

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0085>

MEJORAMIENTO DE MATERIAL GRANULAR CON CEMENTO TIPO MH Y AGREGADOS FINOS DE ARENA DE PLAYA PROVENIENTE DE LA COSTA EN LA PROVINCIA MANABÍ

IMPROVEMENT OF GRANULAR MATERIAL WITH TYPE MH CEMENT AND FINE AGGREGATES OF BEACH SAND FROM THE COAST IN THE MANABÍ PROVINCE

Morales-Hidalgo Johanna Patricia ¹; Ortiz-Hernández Eduardo Humberto ²;
Intriago-Álava Carlos Igor ³

¹ Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.
Correo: jmorales8388@utm.edu.ec.

² Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.
Correo: eduardo.ortiz@utm.edu.ec.

³ Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.
Correo: cintriago7660@utm.edu.ec.

Resumen

La presente investigación se desarrolló con el propósito de caracterizar las arenas de mar de las playas ubicadas en el perfil costero de la provincia de Manabí, para determinar si es factible su uso en la combinación con material granular tipo sub-base cumpliendo con las especificaciones de las normas del INEN para proyectos de obras civiles. A la arena de mar estudiada se le realizaron ensayos de granulometría, humedad natural y gravedad específica para posteriormente combinarla granulométricamente con el material granular tipo sub-base proveniente de una cantera ubicada en el cantón de Montecristi. La dosificación para estabilizar la sub-base se desarrolló empleando 10% de arena de mar de Puerto Cayo añadiendo 3, 4 y 5% de cemento Holcim Base Vial Tipo MH. Para analizar el comportamiento mecánico de este tipo de mezclas, se realizaron ensayos de Proctor Modificado y CBR (California Bearing Ratio) que permitieron evidenciar resultados favorables con respecto a la capacidad resistente del material granular tipo sub-base ya que al añadirle un 10% de arena de mar de Puerto Cayo y 5% de cemento tipo MH, aumentó significativamente el CBR del material granular de cantera, alcanzando valores de 33.2% al 150%.

Palabras clave: Arena de mar, Sub-base granular, Granulometría, Capacidad Portante de Suelo (CBR), Cemento Tipo MH.

Abstract

The present investigation was developed with the purpose of characterizing the sea sands of the beaches located in the coastal profile of the province of Manabí, to determine if it is feasible to combine it with sub-base type granular material, fulfilling the specification of INEN standards for civil works projects. The sea sand studied underwent granulometry, natural humidity and specific gravity tests to later combine it granulometrically with the sub-base type granular material from a quarry located in the canton of Montecristi. The dosage to stabilize the sub-base was developed using 10% sea sand from Puerto Cayo adding 3, 4 and 5% Holcim Base Vial Type MH cement.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 09 de diciembre de 2022.

Fecha de aceptación: 03 de febrero de 2023.

Fecha de publicación: 27 de febrero de 2023.



To analyze the mechanical behavior of this type of mixtures, Modified Proctor and CBR (California Bearing Ratio) tests were carried out, which allowed us to show favorable results regarding the resistant capacity of the sub-base type granular material, since by adding 10% of sea sand from Puerto Cayo and 5% MH type cement, the CBR of the quarry granular material, significantly increased reaching values from 33.2% to 150%.

Keywords: Sea sand, Granular sub-base, Granulometry, California Bearing Ratio (CBR), Type MH Cement.

1. Introducción

Los principales componentes que conforman las capas de pavimentos viales son los materiales granulares, los cuales están compuesto por base, sub-base y material de mejoramiento. En África, Australia y Brasil la arena natural ha sido utilizada satisfactoriamente como agregado fino para estabilizar los materiales granulares en proyectos viales (Pinard, Paige-Green, Mukura, & Motswagole, 2013). El correcto estudio y tratamiento del material granular, por ende, de la base y la sub-base de un proyecto vial, determina la eficiencia y durabilidad de la vía en la construcción.

Las carreteras del Ecuador se han caracterizado por su rápido deterioro que en muchos casos se debe a un mal estudio de suelo o la pobre selección y tratamiento de la base o subbase que la conforman

(Zambrano Meza & Tejeda Piusseaut, 2019). Hay casos en los que es indispensable mejorar el material granular a emplearse para que la vía pueda resistir las tensiones provocadas por las cargas de tránsito a las que estaría sometida durante su periodo de diseño (Bahamondes, Echaveguren, & Vargas-Tejeda, 2013).

