

Evaluación del Mejoramiento de Suelos Arcillosos Empleando Cemento Base Pumicita en la Localidad de dos Arroyos, Juchique de Ferrer

Pablo Julian López González¹

jlopezg@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6281-6756>

Departamento de Ingeniería Civil, Tecnológico
Nacional de México/ Instituto Tecnológico
Superior de Misantla
México

David Reyes González

dreyesg@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6400-5984>

Departamento de Ingeniería Civil, Tecnológico
Nacional de México/ Instituto Tecnológico
Superior de Misantla
México

Oscar Moreno Vázquez

omorenov@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6267-9504>

Departamento de Ingeniería Civil, Tecnológico
Nacional de México/ Instituto Tecnológico
Superior de Misantla
México

María Alejandra Cordero Martínez

202t0438@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0003-8520-2903>

Ingeniería Civil, Tecnológico Nacional de
México/ Instituto Tecnológico Superior de
Misantla
México

Johana Zujeyth Escobar Galván

212t0459@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8574-2163>

Ingeniería en Gestión empresarial, Tecnológico
Nacional de México/ Instituto Tecnológico
Superior de Misantla
México

RESUMEN

La estabilización de suelos es crucial para la ejecución de obras civiles, como la construcción de carreteras y puentes. Dado que el suelo no siempre cuenta con las características físicas y mecánicas adecuadas, es necesario modificarlo para cumplir con las exigencias de las cargas generadas por el tráfico pesado en carreteras. La región montañosa del Estado de Veracruz enfrenta problemas recurrentes de inestabilidad del suelo, para la elección de materiales para estabilización debe ser cuidadosa para evitar repercusiones negativas. En el municipio de Juchique de Ferrer, Veracruz, prevalece el suelo Luvisol, una arcilla expansiva de color rojo oscuro. El deterioro del camino que conecta Juchique de Ferrer con la capital de Veracruz aumenta el tiempo de traslado y disminuye la seguridad, generando riesgos de accidentes. Este proyecto tiene como objetivo evaluar el comportamiento de un suelo arcillo mediante la aplicación de cemento base pumicita para mejorar sus propiedades. Aunque se han utilizado Portland y cal para estabilizar suelos, como cementos superfaltados y metakaolín, con el fin de encontrar materiales que se adapten a las características del terreno. Se llevarán a cabo pruebas para determinar el porcentaje adecuado de cemento base pumicita necesario para estabilizar el camino y resolver los problemas presentes.

Palabras clave: estabilización; mejoramiento; geotécnica

¹ Autor principal.

Correspondencia: jlopezg@itsm.edu.mx

Evaluation Of The Improvement Of Clayey Soils Using Pumicite Based Cement In The Locality Of Dos Arroyos, Juchique De Ferrer

ABSTRACT

Soil stabilization is crucial for the execution of civil engineering projects, such as road and bridge construction. Since the soil doesn't always have the appropriate physical and mechanical characteristics, it is necessary to modify it to meet the demands of the loads generated by heavy traffic on roads. The mountainous region of the state of Veracruz faces recurring soil instability issues, and the selection of materials for stabilization must be careful to avoid negative repercussions. In the municipality of Juchique de Ferrer, Veracruz, Luvisol soil prevails, characterized by its expansive dark red clay. The deterioration of the road connecting Juchique de Ferrer to the capital of Veracruz increases travel time and decreases safety, leading to accident risks. This project aims to assess the behavior of clayey soil through the application of supersulfated cement to enhance its properties. While Portland cement and lime have been used for soil stabilization, alternative materials such as supersulfated cements and metakaolin are being explored to find substances that adapt to the terrain's characteristics. Tests will be conducted to determine the appropriate percentage of pumicite based cement needed to stabilize the road and address the current issues.

Keywords: stabilization; improvement; geotechnics

Artículo recibido 18 noviembre 2023

Aceptado para publicación: 30 diciembre 2023

INTRODUCCIÓN

Es esencial la estabilización de suelos para la ejecución de obras civiles como la construcción de carreteras, edificios, etc., el suelo no siempre posee las características físicas y mecánicas adecuadas. Este trabajo se centra en evaluar el comportamiento de un suelo arcilloso en Dos Arroyos, Veracruz, utilizando cemento base pumicita para mejorar sus propiedades, especialmente en una capa de la carretera. La investigación busca encontrar un material que, al adaptarse a las características del terreno, logre una estabilización óptima, considerando alternativas como cemento Portland y cal.

