

# Subgrade Stabilization using Recycled Oil and Donax Peruvians on the Usgarat - Mayday Road in the province of Otuzco

Ever Jhonatan Robles Lopez, Bach.<sup>1</sup>; Jolver Ivan Zavaleta Reyes, Bach<sup>2</sup>  
Kely Elizabeth Nuñez Vasquez, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, [N00134090@upn.pe](mailto:N00134090@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [N00217486@upn.pe](mailto:N00217486@upn.pe)

<sup>3</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [kely.nunez@upn.edu.pe](mailto:kely.nunez@upn.edu.pe)

*Abstract– The present study was born as a solution to improve the quality of a soil with low support capacity using non-traditional stabilizers, determining the influence of the incorporation of recycled oil (AR) and Donax Peruvians (DP) in the subgrade soil on the LI - 794 Usgarat - Mayday road in the province of Otuzco, through an experimental, applicative - explanatory methodology with a quantitative approach; For this, the soil was characterized by classifying it with “CL” and “A – 6” classification, with a plasticity index (PI) of 19.83%, 75.31% capillary absorption capacity (CAP) and 5.50% CBR, while with the optimal dosage it was possible to improve the properties to 17.65% IP, 40.58% CAP and 23.77% CBR, reaching conclude that the optimal dosage that greatly improves the physical and mechanical properties of the soil was 4% AR – 6% DP, which could go from a subgrade with insufficient category to one of very good quality.*

**Keywords– Recycled oil, Donax Peruvians, Capillary absorption capacity, CBR.**

# Estabilización de Subrasante utilizando Aceite Reciclado y Donax Peruvians en la vía Usgarat - Mayday en la provincia de Otuzco

Ever Jhonatan Robles Lopez, Bach.<sup>1</sup>; Jolver Ivan Zavaleta Reyes, Bach<sup>2</sup>  
Kely Elizabeth Nuñez Vasquez, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, [N00134090@upn.pe](mailto:N00134090@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [N00217486@upn.pe](mailto:N00217486@upn.pe)

<sup>3</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [kely.nunez@upn.edu.pe](mailto:kely.nunez@upn.edu.pe)

**Resumen**– *El presente estudio nace como solución para mejorar la calidad de un suelo con baja capacidad de soporte empleando estabilizantes no tradicionales, determinando la influencia de la incorporación de aceite reciclado (AR) y Donax Peruvians (DP) en el suelo de la subrasante en la vía LI - 794 Usgarat - Mayday en la provincia de Otuzco, mediante una metodología experimental, aplicativa – explicativa con un enfoque cuantitativo; para ello, se caracterizó el suelo clasificando con tipificación “CL” y “A – 6”, con un índice de plasticidad (IP) de 19.83%, 75.31% de capacidad de absorción capilar (CAP) y 5.50.% de CBR, mientras que con la dosificación óptima se logró mejorar las propiedades a 17.65% de IP, 40.58% de CAP y 23.77% de CBR, llegando a concluir que, la dosificación óptima que mejora en gran medida las propiedades físicas y mecánicas del suelo fue 4% AR – 6%DP, pudiendo pasar de una subrasante con categoría insuficiente a una de muy buena calidad.*

**Palabras clave**-- *Aceite reciclado, Donax Peruvians, Capacidad de absorción capilar, CBR.*

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la estabilización de suelos a resultado ser la solución más practica ante la baja calidad y propiedades insuficientes que presentan los suelos para cumplir con su funcionalidad de subrasante, afectando al sector constructivo y vial de diferentes países [1], dado que la influencia de la geografía, clima y otros agentes influyen directamente en las propiedades físicas y mecánicas del suelo [2]; sumado a la desinformación, falta de interés por la innovación y uso de nuevas tecnologías, expedientes mal elaborados y el ahorro económico de las empresas al emplear materiales o procesos ineducados, ha generado dudas y sobre todo preocupación en todo el mundo, porque se ha perdido el interés por la vida humana y ejecución de buenos proyectos que garanticen la mejoría en la calidad de vida de las personas [3].

En el continente americano, países como Colombia, Bolivia y Ecuador, tiene más del 70% de su territorio en zonas rurales, dificultando el traslado de una zona a otra; debido a la precariedad de las vías que conectan las diversas localidades y sumado el crecimiento poblacional de cada país e inflación económica, genero la migración de distintas familias hacia zonas rurales o alejadas, lo que ocasionó la necesidad de plantear nuevos proyectos viales que satisfagan las necesidades de los habitantes [4]; además, la Asociación

Americana de Ingenieros Civiles indicó que el 1% del PBI debe ser empleado para el mantenimiento de carreteras con la finalidad de evitar pérdidas humanas y económicas, y como el construir una carretera de 1000 metros conlleva gastar 1000 millones independientemente del tipo de pavimento, se ha evidenciado la preocupación de las personas por el mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación de las vías existentes [5].

Por otro lado, la contaminación causada por el derramamiento no controlado de aceite reciclado en países latinos y las causas que generan el almacenamiento inadecuado de este residuo, ocasionan perdidas enormes de un sistema, por ejemplo, el uso minúsculo de aceite reciclado puede contaminar grandes masas de agua y el uso no controlado este contaminante puede ser perjudicial para todo un ecosistema [6] del mismo modo, las Donax Peruvians al ser subproductos que contienen 95% de residuo, este tiende a ser arrojado en botaderos generando la atracción de roedores y animales carroñeros así como la presencia de olores nauseabundos por la descomposición del mismo, ocasión daños irreparables en el medio ambiente [7].

