



Estudio del carbonato de calcio como agente estabilizador de subrasante

Study of calcium carbonate as a subgrade stabilizer agent Authors

Estudo do carbonato de cálcio como agente estabilizador do subleito

Diego Andrés Macías-García ^I

dmacias2370@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4090-2805>

Eduardo Humberto Ortiz-Hernández ^{II}

eduardo.ortiz@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Correspondencia: dmacias2370@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de marzo de 2022 * **Aceptado:** 12 de abril de 2022 * **Publicado:** 28 de julio de 2022

- I. Maestría de Ingeniería Civil Mención en Vialidad, Instituto de Postgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, UTM, Av. José María Urbina, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

En este artículo se presenta la realización de un estudio del carbonato de calcio como agente estabilizador, mediante un análisis comparativo de suelo estabilizado y natural; procedente del sector la Papaya del cantón Rocafuerte, para su uso en subrasante de vías. En donde se compararon propiedades físicas, mecánicas y de resistencia de los suelos. Se plantearon tres ensayos para determinar el suelo más desfavorable, para esto se realizaron tres extracciones de suelo a lo largo de la vía Rocafuerte-Tosagua y a estos se les agregó diferentes porcentajes de carbonato de calcio para evaluar su comportamiento y determinar la mezcla que aporta mayor resistencia. al analizar los resultados se concluye que el suelo objeto de estudio es arcilla de alta plasticidad, en su estado natural no cumple con los requisitos para ser usado como subrasante, y al ser ensayado con los diferentes porcentajes se alcanzan los mejores resultados de resistencia con el 8% de carbonato de calcio, y llega a cumplir los parámetros normativos para ser usado en subrasante de vías.

Palabras Clave: Vialidad; estudio de suelos; extracción y resistencia de suelos; minerales; análisis comparativo.

Abstract

This article presents a study of calcium carbonate as a stabilizing agent, through a comparative analysis of stabilized and natural soil; from the Papaya sector of the Rocafuerte canton, for use in road subgrade. Where physical, mechanical and resistance properties of soils were compared. Three tests were proposed to determine the most unfavorable soil, for this three soil extractions were carried out along the Rocafuerte-Tosagua road and different percentages of calcium carbonate were added to these to evaluate their behavior and determine the mixture that provides the greatest endurance. When analyzing the results, it is concluded that the soil under study is highly plastic clay, in its natural state it does not meet the requirements to be used as a subgrade, and when tested with the different percentages, the best resistance results are achieved with the 8% calcium carbonate, and it meets the regulatory parameters to be used in road subgrade.

Keywords: Roads; soil study; soil extraction and resistance; minerals; comparative analysis.

Resumo

Este artigo apresenta um estudo do carbonato de cálcio como agente estabilizador, através de uma análise comparativa de solo estabilizado e natural; do setor La Papaya do cantão de Rocafuerte, para uso em subleito rodoviário. Onde foram comparadas as propriedades físicas, mecânicas e de resistência dos solos. Três ensaios foram propostos para determinar o solo mais desfavorável, para isso foram realizadas três extrações de solo ao longo da estrada Rocafuerte-Tosagua e diferentes porcentagens de carbonato de cálcio foram adicionadas a estes para avaliar seu comportamento e determinar a mistura que proporciona a maior resistência. Ao analisar os resultados, conclui-se que o solo em estudo é uma argila altamente plástica, em seu estado natural não atende aos requisitos para ser utilizado como subleito, e quando testado com as diferentes porcentagens, os melhores resultados de resistência são alcançados com o carbonato de cálcio a 8%, e atende aos parâmetros regulatórios para uso em subleito rodoviário.

Palavras-chave: Estradas; estudo do solo; extração e resistência do solo; minerais; análise comparativa.