La necesidad de estabilización se debe a la inestabilidad de los suelos, que impacta en la seguridad vial y el tiempo de traslado en carreteras como la que conecta Juchique de Ferrer con la capital de Veracruz. Además, se destaca que la estabilización del suelo no solo se realiza como cemento, sino también con otras sustancias como cenizas, que pueden mejorar propiedades naturales. La mecánica de suelos aborda la resistencia y comportamiento del suelo bajo esfuerzos, y se exploran diferentes métodos de estabilización, como la mecánica, química, térmica y electroquímica. El estudio propone la estabilización mecánica mediante la compactación y la mejora de la gradación del tamaño de partículas, con el objetivo de incrementar la capacidad de soporte, resistencia al corte y estabilidad volumétrica del suelo.

El suelo es el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesto junto al líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas, este se encarga de sostener las cargas transmitidas por la superficie de rodadura en las vías y debe encontrarse en condiciones tales que sea competentes para resistirlas. La estabilidad del suelo se ve afectada por la distribución de partículas, influyendo en propiedades como consistencia y porosidad. Para cohesionar las partículas, es necesario un porcentaje adecuado de partículas finas. Se busca utilizar cenizas de carbón para compactar suelos arcillosos y arenosos, mejorando la estabilidad y cohesión del suelo mediante la introducción de partículas finas. El enfoque se centra en optimizar la composición de suelo para lograr una mayor resistencia y un comportamiento estructural favorable (Cañar Tiviano, 2017).

La falta de resistencia es más común en suelos orgánicos, y a menudo se aborda de manera incorrecta al recurrir a la compactación como una forma de estabilización mecánica para aumentar la resistencia del suelo. Sin embargo, este método solo logra resultados temporales, que el efecto de degradación de

materia orgánica eventualmente conduce a la pérdida de resistencia del suelo nuevamente (Ramírez, 2018).

METODOLOGÍA

Ubicación del sitio del estudio

El estudio se realizará en la localidad de Dos Arroyos, perteneciente al municipio de Juchique de Ferrer Veracruz, la localidad, situada a ((19°51'55.03" N 96°42'28.87")) y a 300 metros sobre el nivel del mar, cuenta con 790 habitantes y presenta un clima semicálido húmedo. El suelo es tipo luvisol, con acumulación de arcilla en el subsuelo y tonalidades oscuras y rojizas. Dos arroyos limita al norte con Yecuatla, Colipa y Vega de Alatorre; al este con Vega de Alatorre y Alto Lucero de Gutiérrez Barrio; al sur con Alto Lucero de Gutiérrez Barrios y Chiconquiaco; al oeste con Actopan. La región tiene 119 comunidades en total (SEFIPLAN, 2016).

Caracterización de agregados

Se realizaron diferentes pruebas con el fin de obtener las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, siguiendo las especificaciones establecidas por las normativas ONNCE.

- Comenzando con la prueba de muestreo (NMX-C-030-ONNCCE-2004) la cual consiste en la obtención de una porción representativa del material con el cual se pretende construir una terracería o bien del material que forma parte de esta. Incluye el envasado, identificación y transporte del material para la muestra.

Figura 1: Pozo a cielo abierto..



Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente con la preparación de las muestras con el Secado, disgregado y cuarteo (M.MMP.1.03/03) para la adecuada realización de las pruebas con proporciones representativas de laboratorio posteriores.
- Peso Volumétrico Seco Suelto y Peso Volumétrico Seco Varillado (NMX-C-073-ONNCCE-2004) para obtener la cantidad de material de las partículas sólidas por unidad de volumen, expresado como $\text{kg}\cdot\text{m}^3$.
- Prueba de granulometría (NMX-C-077-ONNCCE-2019) para determinar la composición dimensional de las partículas de los materiales como la arena, grava, RCD y pumicita, haciendo pasar las partículas a través de una serie de mallas con aberturas determinadas.
- Determinación en porcentaje de Contenido de Humedad (NMX-C-166-ONNCCE-2018) de los agregados, dejándolo saturar bajo agua durante 24 ± 2 horas y posterior a ello ejecutar el secado.

Adiciones utilizadas para estabilización del suelo

En la Tabla 1 se detallan las adiciones que se aplicarán al suelo con el propósito de llevar a cabo las pruebas de Límites de Consistencia y Compactación. Esto permitirá identificar cuál de estas adiciones resulta más favorable en el proceso.

