

Influence of recycled shredded PET on the subgrade strength of SW-SM and ML soils

Sandy Lucero Chugnas Jambo ¹; Lilian Rocío Villanueva Bazán ²

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00279389@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, lilian.villanueva@upn.edu.pe

Abstract– *This research evaluated the influence of adding recycled and shredded PET on the stabilization of SW-SM (silty sands) and ML (silts) soils collected in the Baños del Inca district, Cajamarca. The methodology employed was applied and experimental, utilizing Modified Proctor and CBR tests following ASTM and NTP standards. Initially, the SW-SM soil had a CBR of 12.30%, while the ML soil had a value of 9.80%. When PET was added in proportions of 1%, 3%, and 5%, the mixture with 5% PET proved to be the most efficient, increasing the strength of the SW-SM soil to 17.80% (a 44.71% improvement) and the ML soil to 14.10% (a 43.88% improvement). The results indicate that the shredded PET flakes not only fill gaps but also improve load transfer thanks to mechanical bonding due to their rough texture. Furthermore, because they do not absorb water, PET maintains soil firmness even under saturated conditions, which is vital for subgrade stability. It is concluded that this polymer allows for the reclassification of mediocre soils into high-quality subgrades. This reduces costs and offers a sustainable solution aligned with the SDGs by giving a new use to polluting plastic waste.*

Keywords– *Recycled PET, soil stabilization, soil mechanics, subgrade, pavements.*

Influencia del PET reciclado triturado en la resistencia de la subrasante de suelos SW–SM y ML

Resumen— Esta investigación evaluó cómo influye la adición de PET reciclado y triturado en la estabilización de suelos tipo SW-SM (arenas limosas) y ML (limos) recolectados en el distrito de Baños del Inca, Cajamarca. La metodología utilizada fue de carácter aplicado y experimental, en donde se utilizó ensayos de Proctor Modificado y CBR siguiendo las normas ASTM y NTP. Inicialmente, el suelo SW-SM presentaba un CBR de 12.30%, mientras que el suelo ML tenía un valor de 9.80%. Al adicionar PET en proporciones del 1%, 3% y 5% de plástico, se determinó que la mezcla con 5% de PET es la más eficiente, elevando la resistencia del suelo SW-SM a 17.80% mejorando un 44.71% y del suelo ML a 14.10% con 43.88%. Los resultados indican que las hojuelas trituradas no solo rellenan espacios, sino que mejoran la transferencia de cargas gracias a una unión mecánica por su textura rugosa. Además, al no absorber agua, el PET mantiene la firmeza del suelo incluso en condiciones de saturación, algo vital para la estabilidad de la subrasante. Se concluye que este polímero permite reclasificar suelos mediocres como subrasantes de excelente calidad. Esto reduce costos y ofrece una solución sostenible alineada con los ODS, al dar un nuevo uso a residuos plásticos contaminantes

Palabras clave—PET reciclado, estabilización de suelos, Mecánica de suelos, subrasante, pavimentos.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la necesidad de promover un desarrollo sostenible en la ingeniería civil ya no es solo una opción, sino una urgencia. Esto se debe principalmente a los grandes retos que enfrentamos por el cambio climático y el aumento de la temperatura global. Un problema poco mencionado es que la obtención de materiales de construcción tradicionales genera un gasto energético enorme, sobre todo por el uso de combustibles fósiles, lo que dispara las emisiones de dióxido de carbono y otros gases que dañan la atmósfera [1]. Al mismo tiempo, nos enfrentamos a una crisis por los residuos plásticos; las botellas de PET, por ejemplo, pueden tardar cientos de años en degradarse, acumulándose en vertederos y liberando microplásticos que dañan los ecosistemas [2]. Por esta razón, en los últimos años se ha empezado a investigar cómo integrar estos residuos en las obras viales, buscando una solución que ayude a reducir el impacto ambiental [3].

En este trabajo de investigación, nos enfocamos en usar PET reciclado y triturado para ver cómo influye en la estabilización de suelos tipo SW-SM (arenas limosas) y ML (limos). Para ello las preguntas que buscamos resolver son: ¿Realmente mejora el PET la capacidad de soporte la estabilidad de un suelo de subrasante? y ¿cuál es el efecto de

este material plástico en la densidad seca y la resistencia final de la subrasante?

