

Influencia del polietileno tereftalato (PET) en el CBR de subrasantes tipo A-6 en la vía Mochenta-San Nicolás, Jaén

Influence of polyethylene terephthalate (PET) on the CBR of A-6 type subgrades on the Mochenta-San Nicolás road, Jaén

Rowel Mora¹ , Andy Guevara² , y Christiaan Apaza³ 

RESUMEN

La problemática que se identificó fue la presencia de grandes cantidades de residuos de plástico que se generan al año en todo el mundo, y que no son reutilizados para mitigar la contaminación ambiental; así como la mala calidad de los proyectos de infraestructura vial. El objetivo fue determinar la influencia del polietileno tereftalato (PET) en el CBR de la subrasante tipo A-6 en la vía Mochenta-San Nicolás, Jaén – 2022. Para ello se aplicó el método deductivo basado en la realización de ensayos de laboratorio para muestras de suelo con y sin adiciones de PET; obteniendo como resultado un suelo compuesto por arcillas inorgánicas, tipo A-6 de mediana a baja plasticidad, con un CBR de 3.83% a 0.1” al 95% de la máxima densidad seca; mientras que, para las adiciones de 1.50, 3.00 y 6.00% de PET se obtuvieron valores de CBR de 3.61%, 4.65% y 2.88% respectivamente; concluyéndose que la adición de 3.00% de PET, es la que mejor resultado presenta, ya que, tuvo un aumento de 0.82% en el valor del CBR, en relación al CBR la muestra natural; pero, no supera el 6.00% que indica la normativa peruana para considerarse como una subrasante adecuada o regular.

Palabras clave: Suelo, PET, subrasante, CBR.

ABSTRACT

The problem identified was the presence of large quantities of plastic waste generated each year around the world, which are not reused to mitigate environmental contamination, as well as the poor quality of road infrastructure projects. The objective was to determine the influence of polyethylene terephthalate (PET) on the CBR of the A-6 type subgrade on the Mochenta-San Nicolás road, Jaén - 2022. For this purpose, the deductive method was applied based on the performance of laboratory tests for soil samples with and without PET additions; obtaining as a result a soil composed of inorganic clays, type A-6 of medium to low plasticity, with a CBR of 3.83% at 0.1" at 95% of the maximum dry density; while, for the additions of 1.50, 3.00 and 6.00% of PET, CBR values of 3.61%, 4.65% and 2.88% were obtained, respectively; concluding that the addition of 3.00% of PET is the one with the best result, since it had an increase of 0.82% in the CBR value, in relation to the CBR of the natural sample; but, it does not exceed the 6.00% indicated by the Peruvian regulations to be considered as an adequate or regular subgrade.

Keywords: Soil, PET, subgrade, CBR.

Recibido: 19/10/2023. Aceptado: 16/11/2023

* Autor para correspondencia

1. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: rowel.mora@est.unj.edu.pe

2. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: andy.guevara@est.unj.edu.pe

3. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: christiaan_apaza@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, Latinoamérica y el Caribe se está transformando en un emergente destino de los residuos plásticos, siendo los países más desfavorables México, El Salvador y Ecuador produciendo 32,650.60, 4,054.30 y 3,665.00 toneladas respectivamente, producidos entre enero y agosto del 2020; siendo el polietileno tereftalato (PET) y plásticos mezclados que no son PET los principales residuos contaminantes en estos países (Alianza Global para Alternativas a la Incineración [GAIA], 2021).

En el Perú la contaminación con residuos plásticos alrededor de el Callao y Lima Metropolitana se producen el 46.00% respecto a residuo solo de un uso equivalente a 886 toneladas, siendo el uso promedio de 30 kg por persona al año aproximadamente, produciendo anualmente alrededor de 3,000,000,000 de bolsa plásticas, algo de 6,000 bolsas por minuto (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2020).

En la región de Cajamarca diariamente se generan de basura 390 toneladas, registrándose aproximadamente el 50.00% en la capital de la mencionada región. Por término medio, un habitante produce referente a residuos, 500 gramos, consistentes en bolsas de plástico, cartones, botellas y materia orgánica (Gobierno Regional de Cajamarca [GRC], 2019).

En la provincia de Jaén según el reporte estadístico departamental del SINIA, menciona que aproximadamente al año se generan 29 755,88 (t/año) de residuos sólidos, siendo esta la segunda ciudad productora de residuos sólidos del departamento de Cajamarca. Con respecto a la generación por día es de 81.52 (t/día) y el promedio per cápita es de 0.72 (kg/hab./día), siendo los residuos principales las botellas de plástico y botellas de vidrio y papel usado (Sistema Nacional de Informática Ambiental [SINIA], 2021).

La problemática de la investigación presente se encamina principalmente en la presencia de las grandes cantidades de residuos de plástico que se generan al año, que no tienen un tratamiento adecuado y no son reutilizados para mitigar la contaminación ambiental; así como la mala calidad de los proyectos de infraestructura vial durante su vida útil por factores como inadecuados procesos constructivos, materiales, entre otros. Un claro sustento de ello es que en el Plan Vial Provincial de Jaén (2018), se manifiestan gran cantidad de redes de carreteras no pavimentadas que conectan a sus comunidades, de las cuales, la mayoría se encuentra en un mal estado, expresado a través de diferentes fallas o deterioros como: deformaciones, encalaminados (ondulaciones) y ahuellamiento; pudiendo ser el resultado de diferentes factores como: el material que se utilizó en el afirmado no fue el adecuado o la mala compactación del mismo; mal diseño de proyectos de drenaje (cunetas, badenes, alcantarilla, etc.), o haber construido el afirmado sobre una subrasante de mala calidad ($CBR < 6\%$),

sin realizar el mejoramiento de la misma, siendo este último es uno de los principales problemas para que ocurran las fallas mencionadas; ocasionando que estas carreteras sean intransitables, limitando que la población tenga acceso a los servicios como: salud, educación, comercio, turismo, entre otros, impidiendo el desarrollo de sus comunidades.