Introducción

Ecuador, al ser un país en vías de desarrollo necesita mejorar la calidad de sus carreteras y tener una red vial estatal en óptimas condiciones para el transporte terrestre que es su principal medio de movilidad. Esto hace que constantemente se esté buscando materiales de calidad y económicamente factibles para lograr construir carreteras durables ante el incremento vehicular. Actualmente, se viene presentando problemas en las estructuras de pavimento, es allí donde se vio la necesidad de evaluar parámetros como CBR tanto en campo como laboratorio (Vera, C. A. M., Delgado, J. R. G., Hernández, E. H. O., & Vínces, J. J. G., 2019) Con estos antecedentes, se ha seleccionado un sitio de interés en la costa central continental del Ecuador, como es la provincia de Manabí donde se nota la importancia de mejorar la calidad de los materiales empleados en los diseños de estructura de pavimento, ya que estas presentan notables deterioros y problemas de fisuramiento en ha sido han sido identificados en varios tramos viales (Hernández, E. H. O., Moncayo, E. H. O., & Sánchez, L. K. M., 2018).

En la vía Rocafuerte-Tosagua se nota gran cantidad de fisuras considerables en las losas de hormigón, producto de asentamientos y cambios volumétricos de la subrasante. Cuando los suelos están en contacto con el agua y se los somete a diferentes solicitaciones de cargas, presentan un comportamiento inadecuado y no deseado para los requerimientos del proyecto (Gómez Pérez, Guillin Acosta, & Gallardo Amaya, 2016).

Los suelos que contienen minerales expansivos como la montmorillonita en gran cantidad presenta variaciones volumétricas altas y presentan baja resistencia a la capacidad portante.

Cabe anotar que, tanto en la evaluación de las propiedades físicas como en la evaluación de los suelos mediante ensayos especiales, existen diferentes factores que influyen en los resultados como, por ejemplo: la sensibilidad de las arcillas, la perturbación de las muestras, etc (Castro Cuba Valencia, 1992).

Un estudio vial contempla numerosos parámetros geotécnicos entre estos las caracterizaciones del suelo, más aun cuando estos son desfavorables y se necesitan ser mejorados, mediante estabilización (Aller, 2008).

La estabilización de suelos mediante agentes estabilizadores es una solución alternativa a la sustitución por otro de alta capacidad portante e incluso de otros agentes estabilizadores, que tienen importantes ventajas económicas y medioambientales frente a otro tipo de soluciones. (Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, 2016).

La estabilización de los suelos con cementos hidráulicos se configura en una solución interesante, ya que con esto se mejorará su resistencia y la cementación de suelos suele ser el resultado de la precipitación y cristalización de un compuesto, el carbonato calcio (CaCO_3) es uno de los agentes cementantes más importantes en la estabilización de la subrasante (Ruge Cardenas , Molina Gomez , & Pinto da Cunha, 2021).

En este estudio, se analizó el efecto de usar carbonato de calcio como agente estabilizador de suelos arcillosos de subrasante, buscando mejorar las propiedades de resistencia, plasticidad y como agente estabilizante, en donde se realizaron varias mezclas de suelo con diferentes porcentajes de carbonato de calcio, una vez realizadas estas combinaciones se procedió a elaborar los ensayos; y, posteriormente comparar los resultados que ayudarán a cumplir el objetivo de: determinar el efecto del carbonato de calcio en la resistencia del suelo y obtener el porcentaje óptimo del agente para estabilizar.

Materiales y métodos

(Garnica Anguas, 2002) dijo que el diseño de estabilizaciones con agentes estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo con la cual se determina el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado.

De tal forma, que para cada suelo reacciona de manera diferente a determinadas sustancias, por lo que se tiene que, hay un estabilizante óptimo para cada tipo de suelo con el cual tendremos los mejores resultados, como se visualiza en la tabla 1:

Figura 1: Respuesta a la estabilización de los principales tipos de suelos (Fernandez-Espinar y Lopez , 1982)

<i>Componentes dominantes</i>	<i>Estabilizante Recomendado</i>	<i>Objetivos</i>
<i>Arenas</i>	Arcilla de baja plasticidad	Para estabilización mecánica
	Cemento Portland	Incrementar el peso volumétrico y la cohesión
	Asfaltos	Incrementar la cohesión
<i>Limos</i>	Depende del tipo de minerales que contenga	-----
<i>Alofanos</i>	Cal	Acción puzolánica e incremento en el peso volumétrico
<i>Caolin</i>	Arena	Para estabilización mecánica
	Cemento	Para resistencias tempranas
	Cal	Trabajabilidad y resistencia tardía
<i>Ilita</i>	Cemento	Igual que el caolín
	Cal	Igual que el caolín

<i>Montmorilonita</i>	Cal	Trabajabilidad y resistencia reducción de expansiones y contracciones
-----------------------	-----	---

Según (Mora Zabala, 2013) La esmectita constituye aproximadamente el 94% de los minerales arcillosos, se identifica indicios de illita (4-5%) y trazas de caolinita (1%). Por lo tanto, el suelo de la vía Rocafuerte -Tosagua en el sector La Papaya, es un suelo eminentemente arcilloso y donde las esmectitas, del cual se clasifica la montmorilonita, son el mineral predominante. Ello justifica desde un punto de vista mineralógico el comportamiento fuertemente expansivo del material.