Tabla 1: Adiciones para estabilización del suelo. Fuente: Elaboración propia.

Nomenclatura	% Adición	%CPC	%CSS
Sin Adición	0	0	0
CPC-03	3		
CPC-05	5	100%	0%
CPC-07	7		
CSS-03	3		
CSS-05	5	50%	50%
CSS-07	7		
CPC-CSS-03	3		
CPC-CSS-05	5	0%	100%
CPC-CSS-07	7		

Límites de Consistencia M-MMP-1-07/07

Las pruebas de límite de consistencia tienen como objetivo conocer las propiedades plásticas de los materiales para terracerías que pasan la malla N° 40 (0.425 mm). Estas pruebas incluyen la determinación del límite líquido, que representa el contenido de agua en el cual un suelo plástico alcanza una resistencia al corte de 2.45 kPa, marcando la frontera entre los estados semilíquidos y plásticos. Asimismo, se determina el límite plástico, que corresponde al contenido de agua en el cual un rollo de suelo se rompe en tres partes para alcanzar un diámetro 3 mm, indicado la frontera entre los estados plásticos y semisólido. El índice plástico se calcula como la diferencia entre los límites líquidos y plásticos. Estos resultados son fundamentales para la identificación y clasificación de los suelos, contribuyendo a comprender sus propiedades y comportamientos (SCT, 2023).

Figura 2: Cerrado de las paredes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Secado de material



Fuente: Elaboración propia

Compactación AASTHO Estándar (T-99-95)

Las pruebas de compactación AASTHO tiene como objetivo establecer la curva de compactación de los materiales para terracerías y, a partir de esta, inferir tanto su masa volumétrica seca máxima como su contenido de agua óptimo. Estas pruebas implican la determinación de las masas volumétricas secas de un material compactado con distintos contenidos de agua, utilizando la misma energía de compactación en una prueba dinámica. Al graficar los puntos correspondientes a cada determinación, se logra trazar la curva de compactación dinámica es crucial para evitar variaciones, y la representación gráfica de los resultados permite obtener información precisa sobre la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo del material. Esto datos son esenciales para la evaluación y diseño eficiente de terracerías.

Figura 5: Extracción de corazón compactado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4: Ranurado y preparación de corazón



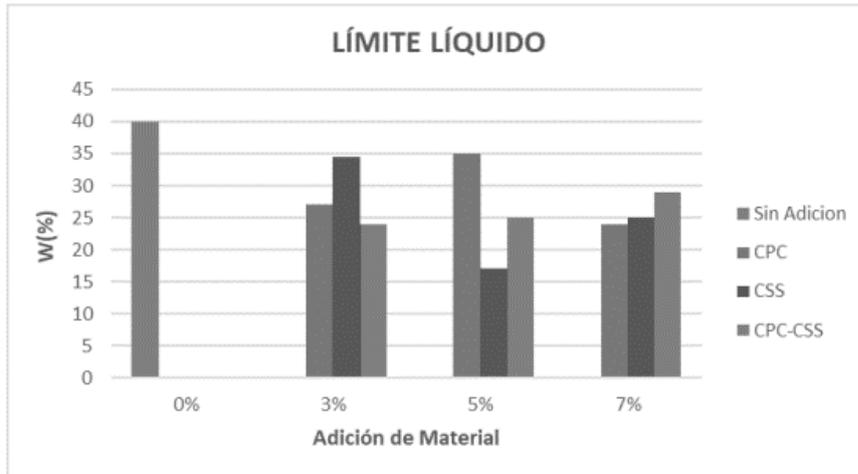
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este momento, se procederá a analizar los resultados de las pruebas realizadas al suelo y a destacar el comportamiento observado con cada adición, incluyendo Cemento Portland Compuesto (CPC), Cemento base pumicita (CSS) y su combinación. El objetivo es demostrar los beneficios potenciales y determinar el porcentaje óptimo de adición para mejorar el comportamiento del suelo arcilloso, brindándole estabilidad y resistencia en diversas aplicaciones.

El límite líquido del suelo natural es de 40%, en la siguiente Figura 6 se compara los resultados de la prueba de obtención del límite líquido entre el suelo natural y las distintas adiciones. Destaca que la adición al 5% de CSS es la más beneficiosa, ya que reduce el límite líquido en un 17%, superando al suelo natural y otras adiciones.