El Perú al ser un país con una gran variedad de climas esto implica una diversidad de suelos, siendo en su mayoría suelos con altos contenidos de material fino (limos y arcillas) tienen a ser más volubles debido a la influencia de los factores climático de cada zona, siendo un clima húmedo o lluvioso el responsable del hinchamiento del suelo, en cambio en clima secos el suelo se contrae por la falta de agua, lo que generaría fallas irreparables en la construcción de vías [8]; también es necesario mencionar que el presupuesto del estado peruano destina gran parte de su economía al mantenimiento de carreteras, como por ejemplo el mantenimiento y mejoramiento de la Carretera Oyón – Ambo necesito más de 1 millón de soles para ejecutar las partidas estipuladas en el expediente [9]; es inaprensible mencionar que el uso no productivo del aceite reciclado es perjudicial para todo un ecosistema, llegando a contaminar cuerpos enteros de agua con pequeñas cantidades de este residuo; también las Donax Peruvians son subproductos obtenidos de la preparación de platos gastronómicos, resultando que el 95% del animal es un residuo llegando contaminar el suelo de una localidad, por la descomposición de las conchas, aparecería roedores y animales carroñeros [10].

La investigación Estabilización de subrasante mediante el uso de aceite reciclado en carretera, circuito cruz de paz palian - el tambo – Huancayo 2017 [11]; planteando como objetivo analizar el efecto del aceite reciclado en el suelo para determinar la incidencia y efectividad del estabilizante; empleando una metodología del tipo aplicada, con un nivel explicativo y diseño experimental que consistió en la evaluación física del suelo, para tipificarla y evaluar su comportamiento con la adición del 2%, 4% y 6% de aceite reciclado; logrando obtener como resultados la clase del suelo perteneciente a “CL”, con una densidad máxima de 1.817 kg/cm<sup>3</sup> y con la máxima dosificación se alcanzó 1.740 kg/cm<sup>3</sup>, respecto a CBR a 0.1” y 95% de densidad se obtuvo 3.05% y 1.78% con la incorporación máxima de estabilizante; llegando a concluir que el uso de aceite reciclado mejor la capacidad de soporte del suelo.

La investigación Estabilización de la subrasante empleando cemento Viaforte y Residuos Calcáreos de Concha de Abanico del Sector Bella Mar – Huanchaquito Bajo, 2021 [12]; plantearon como objetivo determinar la influencia de los estabilizantes por separado en un suelo natural para hallar el grado de incidencia que presente en condiciones controladas, empleando una metodología experimental que consistió en la evaluación del suelo natural y suelo estabilizado con 3%, 6% y 9% de cada estabilizantes; logrado obtener como resultados 3.22% de CBR a 0.1” y 95% de densidad, y un valor máximo de 39.18% con la máxima dosificación de residuos calcáreos y 67.47% con la máxima adición de cemento Viaforte, respecto a la permeabilidad, el suelo natural presento  $2.80 \times 10^{-4}$  cm/s, mientras que el uso de cualquiera de los estabilizadores llega a  $3.44 \times 10^{-5}$  cm/s y  $1.19 \times 10^{-5}$  cm/s, respectivamente con la máxima dosificación, mientras que la compresión no confinada reportó 0.69 kg/cm<sup>2</sup> para el suelo, 1.37 kg/cm<sup>2</sup> y 2.04 kg/cm<sup>2</sup> con el uso de los estabilizantes; pudiendo concluir que el uso de cemento Viaforte y Residuos Calcáreos de Concha de Abanico mejora las propiedades del suelo en gran medida.

El **suelo** constituye un recurso natural limitado y no renovable que proporciona una variedad de servicios, entre ellos, aquellos relacionados con los ecosistemas o el entorno ambiental; y es importante destacar que el suelo representa uno de los recursos fundamentales para la sustentabilidad de la vida en nuestro planeta porque sirve como base esencial para la explotación forestal y agropecuaria, además permite la realización de una serie de actividades socioeconómicas llevadas a cabo por la humanidad [13].

#### A) Clasificación

La categorización de los suelos se llevará a cabo utilizando normativa ASTM D2487 y ASTM D3282, estos sistemas de clasificación facilitan una estimación aproximada del comportamiento de los suelos.

#### B) Propiedades

- Capacidad de Carga.
- Compactación.
- Permeabilidad.
- Estabilidad.

La **estabilización de los suelos** se define como el la optimización y mejoramiento de las propiedades físicas que posee un suelo, esto puede realizarse a través de incorporación de productos químicos o sintéticos, así como procedimientos mecánicos; siendo aplicados especialmente en suelos donde la capa subrasante no posee las propiedades adecuadas para soportar las cargas de una estructura en especifica; razón por la cual es de vital importancia conocer los métodos de estabilización con el fin de mejorar la calidad de las construcciones y evitar fallos prematuros que conlleven a pérdidas económicas y humanas. (MTC, 2014).

#### C) Aceite reciclado

Es de origen refinado o sintético, y es una sustancia residual que ya no puede cumplir con el propósito para el cual fue diseñado, convirtiéndolo en un residuo altamente contaminante debido a las impurezas que presente en su composición, pero pueden ser reciclados para obtener nuevos productos de manera económica como betún asfáltico, pinturas, tintas u otros. (Nuñez, 2005)

Características. Estos son denominados aceites residuales cuando experimentan cambios en sus propiedades físicas y químicas debido al uso continuo.