Cumplir con parámetros granulométricos es requisito para que una subbase sea considerada apta para ser empleada en la construcción vial. Manabí cuenta con más de 350 km de playa por lo que la arena de mar es muy abundante, siendo esta una de las alternativas principales para la obtención de agregado fino al estar combinada con materiales como material seleccionado o mejoramiento, sub-base granular y base granular.

La sub-base por tener mayor tamaño, actúa como capa de drenaje

controlando también los cambios de volumen y elasticidad en que puedan repercutir en la estructura del pavimento (Ruiz Brito, 2011). La deficiencia de una vía puede darse por la falta de materiales adecuados que puedan soportar las cargas a consecuencia de las intensidades del tráfico o factores climáticos (Panchana, Ortiz, Ruiz, & Calderero, 2020)

Actualmente, la empresa Holcim cuenta con el cemento Holcim Base Vial Tipo MH el cual ha sido diseñado para estabilizar base granular permitiendo que soporten las cargas sobre las vías y aumente su vida útil.

Es por ello que se desarrolla esta investigación que nos permita analizar el comportamiento mecánico del material producto de una combinación granulométrica con arenas de mar y material granular tipo sub-base de cantera, ambas provenientes de la provincia Manabí y posteriormente, se procedió a su estabilización con cemento Holcim Base Vial tipo MH.

2. Materiales y métodos

La investigación se realizó con un enfoque cuantitativo-exploratorio debido a que se recopilaron diferentes tipos de muestras de arena de mar en distintas playas en la costa de Manabí. Posteriormente tomó un enfoque experimental al realizar la combinación entre el material granular catalogado como sub-base y el cemento Holcim Base Vial Tipo MH.

Fase 1: Estudio de las arenas de mar de cinco playas en la costa de Manabí.

- Identificación de las zonas de cinco arenas de playas provenientes de Pedernales, Jama, Bahía de Caráquez, Manta y Puerto Cayo, pertenecientes al perfil costero de la provincia de Manabí.
- Recolección de las muestras de arenas de las cinco playas
- Elaboración de ensayos de laboratorio.
 - Humedad natural (ASTM D2216, 2019)
 - Granulometría (ASTM C136, 2020)

- Gravedad Específica (ASTM C127, 2016)
- Análisis de resultados.
 - Determinación del coeficiente de uniformidad, coeficiente de curvatura y módulo de finura de las arenas de playa (ASTM C33, 2018)
 - Elaboración de tablas y gráficos que muestran la comparación de las distintas arenas de playa.
 - Selección de la arena de playa conveniente para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del material de subbase granular.

Fase 2: Estudio del material granular proveniente de cantera.

- Selección de cantera ubicada dentro de un radio de 50 km de la playa elegida en la Fase 1.
- Recolección de muestras de material granular que dispone la cantera seleccionada (Sub-base).
- Elaboración de ensayos de laboratorio.
 - Granulometría (ASTM C136, 2020)
 - Humedad natural (ASTM D2216, 2019)

- Desgaste a los sulfatos (ASTM C88, 2018)
- Ensayo de abrasión, Máquina los Ángeles (ASTM C131, 2020)
- Compactación, Proctor modificado (ASTM D1557, 2021)
- CBR (ASTM D1883, 2021)
- Análisis de resultados
 - Clasificación AASHTO y descripción del material granular de la cantera, catalogado como sub-base granular.
 - Elaboración de tablas y gráficos de resumen del material granular analizado.
 - Comparación con las especificaciones de las Normas Técnicas del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2002) para sub-base granular.

Fase 3: Mejoramiento del material granular por medio de combinación granulométrica con la arena de mar y estabilización con el cemento Holcim Base Vial Tipo MH.

- Determinación de los porcentajes de arena y de cemento tipo MH a añadir al

material granular para cumplir con su dosificación óptima.

- Preparación de las muestras incorporando la arena de mar y cemento tipo MH en el material granular con los tres porcentajes establecidos.
- Elaboración de ensayos de laboratorio.
 - Compactación, Proctor modificado (ASTM D1557, 2021)
 - CBR (ASTM D1883, 2021)
- Análisis de resultados.

