

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Adición de etilvinilacetato en subrasantes arcillosas para mejorar la
plasticidad, compactación y capacidad de soporte**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Carla Sofia Miranda Roque

ASESOR

Roberto Carlos Castillo Velarde

<https://orcid.org/0000-0002-9992-6596>

Chiclayo, 2025

**Adición de etilvinilacetato en subrasantes arcillosas para mejorar la
plasticidad, compactación y capacidad de soporte**

PRESENTADA POR
Carla Sofia Miranda Roque

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Joaquín Hernán Rojas Oblitas
PRESIDENTE

Luis Quiroz Quiñones
SECRETARIO

Roberto Carlos Castillo Velarde
VOCAL

Dedicatoria

A mi madre, Mirtha Isabel Roque Torres, y a mi padre, Fernando Maggin Falla Torres, por estar presentes en cada momento de mi vida, brindándome su consejo y apoyo incondicional.

Gracias por su esfuerzo, sacrificio y por haberme dado la oportunidad de acceder a una educación superior, creyendo siempre en mi capacidad.

A mi hermana, Bárbara Marycielo Miranda Roque, por acompañarme en los momentos académicos más difíciles, brindándome su apoyo constante y levantándome el ánimo cuando los cursos se tornaban complicados.

A mi pequeña mascota Maia, quien, sin saberlo, siempre me transmitió energía con su sola presencia mientras realizaba mis trabajos.

Agradecimientos

A Dios y Papá Carlos Miranda Meoño, quienes desde arriba me guiaron y me dieron fortalezas para salir adelante ante las adversidades.

A mi familia, por su apoyo y comprensión a lo largo de todos estos años universitarios.

A mis amigas de toda la vida, Guadalupe Enriquez y Alisson Calle por su amistad, consejos y comprensión a lo largo de todos los años.

A mis amigos Xiomara Morales, Miguel Baldarrago, Marcelo de la Cruz y compañeros con los que he compartido risas, enojos, llantos durante todos los años de carrera universitaria, gracias por todo su apoyo.

Adición de etilvinilacetato en subrasantes arcillosas para mejorar la plasticidad, compactación y capacidad de soporte

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

2

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

documentop.com

Fuente de Internet

<1%

4

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

www.repositorio.unach.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.usmp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Índice

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción	8
Revisión de literatura	11
Antecedentes	11
Bases teoricas	15
Materiales y métodos.....	33
Tipo y nivel de investigación	33
Población, muestra y muestreo	33
Criterios de Selección	36
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
Operacionalización de variables	39
Procedimeinto	40
Resultados y discusión.....	69
Conclusiones	101
Recomendaciones.....	102
Referencias.....	103
Anexos	106

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la plasticidad, compactación y capacidad de soporte de subrasantes arcillosas, mediante la adición del copolímero etilvinilacetato. Para llegar a validar ello, se evaluaron 5 calicatas para posteriormente trabajar con las 3 más desfavorables; llevándose a cabo 215 ensayos de laboratorio, 2 ensayos en campo y una técnica microscópica para suelo natural y suelo estabilizado con etilvinilacetato. Se registro una disminución de plasticidad al adicionar ascendentemente los porcentajes, siendo el 5% el porcentaje óptimo, respecto a su compactación llega a obtener una M.D.S de 2.08 con un óptimo contenido de humedad de 12.50% y alcanza un incremento máximo de CBR de 7% respecto al natural; resaltando la funcionalidad de haberlo incorporado de manera pulverizada. Estos resultados validan la eficacia del copolímero etilvinilacetato para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante arcillosa.

Palabras Claves: subrasante arcillosa, mejoramiento, copolímero, etilvinilacetato.

Abstract

The aim of this research is to evaluate the plasticity, compaction and bearing capacity of clay subgrades by adding the copolymer ethylene-vinylacetate. In order to validate this, 5 test pits were evaluated and then the 3 most unfavourable ones were used; 215 laboratory tests, 2 field tests and a microscopic technique were carried out for natural soil and soil stabilised with ethylene-vinyl acetate. A decrease in plasticity was recorded as the percentages were added in ascending order, with 5% being the optimum percentage. With regard to compaction, a M.D.S. of 2.08 was obtained with an optimum moisture content of 12.50% and a maximum increase in CBR of 7% with respect to the natural one; highlighting the functionality of having incorporated it in a pulverised form. These results validate the effectiveness of the ethylene-vinyl acetate copolymer in improving the physical and mechanical properties of a clay subgrade.

Keywords: clay subgrade, upgrading, copolymer, ethylene-vinyl acetate

Introducción

A nivel mundial según el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe indica que el déficit de eficiencia estructural vial provoca pérdidas anuales equivalentes al 1-2% del PIB. En ese sentido, INFRALATAM ha registrado una baja inversión económica pública en infraestructura entre 2008 a 2023, teniendo a Brasil entre el 0.3 y 1.4 % del PIB, Argentina estaba por debajo del 1,5% y México también por debajo del 2%, todos ellos significativamente por debajo del 4-6% del PIB que el Banco Mundial y la CEPAL habían recomendado; este declive afecta directamente a la calidad de las infraestructuras actuales, lo que se traduce en un aumento de las pérdidas económicas debidas al deterioro, la ineficacia y la falta de mantenimiento de estructuras viales [1].

En ese contexto, Sudáfrica enfrenta desafíos relacionados con las variaciones estacionales de humedad que afectan a los suelos arcillosos, causando fallas en los pavimentos y volviéndolos vulnerables a las cargas del tráfico. Esto destaca la importancia de estudiar la problemática de las subrasantes de alta o media plasticidad para mantener la estabilidad y durabilidad de las vías [2]. Similarmente, en Japón, donde las subrasantes arcillosas presentan baja resistencia al corte y alta compresibilidad, se requieren alternativas rápidas para estabilizar estos suelos problemáticos [3].

A nivel nacional según el reporte de emergencias de INDECI en 2023, se encontraron 1,329,778.40 km de caminos rurales destruidos, siendo Lambayeque el departamento más afectado [4]. Esto destaca la vulnerabilidad de las carreteras ante eventos naturales y la importancia de implementar medidas de estabilización en las estructuras que soportan las cargas del tráfico. El 92% de las carreteras locales y el 86% de las departamentales siguen sin pavimentar, según el Instituto Peruano de Economía (IPE), lo que indica un deterioro estructural sostenido. A pesar del tiempo transcurrido, los avances han sido mínimos: en los últimos años, la Red Departamental sólo experimentó un incremento porcentual de seis puntos, mientras que la Red Vecinal mantuvo durante 14 años un índice de 98% de vías sin pavimentar. Esta situación evidencia una brecha crítica de infraestructura que restringe la conectividad, eleva los costos logísticos y limita la capacidad de miles de peruanos para acceder a servicios esenciales, particularmente en zonas remotas [5].

Siendo así que las subrasantes en el país varían significativamente en sus características, afectando la calidad de las carreteras. Aquellas con un CBR de 3% a 6% se consideran insuficientes, mientras que las que tienen menos del 3% son inadecuadas para uso ingenieril. Las subrasantes arcillosas, que presentan baja capacidad portante y alta plasticidad, necesitan

ser estabilizadas para mejorar sus propiedades y asegurar la durabilidad y seguridad de las vías [6].

A nivel local, investigaciones recientes han revelado la presencia generalizada de suelos de baja calidad geotécnica. Un estudio llevado a cabo por [7] en las localidades de Lagunas I y II en Santa Rosa, Chiclayo, determinó que los suelos de esa zona consisten en arcillas inorgánicas (aproximadamente 8.5%), arenas limosas (aproximadamente 25%) y arena arcillosa limosa (aproximadamente 15%), clasificándolos como de mala calidad según el sistema SUCS. Por otra parte, un estudio realizado por [8] encontraron que las arcillas de baja plasticidad (CL) y las arenas de arcillosas (SC) constituyen la mayor parte del suelo en la zona de Pomapé en Monsefú, representando el 38,89% del suelo. También se encontraron arcillas de alta plasticidad (CH), que representan el 22,22% del suelo. Esta situación de suelos deficientes y propensos a problemas de estabilidad representa un desafío para el diseño adecuado de las capas de los pavimentos en infraestructura vial. De no abordarse apropiadamente, podría incrementar el riesgo de fallas prematuras y accidentes de tránsito a largo plazo en nuestras vías.

Ante esta problemática en la construcción moderna, la estabilización de subrasantes es necesaria para garantizar la longevidad y la seguridad de la infraestructura de gasoductos. La incorporación de polímeros, como el copolímero etilvinilacetato (EVA), se ha convertido en una práctica prometedora debido a sus características mecánicas y su potencial para mejorar las propiedades del suelo de manera sostenible. Dentro de los materiales reciclados, el uso de goma EVA en los entresuelos supone un reto, dado que solo se recicla en un 15 %. Para abordar este desafío, un grupo de estudio que incluye a Braskem, la Universidad Case Western Reserve, Allbirds, Adidas y el MIT está elaborando el primer procedimiento comercialmente escalable para reciclar la espuma EVA reticulada. Con esta innovación, se pretende aumentar la utilización de desechos de EVA en la producción de entresuelas del 15% al 30%. Esto resultaría en un ahorro anual de 0,5 MMT de espuma EVA, una disminución de 0,39 MMT en las emisiones de gases de efecto invernadero y una reducción de 26,6 PJ en el uso de energía [9]. Aunque su aplicación en subrasantes arcillosas no ha sido ampliamente estudiada, investigaciones en subrasantes arenosas han mostrado que al incorporar EVA reciclado cuenta con un incremento del 4.7% en el CBR, sugiriendo su potencial para mejorar la capacidad portante y reducir el impacto ambiental [10].

Por ello surge la pregunta ¿Cómo influye la adición de porcentajes del copolímero etilvinilacetato en las propiedades físicas y mecánicas de las subrasantes arcillosas?

Para dar solución al problema identificado, se plantea la siguiente hipótesis: La adición de porcentajes del copolímero etilvinilacetato reciclados mejorará significativamente las

propiedades físico y mecánicas de las subrasantes arcillosas. En donde se justifica en ser un nuevo diseño estabilizador que se define como un copolímero compuesto por etileno y acetato de vinilo que brinda beneficios a las subrasantes arcillosas, proporcionando estabilidad y seguridad a las personas que transiten sobre ella, ya que cuenta con características dichas anteriormente. Creando así una solución tecnológica que da un avance significativo en el sector de la ingeniería de materiales y la construcción civil.

Asimismo, la utilización del copolímero etilvinilacetato, provenientes de sandalias de goma recicladas, hace que resalte su valor debido a su costo mínimo, donde solo implicarían gastos de pulverización para obtenerlo a nivel de partícula. Al promover el reciclaje de polímeros, como el copolímero etilvinilacetato proveniente de sandalias de goma, se genera un impacto en la reducción de los residuos que terminan en vertederos o en el medio ambiente, conllevando no solo a la contaminación ambiental, sino también visual. En términos sociales, su influencia es relevante, debido a sus propiedades que brindan soluciones nuevas a subrasantes que requieren de estabilización, aportando al desarrollo sostenible de las comunidades y mejorar la calidad de vida de los pobladores de los distritos de la provincia de Chiclayo, donde reporta INDECI 10906 km caminos afectados.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente la presenta investigación con el siguiente objetivo general: Evaluar la plasticidad, compactación y capacidad de soporte de subrasantes arcillosas, mediante la adición del copolímero etilvinilacetato. El cual se cumplirá mediante los siguientes objetivos específicos: Caracterizar y clasificar las muestras de las subrasantes arcillosas a través de los sistemas SUCS y AASHTO. Analizar las propiedades mecánicas de la subrasante natural y estabilizada con etilvinilacetato mediante el ensayo Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR). Evaluar el agente estabilizador, mediante degradación térmica. Evaluar la muestra natural y con adición óptima mediante la técnica de Estereoscopía. Desarrollar con el óptimo porcentaje los ensayos de densidad de Campo, Penetrómetro Dinámico de Cono. Realizar un análisis de costos de la estabilización de la subrasante arcillosa con el porcentaje óptimo del copolímero etilvinilacetato y compararlo con otro tipo de insumo ya aplicado y evaluado respecto al suelo en estudio.

Revisión de literatura

Antecedentes

Zavala et al. [11] tuvo como objetivo el aumento del porcentaje del CBR al incorporar un 3% de copolímero EVA, proveniente de sandalias de goma pulverizadas, a una subrasante arenosa. La metodología utilizada consistió en ensayos físicos y mecánicos, tales como Proctor y CBR a 1 calicata extraída. La densidad seca máxima alcanzada fue de 1.726 g/cm³ con EVA, y un contenido de humedad óptimo de 9.82%. La adición del copolímero incrementó el CBR en un 4.7%. Se llegó a la conclusión de que la utilización de EVA optimiza el comportamiento mecánico del suelo. No obstante, recomiendan su aplicación en suelos arcillosos para investigar su eficacia en otras clases de terrenos. La contribución de esta investigación a este estudio es la demostración del potencial del EVA como aditivo estabilizante, así como la recomendación específica de evaluar su aplicación en suelos arcillosos, que es precisamente el enfoque de la presente investigación.

León Burga et al. [12] examinó la incidencia de la adición de polímero reciclado (PET) pulverizado en las propiedades de la subrasante arcillosa en la ciudad de Chiclayo. La metodología utilizada consistió en calicatas en dos avenidas (La Despensa y Venezuela), donde cada calicata evalúa 2 muestras por calicata; respecto a los ensayos de laboratorio realiza granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, evaluando mezclas con 1%, 3% y 5% de polímero en relación con el peso seco del suelo. Los hallazgos indicaron contaron con un suelo tipo CL (Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media) y según ASHTO es A – 6 (10), dándonos que la proporción óptima fue del 5% para dicho suelo, logrando el CBR incrementar 26.10% en la calicata C-01 y 27.31% en la calicata C-02. Además, se observó una disminución en el contenido de humedad y un incremento en la densidad seca máxima, lo que mejoró la condición del suelo de insuficiente a satisfactoria. El costo durante la estabilización con 5% de polímero reciclado fue de 85,75 sol/m², comparado con 233,89 sol/m² con 15% de cal y 132,20 sol/m² con 8% de cal (de acuerdo con la recomendación del MTC). La contribución de esta investigación a este estudio es la validación del uso de polímeros reciclados como estabilizantes y la determinación de una proporción eficaz del 5%, que servirá como referencia para evaluar su rendimiento en suelos arcillosos y su vez el análisis de costos.

