 Y ASTM 2487) [16]
- Índice de plasticidad (NTP 339.129 ASTM 4318) [17]
- Índice plástico (NTP 339.129 Y ASTM 4318) [18]
- Proctor Modificado (NTP 339.141 Y ASTM 1557) [19]
- CBR (NTP 339.145 Y ASTM 1883) [20]

### D. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Para el procesamiento de datos se usó una computadora, equipo de protección personal.

El método de análisis de datos se hará mediante mediciones y procedimientos de los ensayos que se realicen en el laboratorio, estos datos serán relacionados de acuerdo al manual de diseño de carreteras no pavimentadas del MTC. El método es comparativo, este método consiste en la comparación de muestras con suelo en estado natural y con la adición de PET (picado de botellas recicladas), para el mejoramiento del suelo arcilloso del Jr. Guadalupe, centro poblado Tartar Chico, Distrito Baños del Inca. Los instrumentos que se utilizaron fueron los formatos de análisis de datos de los ensayos realizados en el laboratorio. Los formatos utilizados son los siguientes: formato para contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, proctor y CBR.

### E. Procedimientos

El procedimiento de recolección de datos es la siguiente: Se realizó la localización y ubicación de la muestra, se extrajo la muestra de la calicata y fueron colocadas en bolsas para que conserve su humedad natural, luego fue llevado al laboratorio de mecánica de suelos KAOLYN INGENIEROS S.A.C. para realizar los ensayos requeridos para la presente investigación.

Luego se realizó el procedimiento de análisis de datos, se procesaron los datos tomados para cada uno de los ensayos determinando el porcentaje de humedad, límite líquido, límite plástico y granulometría determinando el tipo de suelo siguiendo los protocolos del laboratorio.

Se procedió a procesar los datos de proctor y CBR para la muestra natural y para la muestra incorporando PET al 2%, 4% y 6%; luego se guardó en una carpeta. En los resultados se realizó el análisis de la clasificación de suelos que se obtuvo, la densidad máxima seca de la muestra natural, la densidad máxima seca de cada muestra al incorporar 2%, 4% y 6% de PET y el CBR de la muestra patrón y con incorporación de PET de 2%, 4% y 6%.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. PRESENTACIÓN DE DATOS DE LABORATORIO OBTENIDOS

##### Granulometría

TABLA 3.  
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

Fuente: (Bustamante, 2021). [1]

Al realizar la granulometría del plástico reciclable picado de acuerdo a la tabla 4 se obtuvo que los tamaños del PET comprenden desde ½ pulgada (12.70mm) hasta el tamiz N16 (2 mm).

Al realizar el ensayo de contenido de humedad de la muestra natural se obtuvo una humedad de 21.6%; esto significa el suelo a estudiar va a necesitar ser secado o cambiar el suelo por otro mejorado.

TABLA 4.  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MUESTRA NATURAL

Tamiz	Abertura	% que pasa
(2 pulg)	50,0 mm	94.5
(1 ½" pulg)	37,5 mm	90.4
(1 pulg)	25,0 mm	87.8
(¾ pulg)	19,0 mm	86.9
(3/8 pulg)	9,5 mm	82.6
(N°4)	4,75 mm	79.9
(N°10)	2,00 mm	74.3
(N°20)	850 μm	70.4
(N°40)	425 μm	64.6
(N 60)	250 μm	61.9
(N°140)	106 μm	58.4
(N°200)	75 μm	58.1

Fuente: (Bustamante, 2021). [1]



Figura 1. Curva granulométrica de la muestra natural (Bustamante, 2021). [1]

Realizando el tamizado de la muestra natural según la tabla 5 y la figura 1 donde muestra la curva granulométrica entre el porcentaje que pasa por cada tamiz; se determinó que el espécimen comprende desde el tamiz de 2" hasta el tamiz

N°200; el porcentaje pasante la N°200 e de 58.1, por lo tanto, el suelo de subrasante es considerado un suelo de finos.

##### Límites de Atterberg

TABLA 5.  
LÍMITES DE ATTERBERG

Límites de Atterberg	
Límite líquido	38.8%
Límite plástico	24.3%
Índice de plasticidad	14.5%

Fuente: (Bustamante, 2021). [1]

Los ensayos de límites de Atterberg se realizaron a la muestra natural, de acuerdo a los resultados de la tabla 6 presentando un límite líquido de 38.8%, límite plástico 23.3 obteniendo un índice de plasticidad de 14.5%, la cual indica que el suelo presenta una plasticidad baja a media con características de un suelo arcilloso.