Esto nos indica que el agente mas propicio para el tratamiento de este tipo de suelos es la cal. Según (Mora Zabala, 2013) las calles aéreas producen al mezclarse con un suelo fino arcilloso una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, con formación de grumos friables. Con una pequeña adición de cal, el aspecto del suelo pasa a ser “granular”, más fácil de manejar. Las reacciones químicas reducen rápidamente la plasticidad del suelo y su hinchamiento, mejoran su compactibilidad y aumentan su capacidad de soporte.

La cal es un producto derivado de la piedra caliza que es el estado natural del carbonato de calcio CaCO_3 , además también la cal u óxido de calcio es un producto que se obtiene calcinando piedra caliza en hornos de cal, es decir, calentando las piedras calizas en bruto en un horno a temperaturas aproximadas a los 1.000°C . En el proceso de calentamiento de la piedra caliza, la piedra libera dióxido de carbono, dejando el óxido de calcio:

La reacción Química: CaCO_3 produce $\text{CaO} + \text{CO}_2$;

El carbonato de calcio CaCO_3 conocido también como piedra caliza, que al ser calentada en el horno produce: CaO óxido de calcio y CO_2 dióxido de carbono. En conocimiento que el principal uso del carbonato de calcio es en la industria de la construcción, ya sea como material de construcción o como agregado de piedra caliza, para la construcción de carreteras o como ingrediente en el cemento, el cual tiene similares fines constructivos que el óxido de calcio, por lo que es propicio su estudio para determinar el beneficio en la construcción de subrasantes de suelo natural.

En la presente investigación se utilizó el Carbonato de Calcio Nutricional 200, con concentración de 97% (CaCO_3) que se produce de origen de piedra caliza de la cordillera Chongon Colonche en

la provincia de Guayas, producto según las especificaciones de la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 244, 2010) y NTE INEN 022, como se muestra en la tabla 2.

Figura 2: Análisis Físico (INDAMI, 2019)

<i>Retenido</i>	<i>malla</i>	<i>0.26-0.66</i>	<i>%</i>	<i>INEN 244</i>
				<i>100</i>
<i>Retenido</i>	<i>malla</i>	<i>14.5-20.5</i>	<i>%</i>	<i>INEN 244</i>
				<i>200</i>
<i>Humedad</i>		<i>Max. 1</i>	<i>%</i>	<i>INEN 022</i>

El objeto de estudio en esta investigación fue tratar de mejorar las características del suelo estabilizándolo con carbonato de calcio en diferentes porcentajes, mezclándolo con el suelo natural de manera experimental de 4, 8 y 12%. El sitio donde se extrajeron las muestras fue de la vía Rocafuerte – Tosagua sector Papaya, perteneciente a la provincia de Manabí. Se ensayaron tres muestras de suelo, de los cuales se tomaron los datos de la muestra más desfavorable y de ese suelo se procedió a realizar la mezcla para su estabilización.

Para la caracterización del suelo se realizaron los ensayos de contenido de humedad según la norma (ASTMD-2216, 2019), granulometría según la norma (ASTMC-117, 2017) y (ASTMC-136, 2015) y límites de atterberg según la norma (ASTMD-4318, 2017).

Análisis y discusión de resultados

Una vez realizados los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se procedió a evaluar los parámetros obtenidos a diferentes profundidades de 0.50, 1.00, 1.50 metro, lo cual permitió describir e identificar las características de suelo según como se ilustra la Tabla 3.