Nezhad et al. [13], Tiene el objetivo de la investigación fue examinar el impacto de las fibras sintéticas (PET) y las fibras naturales (basalto y bagazo) en suelos arcillosos. La metodología adoptada fue de naturaleza experimental, implementando 27 combinaciones de contenido y longitud de las fibras. Se llevaron a cabo pruebas en las categorías de CBR, ITS, triaxial y

análisis SEM. Los resultados obtenidos mostraron que un contenido del 2% con longitud de fibra de 7.5 mm brindó los mayores valores de resistencia. Los hallazgos indicaron aumentos en la CBR hasta un 19.17% (PET) y en la ITS hasta un 60.7 kPa (basalto), con mejoras en la fricción interna (100%) y la cohesión (70%). El Método (SEM) demostró que las fibras se fusionan con las partículas de arcilla, lo que incrementa la compactación obtuvo una mejor adherencia, aumentando de tal manera la resistencia. Se llegó a la conclusión de que las fibras fortalecen el suelo al prevenir la diseminación de grietas y potenciar su resistencia. Este estudio contribuye al presente estudio mediante la validación del empleo de aditivos poliméricos para optimizar el comportamiento mecánico y estructural de suelos arcillosos.

Bozyigit et al., [14], tiene como objetivo evaluar la aplicación de tiras recicladas de botellas de polietileno tereftalato (PET) como refuerzo en la resistencia de arcilla estabilizada con cemento. El enfoque metodológico adoptado fue experimental, empleando pruebas de resistencia a la compresión simple (UCS) a 20 combinaciones de proporciones de cemento (0%, 3%, 6% y 9%) y contenido de polietileno tereftalato (PET) (0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%), con periodos de curación de 1, 7, 28 y 90 días. Los hallazgos indicaron que la resistencia máxima alcanzó 1600 kPa con un 6% de cemento y un 1.5% de polietileno tereftalato (PET) a los 28 días. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), donde se constató que los geles CSH generados por el cemento recubren los granos de arcilla y optimizan el contacto entre partículas. Las tiras de polietileno tereftalato (PET) fueron dispuestas en los vacíos del suelo y circundadas por geles CSH, lo que provocó fricción e interconexión con la matriz arcillosa. Sin embargo, se detectaron microhuecos debido a la ausencia de adherencia local. Se llegó a la conclusión de que la incorporación de polietileno tereftalato (PET) en combinación con el cemento incrementa notablemente la resistencia del terreno, tanto en términos mecánicos como estructurales. La contribución de esta investigación radica en la validación del empleo de polímeros reciclados como refuerzo para arcillas, tanto desde una perspectiva mecánica como microestructural. Este hallazgo respalda la aplicación de etilvinilacetato (EVA) en la optimización de la plasticidad, compactación y capacidad de soporte de subrasantes arcillosas.

Cuipal [15], tiene como objetivo evaluar el impacto del polímero sintético en la estabilización de la subrasante de suelo arcilloso en la ruta Chachapoyas-Huancas, en la región amazónica. Se llevaron a cabo 27 ensayos de CBR con adiciones de polímero sintético del 3%, 6% y 9%. Los hallazgos indicaron que la incorporación del 3% de polímero incrementó el CBR en un rango de 0.3% a 0.6% en comparación con el suelo sin adición. Además, en comparación con el suelo natural, se produjo una disminución de la densidad seca máxima de 0,01 a 0,04

g/cm³. Se demuestra parcialmente que el polímero sintético tiene un efecto positivo sobre el CBR, aumentando la resistencia a la deformación potencial. Este estudio corrobora la aplicación de polímeros sintéticos como estabilizadores, un recurso valioso para la optimización de subrasantes arcillosas mediante la utilización de etilvinilacetato (EVA).

Capia [16], tuvo como objetivo la aplicación de polímeros reciclados PET como aditivos en la estabilización de suelos arcillosos en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca. El propósito principal era examinar cómo el polímero PET recuperado afectaba a la capacidad de soporte de la superficie de arcilloso. Se llevó a cabo una investigación en la línea de tranvía del Km 2+000 al Km 2+500, donde se realizaron tres calicatas y dos pruebas in situ de PDC a una profundidad de 1,50 m. Se realizaron un total de 36 pruebas de CBR en suelos naturales, incorporando adiciones de contenido de PET reciclado del 1%, 3% y 5%. Los resultados obtenidos de las pruebas in situ mostraron un CBR de 5,31% y 5,34%, respectivamente. Durante las calicatas, el suelo se segmentó en dos segmentos distintos: el primer segmento con características CL-ML (CBR = 5.41%) y el segundo segmento con características CL (CBR = 5.78%). Con base en la información recabada, se dedujo que la incorporación de un 3% de polímero reciclado PET incrementó el CBR de 5.41% a 6.19%, considerándose este porcentaje de adición como el más idóneo para optimizar la capacidad de soporte del suelo arcilloso. Esta investigación corrobora la aplicación de polímeros reciclados PET como una opción eficiente para la estabilización de suelos.

Gonzales et al. [17], tuvo el propósito de optimizar las características físicas y mecánicas de suelos arcillosos de plasticidad media a través de la incorporación de polímeros PET triturados. La metodología adoptada fue de naturaleza experimental, con la aplicación de porcentajes de 10% y 15% de PET al suelo. Posteriormente, para encontrar la humedad ideal y la densidad seca máxima, se realizaron pruebas. Los resultados mostraron que el CBR aumentaba un 3% con un 10% de PET y un 4% con un 15% de PET. Con un 10% de tereftalato, la humedad óptima fue del 9,56% y la densidad seca máxima fue de 2,046 g/cm³; con un 15% de tereftalato, la humedad aumentó al 10,98% y la densidad aumentó a 2,071 g/cm³. Se llegó a la conclusión de que estos porcentajes optimizan notablemente la capacidad de soporte y las características del suelo arcilloso. La contribución de esta investigación radica en el examen de la variación del CBR y la densidad seca con porcentajes incrementados de PET, un instrumento valioso para contrastar los efectos del Eva.

Mahdieh et.al [18] Tuvieron como objetivo examinar la eficacia del alginato de sodio (SA), la goma xantana (XG), la goma guar (GG) y el quitosano (CS), aplicados en diversas proporciones y periodos de curado (7 y 28 días), en la mejora de la resistencia a la compresión

sin confinamiento (UCS) de un suelo arcilloso de alta plasticidad. Se determinó que la resistencia UCS presentaba una tendencia ascendente y descendente en relación con la dosis, alcanzando un valor máximo en una dosis óptima del 1.5% para SA, XG y CS, y del 0.5% para GG. A la conclusión de los 28 días de curado, las muestras que fueron tratadas con XG, GG y CS alcanzaron resistencias comparables a las obtenidas con cal a los 7 días, aunque con una cantidad inferior de material estabilizador. Respecto al índice CBR, los valores experimentaron un incremento desde un 4–6% natural hasta rangos de 12%–24% en función del biopolímero y el tiempo de curado, lo que representa un aumento de hasta 300% en los casos más efectivos. Además, se observó un incremento del 4.7% en el contenido óptimo de humedad y una mejora promedio del 3.5% en la densidad seca máxima (MDS), lo que indica una respuesta favorable del suelo al tratamiento. En total, se realizaron más de 80 ensayos, incluyendo pruebas UCS, CBR, Proctor Modificado y análisis de límites de Atterberg, permitiendo una evaluación integral del comportamiento mecánico e hidráulico del suelo tratado. La investigación llegó a la conclusión de que, aunque los biopolímeros no alcanzan el mismo nivel de rendimiento que la cal a 28 días, constituyen una alternativa sostenible y de menor impacto ambiental para la estabilización de suelos. La contribución de este estudio radica en enfatizar el potencial de materiales ecológicos como el etilvinilacetato, cuya capacidad de estabilización podría propiciar mejoras similares en la capacidad portante de suelos arcillosos.

Jara [19] tuvo como objetivo evaluar la influencia de la estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de madera (aserrín) en su comportamiento mecánico-deformativo, con el propósito de optimizar su utilización como subrasante. La metodología utilizada fue de carácter aplicativo, con un enfoque cuantitativo y correlativo, desarrollada a través del método de deducción hipotética. Los hallazgos obtenidos incluyen una disminución en la plasticidad del suelo del 31%, un aumento del CBR entre el 3.36% y el 17.26% (lo que representa un incremento del 414% respecto al suelo natural), y una reducción en la deformación del 29.82% al 21.75% (equivalente a una disminución del 27%). En total, se realizaron 18 ensayos para validar los resultados obtenidos. Se llegó a la conclusión de que la ceniza de madera optimiza las propiedades mecánicas del suelo arcilloso, transformándolo en una subrasante apta para el uso vial. La contribución de esta investigación a la presente investigación consiste en evidenciar que la utilización de materiales alternativos con propiedades puzolánicas incrementa de manera significativa la estabilidad, resistencia y deformabilidad de suelos arcillosos. Esto se vincula con el enfoque de emplear etilvinilacetato como estabilizante en la presente tesis.

Bases teoricas

Estabilización de Suelos

Se emplea para mejorar la propiedad física y mecánicas del suelo, aplicando métodos mecánicos y la aplicación de productos químicos, ya sean sintéticos o naturales. Quien se lleva a cabo en suelos de subrasante que son inadecuados o insuficientes, y se conoce las estabilizaciones tradicionales son: suelo cal, cemento, asfalto, etc. Existen diversas técnicas que van desde mezclar otro tipo de suelo hasta añadir algún componente estabilizante [20].

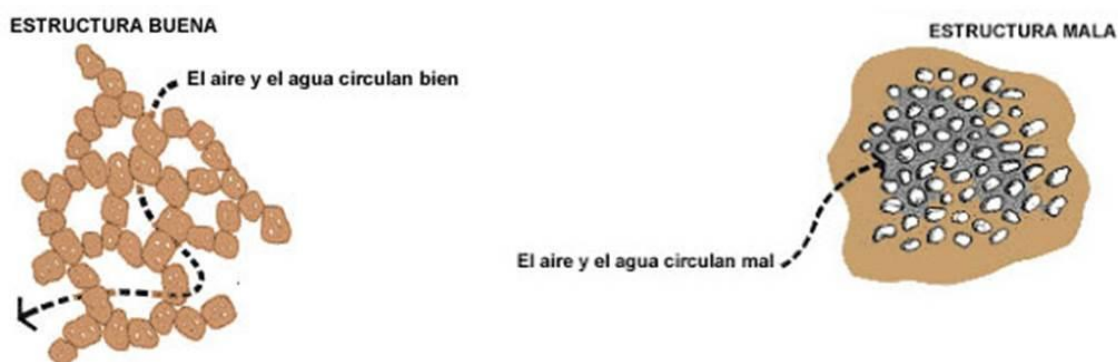


Fig. 1 COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL

Suelo

Los suelos se originan a partir de la disgregación de las rocas causada por la acción prolongada de los fenómenos atmosféricos. Este proceso, conocido como meteorización, implica tanto la desintegración física como la descomposición química de las rocas. Diversos factores, como la exposición a la lluvia, el viento y los cambios de temperatura, pueden provocar la meteorización, que fragmenta aún más las rocas y forma partículas más pequeñas [21].

Caracterización de subrasante

La caracterización de la subrasante es un paso fundamental en el diseño de caminos no pavimentados, ya que influye directamente en el comportamiento y la durabilidad de la infraestructura. Los caminos no pavimentados están diseñados principalmente para soportar cargas móviles, como las de vehículos ligeros y pesados, que transitan sobre ellos; donde dependen de la compactación del suelo y su capacidad de soporte para resistir a cargas [20].

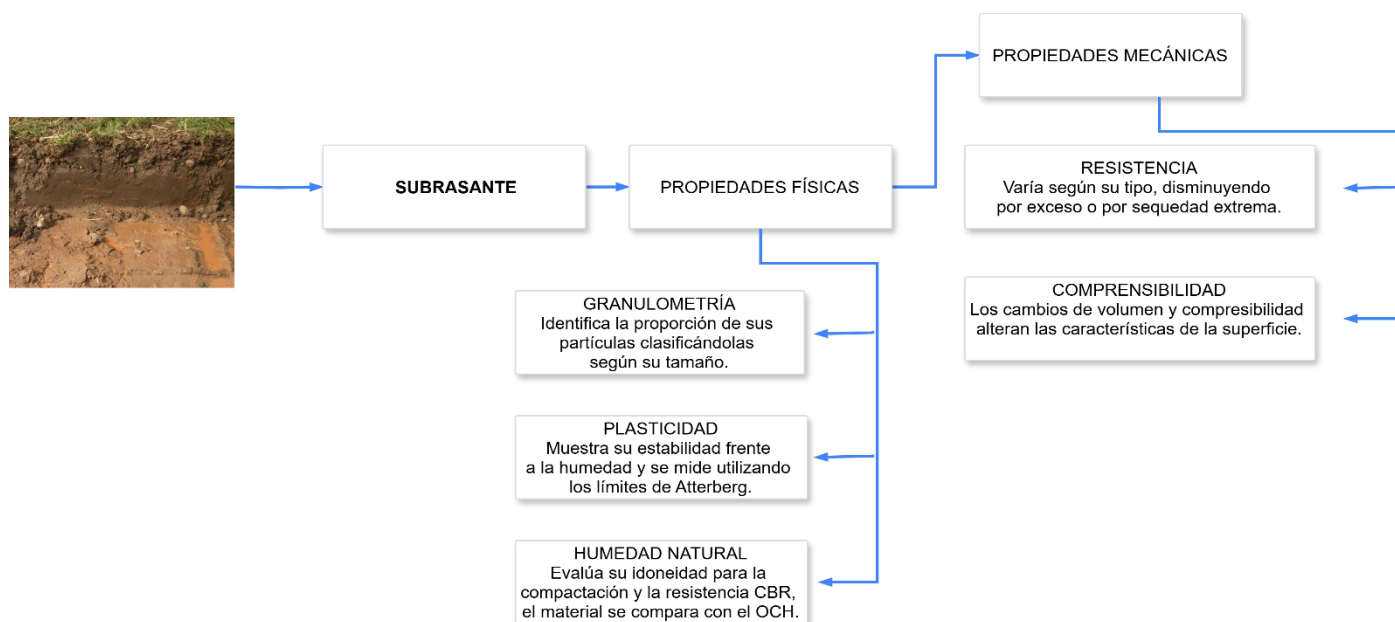


FIG. 2 PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE

Para evaluar esta capa se utiliza la capacidad de soportar o resistir la deformación mediante un esfuerzo a corto plazo bajo cargas de tráfico. También hay que tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en términos de resistencia como de posibles cambios de volumen (hinchamiento y retracción). La clasificación de la subrasante se establece en función a los criterios siguientes [22].

**TABLA I
CATEGORÍAS DE SUBRASANTES**

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

La TABLA I, muestra las categorías de subrasantes según el porcentaje de CBR, en este caso las subrasantes menores a 6% se consideran insuficientes e inadecuadas [20].