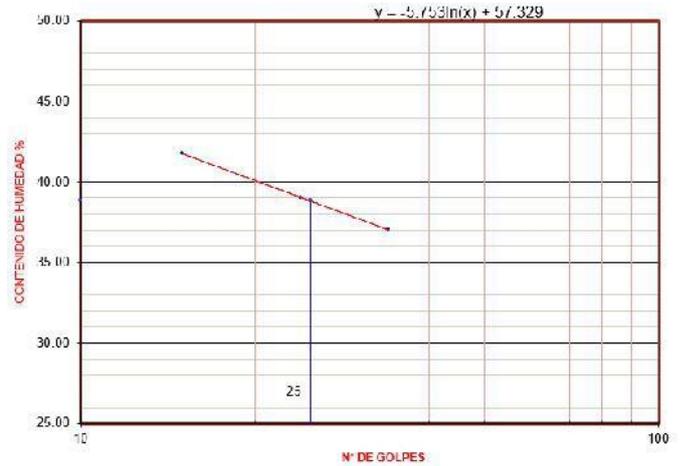


Figura 2. Diagrama de fluidez (Bustamante, 2021). [1]

La figura 2, indica el diagrama de fluidez, la cual indica que para los 25 golpes la muestra alcanza su límite líquido de 38.8%.

##### Clasificación de suelos según AASHTO

TABLA 6.  
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

Clasificación General	Suelos Granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ( $> 35\%$ Bajo 0,08 mm)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5**	A-7-6**
2 mm	$\leq 50$									
0,5 mm	$\leq 30$	$\geq 50$								
0,08 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$			$\geq 36$			
$W_L$			$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$
IP			$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
** A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						** A-7-6: $IP > (W_L - 30)$				
Si el suelo es NP IG = 0; Si IG < 0 IG = 0										

Fuente: (Bustamante, 2021). [1]

Con los resultados de análisis granulométrico; las partículas de la muestra pasante el tamiz N°200 es mayor del 36%, presentando un límite líquido de 38.8% y un índice de plasticidad de 14.5% por consiguiente de acuerdo a la tabla 7, es considerado un suelo arcilloso perteneciente al grupo A-6.

### Clasificación de suelos según SUCS

TABLA 7.

#### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS

División mayor	Grupos Símbolos	Descripción		
GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N°04	GRAVAS LIMPIAS (Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N°04)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de arena y grava poco o nada de finos.	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de gravas y arena con poco o nada de finos.	
	GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	
		SW	Arenas bien graduadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos.	
	ARENAS (Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N°04)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos.	
		SM	Arenas limosas, mezclas de arenas y limo.	
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla.	
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.	
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad. Arcillas francas.	
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	

Fuente: extraído de (Villalaz, 1980). [1]

Dado que más de la mitad del material pasa por la malla N° 200 y presenta un límite líquido menor a 50%, De acuerdo a la tabla 8 clasificación de suelos SUCS; la muestra es un tipo de suelo CL correspondiente a una arcilla de baja plasticidad con grava.

### Densidades

TABLA 8.  
DENSIDAD MÁXIMA SECA

Muestra	D.M.S.	Óptimo contenido de humedad
Muestra patron	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

Fuente: (Bustamante, 2021). [1]



Figura 3. Representación de la densidad máxima seca (Bustamante, 2021). [1]

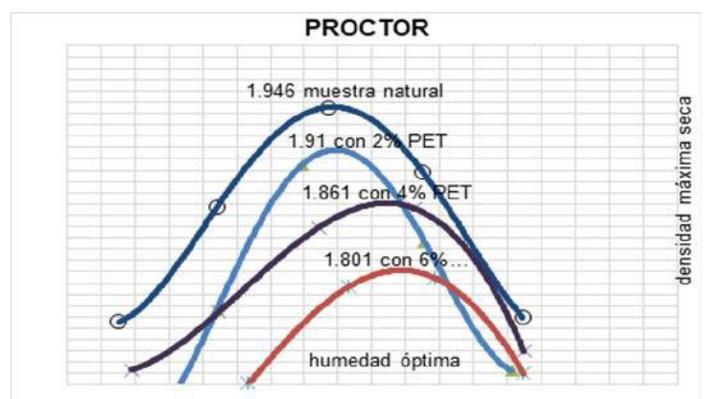


Figura 4. Comparación de Proctor (Bustamante, 2021). [1]

Según los resultados en la tabla 9 y figuras 3 y 4; la densidad máxima de la muestra patrón es de 1.95gr/cm<sup>3</sup> y al incorporar PET en 2%, la densidad máxima seca disminuyó a

1.91 gr/cm<sup>3</sup>, y la muestra patrón con 4% de PET en 4% se obtuvo 1.861 gr/cm<sup>3</sup> y con 6% de PET la densidad máxima seca es de 1.80gr/cm<sup>3</sup>. Esto indica que, al incorporar PET en los porcentajes indicados, este ocupa volumen, la cual reemplaza en cierta cantidad a la muestra patrón, a mayor incorporación de PET menor será densidad máxima seca.