Investigaciones anteriores ya han dado pistas de que el plástico puede ayudar a reforzar la estructura del suelo. Por ejemplo, en el estudio de ref [4], se obtuvo que el adiconamiento del material de refuerzo (fibras PET) logra mejorar los parámetros de resistencia del suelo, ya que el suelo estudiado presento una mejora de 85% con respecto a las muestras que no tenían adición de dicho material.

A nivel nacional, el estudio de Ref. [5] demostró que es dable agregar cierto porcentaje de PET a la mezcla asfáltica para mejorar sus propiedades mecánicas ya que incrementa su resistencia a la deformación que provoca el peso. Así, se ve que es muy importante cambiar la mezcla asfáltica tradicional por una con incorporación de PET, porque se optimizan las propiedades mecánicas.

Basándonos en estos antecedentes, nuestra investigación pretende analizar el efecto de la incorporación del PET en suelos tipo SW-SM (arenas limosas) y ML (limos), Esta investigación no solo busca comprobar la viabilidad técnica de esta mezcla, sino también proporcionar una solución sostenible y económica para la gestión de residuos plásticos PET, promoviendo prácticas de construcción más ecológicas y eficientes.

II. METODOLOGÍA

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicable, ya que es caracterizado por la búsqueda de soluciones prácticas a problemáticas técnicas específicas mediante la transferencia de conocimientos teóricos a escenarios experimentales [6]. A diferencia de la investigación básica, este nivel de estudio se orienta a la utilidad inmediata y a la innovación tecnológica, permitiendo que los hallazgos tengan una aplicación directa en los procesos constructivos y en la mejora de la infraestructura vial [7]. En este sentido, el trabajo busca evaluar experimentalmente cómo el PET reciclado y triturado actúa como agente estabilizador en suelos SW–SM y ML. A través de ensayos de laboratorio, se analiza el impacto de este polímero en la densidad seca máxima y el CBR (California Bearing Ratio), con el fin de proponer una alternativa sostenible y eficiente para mejorar la capacidad portante de las subrasantes en la construcción de pavimentos.

MUESTRA:

La calicata de exploración para realizar el estudio se localiza en la región de Cajamarca, específicamente en la provincia de Cajamarca y el distrito Baños del Inca

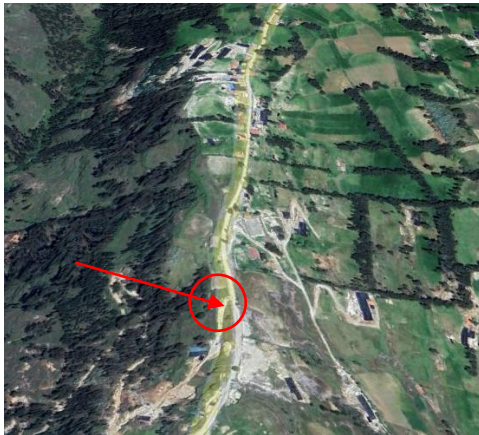
Coordenadas: Zona 17M:

Este: 776352.01 m

Sur: 9213359.70 m S

Figura 1

Vista satelital - Ubicación de la calicata.



Nota: Extraído de Google Earth.

ENSAYOS Y EQUIPOS:

Granulometría: Este ensayo consiste en determinar la distribución de los tamaños de las partículas presentes en el suelo, lo cual es clave para predecir su comportamiento mecánico y su capacidad de soporte en obras de ingeniería y edificación. La metodología se basa en los estándares de las normas ASTM D-422 y NTP 339.128. Para el desarrollo del ensayo, se emplearon tamices de diferentes aberturas, balanza y un horno para el secado previo de la muestra, permitiendo así una clasificación precisa del material [8].

Límite Líquido del Suelo: Este ensayo permite identificar el contenido de agua con el que un suelo fino cambia de un estado plástico a uno líquido, siendo un dato crucial para su clasificación y para prever asentamientos bajo carga. Para este proceso se siguen las normas ASTM D4318 y NTP 339.129, empleando herramientas como el aparato de Casagrande con su ranurador, una copa de porcelana, un plato de vidrio, el tamiz N° 40, balanza y un horno de secado para el control de humedad [9].

Límite Plástico del Suelo: Es el contenido de agua que tiene un suelo cuando se encuentra en el límite entre los estados semisólido y plástico, es decir en donde el suelo pierde su maleabilidad y empieza a agrietarse. Para hallarlo, nos basamos en las normas ASTM D4318 y NTP 339.129, donde

el procedimiento consiste en formar rollitos de unos 3 mm de diámetro sobre una placa de vidrio esmerilado hasta que se fragmenten. Para ello se utiliza una espátula para el mezclado, balanza, una placa de vidrio y horno para el secado de las muestras [9].