Por tal efecto, pretendemos utilizar el polietileno tereftalato como alternativa para mejorar el CBR de las subrasantes tipo A-6, ya que, el reciclaje de dicho polímero favorece a la mitigación de la contaminación ambiental y se puede aprovechar en proyectos destinados para carreteras o pavimento y analizar si es factible su adición para mejorar la capacidad portante o estabilización de cada suelo; dado que a comparación de otros métodos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, caracterizado por ser de bajo costo y fáciles de acceder.

El objetivo de la investigación fue determinar la influencia del polietileno tereftalato (PET) en el CBR de la subrasante tipo A-6 en la vía Mochenta-San Nicolás, Jaén – 2022; basado en la realización de ensayos de laboratorio para determinar la propiedades físicas y mecánicas de muestras de suelo con y sin adiciones de PET.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La ubicación del área donde se realizó la investigación, es la Vía Mochenta-San Nicolás, que está localizada en el distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca - Perú.

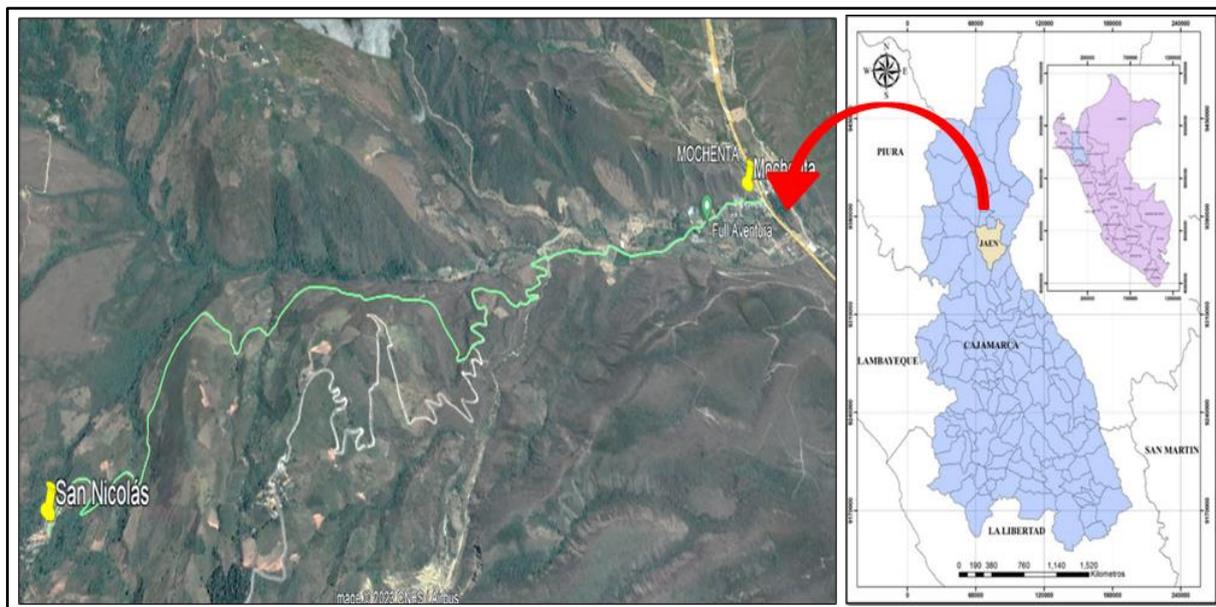


Figura 1. Ubicación de la de la Vía Mochenta-San Nicolás

Metodología

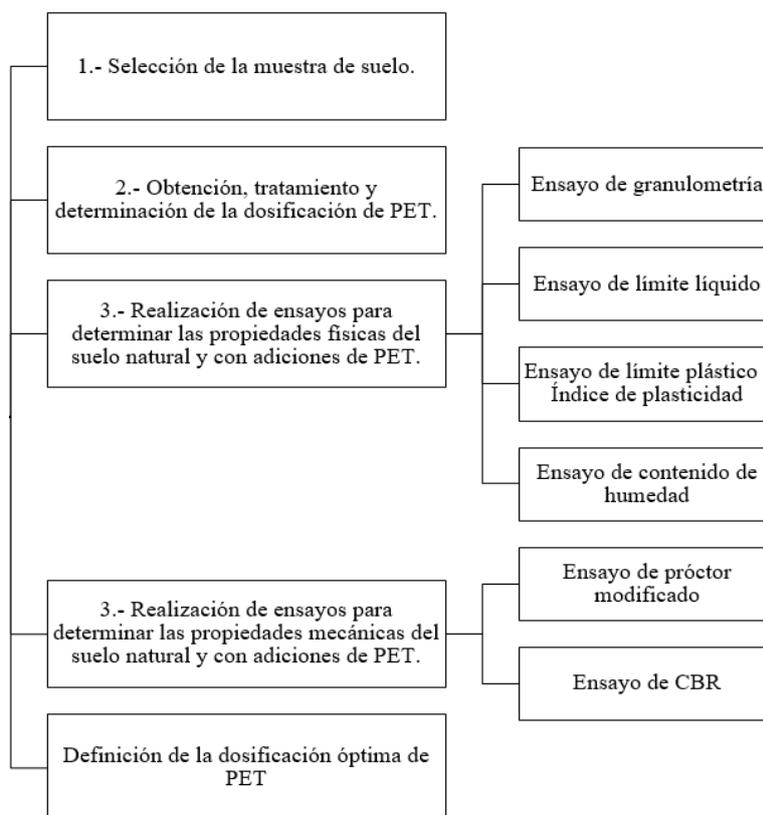


Figura 2. Procedimiento de la investigación

Etapa 1: Selección de la muestra

Se revisó la carta geológica 12-f del cuadrángulo de Jaén, y según las características de las formaciones geológicas se determinó el área de estudio y se sustrajo el material requerido de tres trincheras ubicadas en las coordenadas: Trinchera 01 (Este: 743556.00 m, Norte: 9358239.00 m), Trinchera 02 (Este: 743409.00 m, Norte: 9358210.00 m) y Trinchera 03 (Este: 743486.00 m, Norte: 9358117.00 m) de la carretera Mochenta – San Nicolás del tramo km 0+000 al km 5+000 dado que en este tramo de la vía la subrasante es de tipo A-6.

Etapa 2: Obtención de la dosificación de PET

El Polietileno Tereftalato se obtuvo directamente a través de su compra en la empresa PLASRESA Plásticos Reunidos S.A (empresa dedicada al reciclaje de materiales plásticos y de la trituración de los mismos). El costo del polietileno tereftalato fue de S/ 1.20 (Un Sol con 20/100 soles) el kg.

Etapa 3: Ensayos para determinar las propiedades físicas del suelo con y sin las incorporaciones Análisis granulométrico por tamizado (NTP.339.128/ ASTM D-422 / MTC E107)

En primer lugar, se realizó el secado del material natural a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se procedió a realizar el cuarteo de la muestra a ensayar. Luego, se remojó el material y lavo 1,236.00