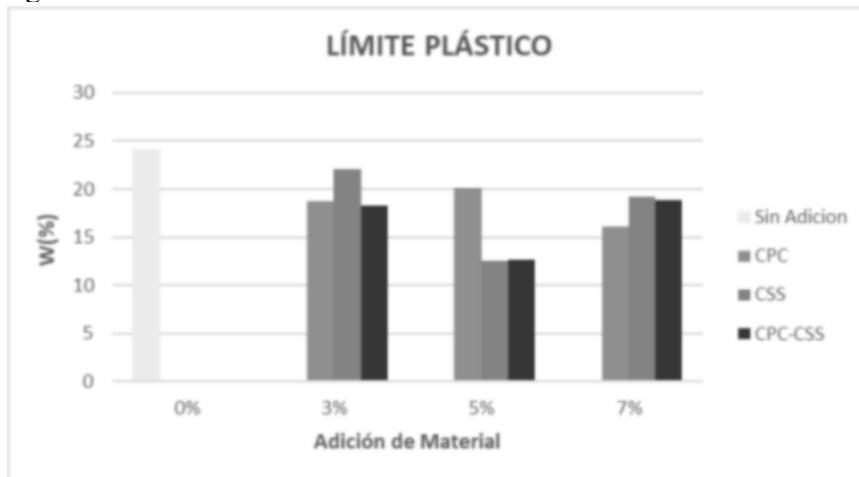
Figura 6: Gráfica Comparativa de Límite líquido



Fuente: Elaboración propia

El límite plástico es de 24.07%, la Figura 7 presenta la comparación de los resultados de la prueba para obtención del límite plástico ente el suelo natural y diversas adiciones. Se destaca que las adiciones al 5% de CSS y la combinación CPC-CSS son las más beneficiosas, ya que reduce el límite plástico es un 12.60%, superando al suelo natural y otras adiciones.

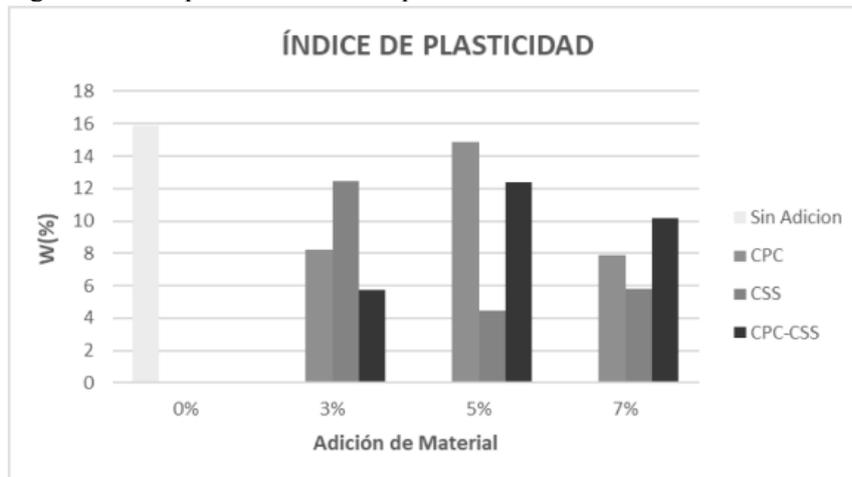
Figura 7: Obtención de los Límites Plásticos de las distintas Adiciones.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han establecido tanto el límite líquido como el límite plástico del suelo natural, se procede a determinar el índice de plasticidad, dando como resultado 15.93%. La Figura 8 muestra la comparación entre los resultados del índice de plasticidad del suelo natural y las adiciones correspondientes. Se destaca que la adición del 5% de CSS es la más favorable, el índice de plasticidad obtenido es un 4.43% menor que el del suelo natural y las otras adiciones.

Figura 8: Comparativa índice de plasticidad.