Clasificación del suelo

TABLA II
CLASIFICACIÓN SUCS

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}D_{60})$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos		
		GM	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo		
		GC	Gravas arcillosas, mezcla de gravas, arena y arcilla		
		SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
		SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	DETERMINAR SI LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DE LOS SUELOS SE CLASIFICAN COMO SUELOS GRANULOMÉTRICOS O NO GRANULOMÉTRICOS. Entre 2% y 12%; Caso de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduado, P – Mal Graduado, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas			
		ARENAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas			
		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas			
		SM			Arenas limosas, mezcla de arena y limo.
		SC			Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 	
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.		
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.

La TABLA II, representa la clasificación SUCS, que detalla la división principal, los nombres convencionales, los símbolos y los criterios de clasificación de suelos según el laboratorio, categorizándolos en suelos de partículas finas y suelos de partículas gruesas [20].

TABLA III
CLASIFICACIÓN ASSTHO

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41 (IP < LL-30)	≥ 41 (IP > LL-30)
	Índice de plasticidad	≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0		0	0			≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CAIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

La TABLA III, presenta la clasificación AASHTO, especificando las características granulométricas, límite líquido, índices de plasticidad. Además, ofrece el índice de grupo, que se utiliza para determinar la calidad del suelo [20].

Arcilla

Las arcillas son sedimentos o depósitos minerales compuestos por partículas muy pequeñas, menores de 0,002 mm, y están formadas principalmente por silicatos de aluminio hidratados. Se distinguen por su plasticidad al humedecerse y por su sonoridad y dureza al calentarse a temperaturas superiores a 800 °C [23], [24].

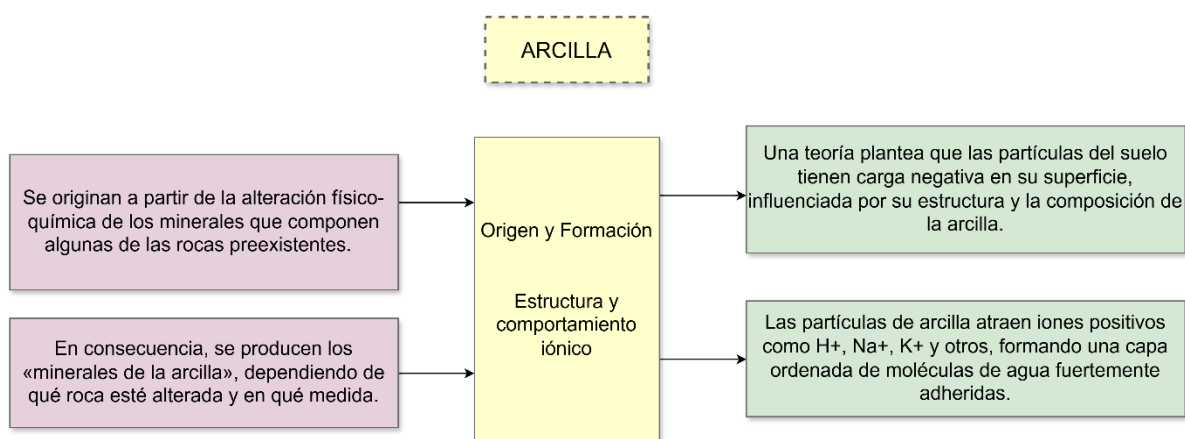


FIG. 3 ARCILLA. [25]

Bajo la fig. 3, se establece que la capacidad de intercambio iónico, las arcillas pueden reemplazar iones en sus capas y equilibrar cargas eléctricas con iones intercambiables [25].

Evaluación Geotécnica

Para la evaluación geotécnica de los asentamientos humanos de la ciudad de Chiclayo, se realizó la caracterización de suelos en diferentes sectores, considerando tipos de suelo predominantes, estratigrafía, expansión del suelo, capacidad portante y nivel freático [4].

El Sector III comprende las siguientes áreas:

Santa María, José Santos Ocopón, María Parado de Bellido, Parque Industrial, Sector 3° de la victoria, entre otros asentamientos colindantes. Y predominan las arcillas (CL, CH, CL-ML) y en menor proporción arenas finas (SP, SM) [4].

La capacidad portante de los suelos en este sector se encuentra en un rango de:

0.5 a 1.0 kg/cm², lo cual indica suelos de baja capacidad portante, requiriendo medidas de mejoramiento o cimentaciones especiales [4].

Aspecto Climático

Un criterio muy importante a considerar es que las temperaturas normales del pavimento en los territorios peruanos durante los meses de junio a octubre varían diariamente alrededor de 40 grados centígrados y en su mayoría presentan «heladas» con fuerte radiación solar y vientos fríos [6]. Según reportes de SENAMHI en el año 2024 se llegó a una temperatura máxima de 39.6 °C, precisamente en la Región de Lambayeque, como se muestra en la siguiente imagen [26].

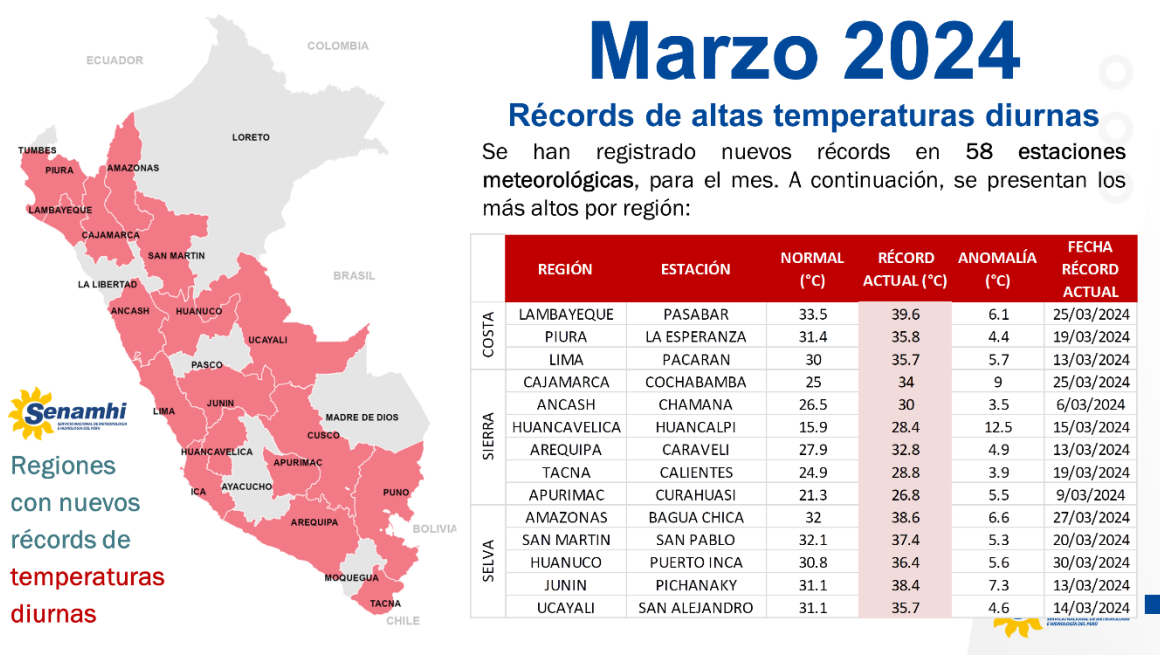


FIG. 4 ASPECTO CLIMÁTICO [26].

Copolímeros

Se da cuando emplean dos o más monómeros químicamente distintos en un proceso de polimerización, el polímero que se forma se conoce como copolímero. Usualmente, se utilizan únicamente dos monómeros diferentes, aunque a veces se emplean hasta tres [27].

Copolímero de Etilvinilacetato (EVA)

Las unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo se encuentran en los copolímeros de etileno acetato de vinilo (EVA) [28]. El EVA se descompone alrededor de 350 °C, la mayoría de los disolventes orgánicos provocan el hinchamiento de la lámina EVA y, por lo tanto, la rotura de las células. Asimismo, este, empieza a fundirse alrededor de 85 °C, pero no se descompone ni pierde estructura sino hasta mucho después (usualmente >250 °C, según TGA) [29].

Destacan por su excepcional capacidad de procesamiento, su adaptabilidad y su alta compatibilidad. Cuando hay grupos polares presentes en su estructura, se optimiza

significativamente su comportamiento en términos de cohesividad y adherencia a diversas superficies. En consecuencia, el porcentaje de vinilo acetato aumenta, al igual que la adherencia [28].

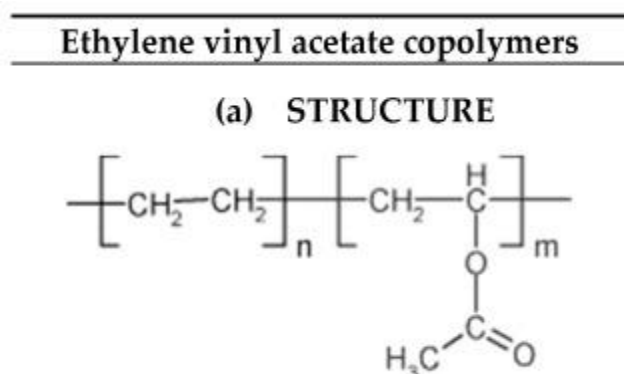


FIG. 5 FÓRMULA DE EVA [28]

Usos del etileno acetato de vinilo (EVA)

El vinilo etileno acetato (EVA) tiene sus características determinadas por el porcentaje de cada comonomero. Un contenido elevado de acetato de vinilo, potencia la resistencia al impacto, la permeabilidad a los gases, la cristalinidad y el resplandor óptico, en cambio, un contenido superior de etileno eleva la rigidez, la dureza superficial y la temperatura de sellado [30].

Este termoplástico tiene una excelente flexibilidad, resistencia, transparencia y brillo, lo que lo sitúa entre los poliésteres de vinilo más destacados. Su forma tiene la capacidad de moldearse a través de calor y presión, y regresar a su estado inicial una vez que disminuyan dichas condiciones, debido a su capacidad de transformación física reversible [30].

El EVA se fabrica principalmente a nivel comercial a través de procedimientos de polimerización en solución, emulsión o en masa a alta presión, empleando como materias primas el etileno y el acetato de vinilo [30].

EVA en sandalias

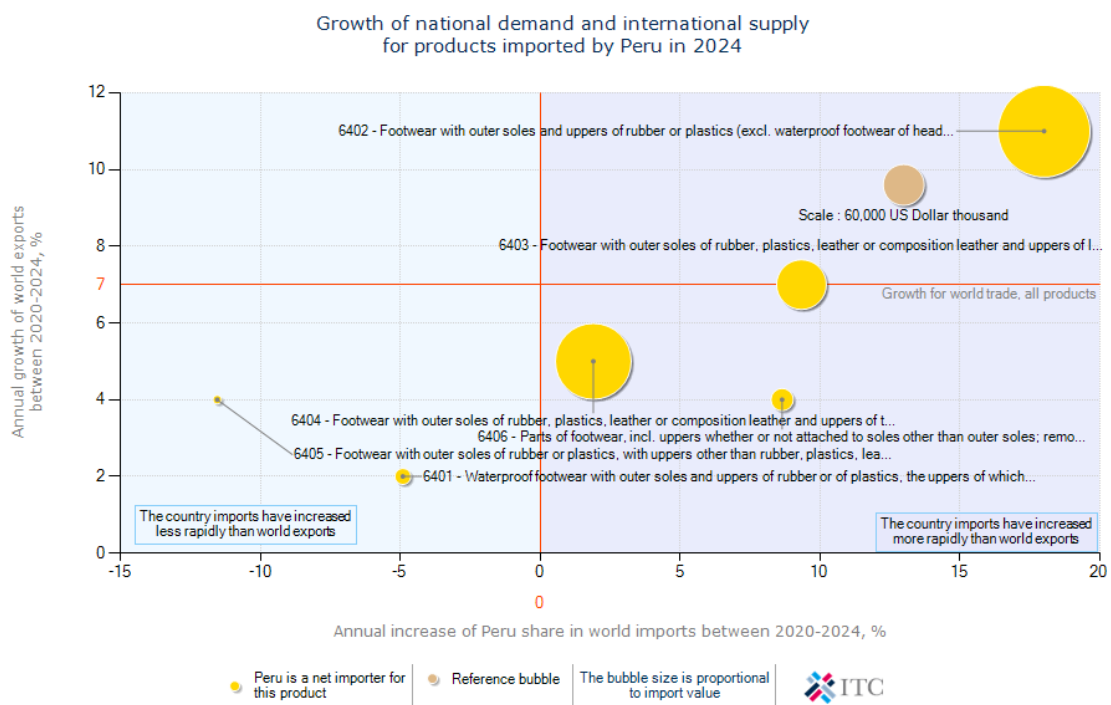
Al ser un componente empleado para diferentes productos, se enfatiza en el calzado Playero y para el hogar (Sandalias) para niñas y niños, donde ficha técnica presentada en la tabla siguiente verifica su componente es encontrado en la suela, plantilla y cerquillo de dichas sandalias [31].

TABLA IV
FICHA TÉCNICA DE CALZADO

FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO / PRODUCT DATA SHEET	
NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO / PRODUCT COMMERCIAL NAME:	ALOHA LIMIT Jr.
IMÁGENES / IMAGES	
	
DESCRIPCION DEL PRODUCTO / PRODUCT DESCRIPTION	
Calzado Playero y para el hogar (Sandalias) para niñas y niños / Beach and home footwear (Sandals) for girls and boys.	
Marca / Brand	Ramell Sandals
País de Origen / Country of origin	Venezuela
Materia prima / raw material	Suela, plantilla y cerquillo en goma EVA. Cinta y Puntera de Polipropileno / Sole, template and hedge made of EVA gum. polypropylene ribbon
Colores / Colors	Variados / Varied
Tallas / Sizes	26/27, 28/29, 30/31 y / and 32/33
Peso par / Weight per pair	De / From 141 a / to 158 g.

La demanda nacional de este producto es grande, el calzado con suelas exteriores y parte superior de goma o de plástico, cuentan con un aumento anual de las importaciones mundiales de 4.9%, un crecimiento anual de las exportaciones mundiales de 2%. Siendo así el Perú un importador neto de calzado [32]

GRÁFICO N° 1 DEMANDA DE CALZADO



Propiedades

Buena flexibilidad y transparencia:

El EVA se distingue por su capacidad para doblarse y ajustarse con facilidad a diversas formas, lo que lo hace un material flexible, idóneo para una variedad de aplicaciones como el embalaje, el calzado deportivo y los juguetes [30].

Sostiene la flexibilidad en temperaturas bajas:

En contraste con otros materiales, el EVA mantiene su elasticidad incluso en condiciones extremadamente frías, lo que lo convierte en el material perfecto para piezas de invierno como las suelas de botas y guantes [30].

Gran resistencia al calor:

Este material tiene la capacidad de soportar altas temperaturas sin deformarse ni alterar sus características físicas, aspecto crucial en productos que necesitan tolerancia térmica, como recipientes para alimentos o elementos electrónicos [30].