(%W) Humedad natural ;(LL) Limite liquido; (LP) Limite Plástico; (IP) Índice de Plasticidad

Figura 3: Caracterización de suelos de la vía Rocafuerte -Tosagua

<i>Profundidad</i>	<i>%W</i>	<i>Tamiz</i>	<i>LL</i>	<i>LP</i>	<i>IP</i>
		<i>N°200</i>			

0,50	23,02	96,77	59,22	29,46	29,76
1,00	24,66	97,40	74,41	31,35	43,06
1,50	21,96	90,41	55,70	26,49	29,21

Con los valores obtenidos, se calculó el índice de plasticidad como se menciona en la ecuación 1, resultados que nos ayudó a la clasificación de suelo (SUCS) según la norma (ASTMD-2487, 2017) figura 1. Los suelos que predominaron en el sector corresponde a tipo CH que son arcilla de alta plasticidad que posteriormente también lo clasificamos por el método (AASHTO) con la que determinamos que tipo de suelo influye obteniendo un A-7-6 que en su descripción corresponde a una subrasante de regular a mala; Además estos presentan un comportamiento de hinchamientos y contracción el cual son perjudiciales en las obras civiles. (AASHTOM145-91, 2012).

$$IP = L.L - L.P$$

Ec (1)

**LIMITES DE ATTERBERG
Carta de Plasticidad**

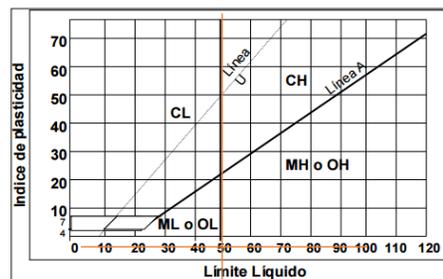


Figura 4: Clasificación de suelo natural en carta plasticidad de SUCS

Una vez realizados los ensayos de laboratorio, y con la adición del carbonato de calcio en diferentes porcentajes de 4, 8 y 12% para arcillas de alta plasticidad, se obtienen los siguientes resultados como se ilustra en la tabla 4, donde se ve claramente que hay un decrecimiento en la plasticidad, a medida que se incremente el porcentaje de carbonato de calcio. Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio de límites de Atterberg en suelo estabilizados, se pudo observar importantes cambios y variaciones, que serán de beneficio para la construcción a futuros empleando este tipo de estabilización.

Figura 5: Resultados de los ensayos de límites de Atterberg con la adición de carbonato de calcio en diferentes porcentajes en el suelo arcilloso

Muestra	LL	LP	IP
NATURAL	59,22	29,46	29,76
4% CaCO ₃	51,68	27,65	24,03
8% CaCO ₃	42,69	24,59	18,09
12% CaCO ₃	37,81	22,64	15,16

Para continuar con el estudio del agente estabilizante, se realizó el ensayo de compactación o Proctor, aplicando la norma (AASHTOT-180, 2002); en el que se analizó al suelo natural y posteriormente al suelo estabilizado con los porcentajes de 4, 8 y 12% de carbonato de calcio.

Figura 6: Resultados de ensayo de compactación o Proctor en el suelo natural con su estabilización de suelos al 4, 8 y 12% de carbonato de calcio

Muestra	% w optima	Densidad. Máxima seca
NATURAL	25.40	1348
4% CaCO ₃	23,00	1582
8% CaCO ₃	18,00	1795
12% CaCO ₃	18,00	1860

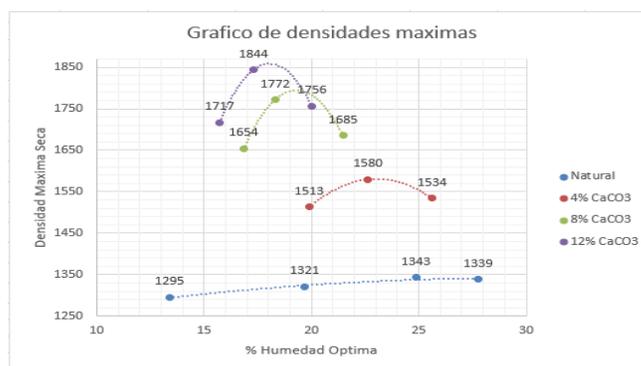


Figura 7: Comparación de curva de densidades máximas del ensayo Proctor

De acuerdo con los ensayos de proctor realizados al suelo natural, se obtuvo un valor de 1348 Kg/m³ de densidad máxima seca y 25.40% de humedad óptima; Posteriormente, al estabilizar el suelo con 4% de carbonato de calcio CaCO₃ añadido, se obtuvo un valor de 1582 Kg/m³ de densidad máxima seca y 23% de humedad óptima.