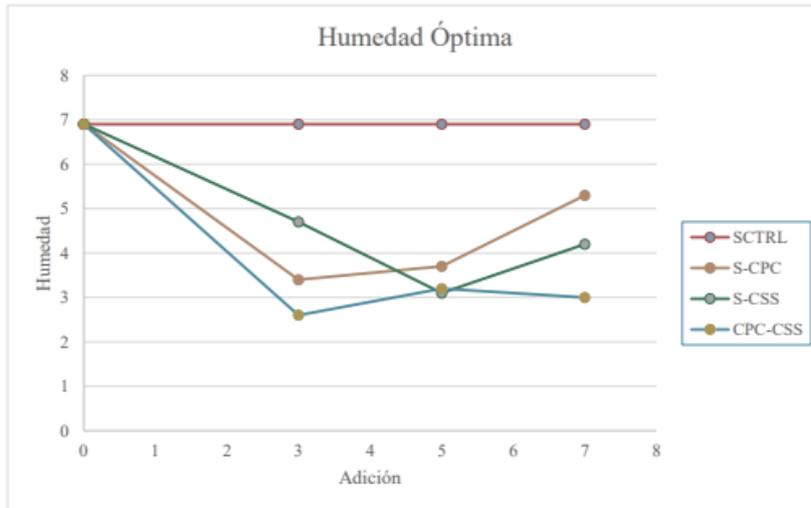


Fuente: Elaboración propia

En conclusión, se determina que la adición del 5% de CSS es la más favorable, evidenciada por un índice de plasticidad del 4.43%. Un índice de plasticidad más bajo indica que el suelo es menos plástico, lo que significa que es menos propenso a experimentar alteraciones y deformaciones en su estructura.

En la Figura 9 se muestra las humedades del suelo con adiciones de 3%, 5% y 7% de Cemento Portland Compuesto (CPC) y Cemento base pumicita (CSS). Las adiciones del 5% de CPC 100%, CSS 100% y CPC 50% - CSS 50% reducen significativamente la humedad, siendo la más efectiva la del 5% con CPC 50% - CSS 50%. La humedad es crucial en la compactación, afectando la capacidad de reordenamiento de las partículas del suelo y mejoramiento el grado de compactación al encontrar una humedad óptima.

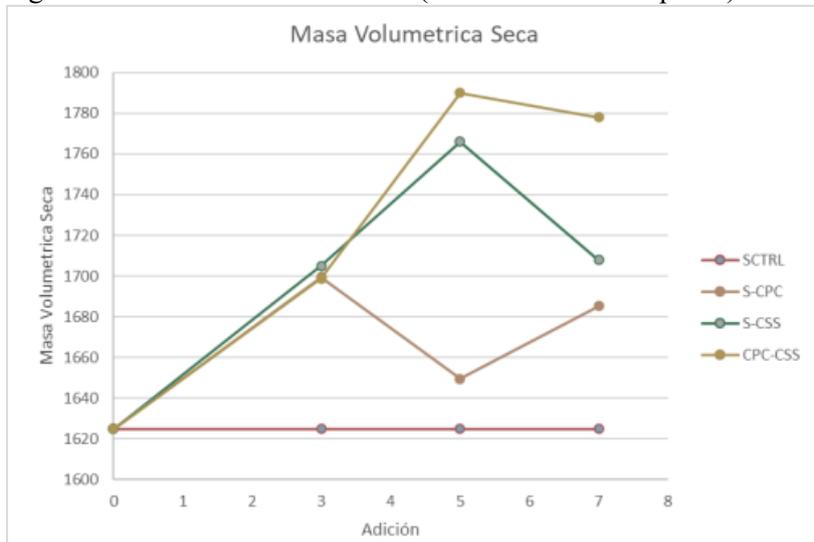
Figura 9: Contenido de Humedad Óptimo



Fuente: Elaboración propia

Las pruebas de compactación buscan determinar la umedad óptima que un material puede resistir. En la Figura 10 se presenta el grado de compactación óptimo, mostrando los porcentajes obtenidos al realizar la prueba en el Suelo Control y con adiciones del 3%, 5%, 7%. Según la grafica, la combinación más efectiva fue la de 50% CPC y 50% CSS con un 5% de adición, alcanzando un valor de 1790 kg/cm².

Figura 10: Masa volumétrica seca (masa volumétrica óptima).



Fuente: Elaboración propia

Al analizar e identificar el valor óptima, se concluye que el porcentaje adecuado para lograr una compactación óptima es la adición del 5% en la combinación del 50% de CPC y 50% de CSS. Esto resulta en un grado de compactación con una resistencia de 1790 kg/cm². Estos hallazgos indican que, para este tipo de material, la adición del 5% en esa proporción específica es la opción más favorable en términos de compactación.