Clasificación del suelo: Es fundamental para saber si el terreno podrá soportar las capas del pavimento. Para esto, nos guiamos por la norma NTP 339.134, aplicando el sistema SUCS y el sistema AASHTO, que es el estándar para proyectos viales. Los materiales que necesitamos son básicamente los datos del tamizado y los límites de Atterberg. Con estos resultados y la carta de plasticidad, podemos identificar si la subrasante es de buena calidad o si es un suelo fino que nos traerá problemas por expansión o baja resistencia. [10].

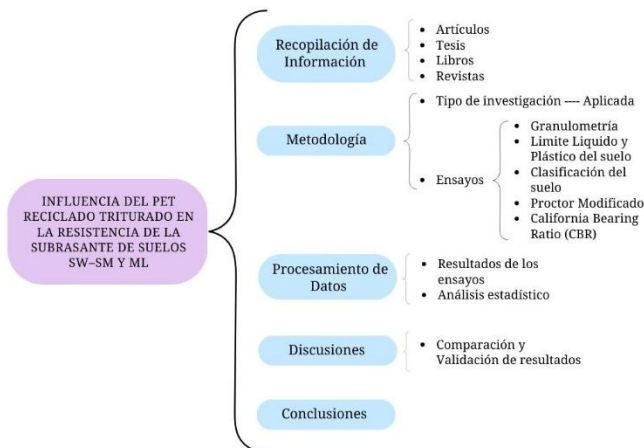
Proctor Modificado: Sirve para hallar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de un suelo. A diferencia del estándar, este aplica una mayor energía de compactación para simular las cargas actuales de las carreteras. El ensayo se hace bajo las normas ASTM D1557 o la NTP 339.141, y los materiales que se emplea es molde, martillo, balanza, tamiz N° 4 para la muestra, y horno para controlar la humedad. [11].

California Bearing Ratio (CBR): Sirve para medir la resistencia al corte del suelo y saber qué tanta carga puede aguantar antes de deformarse. Para este ensayo nos guiamos por las normas ASTM D1883 y NTP 339.145, Para ello usamos moldes especiales, un pistón de carga, diales para medir la penetración, pesas de sobrecarga para simular el peso del pavimento, balanza y horno para los controles de humedad [12].

PROCEDIMIENTO:

El proceso empezó con la recolección de muestras de suelo natural en la zona de estudio, las cuales se prepararon para mezclarlas con PET reciclado triturado en proporciones del 1%, 3% y 5%. Nos aseguramos de homogeneizar bien el PET con el suelo para que las partículas de plástico se distribuyan de forma uniforme en toda la mezcla. Después, realizamos los ensayos de laboratorio siguiendo las normas ASTM. Primero, evaluamos la plasticidad con el ensayo de Límites de Atterberg (ASTM D4318) para ver cómo variaban el límite líquido y plástico. También hicimos el Proctor Modificado (ASTM D1557) para encontrar la densidad seca máxima y la humedad óptima de cada mezcla. Finalmente, ejecutamos los ensayos de CBR (ASTM D1883) compactando las muestras al 95% y 100% de su densidad máxima. Todos los resultados los comparamos mediante gráficos para analizar directamente cómo influye el incremento del PET en la resistencia de la subrasante de los suelos SW-SM y ML, buscando una alternativa más sostenible para la construcción de vías.

Figura 2
Flujograma de trabajo.



Nota: Se muestra el esquema del proceso de investigación.

III. RESULTADOS

En esta etapa se presentan los valores obtenidos de los ensayos realizados al suelo modificado con PET reciclado triturado. Las dosificaciones empleadas fueron del 1%, 3% y 5% respecto a la volumetría total de las muestras. Para facilitar el seguimiento de las comparaciones entre los diferentes niveles de mezcla, la nomenclatura adoptada para cada tratamiento se encuentra detallada en la Tabla 1.