- Inflamabilidad
- Corrosividad
- Toxicidad
- Reactividad
- Explosividad
- Radioactividad

Tabla I  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE RECICLADO

Elemento	Fong, Bolaños y Tejada, C.	Aguilar, D.
Azufre	1.29 ppm	
Aluminio	16.95 ppm	
Hierro	121.19 ppm	205 ppm
Sodio	216.81 ppm	118 ppm
Zinc	825.56 ppm	1097 ppm
Cobre	14.29 ppm	29 ppm
Silicio	2.27 ppm	
Fosforo	18.37 ppm	931 ppm
Cloro	330 ppm	
Calcio	285.34 ppm	4468 ppm
Sedimentos	0.04 %	
Cenizas	0.709 %	
Cadmio		
Cromo		
Plomo		7535 ppm
Nitrógeno		0.08%
Magnesio		309 ppm
Bario		297 ppm
Potasio		31 ppm

#### D) Donax Peruvians

Llamadas comúnmente como maruchas, estas son una especie de crustáceos decápodos marinos que habitan principalmente en las costas peruanas y poseen una carcasa o concha la cual tiene una dureza considerable; que al igual que otros bivalvos, su carcasa está compuesta básicamente de

componentes orgánicos generados a partir de síntesis metabólica [14].

Composición química. Las Donax Peruvians son bivalvos que tienen entre 1% y 5% de parte comestible, mientras que el 95% al 99% de este animal representa a su carcasa o concha, la cual cuenta con aproximadamente 74.64% CaO, 3.89% SiO<sub>2</sub> y 0.032% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, entre otros componentes principales [15].

A raíz de todo lo mencionado anteriormente se planteó la pregunta de investigación ¿Cuál es la influencia del aceite reciclado y Donax Peruvians en la estabilización de la subrasante en la vía Usgarat - Mayday en la provincia de Otuzco?, como objetivo general se tiene Determinar la influencia del aceite reciclado y Donax Peruvians en la estabilización de la subrasante en la vía Usgarat - Mayday en la provincia de Otuzco y como objetivos específicos: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural, determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con 2%, 4% y 6% de aceite reciclado y Donax Peruvians y determinar un presupuesto tentativo para la estabilización del suelo con la dosificación óptima de aceite reciclado y Donax Peruvians.

Finalmente se plantea la hipótesis general: La influencia del aceite reciclado y Donax Peruvians mejora en 15% la estabilización de la subrasante en la vía Usgarat - Mayday en la provincia de Otuzco.

## II. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es experimental, busca la influencia que tiene un evento, en un ambiente controlado y manipulando de variables para observar el efecto y consecuencias de una problemática en específica [16].

Según el nivel es de tipo aplicada, brinda soluciones eficientes ante problemáticas planteadas con anterioridad, además indica que cualquier incógnita o duda tiene una respuesta que puede conllevar a nuevos conocimientos ante un fenómeno poco convencional, para lograr ello, aplica teorías generales relacionales al problema [17].

De acuerdo al enfoque, este estudio es cuantitativo pues brinda respuestas concisas, basados en protocolos avalados y normalizados por la comunidad científica para la homogenización de resultados [18].

TABLA II  
VARIABLES INDEPENDIENTES Y SUS NIVELES

Variables Independientes	Niveles de Estudio
A: Dosificación de aceite reciclado	2%, 4% y 6%
B: Dosificación de Donax Peruvians	2%, 4% y 6%

TABLA III  
VARIABLE DEPENDIENTE

Variables Dependientes	Niveles de Estudio
------------------------	--------------------

X: Estabilización de la Subrasante

Propiedades Físicas  
Propiedades Mecánicas

La población comprende el suelo extraído de la vía Usgarat - Mayday en la provincia de Otuzco, con un muestreo No Probabilístico.

La muestra está constituida por 30 muestras de suelo obtenidas de 8 calicatas, según el Manual de Carreteras en la sección Suelos y Pavimentos, debe realizarse una calicata por cada kilómetro de carretera.

El número de ensayos que se realizaron al suelo estabilizado se describen en la siguiente tabla, donde D0: Suelo Natural, D1: 2%DP + 2%AR, D2: 4%DP + 2%AR, D3: 6%DP + 2%AR, D4: 2% DP + 4%AR, D5: 4%DP + 4%AR, D6: 6%DP + 4%, D7: AR2%DP + 6%AR, D8: 4%DP + 6%AR, D9: 6%DP + 6%AR .

TABLA IV  
NÚMERO DE ENSAYOS

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Total
Índice de plasticidad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
CBR	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
Ascensión Capilar	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30

### A) Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica empleada para este estudio fue la observación directa porque se visualizó y realizó la recolección de datos mediante protocolos de laboratorio, lo cual facilitó la obtención de información necesaria para este estudio.

La presente investigación, utilizó fichas de observación elaboradas en base a los protocolos brindados por Universidad Privada del Norte, y son usadas para recolectar los datos y resultados, producto de la ejecución de los ensayos de laboratorio del suelo natural y estabilizado.

El análisis de datos comprendió el uso de las normativas vigentes brindadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Ensayo de Materiales publicado en mayo del 2016, para la reelección de datos y uso de ecuación para el cálculo de resultados, así como la utilización del software Microsoft Excel porque es fácil de usar para realizar cálculos y gráficos representativos, también se empleó el Software "SPSS" dado que determina de manera rápida y concisa la relación entre las variables de un estudio. Y como para este estudio se empleó las normas vigentes y los tamaños de muestras recomendadas por el manual de carreteras y manual de ensayos de materiales, se estaría brindando la confiabilidad necesaria en el presente estudio.

### B) Procedimiento

La vía en estudio tiene longitud de 9.10 km, cuya carretera conecta los caseríos de Usarat y Mayday pertenecientes a la provincia de Otuzco.