3. Resultados

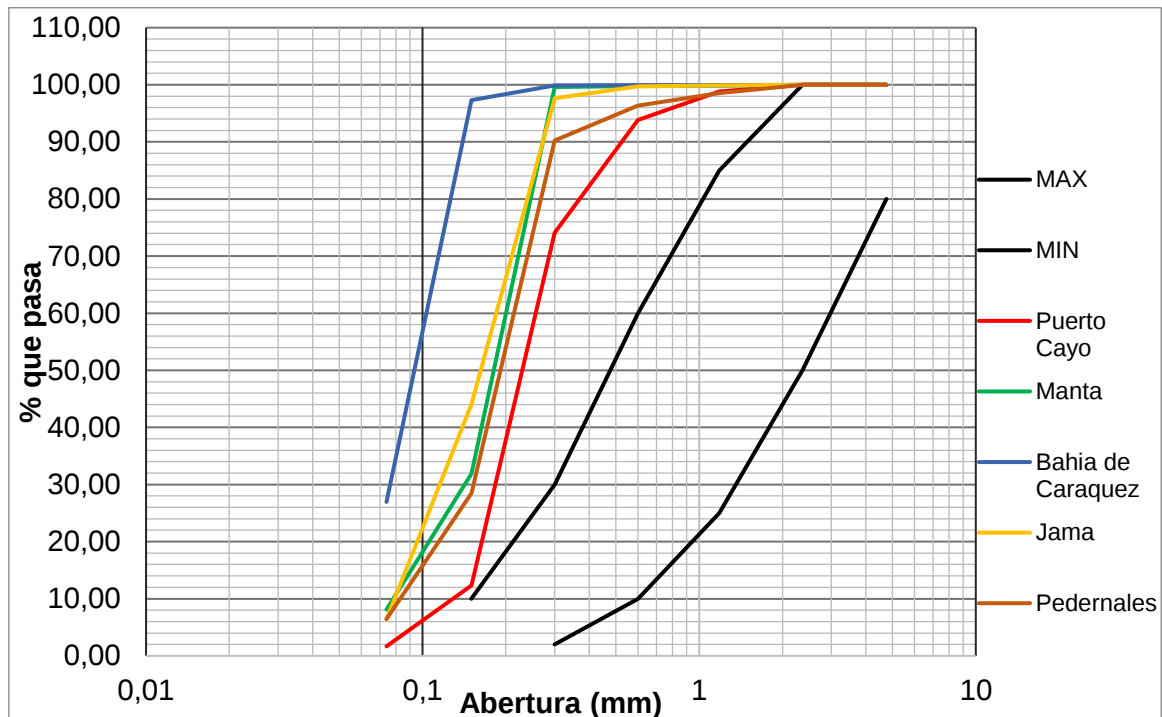
Arena de mar

La arena de mar es el resultado de un largo proceso de descomposición y erosión en el que interviene las olas y rocas que rodean a cada playa (Sanjuan, 2021), por ende, se puede decir que toda playa tiene su singular formación de arena. En la tabla 1 se resumen la granulometría de las arenas en las cinco zonas de la costa de Manabí bajo la norma (ASTM C136, 2020). En la figura 1 se ilustra la granulometría tomando en consideración los límites máximos y mínimos especificados por la (MOP, 2002).

Tabla 1. *Granulometría de arenas de playas de Manabí*

Arena de playa						
		Puerto Cayo	Manta	Bahía de Caráquez	Jama	Pedernales
Tamiz	mm	% que pasa				
3/8	4.75	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
N°8	2.36	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
N° 16	1.18	98.80	99.85	99.97	99.90	98.55
N°30	0.6	93.82	99.75	99.92	99.69	96.35
N°50	0.3	74.13	99.60	99.89	97.66	90.22
N°100	0.15	12.32	31.88	97.29	44.05	28.49
N°200	0.074	1.67	8.11	26.96	6.40	6.45
Pasa 200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 1. Granulometría de arenas de playas de Manabí con respecto a los límites máximos y mínimos del (MOP, 2002)



En la tabla 2 se realiza una comparación de las propiedades físicas de las cinco arenas estudiadas basado en los métodos de ensayo indicados por la norma INEN. De las diferentes playas analizadas, la arena de Puerto Cayo destaca por su módulo de finura el cual es 2.19, al aproximarse a la

norma (ASTM C33, 2018), y su coeficiente de curvatura de 1.09 evidencia ser arena bien graduada. Por lo mencionado anteriormente, la arena de Puerto Cayo es la seleccionada para utilizarla en la combinación granulométrica del material de sub-base granular.