Tabla 1

Codificación de mezclas de suelo de Arcilla bien graduada con limo (SW–SM) y Limo con baja compresibilidad (ML) –PET reciclado triturado

MATERIAL	PET (%)	SIMBOLOGÍA (SW-SM)	SIMBOLOGÍA (ML)
Suelo Natural	0	P-SW-0%	P-ML-0%
Mezcla 1	1	P-SW-1%	P-ML-1%
Mezcla 2	3	P-SW-3%	P-ML-3%
Mezcla 3	5	P-SW-5%	P-ML-5%

Nota: La muestra al 0% de PET, se considera un suelo natural.

Para determinar las propiedades físicas fundamentales del suelo natural y sus combinaciones con partículas de PET reciclado, se evaluaron los límites de Atterberg. Los valores obtenidos para la fluidez, la plasticidad y el índice derivado se encuentran sistematizados en la Tabla 2 y 3, permitiendo observar el comportamiento mecánico de cada dosificación

Tabla 2

Límites de Consistencia del suelo SW–SM con diferentes contenidos de PET reciclado.

Mezclas	LL (%)	LP (%)	IP (%)
P-SW - 0%	54.6	26.8	27.8
P-SW - 1%	53.3	26.1	27.2
P-SW - 3%	52.2	25.7	26.5
P-SW - 5%	50.8	25.1	25.7

Nota: El índice de plasticidad expresa la diferencia entre el límite de liquidez y el límite de plasticidad del suelo.

Tabla 3

Límites de Consistencia del suelo SW–SM con diferentes contenidos de PET reciclado.

Mezclas	LL (%)	LP (%)	IP (%)
P-ML - 0%	58.3	-	-
P-ML - 1%	57.7	-	-
P-ML - 3%	57.1	-	-
P-ML - 5%	56.4	-	-

Nota: El suelo ML presenta comportamiento no plástico, por lo que únicamente se reporta el límite de liquidez

Con el fin de evaluar el comportamiento mecánico del suelo con la incorporación de PET, se realizaron las pruebas de Proctor Modificado y CBR. Estos ensayos nos permitieron conocer mejor la resistencia y la compactación de los materiales estudiados.

Tabla 4

Humedad óptima y densidad seca máxima del suelo tipo SW–SM con diferentes contenidos de PET reciclado.

Mezclas	MDS (g/cm3)	W opt (%)
P-SW - 0%	1.570	13.8
P-SW - 1%	1.576	13.6
P-SW - 3%	1.578	13.4
P-SW - 5%	1.585	13.1

Tabla 5
 Humedad óptima y densidad seca máxima del suelo tipo ML con diferentes contenidos de PET reciclado.

Mezclas	MDS (g/cm3)	W opt (%)
P-ML - 0%	1.551	14.4
P-ML - 1%	1.553	14.1
P-ML - 3%	1.557	13.9
P-ML - 5%	1.561	13.7

En la Tabla 4 y 5 se puede ver que el PET reciclado influye directamente en la compactación, ya que se observa que ambos suelos a mayor porcentaje de PET, la Densidad Seca Máxima sube un poco, mientras que el Contenido de Humedad Óptimo va bajando. Así mismo se puede visualizar que el suelo tipo SW-SM tiene mayor densidad seca y menor contenido de humedad a diferencia del suelo tipo ML.

Figura 3
 Curvas de Compactación del suelo Arcilla bien graduada con Limo (SW-SM) con los diferentes contenidos de PET reciclado

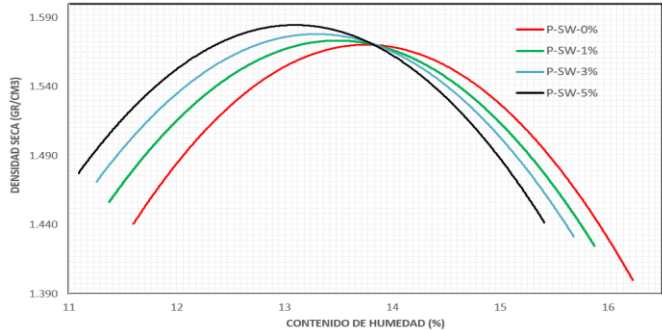
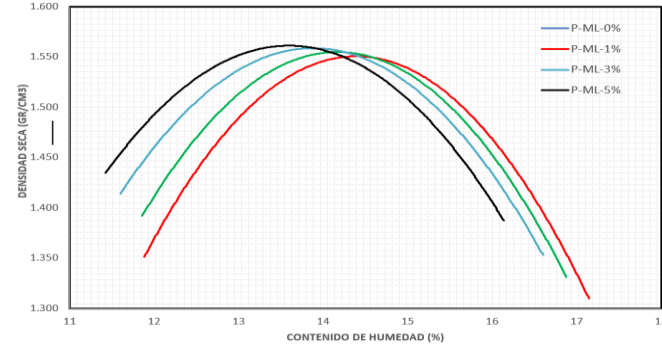