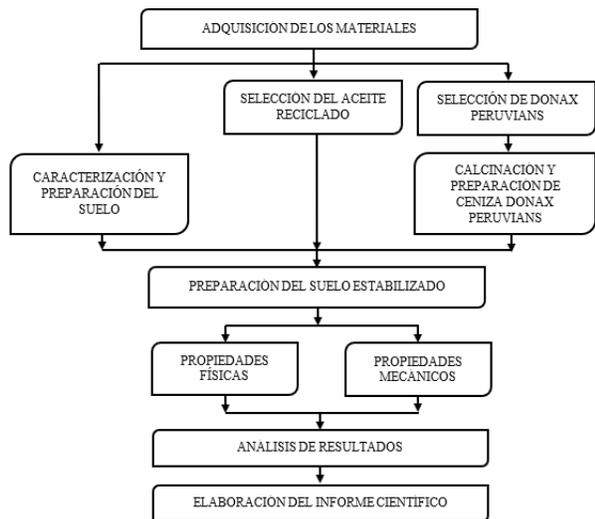


Fig. 1 Procedimiento experimental

Paso 1: Adquisición de los materiales. El suelo fue extraído de las 8 calicatas, la cantidad de calicatas fue determinada según el tipo de vía basado en el Manual de Carreteras.

TABLA V  
COORDENADAS DE CALICATAS

Calicatas	Coordenada
C - 01	7°56'3.21"S - 78°31'31.11"O
C - 02	7°55'51.22"S - 78°31'9.46"O
C - 03	7°55'40.14"S - 78°30'42.12"O
C - 04	7°55'42.11"S - 78°30'15.12"O
C - 05	7°55'41.94"S - 78°29'44.72"O
C - 06	7°55'29.64"S - 78°29'49.12"O
C - 07	7°55'12.30"S - 78°29'53.61"O
C - 08	7°54'47.04"S - 78°29'40.71"O

La obtención del aceite reciclado se realizó en el caserío de Mayday y la ciudad de Otuzco durante 3 semanas.

Las Donax Peruvians se obtuvieron de 4 restaurantes gastronómicos de mariscos en la ciudad de Trujillo, por un periodo de 4 semanas.

Paso 2: Caracterización y preparación del suelo

a) Contenido de humedad de un suelo

Para este ensayo se tomó como base la normativa MTC E 108, la humedad del suelo fue determinada aplicando la siguiente ecuación.

b) Análisis Granulométrico de suelos por tamizado

Para este ensayo se tomó como base la normativa MTC E 107.

c) Límite líquido de suelos

Para este ensayo se tomó como base la normativa MTC E 110, la cual recomienda usar una masa mayor o igual a 200 gramos de suelo;

d) Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad

Para este ensayo se tomó como base la normativa MTC E 111, la indica que el valor del índice de plasticidad se determina con la diferencia de los límites del suelo

Paso 3: Selección del aceite reciclado

Paso 4: Selección, Calcinación y preparación de ceniza Donax Peruvians, fue necesario triturar con ayuda de un martillo de goma hasta obtener una granulometría fina, con una pequeña porción, se realizó el ensayo de análisis térmico diferencial, el cual determinó la temperatura de calcinación de las Donax Peruvians, posterior a ello, se calcinó toda la muestra de las conchas en el horno, para luego de enfriar ser tamizado por la malla N° 200 y así se almaceno en bolsas hermética para evitar la absorción de humedad.

Paso 5: Preparación del suelo, fue necesario secar al aire libre por 7 días para perder la máxima humedad posible, posteriormente en grandes porciones fueran secadas en el horno a  $110 \pm 5$  °C para perder la humedad restante, del mismo modo con las cenizas de Donax Peruvians y aceite reciclado, se mezcló el uso hasta obtener un material homogéneo con diferentes cantidades de estos estabilizantes, en base a la siguiente tabla.

TABLA VI  
DOSIFICACIONES DEL ESTUDIO

		Donax Peruvians (DP)					
		2%		4%		6%	
Aceite Reciclado (AR)	2%	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con
		2% DP + 2% AR	2% DP + 4% AR	2% DP + 6% AR	4% DP + 2% AR	4% DP + 4% AR	4% DP + 6% AR
	4%	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con
		4% DP + 2% AR	4% DP + 4% AR	4% DP + 6% AR	6% DP + 2% AR	6% DP + 4% AR	6% DP + 6% AR
	6%	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con	Suelo con
		6% DP + 2% AR	6% DP + 4% AR	6% DP + 6% AR			

Paso 6: Propiedades físicas con estabilizante. Se realizó el ensayo de Índice de plasticidad, utilizando las normativas MTC E 110 y E 111 y para la Ascensión capilar se tomó como base la normativa UNE EN 1015 – 18,

Paso 7: Propiedades mecánicas, se realizó el ensayo de Proctor modificado (MTC E 115) y Capacidad de soporte CBR, para este ensayo se tomó como base la normativa MTC E 132, la cual recomienda usar un suelo seco y tamizado por la malla 3/4" [19].

C) Análisis de resultados.

Consistió en evaluar los resultados mediante normativas vigentes para garantizar la validez y fiabilidad de los valores obtenidos en cada ensayo realizado.

El análisis estadístico de los resultados, comprendió la corroboración de la prueba de normalidad en los datos y compararlos con el P de 0.05, luego se determinó el análisis de varianza o conocido como ANOVA, para validar la hipótesis, todo ello con una confiabilidad estadística del 95%.

D) Aspectos éticos

El presente estudio es auténtico y se han citando y referenciado a todos los autores de los cuales se ha recogido información. Así mismo la obtención de materiales se realizó con la autorización de los pobladores y respetando el medio ambiente y de origen.