El suelo estabilizado con 8% de CaCO₃ obtuvo un valor de 1795 Kg/m³ de densidad máxima seca y 19.30% de humedad óptima. Los resultados del ensayo de compactación de suelo estabilizado con 12% de CaCO₃ alcanzó un valor de 1860 Kg/m³ de densidad máxima seca y 18% de humedad óptima.

Otro ensayo que se realizó es el de Relación de Soporte de California o llamado CBR, según la norma (ASTMD-1883, 2021). Este ensayo se lo realizó al suelo en estado natural, y luego al mismo se lo estabilizó con los diferentes porcentajes de CaCO₃ para posteriormente compararlos. Los resultados del CBR del suelo natural y estabilizado pueden visualizarse en la tabla 6.

Figura 8: Resultados de ensayo de Relación de Soporte de California CBR

Muestra	CBR (%)	Esponjamiento (%)
NATURAL	2.20	6,0
4% CaCO ₃	4.20	1,8
8% CaCO ₃	6.70	1,6
12% CaCO ₃	7.30	1,5

El suelo objeto de estudio es un suelo arcilloso de muy pobre resistencia y de límites, medianamente altos que lo hacen inadecuado para su uso como subrasante. Según la norma AASHTO estos suelos son regulares o pobres para su uso en terraplén y presentan grandes variaciones volumétricas en épocas de lluvia. (AASHTOM145-91, 2012).

Ya identificado el tipo de suelo, se realizó la estabilización con los diferentes porcentajes de carbonato de Calcio para realizar los diferentes ensayos de límites de Atterberg, Proctor y CBR. En la combinación con CaCO₃ se observa que hay una disminución tanto de los LL y LP conforme se va incrementando el porcentaje de carbonato de calcio añadido, lo que conlleva a

una reducción del índice de plástico (IP), además con que conforme se va añadiendo Carbonato de Calcio a la mezcla se va incrementando el valor de la capacidad portante del suelo (CBR9 y a su vez el esponjamiento va disminuyendo considerablemente. La norma (NEVI12, 2013) en el capítulo 306-3.03 de clasificación de los materiales, nos indica que los suelos para construcción de terraplenes se clasifican de la siguiente manera:

Figura 9: Clasificación de los materiales según las normas (NEVI12, 2013)

Suelos seleccionados	LL<30; IP<10
Suelos adecuados	LL<40; Si LL>30 entonces IP debe ser >4
Suelos tolerables	LL<65; Si LL>40 entonces IP de ser >0,73*(LL-20)

El suelo natural tiene LL=59,22 y IP= 27,06; teniendo características de suelo tolerable,

El suelo estabilizado con el 4% de carbonato de calcio presenta un LL= 51,68 y IP= 24,03; teniendo características de suelo tolerable.

El suelo estabilizado con el 8% de carbonato de calcio tiene un LL= 42,69 y IP= 18,09; teniendo características de suelo tolerable.

El suelo estabilizado al 12% de carbonato de calcio tiene LL= 37,81 y IP= 15,16; teniendo características de suelo adecuado.

La norma (NEVI12, 2013) en el capítulo 306-4,01, menciona los siguientes requisitos para construcción de terraplenes:

Figura 10: Requisitos para construcción de terraplenes según las normas (NEVI12, 2013)

Parte de Terraplén	CBR requerido	Capacidad requerida
Coronación	CBR>=5%	Suelos seleccionados o adecuados que tengan la capacidad de soporte requerida

Núcleo Cimiento	y	CBR \geq 3%	Suelos tolerables, adecuados o seleccionados.
--------------------	---	---------------	---

La condición que presenta la subrasante en esta investigación es considerada como baja la cual posee una capacidad portante de CBR 2,2%, por lo que no cumple con los requerimientos según las normas (NEVI12, 2013) como se menciona en la tabla 8.