Figura 4
 Curvas de Compactación del suelo Limo con baja compresibilidad (ML) con diferentes contenidos de PET reciclado



En la Figura 3 y 4 se graficaron las curvas de compactación de ambos tipos de suelo con sus respectivas mezclas de PET, esto permite notar el comportamiento que tiene el plástico en el material.

Tabla 6
 CBR del suelo Arcilla bien graduada con Limo (SW-SM) con los diferentes contenidos de PET reciclado con 100% y 95% de la DSM 1”.

Mezclas	CBR - 100 (%)	CBR - 95 (%)
P-SW - 0%	12.30	9.10
P-SW - 1%	14.00	10.20
P-SW - 3%	16.60	12.30
P-SW - 5%	17.80	13.30

Nota: Se considera el CBR al 95% y 100%.

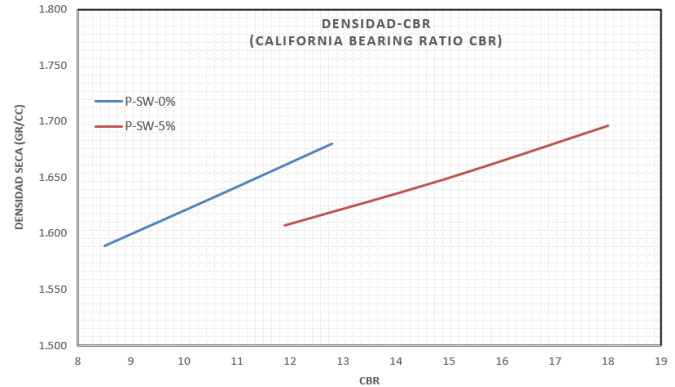
Tabla 7
 CBR del suelo Limo con baja compresibilidad (ML) con los diferentes contenidos de PET reciclado con 100% y 95% de la DSM 1”.

Mezclas	CBR - 100 (%)	CBR - 95 (%)
P-ML - 0%	9.80	7.30
P-ML - 1%	10.90	8.00
P-ML - 3%	12.90	9.40
P-ML - 5%	14.10	10.30

Nota: Se considera el CBR al 95% y 100%.

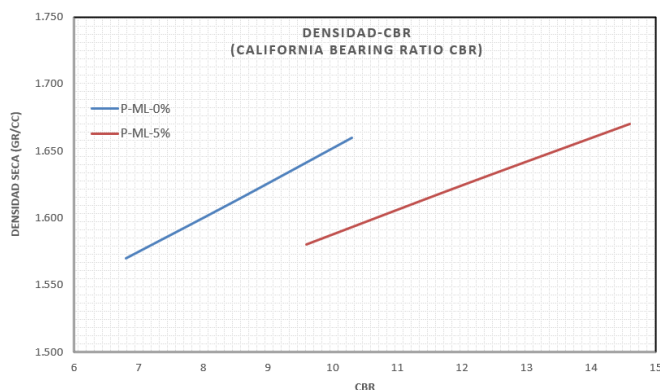
Al analizar los valores obtenidos en los ensayos de CBR para las muestras P-SW (Tabla 6) y P-ML (Tabla 7), se evidencia una mejora clara en las propiedades mecánicas de ambos suelos tras la incorporación del aditivo. En el caso del suelo P-SW, se partió de un CBR del 12.30% en su estado natural, mientras que el suelo P-ML inició con un 9.80%, sin embargo, al incrementar un 5% de PET llegó a un 17.80% y 14.10% respectivamente. Este comportamiento sugiere que el material añadido actúa como un relleno en los espacios vacíos de la estructura del suelo, lo cual no solo compacta mejor la mezcla, sino que también limita la absorción de agua, dándole a la subrasante una mayor firmeza y resistencia ante las cargas.

Figura 5
 CBR a 0.1" del Suelo natural tipo SW-SM (C-0%) VS Suelo al 5% de PET (C-5%).



geFigura 6

CBR a 0.1" del Suelo natural tipo ML (C-0%) VS Suelo al 4% de PET (C-5%).