### III. RESULTADOS

#### A) Contenido de humedad de un suelo

El contenido de humedad fue determinado con el suelo natural extraído de cada calicata, por lo que en la siguiente tabla se muestra los valores obtenidos luego del ensayo.

TABLA VII  
CONTENIDOS DE HUMEDAD

Punto de exploración	Repetición	Humedad (%)	Promedio (%)
C 01	1	10.48	10.33
	2	10.18	
	3	10.33	
C 02	1	10.61	10.58
	2	10.84	
	3	10.29	
C 03	1	10.03	10.42
	2	10.65	
	3	10.57	
C 04	1	10.70	10.66
	2	10.52	
	3	10.76	
C 05	1	10.43	10.58
	2	10.72	
	3	10.58	
C 06	1	11.05	10.81
	2	10.63	
	3	10.76	
C 07	1	10.92	10.92
	2	10.28	
	3	10.67	
C 08	1	11.24	11.44
	2	11.91	
	3	11.16	

#### B) Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado fue determinado con el suelo natural extraído de cada calicata, por lo que en la siguiente figura muestra la distribución granulométrica de este.

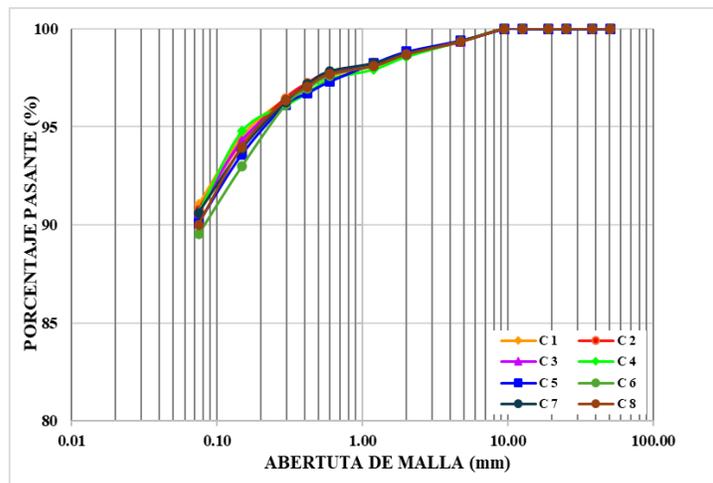


Fig. 2 Curva granulométrica

#### Análisis granulométrico por medio del hidrómetro

El análisis granulométrico usando el hidrométrico, fue realizado como ensayo complementario para determinar la cantidad de arcilla y limo presente en el suelo natural, dicho ensayo fue realizado una sola vez por cada calicata, por lo que en complemento con el análisis granulométrico se muestra la siguiente tabla.

TABLA VIII  
COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO

Punto de exploración	Análisis granulométrico (%)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
C 01	0.64	8.31	47.55	43.5
C 02	0.67	8.54	45.8	45
C 03	0.65	8.7	45.15	45.5
C 04	0.65	8.71	44.14	46.5
C 05	0.58	9.31	44.61	45.5
C 06	0.64	9.82	42.54	47
C 07	0.65	8.74	44.12	46.5
C 08	0.67	9.32	43.51	46.5

#### C) Límites de consistencia

Los límites de consistencia consisten en el cálculo del límite líquido y plástico el suelo natural, con los cuales se determinó el índice de plasticidad producto de la diferencia de ambos límites, por lo que en la siguiente tabla se muestra dichos valores.

TABLA IX  
LÍMITES DE CONSISTENCIA

Punto de exploración	Repetición	LL	LP	IP	Promedio IP
C 01	1	37.74%	17.92%	19.82%	19.83%
	2	37.73%	17.78%	19.95%	
	3	37.54%	17.80%	19.74%	
C 02	1	37.32%	17.64%	19.68%	19.83%
	2	37.50%	17.54%	19.96%	
	3	37.85%	18.01%	19.85%	
C 03	1	38.00%	18.02%	19.98%	19.86%
	2	38.21%	18.34%	19.87%	
	3	37.70%	17.97%	19.73%	
C 04	1	37.98%	18.25%	19.73%	19.34%
	2	37.72%	17.90%	19.82%	
	3	38.20%	19.73%	18.47%	
C 05	1	38.12%	18.17%	19.95%	19.93%
	2	37.60%	17.67%	19.92%	
	3	37.08%	17.15%	19.93%	
C 06	1	38.07%	18.28%	19.79%	19.88%
	2	38.13%	18.10%	20.03%	
	3	37.54%	17.71%	19.84%	
C 07	1	38.06%	18.17%	19.89%	19.90%
	2	37.53%	17.78%	19.75%	
	3	38.01%	17.96%	20.05%	
C 08	1	38.28%	18.35%	19.92%	19.86%
	2	37.87%	18.21%	19.66%	
	3	38.36%	18.37%	19.99%	

D) Clasificación del suelo

**Clasificación SUCS**

Para la clasificación SUCS fue necesario determinar la granulometría del suelo para determinar si es un suelo granular y cohesivo, posteriormente se calculó los límites de consistencia y con ayuda de la carta de plasticidad se determinó el tipo de suelo mostrado en la siguiente figura.

En base a la clasificación SUCS se determinó que el suelo pertenece a la división principal de suelos cohesivos con un símbolo de grupo "CL" y nombre típico Arcilla inorgánica de plasticidad media.