kg de la muestra representativa obtenida del cuarteo, este material es lavado por el tamiz N° 200 con cuantiosa cantidad de agua. Se secó la muestra lavada en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta conseguir un peso constante, para luego dejar enfriar a temperatura ambiente. Se realizó el lavado y tamizado del material grueso (de la malla de 1" hasta la malla N°4) durante un tiempo prudente, posterior a ello se pesaron las muestras retenidas en cada tamiz. Por último, se registraron los datos obtenidos en una ficha técnica.

Contenido de humedad (NTP. 339.127 / ASTM D-2216 / MTC E 108)

Se seleccionó un recipiente para la muestra y se colocó una pequeña muestra de suelo en él, luego se pesó el recipiente con la muestra y se realizó el registro. Después de pesar la muestra de suelo más el recipiente se colocó a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Pasadas las 24 horas, se retiró el recipiente con la muestra de suelo y se dejó enfriar durante 10 minutos. Finalmente se pesó la muestra fría y se registró para su posterior procesamiento. Se realizó el ensayo de límites de consistencia (NTP 339.129 / ASTM D-4318).

Límite Líquido (LL)

De la muestra seca, se tomó 200 gr de suelo que pasó por el tamiz N.° 40 (abertura 0.425 mm) y se colocó en un recipiente. Se colocó en un recipiente y se añadió agregó un poco de agua, para luego mezclar con una espátula hasta obtener una mezcla homogénea. Se puso en movimiento la cazuela con la ayuda de la manija a un ritmo constante y se dieron golpes a cierta velocidad por segundo hasta cerrar la ranura de 12.7 mm; una vez que se cerró la ranura se registraron el número de golpes y se tomó la muestra de la parte que se unió, esta muestra se colocó en el horno y se secó durante 24 horas en el horno.

Límite Plástico (LP)

Se extrajo 20 gr de muestra que se preparó para el LL, se amasó el suelo y se dejó reposar por un par de minutos hasta que fue notorio la disminución de humedad para poder hacer rollitos sin que la muestra se pegue en las manos. Luego en una placa se formaron rollitos hasta estos se cuartearon o quebraron. Una vez cuarteados los rollitos, se colocaron en un recipiente para pesarlos y encontrar su OCH, para luego ser llevado al horno y secarlo por 24 horas. Por último, se retiraron las muestras del horno para registrar su peso y procesar la información. Se realizó el ensayo de clasificación de Suelos SUCS y AASHTO (ASTM 2487 / AASHTO M 145).

Etapas 4: Ensayos para determinar las propiedades mecánicas del suelo

Proctor modificado (NTP 339.138 / ASTM D-1557 / MTC E 115), tal cómo se describe a continuación: se realizó el secado por 25 horas del material húmedo, se retiró el suelo seco del horno y se colocó a temperatura ambiente para enfriarlo; posterior a ello se tamizo por las mallas de 3/4",

3/8'' y N°4. Se seleccionaron 4 muestras de 2.5 kg cada una y se agregó agua. Se colocó la primera capa en el molde y se dieron 25 golpes, girando el molde para que el pistón cayera en toda el área.