CONCLUSIONES

En este apartado, se presentarán las conclusiones y recomendaciones derivadas de las pruebas realizadas. El análisis granulométrico indica que la muestra cumple con la normativa M-MMP-1-06/03. La prueba con tres adiciones diferentes revela que la adición al 5% de CSS es la más favorable, ya que reduce el límite líquido en un 17%. La comparativa de los resultados para el límite plástico y el índice de plasticidad muestra que las adiciones del 2.60% y 4.43%, respectivamente.

Se recomienda el uso de la adición al 5% de la combinación de 50% CPC y 50% CSS, ya que proporciona mayor resistencia al suelo y cumple con los parámetros para considerar el terreno natural como desplante de terracería para pavimentos. También se sugiere trabajar con cualquiera de las dos adiciones, CSS al 5% y CPC-CSS al 5%, destacando la preferencia por la adición de CSS al 5%. Esto no solo tiene un impacto positivo en los costos del constructor, al evitar la remoción de grandes volúmenes de tierra, sino que también se adapta a las condiciones locales con aportes significativos de humedad, facilitando la estabilización del suelo. La combinación de Cemento Portland Compuesto y Cemento base pumicita se posiciona como la mejor opción para la estabilización del suelo, ofreciendo una propuesta valiosa para la construcción de vías de comunicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Angel, D. F. (2005). El uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Anyaypoma, R. J. (2014). Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso. Perú: UNC.

ARM, M. L. (25 de febrero de 2021). ARM Maquinaria ligera. Obtenido de su mejor opción en maquinaria para construcción: <https://www.armaquinaria.com.mx/>

- Cañar Tiviano, E. S. (2017). Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón. Ambato, Ecuador: UTDA.
- Cariat, J. A. (2016). Factibilidad de implementación del material suelo-cemento como material de construcción para viviendas de bajo costo en el Perú. Lima, Perú: PUCDP.
- Collantes, A. (2015). Estabilización de Suelos con Cenizas de Carbón Para su Uso Como Subrasante Mejorada. Lima, Perú.
- Corría, L. (2018). Los beneficios de la Arcilla. Cuba: Cuba Cooperera. 102
- EPIC. (14 de abril de 2019). Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería y Ciencias Puras - Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez. Obtenido de EPIC: <http://epicuancv.blogspot.com/p/mecanica-de-suelos-i.html>
- Guerra, A. J. (2014). Estabilización Mecánica de Suelos Cohesivos a Través de la Utilización de Cal - Ceniza Volante. Guatemala: USCG.
- Hall, M. R., Najim, K. B., & Keikhaei, P. (2012). Soil stabilisation and earth construction: materials, properties and. En R. L. Matthew R. Hall, Modern Earth Buildings (págs. 222-255). Philadelphia: WOODHEAD PUBLISHING.
- Hernán de Solminihaç T., G. E. (2016). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la. Santiago, Chile: Casilla.
- L.M. THOMPSON, F. T. (2021). Los suelos y su fertilidad. Barcelona, España: McGraw - Hill.
- Lavalle, M. e. (2013). Suelo-Cemento. México: IMCYC.
- Makusa, G. (2013). State of the Art Review Soil Stabilization Methods and Materials in Engineering Practice. Lulea, Suecia: University of Technology.
- Martha Híjar, R. P.-N.-R. (2017). Avances en México a la mitad del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020. Revista de Saúde Pública, 52-67.
- Morales, A. F. (2018). Optimización de la eficiencia en el uso de vibro compactadoras para mejorar el nivel de compactación en la ejecución de pavimentos en la provincia de Pasco 2017-2018. Cerro de Pasco, Perú: UNDAC.

- Ramírez, J. I. (2018). Estabilización de suelos de la avenida 2 del caserío de Pueblo Libre Nuevo, adicionando 3% y 5% de la ceniza de schinus molle de horno artesanal, Distrito de Pueblo Libre – Huaylas - Ancash. Caraz, Perú: USP.
- SCT, S. d. (2017). Catálogo de secciones estructurales de pavimentos para las carreteras de la República Mexicana. México: Dirección General de Servicios Técnicos.
- SEFIPLAN. (2016). Cuadernillos municipales, 2016. Sistema de información municipal (pág. 11). Juchique de Ferrer.: SEFIPLAN. 104
- Villalaz, C. C. (2017). Vías de Comunicación. México: Limusa