Tabla 2. Caracterización de arenas de playas de Manabí

	Arena de playa				
	Puerto Cayo	Manta	Bahía de Caraquez	Jama	Pedernales
Coefficiente de Uniformidad	1.96	2.50	-	2.24	2.47
Coefficiente de Curvatura	1.09	1.23	-	0.82	1.35
Módulo de Finura	2.19	1.61	0.76	1.52	1.80
% de Humedad Natural	2.68	1.85	1.08	0.41	4.92
Gravedad Específica	2.20	2.77	2.69	2.52	2.64
Porcentaje de Absorción	0.29	0.80	1.40	5.39	2.03

Material granular de cantera

Aproximadamente a 35 km de la playa de Puerto Cayo, se encuentran varias canteras que extraen material sedimentario de las formaciones provenientes al cantón de Montecristi para utilizarlas en el mejoramiento o material seleccionado empleado en carreteras.

Las canteras provenientes del cantón de Montecristi cuentan con gran variedad de materiales granulares destinados a la venta, para efectos de esta investigación una de estas fuentes de material nos

proporcionó material catalogado por ellos como sub-base granular. En el laboratorio SUELCON & ASF se procedió a realizar una serie de ensayos de acuerdo con las Especificaciones del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2002) para conocer la calidad del material suministrado y a la vez clasificarlo mediante la norma AASHTO. La tabla 3 ilustra los resultados de los ensayos de laboratorio de la muestra de la sub-base granular, sin mezclar con finos, para los cuales se determinaron el límite líquido, límite plástico y ensayos granulométricos.

Tabla 3. Granulometría para material granular tipo sub-base de Cantera del cantón de Montecristi

Características para clasificación de suelos	
Índice plástico	14
Límite líquido	39
% pasa tamiz 200	15.6
Clasificación ASSHTO	A-2-6

De igual manera, se realizó una caracterización del material para comprobar que cumpla con los requerimientos de una sub-base según los lineamientos de las INEN. Entre los ensayos realizados, se determinó el porcentaje de desgaste a los sulfatos de magnesio, porcentaje de abrasión por Máquina de los

Ángeles, Límite Plástico, Límite Líquido y Humedad Natural, ilustrando los resultados obtenidos en la tabla 4 y comparándolos con la normativa ecuatoriana.

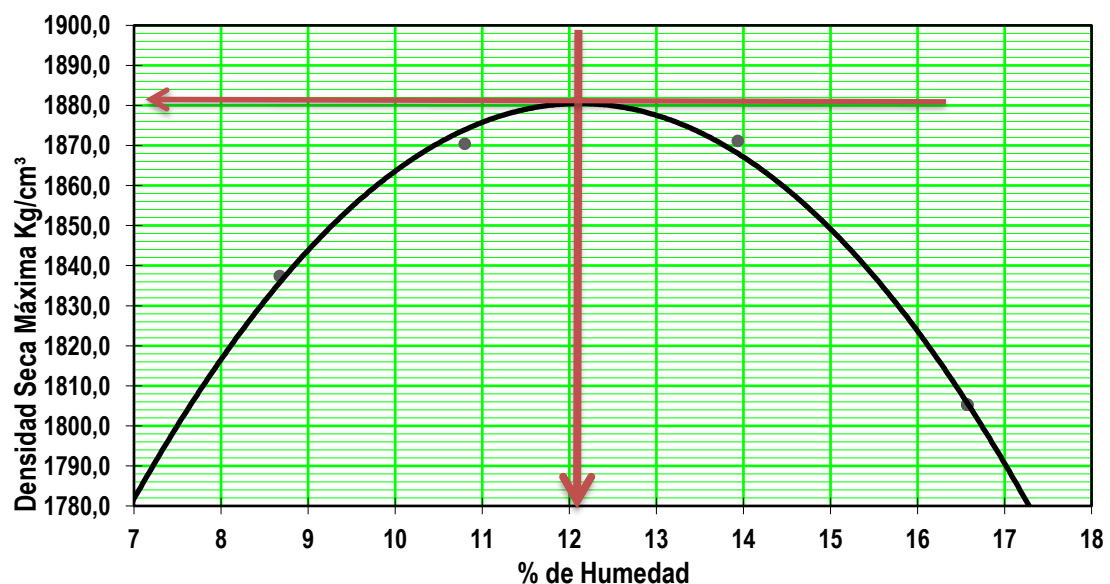
Tabla 4. Caracterización del material granular tipo sub-base de cantera proveniente del cantón Montecristi