Ensayos de CBR (NTP. 339.145 / ASTM D-1883 / MTC E 132)

Se prepararon especímenes colocando el OCH hallado anteriormente. Se ensamblaron los moldes cilíndricos con sus placas de base, collares de extensión, discos espaciadores y papel filtro. Se compactó el espécimen en 5 capas de los 3 moldes de CBR, el primero con 12 golpes, el segundo con 24 golpes y el tercero con 56 golpes por capa. Se determinó la densidad de cada molde.

RESULTADOS

Para la selección de la muestra del suelo, se revisó la carta geológica 12-f del cuadrángulo de Jaén, y según las características de las formaciones geológicas se determinó el área de estudio.

Para definir las dosificaciones de PET que se emplearon en la presente investigación, se realizó la recopilación de información bibliográfica, tomando como referencia aquellos porcentajes que mejor resultado generan en el valor del CBR.

Tabla 1. Dosificaciones de PET.

Dosificaciones
Muestra natural + 1.50 % PET
Muestra natural + 3.00 % PET
Muestra natural + 6.00 % PET

La Tabla 1, nos muestra los porcentajes de PET que incorporarán a la muestra natural para su análisis a través de los diferentes ensayos realizados en laboratorio. Se sustrajeron muestras de material requerido de tres trincheras ubicadas en las siguientes coordenadas: Trinchera 01 (Este: 743556.00 m, Norte: 9358239.00 m), Trinchera 02 (Este: 743409.00 m, Norte: 9358210.00 m) y Trinchera 03 (Este: 743486.00 m, Norte: 9358117.00 m) de la carretera Mochenta-San Nicolás del tramo Km 0+000 al Km 5+000 dado que en este tramo de la vía la subrasante es de mala calidad.

Tabla 2. Resultados de contenido de humedad de muestras naturales.

Muestras	Contenidos de humedad
T-01	4.82%
T-02	3.82%
T-03	4.26%

En la Tabla 2, se aprecia el contenido de humedad para cada una de las muestras obtenidas de cada trinchera.

Tabla 3. Análisis granulométrico de las muestras naturales.

Muestra	T-01	T-02	T-03
% de Gravas	2.48%	0.00%	0.00%
% de Arenas	3.69%	2.37%	1.09%
% de Finos	93.83%	97.63%	98.91%

La Tabla 3, nos muestra los porcentajes de gravas, arenas y finos que contiene cada una de las muestras obtenidas de cada trinchera, como resultado del análisis granulométrico por tamizado.

Tabla 4. Resultados de límites de consistencia de las muestras naturales.

Muestra	T-01	T-02	T-03
% Límite líquido	35.71%	43.52%	44.65%
% Límite plástico	20.16%	28.13%	30.86%
% de Índice de Plasticidad	15.56%	15.39%	13.79%

La Tabla 4, nos muestra el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad obtenido para cada una de las muestras obtenidas de cada trinchera.

Tabla 5. Clasificación de las muestras.

Muestra	Clasificación		Composición
	SUCS	AASHTO	
T-01	CL	A-6	Arcilla inorgánica de plasticidades bajas a medias - arcilla gravosa - arcillas arenosas - arcilla limosa - arcillas magras
T-02	OL	A-7-6	Limos orgánicos - arcilla limosa orgánica de bajas plasticidades
T-03	OL	A-7-5	Limos orgánicos - arcilla limosa orgánica de bajas plasticidades

En la Tabla 5, se muestra clasificación SUCS y AASHTO para cada una de las muestras obtenidas de cada trinchera. Para efectos de estudio, se ha evaluado la muestra de la trinchera T-01, ya que, esta es la que presenta el tipo de suelo A-6, el mismo que se pretende analizar en la investigación.

Tabla 6. Resultados de proctor modificado de la muestra natural.

Muestra	Profundidad (m)	Proctor	
		Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
T- 01	0.40 m	1.938	13.13

En la Tabla 6, se muestra la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido a de humedad (OCH) para la muestra de suelo tipo A-6, de la trinchera T-01.

Tabla 7. Resultados de CBR de la muestra natural de análisis.

Muestra	CBR a 0.1"		CBR a 0.2"	
	al 100% de la MDS	al 95% de la MDS	al 100% de la MDS	al 95% de la MDS
T-01	4.29%	3.83%	4.68%	3.92%

La Tabla 7, muestra los resultados del CBR para la muestra de suelo tipo A-6, de la trinchera T-01.

Influencia de la incorporación de polietileno tereftalato (PET) en las propiedades físicas del suelo tipo A-6, a nivel de subrasante.

Tabla 8. Resultados de contenido de humedad de la muestra con adiciones de PET.

Muestra	Contenido de humedad
T-01	4.82%
T-01 + 1.50% PET	12.22%
T-01 + 3.00% PET	10.24%
T-01 + 6.00% PET	11.00%

En la tabla 08, se muestran los resultados de contenido de humedad para la muestra de suelo tipo A-6, de la trinchera T-01, con adiciones de PET.