Alta tasa de fricción:

Esta característica del EVA lo convierte en particularmente eficiente en usos que exigen una superficie con buen agarre o antideslizante, como tapetes, suelos y revestimientos [30].

Máxima resistencia a la tracción:

El EVA puede resistir tensiones elevadas sin deformarse, lo que lo hace una alternativa resistente y segura para productos de protección, embalaje industrial y otras aplicaciones de gran exigencia [30].

Manipulación y almacenamiento

El EVA se debe conservar en contenedores cerrados y en entornos frescos. Es crucial alejarlo de fuentes de calor, chispas y fuegos para prevenir peligros [30].

Aplicaciones del EVA

La utilización del EVA depende de su composición, especialmente del porcentaje de acetato de vinilo, que puede variar entre el 7,5 % y el 50% en peso. Sus usos se extienden a varios sectores industriales gracias a su versatilidad [30].

Normas internacionales con respecto al Eva

Por su naturaleza, es crucial regular las potenciales migraciones de monómeros y aditivos que podrían suponer un peligro para la salud. Así pues, hay regulaciones que se relacionan con estos controles, como en los siguientes países [30]:

Estados Unidos (FDA)

La FDA supervisa el EVA conforme al Código de Normas Federales. Esta regulación establece que los aditivos utilizados deben respetar los límites de migración establecidos, garantizando

que el deseo del acetato de vinilo no exceda los 12 mg/kg en los alimentos. Los mismos criterios de evaluación, en particular el control de migración y la aprobación de aditivos, se emplean frecuentemente como indicadores de referencia para asegurar la seguridad de otros productos plásticos, tales como embalajes para productos no alimenticios, elementos de aparatos médicos o juguetes, donde la exposición a sustancias migratorias debe ser también mínima [30].

Unión Europea (UE)

En la Unión Europea, la Directiva contempla ambos monómeros (etileno y acetato de vinilo). Concretamente, el acetato de vinilo cuenta con un límite de migración específica (LME) de 12 mg/kg. A pesar de que esta normativa se ha creado específicamente para materiales que interactúan con alimentos, las mismas condiciones de migración y la aprobación de aditivos autorizados representan un estándar técnico para otras aplicaciones de plástico que requieren elevados criterios de seguridad, como en el ámbito de embalajes no alimentarios y elementos industriales [30].

Australia

El sistema de Australia, mediante FSANZ, facilita el cumplimiento de las normativas de la FDA o de la Unión Europea. Esto simplifica la exportación e importación, siempre que se respeten los mismos estándares de seguridad y se lleven a cabo las pruebas necesarias de migración de sustancias (FSANZ acepta la equivalencia de estos marcos normativos) [30].

China

La reglamentación GB 4806.6-2016 establece la utilización del EVA en contacto con alimentos, estableciendo que el etileno no tiene limitaciones y que el acetato de vinilo debe cumplir con un LME de 12 mg/kg. Además, la norma GB 9685-2016 define las exigencias para los aditivos. A pesar de que estas regulaciones se centran en alimentos, también se aplica la metodología de prueba (como GB 31604.9 para la migración de metales pesados) en el control de calidad de otros productos plásticos que necesitan restringir la transferencia de sustancias que podrían ser perjudiciales [30].

Japón y Corea del Sur

En Japón, el EVA se categoriza como resina sintética del grupo 2 adecuada para usos que pueden exceder los 100 °C, y se exige que los aditivos estén autorizados y listados, aspecto que es igual de importante en otras industrias de plásticos. De manera similar, Corea del Sur establece restricciones específicas de migración para los componentes del EVA en usos relacionados con alimentos, sin embargo, estos estándares son muy útiles para valorar la seguridad de los materiales plásticos en otras zonas de consumo [30].

MERCOSUR

En el Mercosur, se establece un límite de migración para el etileno y el acetato de vinilo (el acetato de vinilo debe satisfacer un LME de 12 mg/kg), y se requiere que los aditivos se incluyan en soluciones específicas. A pesar de que esta normativa se enfoca en usos que entran en contacto con alimentos, se toman en cuenta los mismos parámetros en el desarrollo y control de otros productos plásticos, asegurando que cualquier compuesto migratorio se conserve en niveles seguros [30].

Degradación Térmica

Hay que tener en cuenta factores importantes como el proceso de degradación que sufren estos materiales a medida que se someten a procesos de síntesis, transformación, uso y reciclado. Técnicas como el análisis termogravimétrico (TGA) y el análisis termodinámico (ATD) ofrecen un método directo y cuantitativo para estudiar la cinética de degradación de los polímeros. En general, se trata de calcular la variación de peso con temperaturas bajas, una rampa de calentamiento, o con respecto al tiempo para los procesos isotérmicos. En otras palabras, mediante esta técnica se puede determinar el porcentaje de pérdida de peso por descomposición, deshidratación, pérdida de disolvente, pérdida de plástico, etc [32].

Además de ayudar a estimar la estabilidad termodinámica del plástico, el análisis termodinámico también proporciona estimaciones definitivas de la vida útil total de un producto, además de proporcionar su composición química en forma de copolímero [32].

Cuando la temperatura de una muestra aumenta o disminuye, el análisis termogravimétrico mide continuamente su peso. Los gráficos (TG) muestran el peso en miligramos, gramos y porcentajes en función de la temperatura y, ocasionalmente, del tiempo en lugar de la temperatura (diagramas internos). La primera derivada de la curva TG en función de la temperatura o del tiempo (DTG) también puede utilizarse para expresar estos datos. Esta curva representa la velocidad de variación del peso con respecto a la temperatura, o dW/dT [33].

Un análisis termodinámico diferencial (ATD) es una técnica que mide la diferencia de temperatura (ΔT) entre un material de referencia y una muestra en el intervalo de temperatura considerado, en función de la temperatura, sometiendo la muestra a un programa de calentamiento controlado. evalúa los cambios de entalpía que se producen en una muestra cuando es calentada en condiciones particulares [33].

Estereoscopía

Los estereoscopios permiten estudiar objetos y especímenes que son demasiado pequeños para estudiarlos desde un simple punto de observación, pero demasiado grandes para estudiarlos con un microscopio. Su aumento oscila entre unos 5x y más de 60x, y suelen utilizar luz reflejada

en la superficie del objeto estudiado (en lugar de luz transmitida a través del espécimen, como en el caso del microscopio computarizado). Dado que se utilizan con frecuencia para separar especímenes o muestras en las partes que se examinarán mediante otros tipos de microscopía, los estereoscopios también se conocen como microscopios de disección [34]

Ensayos de laboratorio y campo para estudio de suelos

Contenido de humedad - MTC E108

Se sabe que el contenido de humedad o el grado de humedad de una superficie está relacionado con el peso del agua que contiene y el peso de sus componentes sólidos, expresado en porcentaje [20].

Herramientas y materiales

- Horno de 110 ± 5 °C.
- Balanzas, con una precisión según normativa (± 0.01 g).
- Recipientes apropiados resistentes a la corrosión y el calor.

Procedimiento

- Se registra el peso del recipiente limpio y seco.
- Se toma una pequeña porción de la muestra
- La muestra se coloca en un recipiente y se pesa el suelo húmedo.
- Posteriormente, la muestra se seca en el horno durante 24 horas.
- Después del secado, se retira la muestra del horno y se deja enfriar para poder manipular el recipiente con la muestra.
- Se pesa la muestra ya seca y se analizan los resultados.

Granulométrica por tamizado – MTC E 107

Esta prueba proporciona los porcentajes de suelo que atraviesan diversos tamices, clasificándola según las dimensiones de las partículas [20].

Herramientas y materiales

- Balanzas, con una precisión según normativa (± 0.01 g).
- Estufa de 110 ± 5 °C.
- Juego de Tamices

Procedimiento

- Se lava la muestra de suelo seleccionada con abundante agua utilizando un tamiz N°200, asegurándose de no perder ninguna partícula retenida.
- Asimismo, se recoge el material retenido en el tamiz N°200 en un recipiente para llevarlo a secar al horno.

- Posteriormente, se retira la muestra del horno, se pesa y luego se procede a tamizar por la malla N°4 – N°10 – N°20 – N°40 – N°50 – N°100 y N°200.
- Finalmente, se pesan y registran los pesos de los materiales retenidos en cada tamiz.

Granulometría por medio del hidrómetro – MTC E 109

El fundamento de este ensayo es la ley de Stokes, que se aplica a una masa de dispersión. Este método utiliza un hidrómetro para medir el porcentaje de partículas sueltas en suspensión durante un periodo de tiempo determinado. Para los ensayos de clasificación de rutina, el hidrómetro se utiliza en partículas de suelo que pasan a través de un tamiz N°10 [20].

Herramientas y materiales

- Tres balanzas, con sensibilidades de 0,01; 0,1 y 1g.
- Tamices de N°10 y N°200.
- Tamizador mecánico.
- Termómetro de inmersión
- Cronómetro
- Estufa de 110 ± 5 °C..
- Plancha de calentamiento
- Aparato agitador, mecánico, con un vaso.
- Hidrómetro.
- Cilindro de vidrio

Procedimiento

- Se prepara la muestra seca en una estufa, se tamiza por el tamiz N°10 y se seca la fracción que pasa.
- Agregue agua destilada, la muestra y el hexametafosfato de sodio.
- Durante una noche, hasta que los terrones de suelo se hayan descompuesto, deje la exposición en un área.
- Transfiérase la muestra al cilindro graduado
- Tomamos lectura con ayuda del hidrómetro para leer los porcentajes de partículas en suspensión a intervalos de tiempo.

Límites Líquido- MTC E 110

El límite líquido es la cantidad máxima de agua que una materia puede contener mientras mantiene su plasticidad [20].

Herramientas y materiales

- Acanalador
- Espátula, de acuerdo a especificaciones establecidas por la norma.

- Calibrador
- Balanza con precisión de ± 0.01 gramos.
- Horno diseñado para alcanzar temperatura de 110 ± 5 °C.
- Copa Casagrande

Procedimiento

- Primero se comienza preparando la muestra 24 horas antes triturando el suelo y se pasa por un tamiz N°40 y se humedece.
- Al día siguiente, se coloca en la Copa Casagrande una porción de la tierra previamente preparada, alcanzando una profundidad de 10 mm en el punto más profundo.
- A continuación, se utiliza el acanalador para separar la pantalla, creando un estribo entre los puntos más alto y más bajo del tablero de la copa.
- Después, se levanta el mango y se suelta la copa hasta que las dos mitades del suelo estén separadas 13 mm. Se realizan comprobaciones constantes para asegurarse de que no quedan restos de tierra debajo de la copa.
- Hay que determinar el número de golpes necesarios para cerrar la abertura, retirar una parte de la superficie del ancho de la espátula y colocarla en una tara de peso conocido para poder utilizarla posteriormente.
- El suelo restante en la copa se regresa a la placa mezcladora y se debe limpiar la copa y el ranurador y se prepara la mezcla para realizar la prueba siguiente.
- Por último, luego de 24 horas, se debe retirar las muestras del horno y se debe anotar el peso.

Límite plástico e índice de plasticidad – MTC E 111

El LP indica la cantidad mínima de agua que un material puede contener y aún conservar su estado plástico. A su vez, el IP se obtiene calculando la diferencia entre el LL y el LP [20].

Herramientas y materiales

- Tamiz de N°40
- Superficie de trabajo
- Recipientes para poder encontrar la humedad
- Espátula

Procedimiento

- Se toma aproximadamente 2 g de la muestra preparada en el ensayo anterior y se moldea en forma de elipsoide.

- A continuación, se aplica presión con los dedos sobre una superficie plana para crear cilindros con un diámetro de 3,2 mm, asegurándose de que.
- En primer lugar, se registra el peso del receptor, seguido del peso del receptor con la demostración húmeda.
- Finalmente, se secan las muestras en el horno, se retiran y se anota el peso seco de cada muestra.

Gravedad específica – MTC E 113

Este experimento se utiliza para determinar las relaciones de fase en los suelos, incluido el nivel de saturación y la proporción de vacío [20].

Herramientas y materiales

- Picnómetro
- Balanza
- Horno secado
- Secador
- Contenedor aislado
- Embudo

Procedimiento

- Primero, se mide la masa del picnómetro seco y limpio.
- Luego, se pesa de nuevo el picnómetro, esta vez lleno con agua desionizada hasta la marca de referencia.
- Después, se pasa el suelo por el tamiz N°4 y se obtiene una cantidad de 50 g.
- Se dispersa el suelo en aproximadamente 80 ml de agua y se vierte en el picnómetro usando un embudo liso.
- Después, se añade agua hasta llenar un tercio del picnómetro y se deja que la mezcla elimine el aire atrapado en la pasta de suelo saturada.
- A continuación, se pesa el picnómetro con agua hasta la marca de referencia y se mide la temperatura de la mezcla pastosa.
- Por último, colocando el picnómetro en un horno hasta que el espécimen esté completamente seco, se determina el peso del espécimen.

Proctor Modificado – MTC E115

Este ensayo establece el contenido óptimo de humedad, que es el nivel que permite el reordenamiento de las partículas, lo que resulta en una muestra más compacta y, en consecuencia, una mayor densidad seca [20].

Herramientas y materiales

- Montaje del molde
- Molde de 6 pulgadas
- Pisón manual

Procedimiento

- Se miden las dimensiones del molde para calcular su volumen.
- Se prepara la muestra triturándola y pasándola por el tamiz N°4 hasta obtener la cantidad necesaria de tierra para los cuatro puntos requeridos para trazar la curva de humedad óptima.
- Se utiliza una cantidad de 3000 g de muestra natural para cada punto del ensayo, generando 4 puntos para elaborar la curva de compactación
- Se eligen los porcentajes de agua para los 4 puntos, asegurando que se encuentren dentro del rango de humedad óptima.
- Tras determinar los porcentajes de humedad, se mezcla cada porcentaje de agua con la muestra respectiva en una bandeja grande para lograr la máxima uniformidad.
- Se toma una muestra del cuarteo realizado para determinar el contenido de humedad de la muestra.
- Posteriormente, se compacta capa por capa con 25 golpes hasta completar las 5 capas
- Posteriormente, se nivela el suelo al borde del molde, se limpia el molde y finalmente se pesa.

CBR- NTP 339.145

Esta prueba proporciona una evaluación indirecta de la capacidad de penetración del suelo. La granularidad del material, la cantidad de partículas finas y su plasticidad influyen en el valor esperado del CBR [20].