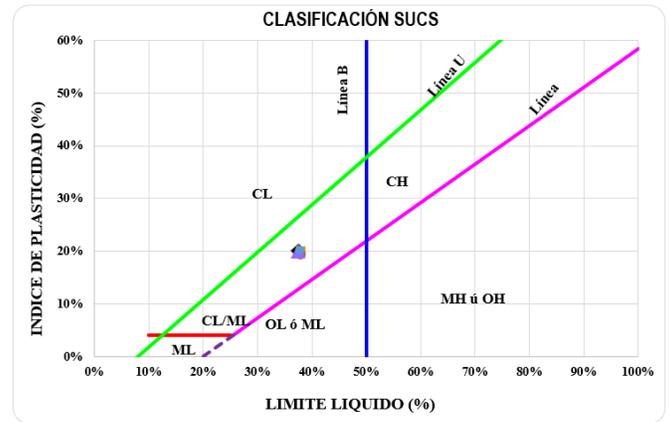


Fig. 3 Clasificación SUCS

**Clasificación AASHTO**

Se determinó con la diferencia del límite líquido y plástico del suelo estabilizado, mediante la siguiente tabla.

TABLA X  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Dosificación	Repetición	Índice Plasticidad
Suelo Natural	Promedio	19.83%
	1	20.27%
2 AR - 2 DP	2	20.50%
	3	19.75%
	1	20.72%
2 AR - 4 DP	2	20.86%
	3	20.34%
	1	19.32%
2 AR - 6 DP	2	19.15%
	3	19.30%
	1	18.95%
4 AR - 2 DP	2	19.06%
	3	19.20%
	1	17.17%
4 AR - 4 DP	2	16.94%
	3	16.74%
	1	17.86%
4 AR - 6 DP	2	17.35%
	3	17.74%
	1	17.80%
6 AR - 2 DP	2	17.75%
	3	17.64%
	1	17.47%
6 AR - 4 DP	2	17.35%
	3	17.55%
	1	14.87%
6 AR - 6 DP	2	14.93%
	3	14.62%

En la Fig. 4, se presenta los valores promedios del índice de plasticidad para el suelo natural y estabilizado, cuya propiedad disminuye conforme aumenta la cantidad de ceniza de marucha hasta reducir el valor inicial de 19.83% a 14.81%.

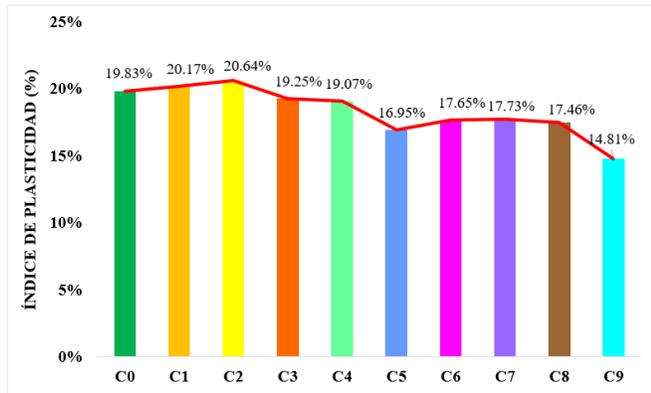


Fig. 4 Promedios de Índice de plasticidad

En la Fig. 5, se presenta los valores promedios de la absorción capilar del suelo natural y estabilizado, cuya propiedad disminuye en gran medida con la adición de ambos componentes desde 75% hasta 25% con el 6% aceite reciclado y 2% Donax Peruvians.

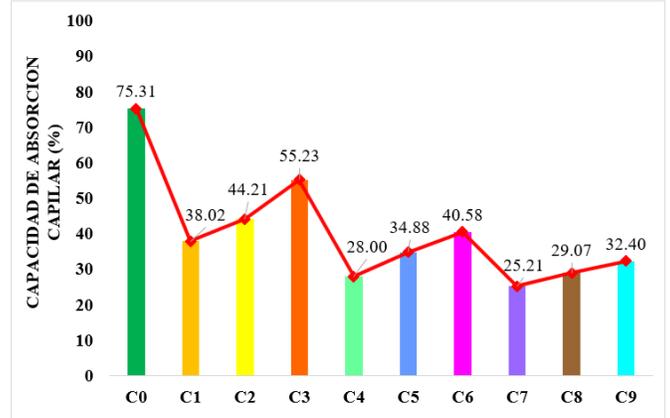


Fig. 5 Promedios de la capacidad de absorción capilar

### Capacidad de absorción capilar

TABLA XI  
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CAPILAR

Dosificación	Repetición	Capacidad de Absorción Capilar (%)
Suelo Natural	1	74.96
	2	75.59
	3	75.38
2 AR - 2 DP	1	37.34
	2	38.26
	3	38.45
2 AR - 4 DP	1	44.28
	2	43.84
	3	44.5
2 AR - 6 DP	1	54.85
	2	55.09
	3	55.74
4 AR - 2 DP	1	28.14
	2	27.55
	3	28.3
4 AR - 4 DP	1	35.33
	2	34.98
	3	34.33
4 AR - 6 DP	1	40.18
	2	40.42
	3	41.12
6 AR - 2 DP	1	25.07
	2	25.11
	3	25.46
6 AR - 4 DP	1	29.05
	2	28.87
	3	29.29
6 AR - 6 DP	1	31.99
	2	33.12
	3	32.1