Figura 5. Representación del contenido de humedad óptimo (Bustamante, 2021). [1]

Según la figura 5, el contenido óptimo de humedad de la muestra patrón es de 9.9% y al incorporar PET en 2%, 4%, 6% este ha ido incrementando hasta 11.8%.

### CBR

Según los datos de laboratorio se obtuvieron los siguientes CBR:

TABLA 9.  
RESULTADO DE CBR AL 100%

Muestra	CBR (100%)
CBR patrón	5.68
CBR con 2% PET	5.88
CBR con 4% PET	4.65
CBR con 6% PET	3.90

Fuente: (Bustamante, 2021). [1]



Figura 6. Representación de CBR al 100% (Bustamante, 2021). [1]

De acuerdo a la tabla 10 y a la figura 6, el CBR natural de acuerdo a los resultados es de 5.68%; según el manual para carreteras no pavimentadas se considera dentro de la categoría S1 (subrasante pobre), la cual es un material no apto para subrasante, ya que para ser considerado un material aceptable el CBR tiene que ser igual o mayor a 6%.

Las implicancias de la presente investigación son las siguientes: la investigación ha permitido dar a conocer si la utilización del PET de 2mm a 12mm mejora las propiedades físicas y químicas de un suelo arcilloso. Analizar si el PET es un material recomendable a utilizar con estabilizante para una subrasante de un suelo arcilloso. La discusión y conclusiones de esta investigación permite la toma de decisiones para la puesta en marcha la utilización de este material reciclable como estabilizante.

### IV. CONCLUSIONES

En la investigación base de este artículo (Bustamante,R., 2021) [1], se determinó la clasificación de suelos según SUCS obteniendo un suelo CL (arcilla de baja plasticidad con grava y según AASHTO presenta un suelo tipo A-6 (suelo arcilloso). Presenta una humedad de 21.6% y un proctor de la muestra natural de 1.95% incorporando 2% de PET tiene una densidad de 1.91%, con 4% de PET tiene una densidad de 1.86 y con 6% de PET presenta una densidad de 1.80%. Obteniendo un CBR natural de 5.68%, incorporando 2% de PET se tiene un CBR de 5.88%, con adición de 4% de PET se tiene un CBR de 4.65% y con adición de 6% de PET se obtiene un CBR DE 3.90%.

Concluyendo que, con la incorporación de 2% de PET incrementó el CBR natural en 3.58% aumentando su resistencia de 5.68% a 5.88%, con las demás proporciones el CBR disminuye.

Se concluye que la hipótesis planteada no cumple, ya que la adición de PET en 2%, 4% y 6% no mejora las propiedades físicas y mecánicas en un 15% sino que un hubo incremento del CBR natural en 3.58% con la incorporación de PET de 2% desde 2mm hasta 12.7 mm.

## AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que han hecho posible la realización de este trabajo de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Bustamante, R. d. (2021). Estabilización de un suelo arcilloso para carreteras no pavimentadas incorporando PET en 2%, 4% y 6%.
- [2] CEPAL. (2020). Caminos rurales: vías claves para la producción, la conectividad y desarrollo territorial. *Facilitación, comercio y logística en América Latina y El Caribe*(377), 2.
- [3] Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). *Estabilización de suelos* (1 ed.). Ediciones de la U.
- [4] Quezada, S. (2017). Estudio comparativo de la esabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación. *Repositorio Institucional PIRHUA*.
- [5] Estrada, F. J., & Pintado, J. P. (2019). "Capacidad portante (CBR) del suelo del sector 9 de Cajamarca, incorporando 2%, 4% y 6% de cal hidratada, 4%, 6% y 8% de cemento portland tipo I y 4%, 8% y 12% de cloruro de sodio".
- [6] *CE.020 Estabilización de suelos y taludes*. (s.f.). Perú.
- [7] MTC. (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima.
- [8] MTC. (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima.
- [9] *CE.020 Estabilización de suelos y taludes*. (s.f.). Perú.  
Cuipal, B. (2018). "Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas - Huancas, Amazonas, 2018".
- [10] CAIRPLAS. (2018). *CAIRPLAS*.
- [11] CAIRPLAS. (2018). *CAIRPLAS*.
- [12] Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Universidad Tecnológica Indoamérica*, 35.
- [13] Tam, J., Vera, G., & Oliveros, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Escuela de Posgrado*, 149.
- [14] NTP 339.127. (1998). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. (1 Edición ed.). Lima.
- [15] NTP 339.128. (1999). *SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico* (1 ed.). Lima.
- [16] MTC. (2016). *Sistema de clasificación de los suelos - anexo N° 1*.
- [17] MTCE 111. (2016). *Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)*. Lima.
- [18] MTCE 111. (2016). *Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)*. Lima.
- [19] MTCE 115. (2016). *Proctor modificado* (1 ed.). Lima.
- [20] MTCE 132. (2016). *CBR de suelos (laboratorio)* (1 ed.). Lima.