Herramientas y materiales

- Cilindro metálico para moldear
- Disco separador de metal
- Pesas con un peso de $4,54 \pm 0,02$ kg
- Émbolo de penetración
- Prensa empleada para la penetración de una muestra
- Papel filtro
- Aparato medidor de expansión

Procedimiento

- Se prepara la tierra con la cantidad ideal de humedad. A continuación, para obtener la densidad deseada, se comprime utilizando un pisón en un molde cilíndrico estándar con casquetes esféricos de igual tamaño.
- Una vez finalizado el proceso de compactación, se retira el pisón y se enrasa la muestra utilizando un enrasador o cuchillo fiable y bien ajustado. Posteriormente, se enrasa y se hincha.
- Saturación: La muestra compactada se sumerge en agua durante 96 horas (4 días) para simular las condiciones de saturación que puede experimentar el suelo en el terreno.
- Es la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medición con sus patas sobre los bordes del molde y haciendo coincidir el vástago de la esfera con la placa perforada.
- Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el siguiente procedimiento numérico.
- Se registran los pesos necesarios para alcanzar penetraciones de 2,5 mm y 5 mm.

Densidad y peso unitario del suelo INSITU – NTP 339.143

En la construcción de terraplenes, tapas de rodadura, rellenos en vías y estructuras de contención, este procedimiento se utiliza para determinar la densidad de los suelos que se compactan directamente en la obra. Frecuentemente se utiliza un criterio de aceptación a los suelos compactados, determinando si alcanzan una densidad específica o un porcentaje de la densidad máxima previamente establecida mediante un ensayo normativo [20].

Herramientas y materiales

- Cono de arena
- Balanzas
- Equipo de secado
- Equipo diverso
- Arena
- La masa de la arena requerida

Procedimiento

- Preparación: Limpia la superficie del área de ensayo.
- Excavación: Cava un hoyo en el suelo y recolecta el material extraído.

- Pesaje: Pesa el material extraído para obtener su masa húmeda y toma una muestra para el contenido de humedad.
- Volumen del hoyo: Llena el hoyo con arena calibrada y mide el volumen necesario.
- Cálculos: Calcula la densidad seca y el peso unitario del suelo a partir de la masa seca y el volumen del hoyo.

Penetrómetro dinámico de cono (INSITU) - ASTM D 6951

Se trata de una herramienta utilizada para evaluar la resistencia del suelo sometiendo un cono a una penetración a alta velocidad. Al medir la resistencia que opone la superficie a la penetración del cono, este dispositivo permite determinar la durabilidad y la capacidad de carga de la superficie [35].

Herramientas y materiales

- Penetrómetro de cono dinámico
- Cono de penetración
- Sistema de lanzamiento o mecanismo de impacto
- Balanza para pesar el equipo
- Dispositivos de medición de profundidad
- Equipo de registro de datos
- Herramientas de calibración y ajuste

Procedimiento

- Primero se configura el penetrómetro de cono dinámico, asegurando que todos los componentes estén en buenas condiciones y calibrados correctamente.
- Se monta el cono de penetración en el dispositivo, ajustándolo según las especificaciones del ensayo.
- Se prepara el sistema de lanzamiento o mecanismo de impacto para garantizar que el cono pueda penetrar el suelo a alta velocidad.
- Se colocan los dispositivos de medición de profundidad para registrar con precisión hasta dónde penetra el cono en el suelo.
- Se ejecuta el ensayo haciendo caer el cono sobre el suelo y se registra la resistencia que ofrece el suelo durante la penetración.
- Por último, se recopilan los datos obtenidos durante el ensayo utilizando el equipo de registro, incluyendo la resistencia medida y la profundidad de penetración.

Calibración de temperatura de calorímetros diferenciales de barrido y analizadores térmicos diferenciales - ASTM E967

Este método de ensayo consiste en calentar los materiales de calibración a una velocidad controlada en una atmosfera controlada a través de una región de transición térmica conocida [36].

Herramientas y materiales

- Analizador térmico simultaneo
- Analizador térmico diferencial

Procedimiento

- Seleccionar el material de calibración
- Determinar la temperatura de transición aparente para cada material de calibración
- Colocar la cantidad de 5 mg a más mg de muestra en un portamuestra limpio
- Ubicar el material y calentarlo a través de transición hasta que restablezca la línea de base por encima de transición

Microscopios — Microscopios con pantallas de imágenes digitales — Información proporcionada al usuario sobre el rendimiento de las imágenes - ISO 18221

Esta norma internacional especifica la información mínima que los fabricantes de microscopios de pantall digital deben facilitar a los usuarios sobre el rendimiento de la imagen.

Además, se utilizan términos y definiciones particulares para describir el rendimiento óptico de la trayectoria de imagen digital de los sistemas de microscopía, incluida la visualización de la imagen en paneles digitales [37]

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Esta investigación, es de tipo **EXPERIMENTAL**, por medio de ensayos de laboratorio y en campo se midieron las propiedades mecánicas y físicas de los suelos a nivel de la subrasante arcillosa (variable dependiente) al adicionar diferentes porcentajes de copolímero Etilvinilacetato (variable independiente). Resaltando que la hipótesis presentada tuvo validez cuando la manipulación de las variables independientes generó modificaciones en el comportamiento de las variables dependientes [38].

Nivel de investigación

Esta investigación presenta nivel **CORRELACIONAL**, ya que se presentan resultados de ensayo de laboratorio y en campo realizados al suelo para obtener sus propiedades físico y mecánicas a nivel de subrasante arcillosa y su relación causal con la adicción del copolímero etilvinilacetato [38].

Enfoque de investigación

El enfoque es **CUANTITATIVO**, mide los resultados y luego aplicar dichas mediciones a una muestra más amplia utilizando la estadística y la magnitud numérica [38].

Población, muestra y muestreo

Población

Para efectos de la investigación presente, la población de estudio es el distrito La Victoria, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Muestra

La muestra de estudio que son, son calicatas de subrasantes arcillosas de diferentes vías locales: Huayna Cápac, Pachacamac, Antenor Orrego, Machu Picchu.

Utilizando el método estadístico, debido a que se cuenta con una población infinita se calculará el tamaño de la muestra para estimar la proporción necesaria, de la siguiente manera:

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2}$$

n: Tamaño de la muestra

p: Probabilidad poblacional que presenta cierta característica.

q: Probabilidad poblacional que no presenta la característica.

e: Máximo error de estimación de p .

Z: Valor relacionado al nivel de confianza.

Tamaño de muestra para puntos de exploración

e: En investigaciones 5% representa un error tolerable bastante aceptable.

Z: Nivel de confianza deseada (95%), donde para cada nivel existe un valor Z asociado, siendo 1.96 el que le corresponde.

p: En la zona de estudio la ocurrencia de que exista es de 0.997, validándose en un estudio de INDECI en la ciudad de Chiclayo, donde indica que cuenta con suelos arcillosos de diferentes índices de plasticidad, como lo muestra la tabla XIII ubicada en anexos.

q: Se cuenta con 0.003 de que no cuenta con suelo arcilloso.

$$n = \frac{1.96^2 (0.997)(0.003)}{(0.05)^2} = 4.596$$

Tamaño de muestra para ensayos respecto a mi hipótesis

e: En investigaciones 5% representa un error tolerable bastante aceptable

Z: Nivel de confianza deseada (95%), donde para cada nivel existe un valor Z asociado, siendo 1.96.

p: Cuenta con una probabilidad de 85% a cumplir, ya que antecedentes relacionados algo mismo grupo que pertenecen, termoplásticos, tienden a mejorar suelos de baja capacidad portante.

q: Se le proporciona un 15% de probabilidad a que no se cumpla.

$$n = \frac{1.96^2 (0.85)(0.15)}{(0.05)^2} = 195.922$$

Muestreo

Contando con un muestreo probabilístico, los cálculos precisados anteriormente nos arrojan un total de 4.596 calitas a explorar, asumiendo un valor entero y mayor, los puntos de investigación tomados son 5, asimismo cumpliendo con la norma CE.10 de pavimentos Urbanos se tomará a una profundidad de 1.50 m.

Para ello se planteó lo siguiente, extraer 05 muestra de suelo, las cuales serán sometidas a los respectivos ensayos de laboratorio para caracterizarlas y en base a dichos resultados se seleccionaron 03 muestras, con características desfavorables en términos de sus características

físicas y mecánicas, con las cuales se trabajó la muestra patrón y con adición, con el propósito de establecer una tendencia del mejoramiento del suelo con el uso de Etilvinilacetato como agentes Estabilizador.

Ensayos de Laboratorio para las muestras en estado Natural:

TABLA V
ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

ENSAYOS	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05		
Contenido de humedad	1	1	1	1	1		
Granulometría	1	1	1	1	1		
Límites de Atterberg	1	1	1	1	1		
Gravedad Específica	1	1	1	1	1	TOTAL	
Hidrometría	1	1	1	1	1		
Proctor Modificado	1	1	1	1	1		
CBR	1	1	1	1	1		
	7	7	7	7	7		35

Fuente: Propia

Se presentan un total de 35 ensayos para evaluar las 5 calicatas extraídas y aplicar el descarte de 2 para obtener las 3 más desfavorables.

Ensayos de Laboratorio para las muestras desfavorables:

TABLA VI
ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS MECÁNICO

ENSAYOS	C-01				C-02				C-03				
	0%	2%	3%	5%	0%	2%	3%	5%	0%	2%	3%	5%	
Límites de Atterberg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Proctor Modificado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	TOTAL
CBR	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	

Fuente: Propia

Se presentan un total de 215 ensayos de laboratorio para lograr un nivel de confianza adecuado y reducir el error estadístico. Un mayor número de ensayos es fundamental, ya que permite analizar la variabilidad de los resultados, lo que resulta crucial para realizar inferencias sólidas.

Se realizaron ensayos en campos en un área de 2 metros por 1 metros tales como Densidad de campo en la cual se determinó la densidad in situ de los suelos mediante la medición de la cantidad de arena necesaria para llenar un hueco de volumen conocido, generado por un molde con forma de cono, siguiendo las especificaciones del MTC E 218; asimismo otro ensayo desarrollado en campo es Penómetro dinámico de cono donde permitió evaluar la capacidad de carga del suelo, mediante un cono de acero, en el cual se introduce al suelo mediante un peso que se deja caer desde una altura predeterminada; siguiendo la norma ASTM D 695. Dichos ensayos mencionados correlacionaron la densidad máxima y la capacidad de soporte con los ensayos realizados en el laboratorio (Proctor modificado y CBR).

Posteriormente se realizaron técnicas tales como Estereoscopía, la cual brinda una visión microscópica del suelo en estado natural y adición óptima, permitiendo una mejor comprensión de cómo las características microscópicas influyen en el comportamiento macroscópico del suelo, y se percibe como el estabilizador EVA llega a tener una mejor compactación respecto al suelo natural.

Asimismo, se le aplicará la prueba de degradación térmica al agente estabilizador (EVA), mediante el análisis térmico diferencial y análisis termogravimétrico; con el fin de corroborar la estabilidad térmica del material para aplicaciones de este tipo.

Criterios de Selección

Los criterios de selección para los puntos de estudio se escogieron a nivel estadístico, donde se evaluó 05 calicatas, con una profundidad mínima de 1.50 m. sin embargo, cuya distribución se determina bajo el criterio del investigador, donde se seleccionó 03 calicatas más desfavorables respecto a sus características con las cuales se trabajará.

En la presente investigación se usó Etilvinilacetato proveniente de sandalias recicladas de goma EVA de los centros comerciales (SPA), las cuales su tiempo de uso es corto, llevándose una recolección durante 2 meses. Este se adicionará a manera Pulverizada ya que pasará por una maquina rematadora para posteriormente tamizarlo (Tamiz N°30) y así trabajar con una muestra uniforme. El criterio usado para la selección de este material como agente estabilizador de un suelo arcilloso se basa en su composición, contando con la presencia del copolímero Etilvinilacetato (EVA), respaldada por los antecedentes.

La dosificación de Etilvinilacetato a usar es de acuerdo a los resultados obtenidos en antecedentes, además de las recomendaciones que nos proporcionan los autores en sus investigaciones, pues si bien el uso de EVA en subrasantes arcillosas no ha sido ampliamente estudiado, investigaciones relacionadas, que cuentan con el mismo grupo al que pertenece EVA

(termoplásticos), nos arrojan porcentajes óptimos en el rango de 1-15%, siendo rangos bajos los que han sido incorporados a manera pulverizada y rangos altos incorporados a manera de fibra. Para crear antecedentes y comparaciones con el aditivo estudiado, se aplicará en 3 dosificaciones, tales como: 2%, 3% y 5% respecto al volumen del recipiente; estas serán evaluadas mediante ensayos de laboratorio con el fin de obtener un porcentaje óptimo para el tipo de suelo estudiado y proceder a realizar discusiones correlacionándolos con ensayos en campo y diversas técnicas.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta investigación, la técnica utilizada para la recolección de información es la observación. En el ámbito de la ingeniería, la observación es un método directo y los datos obtenidos deben ser registrados en formatos adecuados para su posterior análisis [36]. Como herramientas para llevar a cabo esta tarea, disponemos del formulario de registro de datos basado en los procedimientos operativos estándar establecidos por el Manual de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Además, se utilizará la observación experimental en pruebas de laboratorio. También se hará uso del análisis documental a fuentes primarias y secundarias de información, con la ayuda de fichas de registro y organización.