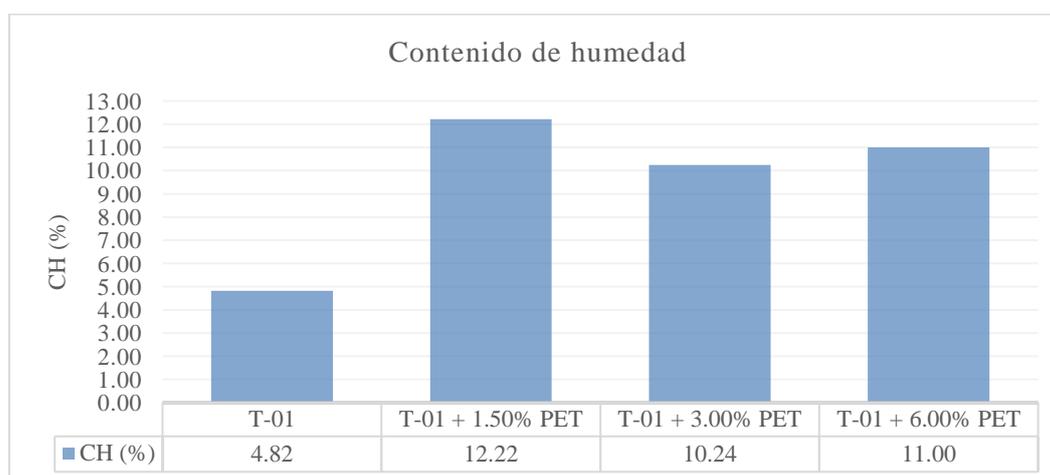


Figura 3. Representación de resultados de contenido de humedad de la muestra con adiciones de PET.

En la figura 3, se observan los valores de contenido de humedad, donde se tiene que las adiciones de 1.50%, 3.00% y 6.00% de PET, incrementan el contenido de humedad respecto al de la muestra sin PET.

Tabla 9. Análisis granulométrico de la muestra con adiciones de PET

Muestra	T-01	T-01 + 1.50% PET	T-01 + 3.00% PET	T-01 + 6.00% PET
% de Gravas	2.48%	9.67%	11.36%	13.72%
% de Arenas	3.69%	4.29%	4.61%	5.28%
% de Finos	93.83%	86.06%	84.03%	81.01%

La Tabla 10, muestra los resultados de la granulometría para la muestra con y sin adiciones de PET.

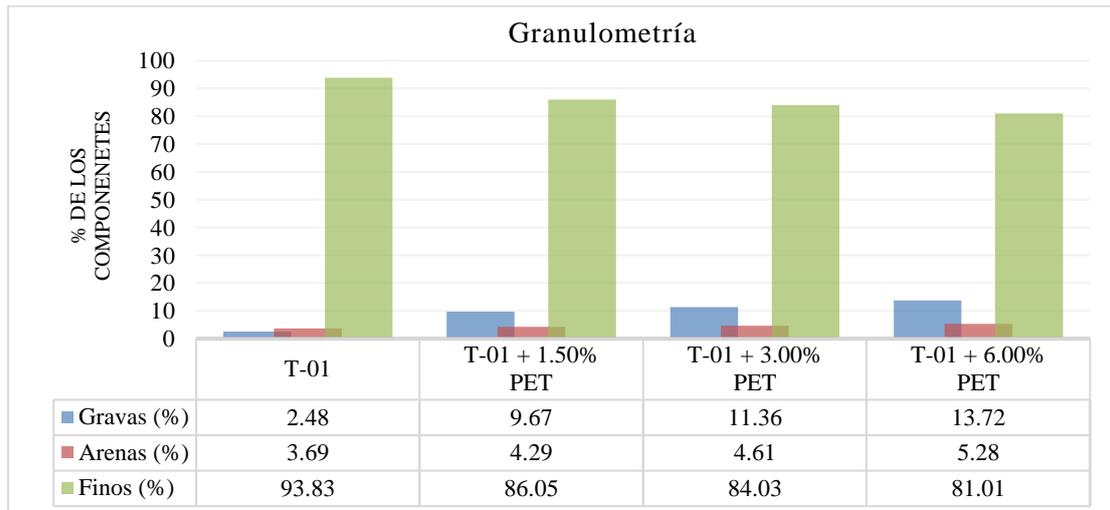


Figura 4. Granulometría de la muestra con adiciones de PET

Al interpretar la Figura 4, se observa que los porcentajes de gravas, arenas y finos para las adiciones de 1.50%, 3.00% y 6.00% de PET, son semejantes a los de la muestra natural, debido a que más del 50% del material pasa por el tamiz N° 200.

Tabla 10. Resultados de límites de consistencia de la muestra con adiciones de PET

Muestras	T-01	T-01 + 1.50% PET	T-01 + 3.00% PET	T-01 + 6.00% PET
% Límite plástico	35.71%	22.32%	20.28%	22.03%
% de Índice de Plasticidad	20.16%	10.27%	12.78%	11.19%
% Límite líquido	15.56%	32.59%	33.06%	33.22%

La Tabla 10, nos muestra los resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para la muestra natural con y sin adiciones de PET.