### Proctor Modificado

TABLA XII  
PROCTOR MODIFICADO

Dosificación	Repetición	Densidad Máxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)
Suelo Natural	1	1.352	7.3
	2	1.355	7.2
	3	1.356	7.45
2 AR - 2 DP	1	1.414	11.15
	2	1.402	11
	3	1.405	10.8
2 AR - 4 DP	1	1.509	13.1
	2	1.503	13.1
	3	1.502	13.05
2 AR - 6 DP	1	1.603	14.15
	2	1.605	14.2
	3	1.603	14.2
4 AR - 2 DP	1	1.432	11.32
	2	1.437	11.2
	3	1.435	11.25
4 AR - 4 DP	1	1.523	13.1
	2	1.519	12.9
	3	1.525	13
4 AR - 6 DP	1	1.63	15.2
	2	1.63	15.32
	3	1.633	15.05
6 AR - 2 DP	1	1.455	11.8
	2	1.457	11.9
	3	1.459	11.89
6 AR - 4 DP	1	1.546	13.78
	2	1.554	13.4
	3	1.554	13.55
6 AR - 6 DP	1	1.659	15.56
	2	1.661	15.62
	3	1.66	15.75

En la Figura 6, se presenta los valores promedios de la densidad máxima seca del suelo natural y estabilizado, cuya propiedad aumenta conforme aumenta la cantidad de aceite reciclado y Donax Peruvians desde 1.35 g/cm<sup>3</sup> hasta 1.66 g/cm<sup>3</sup>.

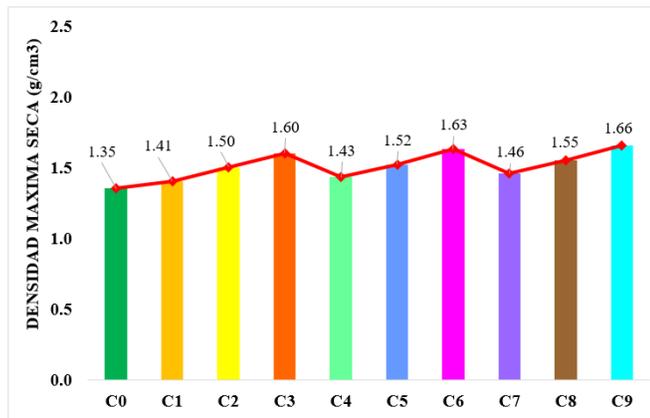


Fig. 6 Promedios de densidad máxima seca

TABLA XIII  
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

Dosificación	Repetición	CBR
Suelo Natural	1	5.17
	2	5.27
	3	6.07
2 AR - 2 DP	1	7.47
	2	7.57
	3	7.4
2 AR - 4 DP	1	13.19
	2	13.74
	3	13.87
2 AR - 6 DP	1	20.06
	2	20.26
	3	20.12
4 AR - 2 DP	1	8.65
	2	9.07
	3	9.62
4 AR - 4 DP	1	15.6
	2	15.98
	3	15.57
4 AR - 6 DP	1	23.08
	2	24.48
	3	23.75
6 AR - 2 DP	1	11.87
	2	12.29
	3	12.01
6 AR - 4 DP	1	17.41
	2	17.36
	3	17.68
6 AR - 6 DP	1	22.94
	2	22.85
	3	22.52

En la Figura 7, se presenta los valores promedios de CBR del suelo natural y estabilizado, cuya propiedad aumenta conforme aumenta la cantidad de aceite reciclado y Donax

Peruvians; cabe mencionar que el valor CBR representativo del ensayo pertenece al de 0.1” de penetración y al 95% de densidad.

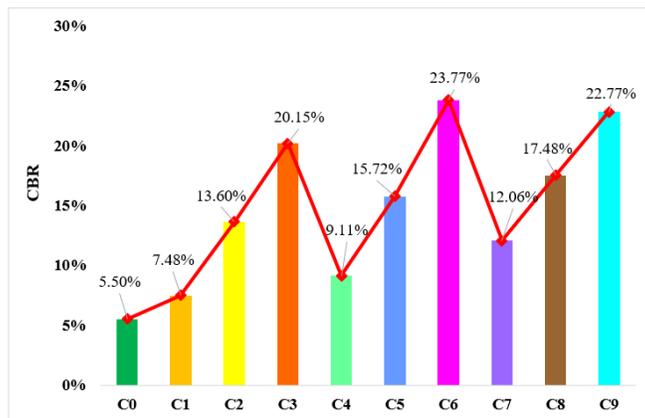


Fig. 7 Promedios de CBR al 95% de DMS

En la tabla 14, se muestra el presupuesto tentativo de aplicación de Donax Peruvian y Aceite Reciclado por m<sup>2</sup>, obteniendo un costo unitario de 14.42 soles.

TABLA XIV  
ANÁLISIS DE COSTO

Partida: Rendimiento: 1800 m<sup>3</sup>/Día  
Costo unitario por m<sup>2</sup> 14.42

Código	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>						
1	Peón	hh	4	0.0178	8.36	0.15
2	Operario	hh	1	0.0044	13.68	0.06
<b>MATERIALES</b>						
1	Donax Peruvian	kg	-	18	0.5	9
2	Aceite Reciclado	lt	-	12	0.21	2.52
3	Aceite Reciclado	m3	-	0.027	8	0.22
<b>EQUIPO</b>						
1	Herramientas Manuales	%mo	-	3	0.21	0.01
2	Camión cisterna 4 x 2 (agua) 1,500 gl	hm	1	0.0044	181.04	0.8
3	Motoniveladora de 125 hp	hm	1	0.0044	240	1.06
4	Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 10-12t	hm	1	0.0044	135.59	0.6

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la Fig. 7 se muestran los resultados de CBR del suelo estabilizado, observando que a mayor cantidad de ambos estabilizantes el CBR aumenta considerablemente a comparación del suelo natural, esto **concuerd**a con el estudio realizado por Tuscano quien determinó la influencia del aceite reciclado sobre el suelo natural, mejorando el CBR de 3.05% a 8.51% con el 4% de estabilizante, Salcedo analizó el uso de cenizas de conchas de abanico como estabilizantes, logrando mejorar el CBR inicial de 20.75% a 45% con el 4% de este compuesto, del mismo modo Peña, Sifuentes y Sagastegui demostraron que el uso de ceniza de concha de abanico mejora la capacidad de CBR incrementando el valor de 3.06% a 39.22% con 9% de esta ceniza; el gran aumento de CBR puede atribuirse directamente a la composición química de las Donax Peruvians, dado que al tener mayor del 80% óxido de calcio funciona como cal o cemento, que al entrar en contacto con el suelo e incorporando agua se genera una reacción exotérmica que endurece al suelo de manera química debido al intercambio de iones entre el suelo y CaO, por otro lado, la ceniza de este material calcáreo tiene un tamaño de partícula fina, lo que se mezcla homogéneamente con el suelo dado que este tiene más del 90% de su composición físicas a limos y arcillas.