TABLA VII
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICA	INSTRUMENTO	APLICACIÓN
Observación Experimental	Fichas de registro de datos	Ensayos de laboratorio y Campo
Análisis de documentos	Fichas de registro	Fuentes de información

Fuente: Propia

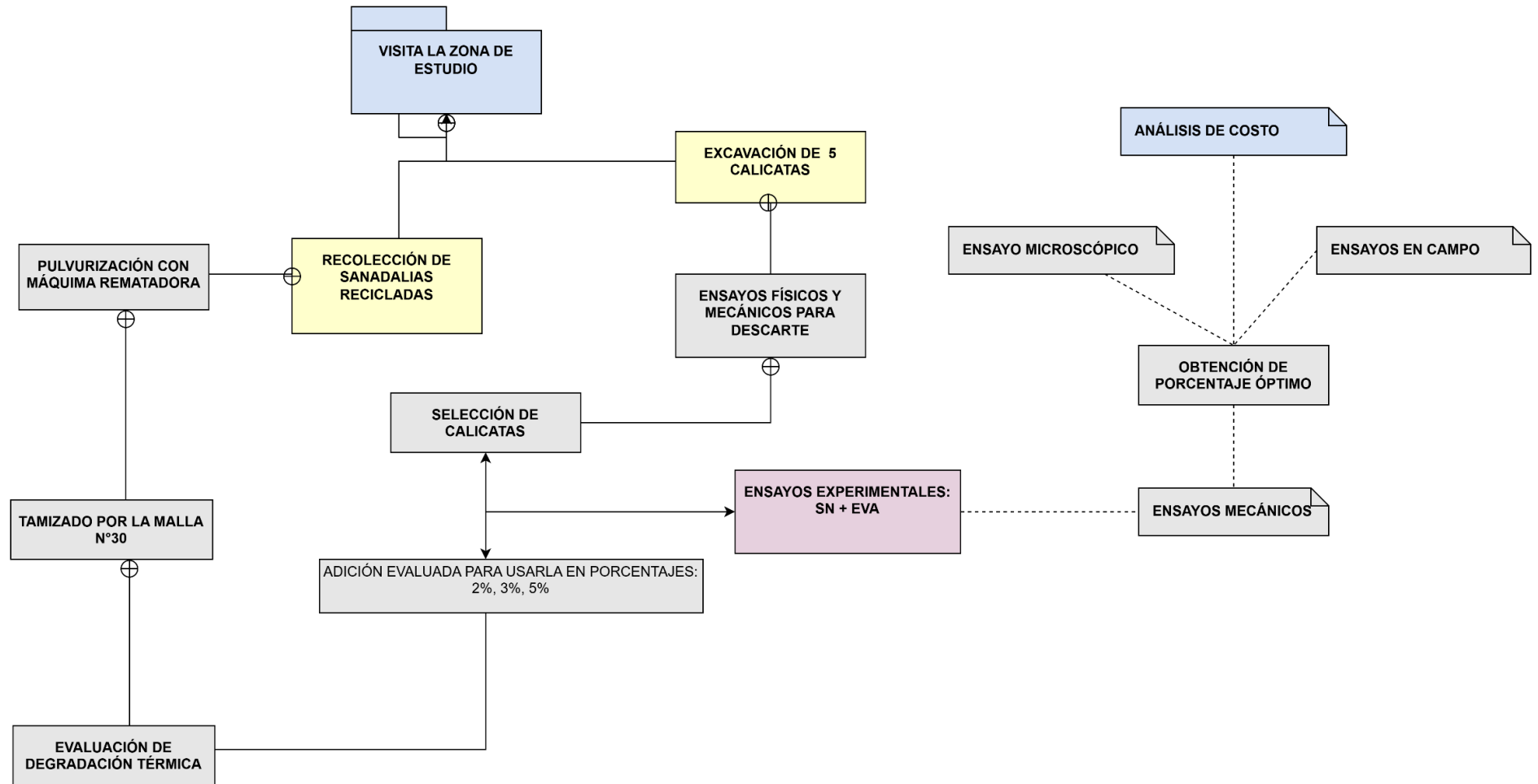


Fig. 6 PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

Operacionalización de variables

Se ha definido el objeto de estudio, así como las variables dependiente e independiente, todas ellas de tipo cuantitativa.

TABLA VIII
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO	RANGO
Independiente	Adición de copolímero etilvinilacetato	Cant. De copolímero etilvinilacetato	%	Balanza Elec.Aproximación a 0.1 g	0% , 2%, 3%, 5%

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DIMESIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Dependiente	Mejoramiento de propiedades físico y mecánicas del suelo de subrasante arcillosa	Propiedades físicas	Plasticidad	%	Ensayo para determinar LL,LP e Ip NTP 339.129
			Tamaño de partículas	mm	Ensayo Granolometrico NTP 339.128
			Contenido de agua	%	Ensayo de contenido de humedad NTP 339.127
			Diametro de los Poros	um	Ensayo estereoscopio
		Propiedades Mecánicas	% Optimo contenido de Humedad	% de peso	Ensayo de Proctor Modificado NTP 339.141
			índices de CBR	%	Ensayo CBR NTP 339.145
			Grado de compactación	%	Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo insitu mediante el metodo del cono de arena/NORMA N.T.P. 339.143
			Resistencia del suelo	mm/golpe	Ensayo de penometro dinamico de cono /normativa ASTM D 6951

TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO
Interviniente	Diámetro del copolímero etilvinilacetato	mm	Tamiz N°30 (0.60 mm)

Fuente: Propia

Procedimiento

Obtención de las muestras de suelo

Se llevaron a cabo visitas al sitio de estudio para evaluar las características y el estado actual del área. Posteriormente, se realizaron excavaciones manuales en cinco calicatas con el fin de recolectar muestras inalteradas del suelo. De acuerdo y respetando la CE.010 de pavimentos urbanos, se requiere que cada calicata alcance una profundidad mínima de 1.5 metros. Esta profundidad es crucial para obtener muestras representativas que reflejen las condiciones del suelo en diferentes estratos.



Fig. 7 Visita zona de estudio



Fig. 8 Extracción de calicatas



Fig. 9. Profundidad de excavación

A continuación, se presentan los **perfiles estratigráficos** de cada calicata:

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.10	A C I E L O A B I E R T O	C - 1		CL A-7-6 (13)	Arcilla de baja plasticidad con Arena Limite liquido : 42.9% Limite plástico : 21.8% Índice de plasticidad : 21.1% Humedad natural : 27.0%
1.50					

Fig. 10. Perfil Estratigráfico de Excavación N°1

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.10	A C I E L O A B I E R T O	C - 2		CL A-6 (9)	Arcilla Arenosa de baja plasticidad Limite liquido : 33.98% Limite plástico : 17.30% Índice de plasticidad : 16.68% Humedad natural : 17.80%
1.50					

Fig. 11. Perfil Estratigráfico de Excavación N°2

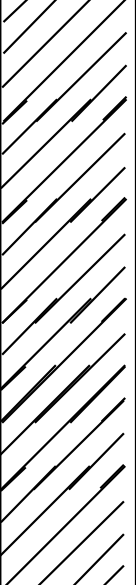
Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.10	A C I E L O A B I E R T O	C - 3		CL A-6 (12)	Arcilla de baja plasticidad con Arena Limite liquido : 39.9% Limite plástico : 20.4% Índice de plasticidad : 19.5% Humedad natural : 18.0%
1.50					

Fig. 12. Perfil Estratigráfico de Excavación N°3

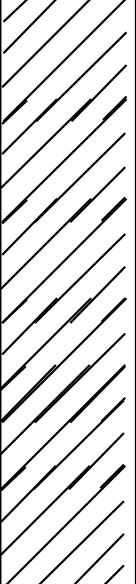
Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.10	A C I E L O A B I E R T O	C - 4		CL A-7-6 (12)	Arcilla de baja plasticidad con Arena Limite liquido : 41.4% Limite plástico : 22.3% Índice de plasticidad : 19.1% Humedad natural : 19.9%
1.50					

Fig. 13. Perfil Estratigráfico de Excavación N°4

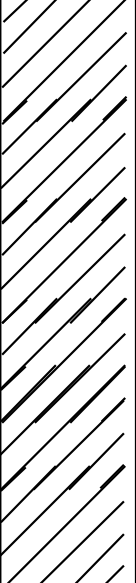
Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.10	A C I E L O A B I E R T O	C - 5		CL A-6 (5)	Arcilla Arenosa de baja plasticidad Limite liquido : 29.8% Limite plástico : 16.8% Índice de plasticidad : 13.0% Humedad natural : 14.6%
1.50					

Fig. 14. Perfil Estratigráfico de Excavación N°5

Obtención y preparación del agente estabilizador

Se realizó una recolección de 10 stands ubicados en el Mercado modelo “Aguas verdes-sección belleza” donde se brindó la cantidad necesaria a usar en dicha investigación, se llevó un proceso de retiro de tiras y se procedió a pulverizar una por una con ayuda de una máquina rematadora, y un personal responsable para ello.



Fig. 15. Pulverización de EVA



Fig. 16. Tamizaje del copolímero reciclado



Fig. 17. El excedente del tamizaje

Evaluación a Copolímero EVA

Análisis Termogravimétrico y Térmico diferencial

El copolímero EVA, es analizado mediante análisis térmico diferencial y termogravimétrico, obteniendo la degradación térmica mediante la pérdida de masa, durante un proceso de calentamiento; este análisis fue trabajado en instalaciones exteriores denominado el laboratorio “FQAPERÚ” en la ciudad Trujillo, utilizando 400 mg, y dicha muestra paso por el tamiz 200;

respectando la norma ASTM E967 - Calibración de temperatura de calorímetros diferenciales de barrido y analizadores térmicos diferenciales.



Fig. 18 Muestra EVA

Ensayos de muestras Naturales

Contenido de humedad

Se determino el peso de las muestras húmedas de 1kg aproximadamente, para luego ser llevadas al horno, una vez finalizado el periodo de secado, se retira cuidadosamente la muestra, siendo importante este proceso ya que manipular la muestra caliente podría alterar los resultados. Al pesar la muestra seca permitió calcular el contenido de humedad original comparando este peso con el peso del suelo húmedo obtenido previamente. Siendo esencial para evaluar las características del suelo, ya que la humedad influye significativamente en su comportamiento mecánico y su capacidad de carga.

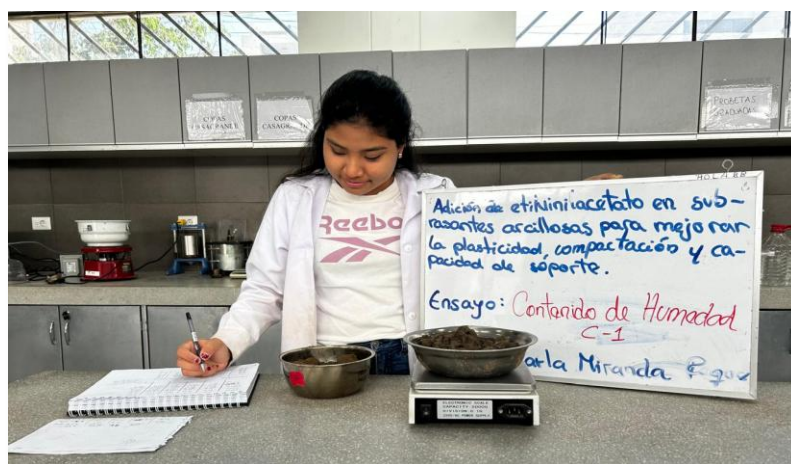


Fig. 19. Peso de cada muestra + tara



Fig. 20. Muestras húmedas a evaluar



Fig. 21. Muestra seca

Granulométrica por tamizado

El ensayo comienza con el lavado de la muestra de suelo seleccionada ya seco obtenido del ensayo anterior (contenido de humedad), utilizando abundante agua y un tamiz N°200 para asegurar que no se pierda ninguna partícula retenida. Posterior a ello, se lleva al horno para ser secada. En este ensayo se hizo uso de diferentes tamices, donde se registran y pesan los

materiales retenidos en cada uno de los tamices, lo que ofrece una visión detallada de la granulometría del suelo y sus características.



Fig. 22. Muestra Lavada



Fig. 23. Juego de Tamices a usar

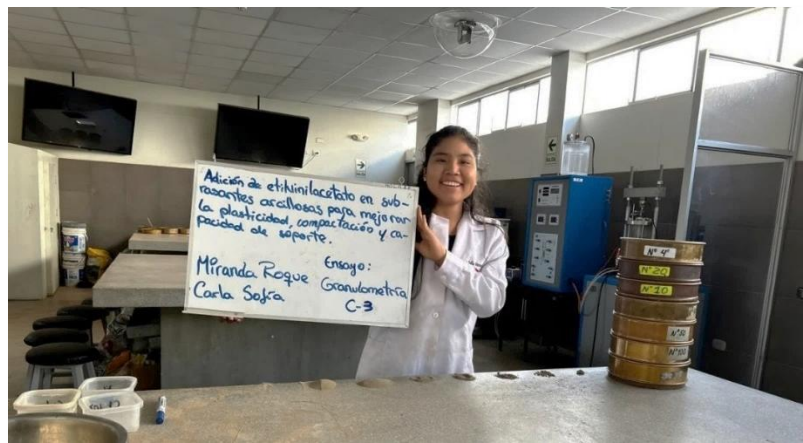


Fig. 24. Lo retenido en cada tamiz respecto a cada calicata

Granulometría por medio del hidrómetro

Las muestras se colocaron en una botella de vidrio, a la que se le añade agua destilada y hexametáfosfato de sodio, un dispersante que facilita la separación de las partículas; dejando durante un día para que los terrones de suelo se desintegren completamente. Al día siguiente, hacemos uso de un cilindro graduado para su análisis y de un hidrómetro para medir los porcentajes de partículas en suspensión a intervalos de tiempo. Teniendo como finalidad de ver el tamaño de las partículas en un suelo suspendido en agua, permitiendo identificar la proporción de partículas finas y su comportamiento en función de la sedimentación.



Fig. 25. Preparación de la muestra



Fig. 26. Medición de partículas en suspensión

Límite Líquido

Se llevó a cabo la preparación de una muestra seca que pesó 200 g, la cual fue tamizada a través del tamiz N°40 y colocada en un recipiente. A esta muestra se le añadió una cantidad adecuada de agua destilada; para proceder a obtener una mezcla homogénea, que se vertió en el centro de la Copa de Casagrande. Después de nivelar la superficie, se utilizó un acanalador para realizar un corte en el centro de la copa, segmentando así la muestra de suelo en dos partes; se registraron los golpes aplicados a la copa y se seleccionó una porción de la parte central para su análisis. Finalmente, la muestra se llevó al horno con el objetivo de determinar su contenido de humedad, lo cual es esencial para evaluar la cantidad de agua que el suelo puede retener antes de cambiar de estado, afectando su plasticidad y comportamiento mecánico.



Fig. 27. Muestra a evaluar



Fig. 28. Ejecución del ensayo haciendo uso de copa de casa grande



Fig. 29. Contenido de humedad de las muestras analizadas

Límite Plástico

Se trabajó con 20 g de la muestra preparada para determinar el límite líquido. Luego, se amasó la muestra y se dejó reducir la humedad hasta alcanzar una consistencia que permitiera formar rollitos; continuando hasta que se aparecieron grietas o el rollito se rompió. En caso de que no se observara agrietamiento, se volvió a amasar y se formaron nuevamente los rollitos, para finalmente ser llevados al horno para determinar el porcentaje de contenido de humedad.



Fig. 30. Ejecución del ensayo



Fig. 31. Muestras secas

Gravedad específica

Para llevar a cabo este ensayo, es necesario que la muestra representativa pase a través de una malla N° 10 y se encuentre en condiciones secas. De acuerdo con la clasificación del suelo, se empleará una masa de 50 gramos del espécimen para un matraz de 250 ml. Se realiza los

pesos necesarios, y se vierte el suelo. Finalmente, se eliminarán los vacíos en un período de cinco minutos utilizando la cámara de vacíos, después de lo cual se pesarán los matraces y se registrarán los datos correspondientes.