La Figura 5 y 6 muestra la comparación de la capacidad portante a 0.1" de la subrasante de un suelo natural versus un suelo con la incrementación de un 5% de PET reciclado.

El análisis de los ensayos de CBR reveló que la adición de PET reciclado mejora la capacidad de soporte en ambos tipos de suelo. En el caso del suelo SW-SM, el valor de soporte aumentó de un 12.30% a un 17.80%, dando un incremento del 44.71% al integrar un 5% de PET. Por otra parte, el suelo ML mostró un comportamiento similar, elevando su CBR de 9.80% a 14.10%, lo que representa una mejora del 43.88%. Estos datos demuestran que, que el plástico reciclado funciona como un estabilizador eficiente, elevando la capacidad de carga de la subrasante y ofreciendo una alternativa técnica viable para el diseño de pavimentos, ya que nos permite tener una estructura más firme y durable sin dañarse por el tráfico.

IV. DISCUSIÓN

Al contrastar los valores de CBR obtenidos, queda claro que la adición de 5% de PET reciclado genera un cambio positivo en la respuesta mecánica de la subrasante. Para el suelo SW-SM, el índice de soporte escaló de un 12.30% a un 17.80%, lo que significa un aumento del 44.71% en su capacidad de carga. En el caso del suelo ML, aunque los valores iniciales eran más bajos, el comportamiento fue muy similar, pasando de 9.80% a 14.10%, logrando una mejora relativa del 43.88%. Estos datos permiten afirmar que el polímero no actúa únicamente como un material de relleno, sino como un elemento de refuerzo que optimiza la transferencia de esfuerzos dentro de la matriz del suelo.

Es por ello que, al realizar el análisis diferencial por tipo de suelo, se observa que el material granular (SW-SM) presenta una mayor eficiencia en la interacción con el aditivo en comparación con el suelo limoso (ML). Este fenómeno se atribuye a la morfología irregular y rugosa de las hojuelas de

PET, la cual genera un efecto de acoplamiento mecánico que restringe el desplazamiento lateral de las arenas y gravas bajo cargas de penetración. En contraste, en el suelo ML, la elevada presencia de finos y la cohesión intrínseca del limo tienden a envolver las partículas de plástico, limitando parcialmente el contacto directo grano a grano. No obstante, el hecho de que la mejora en el suelo limoso supere el 43% valida la versatilidad del PET como agente estabilizador incluso en suelos con menor fricción interna.

Un factor determinante en la estabilidad de las muestras es el comportamiento del PET ante la saturación. Al ser un polímero de naturaleza no hidrófila, el plástico no experimenta cambios volumétricos ni pérdida de rigidez durante los cuatro días de inmersión requeridos por la normativa. Esta característica es crítica, ya que el PET ayuda a conservar la integridad de la subrasante en condiciones de humedad severa, mitigando la expansión y evitando la degradación de la capacidad portante que normalmente sufren los suelos naturales sin tratar.

Desde la perspectiva de la ingeniería de pavimentos, el tránsito de un CBR de 9.80% - 12.30% hacia rangos de 14.1% - 17.8% conlleva implicaciones técnicas directas. Según los manuales de diseño vial, este incremento permite reclasificar la subrasante de una categoría "pobre o regular" a una de "excelente calidad". En la práctica, esto se traduce en una reducción de los espesores de las capas superiores (base y subbase), optimizando los volúmenes de material de cantera y reduciendo los costos de construcción. Finalmente, la integración de PET reciclado propone un modelo de economía circular viable para la infraestructura vial, logrando una mejora estructural verificable mientras se gestiona un residuo sólido de alto impacto ambiental.

Así mismo al comparar estos resultados con estudios previos como la ref.[4], donde el estudio obtuvo que el adiconamiento del material de refuerzo (fibras PET) logra mejorar los parámetros de resistencia del suelo, ya que el suelo estudiado presento una mejora de 85%, la mejora observada en este estudio es mayor, lo que podría atribuirse a diferencias en el tipo de suelo y el tamaño de las partículas de PET.