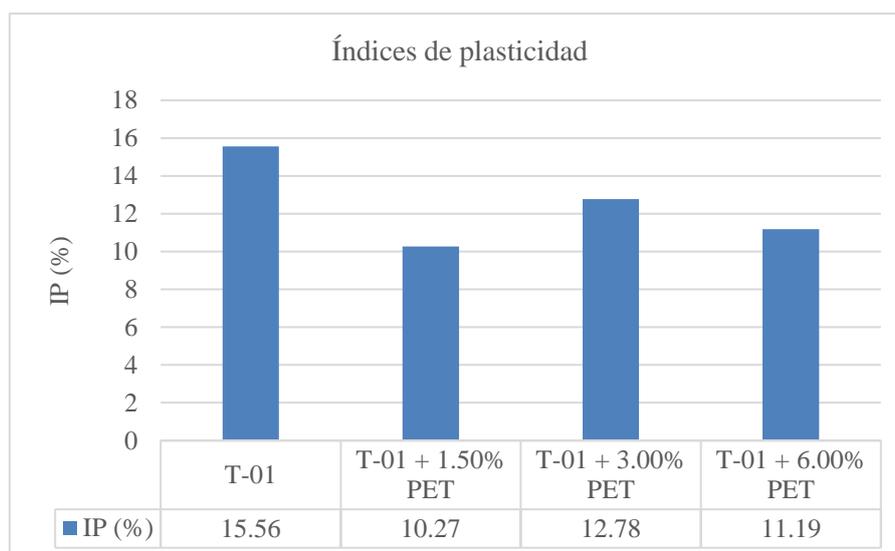


Figura 5. Resultados del índice de plasticidad de la muestra con adiciones de PET.

De la interpretación de la figura 5, se puede apreciar que las adiciones de PET, disminuyen el índice de plasticidad, siendo la adición del 1.50% la que menor índice de plasticidad presenta.

Influencia de la incorporación de polietileno tereftalato (PET) en las propiedades mecánicas del suelo a nivel de subrasante.

Tabla 11. Resultados de proctor modificado de la muestra con adiciones de PET.

Muestras	Profundidad	Proctor	
		Máximas Densidades Secas (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
T - 01	0.40 m	1.938	13.13
T- 01 + 1.50% PET	0.40 m	1.876	12.24
T- 01 + 3.00% PET	0.40 m	1.876	13.30
T- 01 + 6.00% PET	0.40 m	1.823	13.78

En la Tabla 11, se muestran los resultados obtenidos de óptimo contenido de humedad (OCH), así como la máxima densidad seca (MDS) para la muestra natural con y sin adiciones de PET.

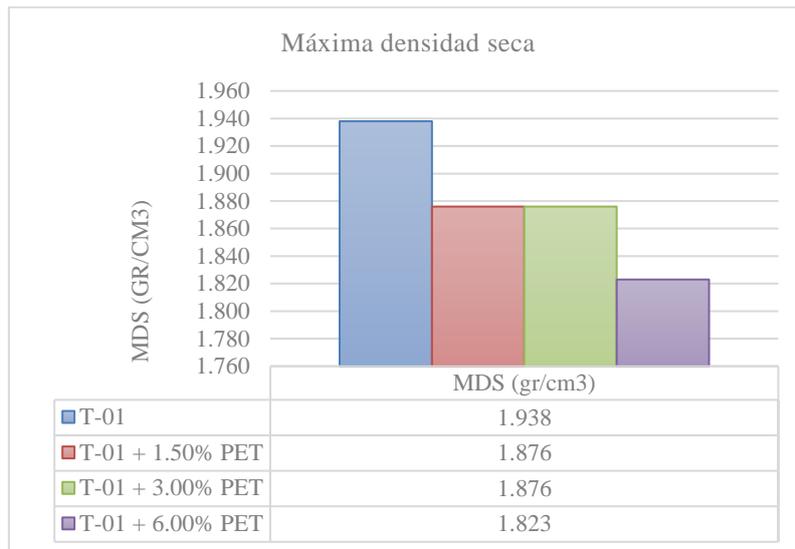


Figura 6. Resultados de máxima densidad seca de la muestra con adiciones de PET.

En la figura 6, se observan los valores de la máxima densidad seca (MDS), donde se logra apreciar que las adiciones de 1.50%, 3.00% y 6.00% de PET, disminuyen el valor de al MSD respecto al de la muestra sin PET.

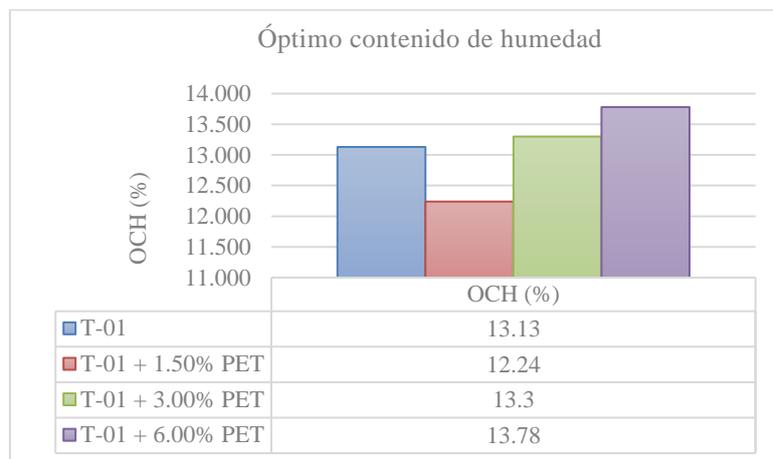


Figura 7. Resultados de óptimo contenido de humedad de la muestra con adiciones de PET.

En la Figura 7, se observan los valores del óptimo contenido de humedad (OCH), donde se logra apreciar que el OCH aumenta con forme se aumenta las adiciones de PET.

Tabla 12. Resultados de CBR de la muestra con adiciones de PET.