Fig. 32. Especímenes de 50 gramos



Fig. 33. Peso de cada matraz



Fig. 34. Muestra sometida a la cámara de vacíos

Proctor Modificado

Se prepararon cuatro especímenes de 3 kg cada uno, asegurando que la muestra estuviera seca, disgregada y pasara a través del tamiz N° 4. A continuación, la muestra se saturó con diferentes porcentajes de agua y se dejó reposar durante un día. Posteriormente, se determinó el peso del molde y se procedió a colocar la primera capa en él, aplicando 25 golpes. Este procedimiento se repitió para las cuatro capas restantes, garantizando que todas tuvieran el mismo espesor y una aplicación uniforme de golpes (25 golpes por minuto). Adicionalmente, se extrajo una porción de la muestra para determinar el porcentaje de contenido de humedad y se llevó la muestra al horno para poder verificar su humedad posteriormente.

Analizar la relación entre la densidad y el contenido de humedad de un suelo, determinando su densidad seca máxima y su contenido de humedad ideal.



Fig. 35. Saturación de la muestra



Fig. 36. Peso del molde



Fig. 37. Penetración en 5 capas

CBR

Para este ensayo, se pesó un total de 15 kg de muestra de suelo seco que pasa la malla N° 04, utilizando 5 kg por cada punto de CBR. La preparación de cada espécimen se llevó a cabo con el contenido de humedad óptimo determinado en el ensayo de Proctor modificado, compactando la muestra en cinco capas, cada una sometida a diferentes niveles de energía: 56, 25 y 12 golpes, respectivamente. Tras registrar el volumen del molde, los moldes preparados se sumergieron en agua durante cuatro días para saturarse. Se colocó un trípode en los bordes del molde y se alineó el vástago de la placa perforada con el dial, marcando la posición de las patas en el borde del molde. Se anotaron las lecturas de expansión cada 24 horas durante 96 horas de inmersión. Una vez concluido este período, se retiraron los moldes y se dejaron escurrir durante 15 minutos. Posteriormente, se realizó la penetración, tomando 10 lecturas de carga según lo indicado en el Manual de ensayos de materiales del MTC.



Fig. 38. Penetración por capas



Fig. 39. Medición de expansión



Fig. 40. Moldes compactados en saturación 4 días

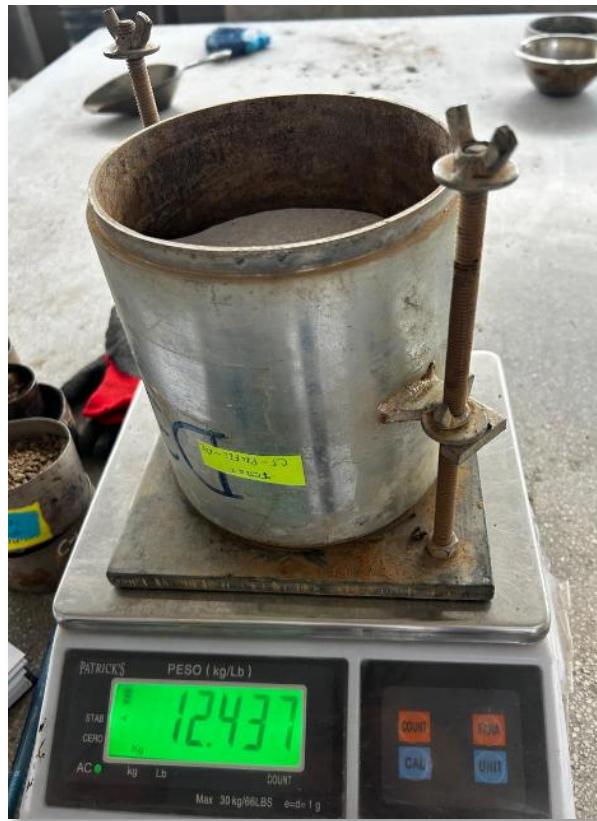


Fig. 41. Peso del molde pasando los 4 días

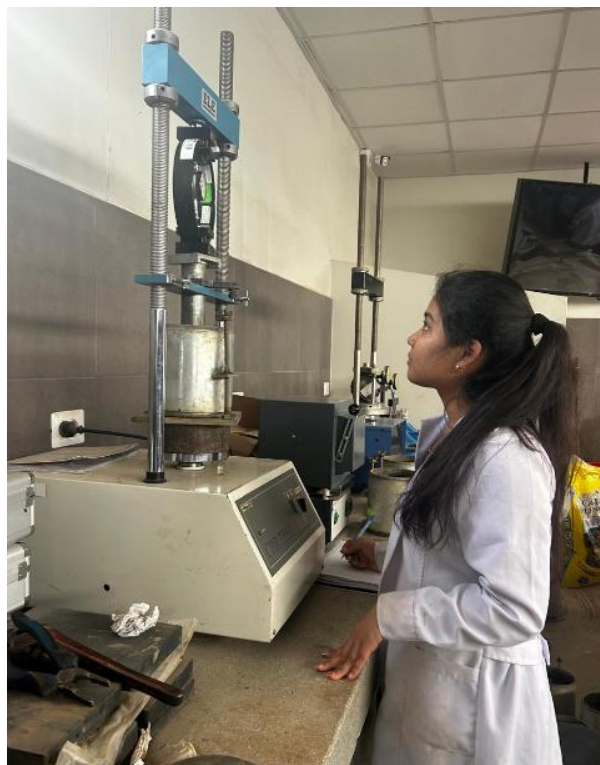


Fig. 42. Penetración

Ensayos experimentales: SN + EVA

Limite Liquido y Límite plástico

Con base en cálculos previamente obtenidos, se evaluaron dos veces más los límites de Atterberg para las calicatas más desfavorables. Se utilizaron 200 g de suelo, y en el caso de la muestra experimental se le adicionó 2,3 y 5% de EVA.



Fig. 43. Instrumentos utilizados



Fig. 44. Ejecución con muestra patrón



Fig. 45. Preparación de la muestra + Adición



Fig. 46. Instrumentos utilizados



Fig. 47. Ejecución del ensayo experimental

Proctor modificado

Se realizó con una repetición de 3 veces dicho ensayo; asimismo, se hicieron todos los procedimientos normados. Sucesivamente se aplicó el ensayo experimental, adicionándole 2,3 y 5% de EVA.



Fig. 48. Compactación muestra patrón



Fig. 49. Retirando el excedente de la compactación



Fig. 50. Preparación de la muestra

CBR

Se realizó con una repetición de 10 veces dicho ensayo. Asimismo, se hicieron todos los procedimientos normados. Sucesivamente se aplicó el ensayo experimental, adicionándole 2,3 y 5% de EVA.



Fig. 51. Suelo natural + EVA



Fig. 52. Peso del molde



Fig. 53. Medición de Penetración

Ensayos experimentales: SN + % óptimo

Estereoscopia

El presente ensayo se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo, donde dicha muestra compactada fue llevada al estereoscopio, con el fin de evaluar el tamaño de poros que presenta la muestra con y sin adición. No obstante, la muestra fue trabajada con su porcentaje óptimo de humedad y con la adición óptima. Respectando lo indicado en la norma ISO 18221 Microscopios con pantallas de imágenes digitales — Información proporcionada al usuario sobre el rendimiento de las imágenes.

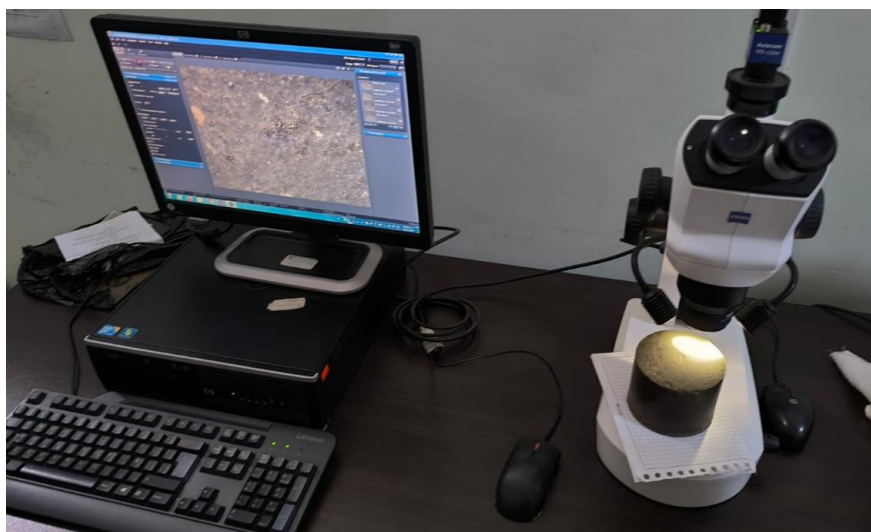


Fig. 54. Muestra evaluada



Fig. 55. Visión microscópica



Fig. 56 Analizando resultados mediante software

Densidad de campo

Se preparó la muestra en campo un día anterior, realizando la excavación de $2 \times 1 \times 0.50$ y compactación. Dejando aproximadamente una semana para posteriormente ser evaluada. Donde se recolectó en campo el material y se calculó su volumen, aplicando para 4 puntos (2 naturales y 2 adición óptima); respectando lo indicado en el NTP 339.143.



FIG. 57 Excavación



FIG. 58 Suelo Natural +EVA



Fig. 59 Recolección de Muetsra



Fig. 60 Medición de volumen

Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP)

Se preparó la muestra en campo un día anterior, realizando la excavación de 2x1x0.50 y compactación. Dejando aproximadamente una semana para posteriormente ser evaluada, donde se utilizó una barra de acero con una regla indicando la capacidad de soporte de dicho suelo. Respetando la ASTM D 6951.



Fig. 61 Penetración del suelo



Fig. 62 Medición de profundidad

Resultados y discusión

Resultados

Ensayos de muestras Naturales

Las muestras analizadas fueron recolectadas en las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4, C-5, teniendo cuidado de no alterar su estado natural; para determinar cada característica física y mecánica del suelo. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Contenido de humedad

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E108, obteniendo la tabla siguiente:

TABLA IX
RESULTADOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE MUESTRAS NATURALES

CONTENIDO DE HUMEDAD		
CALICATA	PROFUNDIDAD	HUMEDAD(%)
C-01	1.5	27.00%
C-02	1.5	17.80%
C-03	1.5	18.00%
C-04	1.5	19.90%
C-05	1.5	14.60%

Fuente: Propia

El suelo intervenido arroja valores variados de contenido humedad, donde indica que la zona de estudio se encuentra con diferentes niveles de humedad, presentando rangos de 14.60% a 27%.

Análisis Granulométrico por Tamizado

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E107, obteniéndose la tabla siguiente.

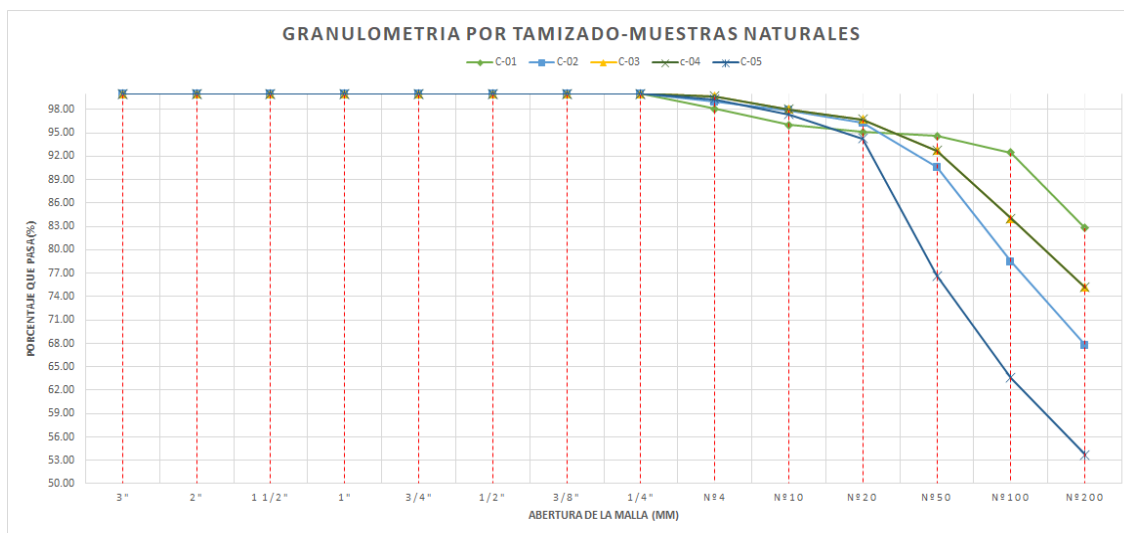
TABLA X
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO-MUESTRAS NATURALES			
CALICATA	Grava(%) 75.00-4.75 mm	Arena (%) 4.75-0.075 mm	Limo/Arcilla (%) <0.075 mm
C-01	1.90%	15.30%	82.80%
C-02	1.00%	31.20%	67.80%
C-03	0.30%	24.50%	75.20%
C-04	0.00%	23.50%	76.50%
C-05	0.70%	45.60%	53.70%

Fuente: Propia

Las muestras evaluadas en general presentan una alta proporción de Lima/arcilla respecto a grava y arena, en un rango que oscila entre 53.70% y 82.80%, además se observa que la C-05 si presenta una cantidad alta de arena respecto a las cantidades de la C-01, C-02, C-03, C-04.

GRÁFICO N° 2. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO



Fuente: Propia

La C-01, C-02, C-03, C-04 presentan material fino, donde la curva se muestra muy empinada en el rango de las partículas menores a 0.075 mm, por lo contrario, la calicata C-05 presenta una pendiente más pronunciada donde se verifica que por la malla N°200 pasa menos suelo respecto a las anteriores y de la misma forma la C-01 es la que presenta mayor suelo fino.

Análisis Granulométrico por Hidrómetro

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E109, para las 5 calicatas, observándose en la tabla siguiente.