Característica	Norma	Valor	
		Requerido	Obtenido
% de desgaste (sulfato de magnesio)	(NTE INEN 863, 2011)	<18%	15.66
% de desgaste (máquina de los ángeles)	(NTE INEN 860, 2011)	<50%	39
Índice plástico	(NTE INEN 691, 1982)	<6%	14
Límite líquido	(NTE INEN 692, 1982)	<25	39
Humedad natural	-	-	8.05

Para la determinación de la humedad óptima de la sub-base de la cantera, se ejecutó el ensayo de compactación de Proctor modificado cuyos resultados se resumen en la

figura 2. Los resultados reflejan una densidad seca máxima de 1881 Kg/m³ para un porcentaje de humedad óptima al 12,10%.

Figura 2. Relación Humedad-Densidad de material granular de cantera proveniente de Montecristi



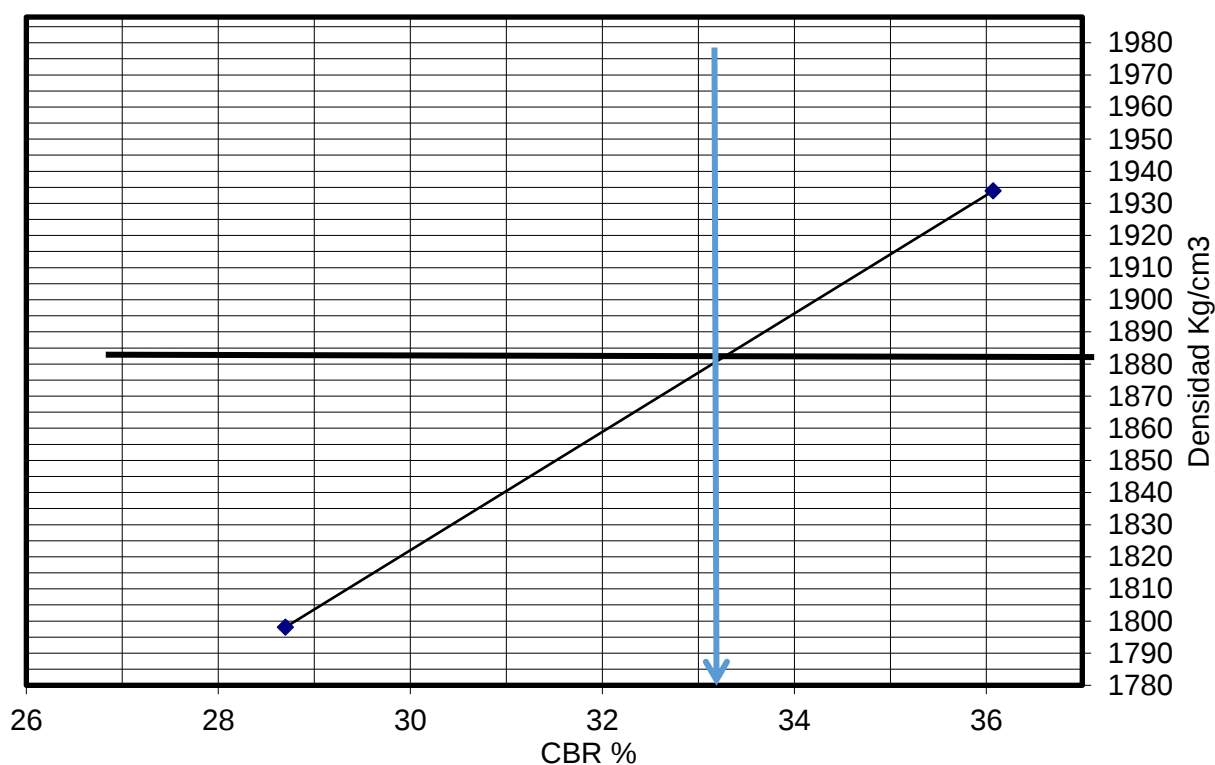
Subsiguiente, con los resultados obtenidos se realizó el ensayo de capacidad portante California Bearing Ratio: Ensayo de Relación

de Soporte de California, mismo que permite cuantificar la capacidad resistente del suelo como sub-base (Flores Córdova, 2015).