Muestra	CBR a 0.1"		CBR a 0.2"	
	al 100% de la MDS	al 95% de la MDS	al 100% de la MDS	al 95% de la MDS
T-01 + 0.00% PET	4.29%	3.83%	4.68%	3.92%
T-01 + 1.50% PET	4.21%	3.61%	4.69%	4.05%
T-01 + 3.00% PET	5.29%	4.65%	5.47%	4.96%
T-01 + 6.00% PET	3.23%	2.88%	3.48%	3.16%

En la Tabla 12, se muestran los resultados de CBR obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio tanto para la muestra natural, así como para la muestra natural con adiciones de PET.

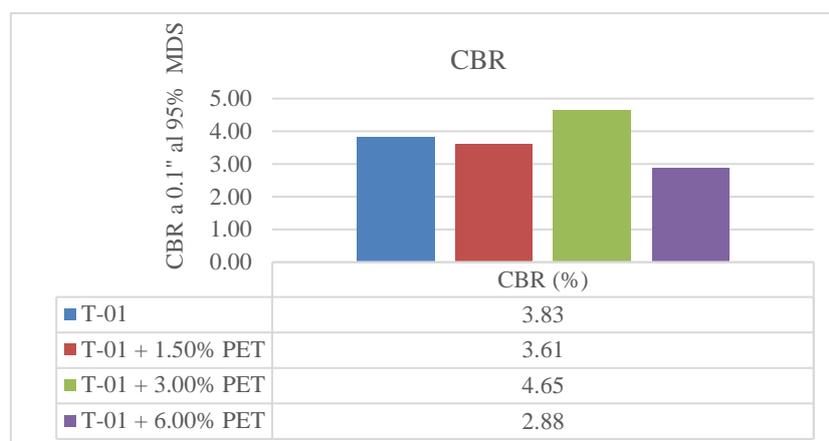


Figura 8. Representación de resultados de CBR de la muestra con adiciones de PET.

De la interpretación de la Figura 8, se puede apreciar que con la adición del 3.00% de PET se logra incrementar el valor del CBR, con respecto al CBR de la muestra natural (T-01), muestra natural con 1.50% de PET (T-01 + 1.50% PET) y muestra natural con 6.00% de PET (T-01 + 6.00% PET).

Análisis de datos

Se manipuló el programa IBM-SPSS-26 a fin de analizar los datos y para la interpretación de resultados.

Tabla 13. Prueba de normalidad para CBR a 0.1" (al 95%).

Tratamiento	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Muestra Patrón (MP)	0.890	3	0.354
CBR a 0.1" (al 95%) MP + 1.50% PET	0.894	3	0.366
MP + 3.00% PET	0.750	3	0.000
MP + 6.00% PET	0.750	3	0.000

En la tabla 13, se muestran los valores de verificación de la prueba de normalidad, puesto que existen significancias menores a 0.05, se concluye que no existe normalidad en los datos analizados.

Tabla 14. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para CBR a 0.1" (al 95%).

Método	CBR a 0.1" (al 95%)
H de Kruskal-Wallis	8.185
gl	3
Sig. asin.	0.042

En la Tabla 14, podemos observar la significancia es menor a 0.05, debido a esto se impugna la nula hipótesis y se deduce que al menos uno de los agregados causa efecto en el CBR a 0.1" (al 95%). Por lo que se procede a realizar la prueba Post Hoc T3 Dunnett.

Tabla 15. Prueba Post-Hoc T3 Dunnett para CBR a 0.1" (al 95.0%).

(I) Tratamientos	(J) Tratamiento	Diferencias de media (I-J)	Error estándar	Sig.
Muestra Patrón (MP)	MP + 1.5% PET	0.053	0.487	1.000
	MP + 3% PET	-0.980	0.130	0.038
	MP + 6% PET	0.783	0.250	0.171
MP + 1.5% PET	Muestra Patrón (MP)	-0.053	0.487	1.000
	MP + 3% PET	-1.033	0.471	0.427
	MP + 6% PET	0.730	0.518	0.681
MP + 3% PET	Muestra Patrón (MP)	0.980	0.130	0.038
	MP + 1.5% PET	1.033	0.471	0.427
	MP + 6% PET	1.763	0.219	0.041
MP + 6% PET	Muestra Patrón (MP)	-0.783	0.250	0.171
	MP + 1.5% PET	-0.730	0.518	0.681
	MP + 3% PET	-1.763	0.219	0.041

En la Tabla 15, se muestran los valores de la significancia, que nos indican que existe una diferencia significativa entre el CBR en 0.1" (al 95%) de las muestras patrón (MP) y MP + 3.00% PET, y entre el CBR a 0.1" (al 95%) de la MP + 3.00% PET y MP + 6.00% PET.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó que el polietileno tereftalato (PET) tiene una influencia positiva en el CBR de la subrasante tipo A-6, mejorando las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante. Por lo que concuerda con Cuellar y Vega (2020) quienes determinaron un aumento del 6.54% en el CBR. Así como con Carbajal y Garzón (2019) quienes determinaron que la fibra PET mejora el suelo, aumentando el CBR del mismo hasta en 0.3%.

Los porcentajes de Polietileno Tereftalato (PET) incorporados a la muestra de suelo natural fueron de 1.50, 3.00 y 6.00%, estas dosificaciones guardan relación con lo que sostienen Sai y Venkata (2019), Hari et al. (2018) y Enríquez (2021) quienes obtuvieron mejores valores de CBR al adicionar polímeros en proporciones de 1.50%, 3.00% y 6.00% respectivamente.