V. CONCLUSIONES

A partir de los ensayos realizados, se concluye que el PET reciclado funciona como un agente estabilizador eficiente, elevando la capacidad de soporte de la subrasante de manera significativa. El punto de mayor rendimiento se encontró en la dosificación del 5%, donde el suelo granular (SW-SM) incrementó su CBR de 12.30% a 17.80%, y el suelo limoso (ML) subió de 9.80% a 14.1%. Estos porcentajes de mejora, situados en el 44.71% y 43.88% respectivamente, confirman que la inclusión de estas partículas plásticas refuerza la matriz del suelo, permitiendo que terrenos que inicialmente eran de

calidad regular o mediocre pasen a ser considerados estratos de excelente capacidad portante para proyectos de infraestructura vial.

En lo que respecta a las propiedades físicas, se determinó que la presencia de PET altera la densidad seca máxima de la mezcla. Esto ocurre por una cuestión de peso específico: el plástico es mucho más ligero que los minerales del suelo, lo que hace que la muestra compactada pese menos en volumen. No obstante, es importante resaltar que esta reducción de peso no debilita el material. Por el contrario, la textura rugosa de las hojuelas de PET compensa la falta de densidad generando un fenómeno de trabazón mecánica que eleva la fricción interna. En el laboratorio se observó que este "anclaje" entre el plástico y los granos de suelo crea una estructura más resiliente que se opone mejor a la penetración y a la deformación lateral.

Otro hallazgo clave fue el comportamiento de la mezcla frente a la humedad crítica. Al ser el PET un material no hidrófilo (que no absorbe agua), actúa como una barrera interna que reduce la susceptibilidad del suelo a la saturación. Esto quedó evidenciado durante los cuatro días de inmersión del ensayo CBR, donde las muestras con plástico conservaron una mayor rigidez en comparación con las muestras naturales. Esta característica garantiza que la subrasante mantenga su capacidad de carga incluso en épocas de lluvia o en zonas con drenaje deficiente, evitando fallas estructurales por ablandamiento del terreno.

Finalmente, se concluye que el uso de plástico reciclado en la estabilización de suelos es una solución técnica, económica y ambientalmente viable. Al integrar residuos de un solo uso en la construcción de carreteras, se contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y a la economía circular. Desde el lado de la ingeniería, mejorar el CBR de esta forma permite optimizar el diseño del pavimento, reduciendo los espesores necesarios de las capas de base y subbase. Esto no solo baja los costos de inversión en materiales de cantera, sino que asegura una infraestructura más duradera, eficiente y con una menor huella de carbono.

REFERENCIAS

- [1] Kianimehr, M, et al. "Utilization of rubber aggregates for light stabilization of clay soils," *Construction and Building Materials*, Vol. 27.
- [2] Silva, S. "Influencia del plástico PET reciclado en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, Tingo María - 2023," Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2023. [Online]. Disponible <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2490>
- [3] Romero, Á. & Ahumada, N. (2014). Desarrollo Autosostenible de la Implementación de la Escuela "Porvenir" con la Utilización de Material Reciclable. Disponible

- https://core.ac.uk/outputs/71894041/?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- [4] Kianimehr, M, et al. "Utilization of rubber aggregates for light stabilization of clay soils," Studies in Engineering and Exact Sciences, vol. 4, no. 1, pp. 195–213, 2023. [Online]. Disponible. <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/seas/article/view/1090>
- [5] Bailon, L. "Influencia de las tiras de plástico PET reciclado en la capacidad de soporte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, Chiclayo - 2022," Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, 2023. [En línea]. Disponible. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11088>
- [6] Castro, G et al. "Efecto del tereftalato de polietileno (PET) reciclado en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso," Tecnura, vol. 27, no. 75, pp. 140–162, 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2023000100140
- [7] Losada, A, "Definición, Propiedad Intelectual e Industria," *Dialnet*, 2014. [Online]. Disponible. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- [8] ASTM C33-03. 2014, "Método de ensayo estándar para el análisis del tamaño de partícula de los suelos Disponible. <https://store.astm.org/d0422-63r07.html>
- [9] ASTM D4318, 2018. "Métodos de ensayo estándar para el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos". Disponible. <https://store.astm.org/d4318-17e01.html>
- [10] NTP 339.134. "Método para la clasificación de suelos con propositos de ingeniería"
- [11] ASTM D1557, 2021. "Métodos de ensayo estándar para las características de compactación de suelos en laboratorio utilizando un esfuerzo modificado". Disponible. <https://store.astm.org/d1557-12r21.html>
- [12] ASTM D1883, 2021. "Método de ensayo estándar para el índice de soporte de California (CBR) de suelos compactados en laboratorio". Disponible. <https://store.astm.org/d1883-21.html>