Para efectos del mismo, la muestra de la sub-base se compacta utilizando esfuerzos variados de compactación obteniendo así los pesos unitarios bajo y sobre el peso unitario deseado. La muestra se deja curar por inmersión en agua y es colocada en la máquina de penetración que registra los valores de esfuerzo de carga y la

profundidad de penetración. Registrado los valores obtenidos, se grafica el CBR de la muestra vs. su peso unitario obteniendo el valor de CBR a la densidad deseada (Lascano Cabrera & Návarez Sanchez, 2010). En la figura 3 se ilustra el valor del CBR al 100% de su máxima densidad seca, mismo que resulto en 33.20%.

Figura 3. Relación CBR-Densidad de material granular de cantera proveniente del cantón de Montecristi



Combinación granulométrica

La sub-base administrada por la cantera del cantón de Montecristi presentó resultados de laboratorio

no favorables con respecto a la plasticidad, es por ello por lo que se opta a la combinación granulométrica con un material fino no plástico.

Realizar una combinación granulométrica y la estabilización de cemento alterará los valores de la capacidad resistente del suelo, permitiendo hacer este estudio comparativo para poder determinar los efectos que produce al agregar arena de mar y cemento Holcim Base Vial Tipo MH.

Previo a la estabilización, se realizó la combinación granulométrica del suelo clasificado por la AASHTO como A-2-6 agregándole un 10% de arena de mar de Puerto Cayo. Esta combinación resultó bajar notablemente Índice Plástico al material, cumpliendo con la clasificación para un suelo A-1-a.

Para estabilizar materiales de sub-base, el Centro de Innovación

Holcim establece como referencia general emplear 5% de cemento Holcim Base Vial Tipo MH (Holcim Ecuador S.A.). Entre los requerimientos típico de cemento por tipos de suelo, el rango típico requerido para suelo clasificado como A-1 según las AASHTO, es de 3-5%. Basado en estas indicaciones, a la sub-base de la cantera de Montecristi se le realizaron mezclas de diferentes proporciones con cemento tipo MH (3%, 4% y 5%), ilustrando la dosificación empleada para cada mezcla en la tabla 5. En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos con respecto al ensayo de CBR para cada porcentaje enunciado, mientras la figura 4 refleja estas variaciones en la capacidad resistente.

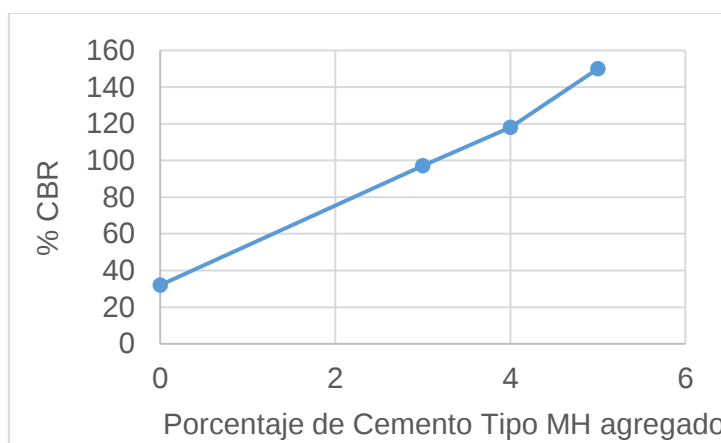
Tabla 5. Dosificación de mezclas de material granular de cantera de Montecristi a estabilizar

	% de Arena	% de Cemento	Cantidad del material granular de cantera (gr)	Peso de arena añadida (gr)	Peso de cemento tipo MH añadido (gr)	Peso de material granular de cantera a usar (gr)
MEZCLA A	10	3	6000	60	180	5760
MEZCLA B	10	4	6000	60	240	5700
MEZCLA C	10	5	6000	60	300	5640

Tabla 6. *Análisis comparativo de las propiedades del material granular tipo sub-base de cantera del cantón de Montecristi sin estabilizar y estabilizado*