Los resultados obtenidos de los ensayos para determinar las propiedades físicas del suelo natural con adiciones de Polietileno Tereftalato (PET), son similares a los de la muestra natural; excepto el contenido de humedad, siendo para la muestra natural 4.82% y para las muestras adicionadas con 1.5%, 3% y 6% de PET, 12.22%, 10.24% y 11.00% respectivamente, lo que coincide con lo

manifestado por Bustamante (2021), Capia (2020) y Cuipal (2018) quienes realizaron investigaciones respecto a la adición de PET en suelos del tipo arcilloso.

En relación al CBR, con la adición del 3% del PET se obtuvo un valor de 4.65%, pero que con la del 6% hubo una baja considerable incluso resultando menor a lo obtenido inicialmente con la muestra natural de la T-01, esto concuerda con Carbajal y Garzón (2019), quienes sostienen que las fibras de PET mejoran las propiedades físico – mecánicas del suelo, pero que no desempeñan según los parámetros requeridos por la normativa, el cual exige mínimos porcentajes de CBR para cada suelo adecuado mayores al 6%. Asimismo, no se coincide con lo encontrado por Capia (2020), quien con una dosificación del 3% obtuvo un CBR de 6.75%, es decir, cumpliendo con lo establecido con la normativa.

Respecto a la dosificación óptima, se consiguió establecer que con la adición de 3% de PET es donde se encuentran resultados mejores dado que desarrolla un aumento del CBR a 0.1” al 95.00% de la MDS, de 3.83% (muestra natural) hasta 4.65% (con adición del 3.00% de PET), coincidiendo con Hari et al. (2018), Cuipal (2018) y Capia (2020) quienes establecieron que los mejores resultados de CBR se obtuvieron con la dosificación del 3% de PET.

CONCLUSIONES

Se determinó que el polietileno tereftalato (PET) tiene una influencia positiva en el CBR de la subrasante tipo A-6, mejorando las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante.

Se emplearon dosificaciones de 1.5, 3 y 6% de plásticos PET para realizar los ensayos con las distintas muestras. Para la obtención de la muestra natural, se realizaron 3 trincheras (T-01, T-02 y T-03) a 0.40 m de profundidad.

Se determinó que la muestra natural de la trinchera T-01 fue la que presentó un suelo del tipo arcilloso CL, según SUCS, y del tipo A-6, según AASHTO; y que al agregar dosificaciones del 1.50, 3.00 y 6.00% sigue presentando características de un suelo tipo A-6, puesto que, más del 50% de material pasa el tamiz N°200, y que los valores de límite líquido e índice de plasticidad obtenidos son menores del 40% y mayores de 10 respectivamente.

Para la muestra natural se obtuvo una MDS de 1.938 gr/cm³, mientras que las muestras con incorporación de 1.50%, 3.00% y 6.00% de PET obtuvieron una MDS de 1.876 gr/cm³, 1.876 gr/cm³ y 1.823 gr/cm³ respectivamente. También se determinó que la muestra natural tiene un OCH de 13.13%, mientras que la incorporación de 1.50%, 3.00% y 6.00% de PET en la muestra natural dio un 12.24%, 13.30% y 13.78% de OCH respectivamente. Con respecto al CBR al 95% de la MDS a 0.1”, la muestra natural, tuvo un valor de 3.83%, y para las adiciones de 1.50, 3.00 y 6.00% se

obtuvieron valores de 3.61, 4.65 y 2.88% respectivamente. Determinándose finalmente que las adiciones de PET, disminuyen la MDS, pero que, al aumentar las dosificaciones, aumenta el OCH. Sin embargo, se obtuvieron mejores resultados de CBR para la dosificación del 3.00% de PET.

La dosificación más óptima según los resultados obtenidos, se consiguió establecer que con las adiciones de 3.00% de plástico PET es donde se encuentran resultados mejores dado que aumentó el CBR a 0.1” al 95.0% de la máxima densidad seca; por el hecho de que aumentó de 3.83% (muestra patrón o natural) hasta 4.65% (con adición del 3.00% de PET), lo cual equivale a un incremento 0.82% en el valor del CBR. No obstante, se debe considerar que con las adiciones realizadas el CBR aún sigue bajo la categoría de insuficiente o pobre al encontrarse menor al 6.00% según la normativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustamante, R. (2021). *Estabilización de un suelo arcilloso para carreteras no pavimentadas incorporando PET en 2%, 4% y 6%* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/29254>
- Capia, C. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, 2019* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3156>
- Carbajal, A., & Garzon, R. E. (2019). *Evaluación de la Resistencia de un Suelo areno arcilloso con refuerzos de Fibras PET* [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6482>
- Cuipal, B. (2018). *Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera de Chachapoyas - Huancas, Amazonas, 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25124>
- Enriquez, J. (2021). *Aplicación del Tereftalato de Polietileno como Estabilizador de Suelo para Subrasante* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/3064>
- Hari, C., Harish, K., Deepika, M., Kondal, R., & Suresh, B. (2018). Experimental Study On Soil Stabilization By Using Waste Plastic Material. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 6(2), 192-200.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras "Suelos, geología y pavimentos" sección suelos y pavimentos*. Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima.

Sai, M., & Venkata, D. (2019). Soil Stabilization By Using Plastic Waste Granules Materials. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 21(4), 42-51.

Wasim, R., & Suhail, B. (2021). Use of Plastic as Soil Stabilizer. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 9(1), 81-88.