#### Conclusiones

Con la adición 4%AR – 6%DP se logra mejorar el índice de plasticidad reduciendo en 5.02% con respecto al suelo natural, así mismo la absorción capilar disminuyó en un 50.10% con respecto al suelo sin estabilizantes y finalmente el CBR hubo un aumento del 18.27% comprobándose de esta manera la hipótesis planteada.

Se determinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural, obteniendo una humedad promedio de 10.72% con 90.43% de material fino con tamaño de partícula menor a 0.075 mm e índice de plasticidad de 19.83%, logrando clasificar al suelo como un material de tipificación “CL” y “A – 6”, con capacidad de absorción capilar de 75.31%, densidad máxima seca 1.35 g/cm<sup>3</sup> y CBR de 5.50% al 95% de densidad y 0.1” de penetración.

Se determinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con 2%, 4% y 6% de aceite reciclado y Donax Peruvians, resultando que el índice de plasticidad disminuyó de 19.83% a 14.81% con la proporción 6% aceite reciclado – 6% Donax Peruvians, respecto a la capacidad de absorción capilar esta también disminuyó de 75.31% hasta 25.21% con relación 2% aceite reciclado – 6% Donax Peruvians, mientras que para el CBR el valor inicial de 5.50% logró incrementarse hasta 23.77% con la incorporación de 4% aceite reciclado – 6% Donax Peruvians.

Se determinó un presupuesto tentativo para la estabilización del suelo con la dosificación óptima de aceite reciclado y Donax Peruvians, llegando a indicar mediante un análisis de costos que son necesarios S/. 14.42 por metro cuadrado para la estabilización del suelo.

#### REFERENCIAS

- [1] Kumar, A., Gaurav, K., Kishor, R. y Suman, S. (2017). *Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads*. International Journal of Pavement Research and Technology, 10(3), 254-261. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.02.001>
- [2] Goñas, O., Y Saldaña, J. (2020). *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada*. Ciencias Naturales E Ingeniería, 3(1), 30–35. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589>
- [3] Morales, E. y Pailacura, C. (2019). Estudio del comportamiento de una carpeta de rodado estabilizada con cloruro de calcio. Obras y proyectos, 26, 27-36.
- [4] Valdez, F. (2022). El aceite sulfonado en la estabilización de la subrasante en el Tramo Quilcas – Colpar de la provincia Huancayo. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.
- [5] Requejo, R. (2020). Estabilización de suelos arenosos utilizando Oryza Sativa (arroz), Pueblo Joven Las Dunas – Lambayeque- Perú 2019. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Señor de Sipán, Piura – Perú
- [6] Gireesh, P. y Harika, S. (2021). *Stabilization of expansive subgrade soil by using fly ash*. Materials Today: Proceedings, 45(7), 6558-6562. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.469>
- [7] Berrú, P y Uribe, R. (2014). Sinopsis biológico-pesquera de la marucha Donax Obesulus Reeve, 1854 en el litoral de Ancash (Bahía Samanco), 2001-2009. Informe del Instituto del Mar del Perú, Volumen 41, Números 1-4
- [8] Bustamante, R. y Merma, L. (2022). *Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando PET al 2%, 4% y 6% en Caminos No Asfaltados*. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.45>
- [9] CESEL INGENIEROS (2017). Fraccionamiento y actualización del presupuesto del estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera Oyón- Tambo. Oyón: S.N., marzo - 2017. Estudios básicos topográficos, trazo y diseño vial, Volumen II, Tomo I. Ministerio de transporte y comunicaciones.
- [10] Instituto del Mar del Perú (2009). Estudio de línea base en el ámbito marino de bahía de Samanco.
- [11] Tuscano, M. (2017). Estabilización de subrasante mediante el uso de aceite reciclado en carretera, circuito cruz de paz palian - el tambo – Huancayo 2017. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Alas Peruanas, Huancayo, Perú.
- [12] Peña, M., Sifuentes, N. y Sagastegui, G. (2021). Estabilización de la subrasante empleando cemento Víaforce y Residuos Calcáreos de Concha de Abanico del Sector Bella Mar – Huanchaquito Bajo, 2021. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.283>
- [13] Burbano, H. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. Revista de Ciencias Agrícolas, 33(2), 117-124. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- [14] Ramírez, R., Paredes, C. y Arenas, J. (2003). *Moluscos del Perú*. Revista de Biología Tropical, 51(3), 225-284.
- [15] Mori, C. (2020). Capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba – Sihuas con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (donax obesulus). (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil) Universidad San Pedro, Chimbote, Perú.
- [16] Fernández, C. y Baptista, P. (2014) *Metodología de la investigación*. 6ta edición. McGRAW-HILL
- [17] Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. 3 era edición. Grupo Editorial Patria.
- [18] Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. 3era edición. Pearson Educación.
- [19] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.