	CONTENIDO DE MEZCLA		PROCTOR		
	% de Arena añadido	% de Cemento añadido	% Humedad Óptima	Densidad Seca Máxima (kg/m ³)	CBR
MUESTRA ORIGINAL	0	0	12,1	1881	32
MEZCLA A	10	3	11,5	2030	97
MEZCLA B	10	4	10,2	2129	118
MEZCLA C	10	5	8,8	2191	150

Figura 4. *Variación del CBR con respecto a los porcentajes de los contenidos de la mezcla.*



4. Conclusiones

Analizando el material granular proveniente de la cantera ubicada en el cantón de Montecristi, se ha evidenciado que los materiales catalogados como sub-base que proporcionan varias canteras no cumplen con respecto a la plasticidad en su estado natural

como menciona las especificaciones del MOP y de la INEN.

Analizar la granulometría de un suelo es importante para verificar el tipo de material granular que se estará empleando en un proyecto vial. A pesar de esto, se demostró que se puede emplear arena de mar para cumplir con los requisitos granulométricos, siempre que en

conjunto se añada un estabilizante como es el Cemento Holcim Base Vial Tipo MH.

Con este tipo de combinaciones, además de poder mejorar la granulometría de un suelo, también se encontró que la capacidad resistente (CBR) aumenta significativamente llegando a ser 4 veces mayor que en su estado natural.

La resistencia alcanzada con el 10% de arena de mar y 3% de cemento vial tipo MH superó el 80% de CBR requerido para considerar un suelo como base. Por lo tanto, de este estudio se concluyó que el suelo considerado como sub-base por las canteras (pero que realmente no cumple con las exigencias de las normativas) puede alcanzar resultado favorable al de una base al incorporar arena de mar y Cemento Vial Tipo MH.

Bibliografía

ASTM C127. (2016). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken, PA.: ASTM

International. doi: 10.1520/C0127-15

ASTM C131. (2020). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi: 10.1520/C0131M-20

ASTM C136. (2020). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi:10.1520/C0136_C0136M-19

ASTM C33. (2018). Standard Specification for Concrete Aggregates (Vol. 4.02). West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi:10.1520/C0033_C0033M-18

ASTM C88. (2018). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi: 10.1520/C0088_C0088M-18

ASTM D1557. (2021). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi: 10.1520/D1557-12R21

- ASTM D1883. (2021). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi: 10.1520/D1883-21
- ASTM D2216. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi: 10.1520/D2216-19
- Bahamondes, R., Echaveguren, T., & Vargas-Tejeda, S. (2013). Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón. *Revista de la construcción*, 12(3), 17-26.
- Flores Córdova, C. (2015). William Araujo, egresado de Ingeniería Civil, sustento investigación sobre ecuaciones con propiedades de suelos para Piura. Universidad de Piura.
- Holcim Ecuador S.A. (n.d.). Soluciones en cemento. Holcim Base Vial. Guayaquil.
- Lascano Cabrera, S. D., & Návarez Sanchez, L. A. (2010). Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una sub base granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC [Tesis Ingeniería Civil, PUCE].
- Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado, Quito.
- MOP, M. D. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.
- NTE INEN 691. (1982). Mecánica de Suelos. Determinación del límite líquido. Método de Casagrande. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 692. (1982). Mecánica de Suelos. Determinación del límite plástico. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 860. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 861. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 863. (2011). Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. Instituto

- Ecuatoriano de Normalización.
- Panchana, R. A., Ortiz, E. H., Ruiz, W. E., & Calderero, M. J. (2020). Fuentes de arena de río de la Provincia de Manabí a utilizar en hormigones en la construcción de obras civiles. *REVISTA RIEMAT*, 5(1).
- Pinard, M. I., Paige-Green, P., Mukura, K., & Motswagole, K. J. (2013). Guideline on the Use of Sand in Road Construction in the SADC Region. *AFCAP/GEN/028/C*.
- Ruiz Brito, C. A. (2011). Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos. [Tesis Carrera de Ingeniería Civil, ESPE]. DSpace Repository, Sangolquí.
- Sanjuan, L. M. (2021). ¿Cómo se generan las playas, cuál es el proceso y por qué la arena es tan fina? *AS Actualidad*.
- Zambrano Meza, M. I., & Tejeda Piusseaut, E. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3), 1-11.