En suelos estabilizado al 4% de Carbonato de calcio se obtuvo un CBR de 4,7%, por lo que según menciona las normas NEVI este material será utilizado solamente como Núcleo y Cimiento de terraplenes. Posteriormente se estabilizo con el 8% de Carbonato de Calcio obteniendo un CBR de 6.7%, en donde podrá ser utilizado como parte del terraplén en la zona de coronación. Con el 12% de Carbonato de Calcio este tuvo un incremento considerable de CBR de 7,3% en donde podrá ser utilizado en la zona de coronación del terraplén.

Conclusiones.

- EL efecto que produce el carbonato de calcio en el suelo es disminuir la humedad natural, límites líquidos, e índice plástico, con los que podemos asegurar menores variaciones volumétricas producto de la humedad; también se logró incrementar la resistencia a la capacidad portante del suelo, con lo que se logró ser apto para su uso como subrasante en vías.
- El sector presenta suelos arcillosos de capacidad portante muy bajas, y de índices de plasticidad medianamente altos, generando la necesidad de realizar un cambio de este suelo o estabilizar con agentes estabilizadores.
- El porcentaje de carbonato de calcio óptimo ensayados es cercano al 8%, ya que se alcanza las condiciones requeridas del suelo teniendo un incremento en los parámetros geotécnicos; en el suelo con 12% estabilizado se nota una gran reducción expansivas, y una mejoría en la capacidad portante.

Referencias

1. AASHTOM145-91. (2012). Clasificación de suelos y mezclas de suelo y agregados para fines de construcción de carreteras. Washington DC: Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte.
2. AASHTOT-180. (2002). Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils .
3. Aller, R. F. (2008). Estabilización de suelos con cal. Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera., 34-44.
4. ASTM C-117. (2017). Standard Test Method for Materials Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.
5. ASTM C-136. (2015). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
6. ASTM D-1883. (2021). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.
7. ASTM D-2216. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
8. ASTM D-2487. (2017). Práctica Estándar Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS).
9. ASTM D-4318. (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
10. Castro Cuba Valencia, M. E. (1992). Suelos expansivos en Talara.
11. Fernandez-Espinar y Lopez , L. (1982). El conflicto de intereses entre el medio ambiente y el desarrollo del sector económico minero. Revista de Administracion Publica , 237-274.
12. Gallardo Amaya , R., Martinez Ovallos , C., & Muñoz Quintero , A. (2020). Caracterización de un suelo plástico para estabilización con cementantes. Respuestas: Journal of Engineering Sciences, 6-13.
13. Garnica Anguas, P. P. (2002). Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio para uso en las vías Terrestres. Publicacion Tecnica - Instituto Mexicano del Transporte, 10.

14. Gómez Pérez, L., Guillin Acosta, W., & Gallardo Amaya, R. (2016). Variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles estabilizados con material cementante. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 95-107.
15. Hernández, E. H. O., Moncayo, E. H. O., & Sánchez, L. K. M. (2018). COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y EL USO DE POLÍMEROS EN LA CARRETERA TOSAGUA. *Universidad Ciencia y Tecnología*(1), 8-8.
16. INDAMI. (2019). Ficha Técnica NUTRICALCIO 200.
17. INEN244, N. (2010). Cal Hidratada, Determinación del residuo.
18. Mora Zabala, G. (2013). Estudio de problemas geotécnicos asociados a la presencia de arcillas expansivas en la carretera Rocafuerte-Tosagua, provincia de Manabí-Ecuador. Análisis y posibles tratamientos de mejora del terreno y recomendaciones constructivas. . Madrid.
19. NEVI12. (2013). Volumen 3: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes w.
20. Ruge Cardenas , J., Molina Gomez , F., & Pinto da Cunha, R. (2021). Comparación experimental entre la sensibilidad y la cementación en el comportamiento no drenado de suelos arcillosos. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*, 109-119.
21. Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, S. P. (2016). Reconocimiento, tratamiento y mejora del terreno. A Coruña : Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.
22. Vera, C. A. M., Delgado, J. R. G., Hernández, E. H. O., & Vínces, J. J. G. (2019). Análisis comparativo de suelo de campo y laboratorio para la medición de su capacidad portante con ensayos de Valor de Soporte de California (CBR) y Cono Dinámico de Penetración (DCP) en la Universidad Técnica de Manabí (Vol. 4). *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721.