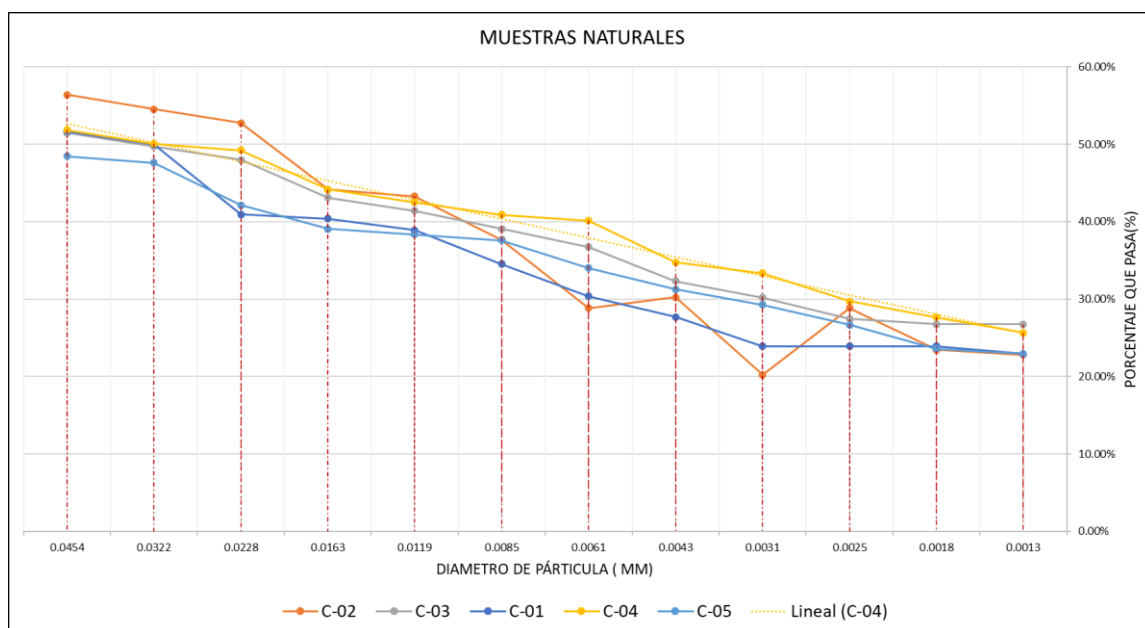
TABLA XI
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR HIDROMETRÍA

GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO-MUESTRAS NATURALES									
CALICATA -01		CALICATA -02		CALICATA -03		CALICATA -04		CALICATA -05	
diametro (mm)	% Que pasa	diametro (mm)	% Que pasa	diametro (mm)	% Que pasa	diametro (mm)	% Que pasa	diametro (mm)	% Que pasa
0.0454	51.67%	0.0454	56.38%	0.0456	51.46%	0.0456	51.84%	0.0455	48.45%
0.0322	49.99%	0.0322	54.55%	0.0323	49.73%	0.0323	50.09%	0.0322	47.63%
0.0231	40.95%	0.0228	52.74%	0.0229	48.01%	0.0229	49.22%	0.0230	42.11%
0.0163	40.41%	0.0163	44.18%	0.0163	43.11%	0.0163	44.16%	0.0164	39.08%
0.0120	38.90%	0.0119	43.27%	0.0120	41.42%	0.0119	42.53%	0.0120	38.34%
0.0085	34.52%	0.0085	37.67%	0.0085	39.06%	0.0085	40.92%	0.0085	37.60%
0.0061	30.35%	0.0061	28.82%	0.0060	36.75%	0.0060	40.13%	0.0060	34.02%
0.0043	27.70%	0.0043	30.23%	0.0043	32.32%	0.0043	34.76%	0.0043	31.26%
0.0031	23.90%	0.0031	20.23%	0.0030	30.19%	0.0030	33.28%	0.0030	29.25%
0.0025	23.90%	0.0025	28.82%	0.0025	27.44%	0.0025	29.71%	0.0025	26.66%
0.0018	23.90%	0.0018	23.45%	0.0018	26.77%	0.0018	27.64%	0.0018	23.56%
0.0013	22.95%	0.0013	22.81%	0.0013	26.77%	0.0013	25.64%	0.0013	22.95%

Fuente: Propia

Se observa que, en todas las calicatas estudiadas, los porcentajes acumulados de partículas que se sedimentan a través del tamiz de 0.0454 mm son significativamente más altos en comparación con el tamiz de 0.0013 mm, lo que indica, la distribución que cuenta nuestro suelo cuenta, recalcando que, aunque va disminuyendo el diámetro aún existe aún presencia de partículas muy finas.

GRÁFICO N° 3. GRANULOMETRÍA POR HIDROMETRÍA



Fuente: Propia

La gráfica presentada indica que el suelo estudiado presenta una distribución mixta de partículas.

Límite Líquido y Límite Plástico

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E110 y MTC E111, obteniendo la tabla siguiente.

TABLA XII
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

LÍMITES DE CONSISTENCIA			
CALICATA	LL	LP	IP
C-01	43%	22%	21%
C-02	34%	17%	17%
C-03	40%	20%	20%
C-04	41%	22%	19%
C-05	30%	17%	13%

Fuente: Propia

Los valores de las calicatas C-01, C-03, C-04 presentan un índice de plasticidad y un límite líquido más elevados respecto a las calicatas C-02 y C-05. Indicando una diversidad de comportamientos plásticos en la zona de estudio.

Gravedad Específica

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E113, obteniendo la tabla siguiente.

TABLA XIII
RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

CALICATA	PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SOLIDOS	
C-01	2.50	gr/cm ³
C-02	2.53	gr/cm ³
C-03	2.44	gr/cm ³
C-04	2.41	gr/cm ³
C-05	2.53	gr/cm ³

Fuente: Propia

Los valores obtenidos en las 5 calitas varían entre 2.41 y 2.53 gr/cm³, determinando que hay suelos más densos que otros, puede esto indica que al tener más densidad aportaría al comportamiento mecánico del suelo.

Proctor Modificado

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E115, obteniendo la tabla siguiente.

TABLA XIV
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO

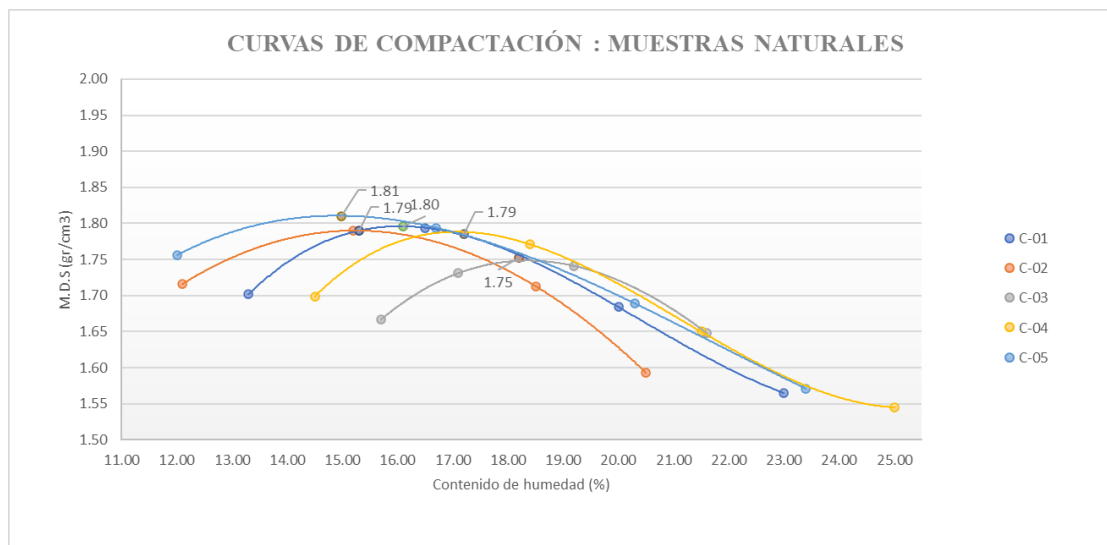
PROCTOR MODIFICADO			
DOSIFICACION	Profundidad	C-01	
		O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm ³)
C-01	1.5	16.10	1.80
C-02	1.5	15.30	1.79
C-03	1.5	18.20	1.75
C-04	1.5	17.20	1.79
C-05	1.5	14.98	1.81

Fuente: Propia

Los suelos evaluados presentan valores similares de M.D.S, donde resalta el óptimo contenido de humedad que requieren para llegar a dicha M.D.S, respecto a ello se puede

identificar que C-01, C-03, C-04 presentan O.C.H mayor que C-02 y C-05 pero no hay cambios significativos en su máxima densidad seca.

GRÁFICO N° 4. PROCTOR MODIFICADO DE SUELO NATURAL



Fuente: Propia

Los puntos de la curva indican que a medida que se eleva la humedad en el suelo, la densidad máxima seca aumenta hasta alcanzar su punto máximo, en que el suelo tiene su máxima compactación; posterior a ello, la humedad sigue aumentando, pero la densidad máxima disminuye, lo que indica que el exceso de agua afecta negativamente la compactación del suelo.

CBR

El presente ensayo se realizó teniendo en cuenta la normativa del MTC E132, obteniendo la tabla siguiente.

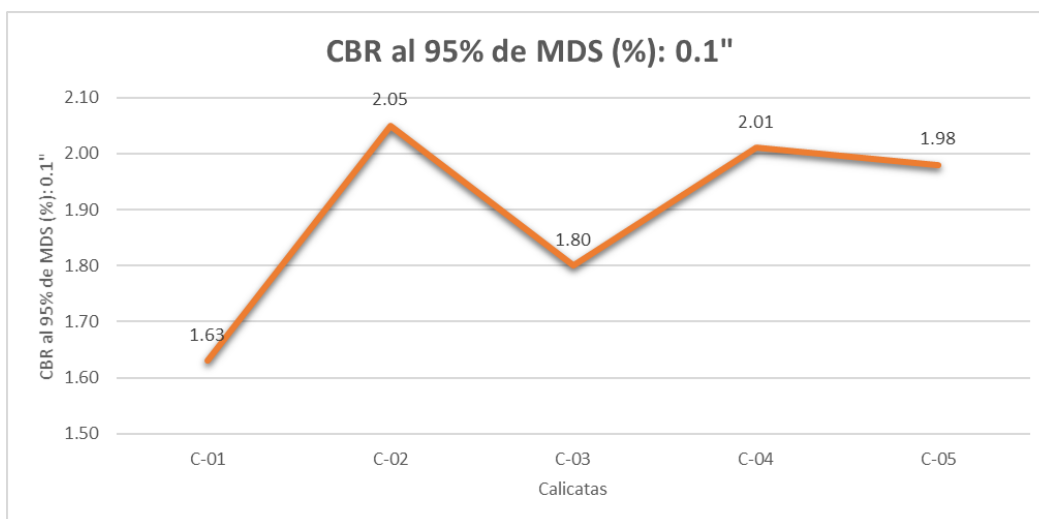
TABLA XV
RESULTADOS DE CBR

CALICATAS MUESTRA NATURAL					
MUESTRAS NATURALES	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%): 0.2"
C-01	1.5	2.35	1.63	2.01	1.56
C-02	1.5	2.30	2.05	2.21	1.90
C-03	1.5	2.32	1.80	2.11	1.70
C-04	1.5	3.04	2.01	2.75	1.87
C-05	1.5	2.52	1.98	2.29	1.84

Fuente: Propia

Como se visualiza la capacidad de soporte tienden a ser menores al 95% de la MDS en comparación a la del 100%, sin embargo nos encontramos en general con CBR de categoría, "Subrasante inadecuada" según el MTC.

GRÁFICO N° 5. CBR



Fuente: Propia

La gráfica nos da una visualización de los CBR más bajos y altos respecto al 95% de M.D.S /%), seleccionado dichos datos debido a que es una representación más real que se da en un proyecto; asimismo podemos identificar que la C-01, C-03, C-04 cuentan con valores más desfavorables respecto a la C-02 y C-05.

CLASIFICACIÓN DE SUELO

Referenciándonos de los ensayos elaborados se presenta la siguiente tabla:

TABLA XVI
RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

MUESTRAS NATURALES				
CALICATA	PROFUNDIDAD	ASSHTO	SUCS	CBR
C-01	1.5	A-7-6 (13)	CL	1.63%
		Malo	Arcilla de baja plasticidad con arena	Subrasante Inadecuada
C-02	1.5	A-6 (9)	CL	2.05%
		Malo	Arcilla de baja plasticidad con arena	Subrasante Inadecuada
C-03	1.5	A-6 (12)	CL	1.80%
		Malo	Arcilla de baja plasticidad con arena	Subrasante Inadecuada
C-04	1.5	A-7-6 (12)	CL	1.98%
		Malo	Arcilla de baja plasticidad con arena	Subrasante Inadecuada
C-05	1.5	A-6 (5)	CL	2.01%
		Malo	Arcilla de baja plasticidad con arena	Subrasante Inadecuada

Fuente: Propia

Respecto a la tabla presente se realizó el descarte de 2 calicatas, trabajando con las 3 calicatas más desfavorables siendo estas: C-01, C-03, C-04 en términos de resistencia y clasificación SUCS y ASSHTO.

Ensayos experimentales: SN + EVA

Los ensayos realizados fueron efectuados para la C-01, C-03 Y C-04, aplicando los porcentajes de adición.

Límite Líquido y Límite Plástico:

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-01, con el fin de analizar los cambios generados por cada combinación aplicada.

TABLA XVII
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 0% EVA

C-01+0% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	33%	13%	21%
V1	33%	12%	21%
Promedio	33%	12%	21%

Fuente: Propia

TABLA XVIII
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 2% EVA

C-01+2% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	39%	20%	19%
V2	40%	20%	20%
Promedio	39%	20%	19%

Fuente: Propia

TABLA XIX
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 3% EVA

C-01+3% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	34%	21%	13%
V2	35%	22%	13%
Promedio	35%	22%	13%

Fuente: Propia

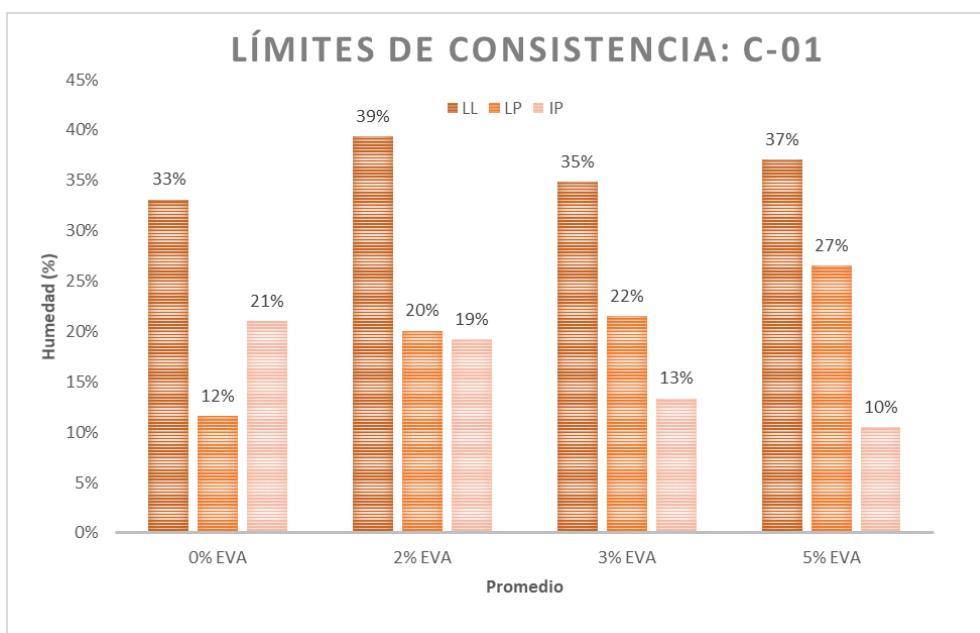
TABLA XX
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 5% EVA

C-01+5% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	37%	31%	6%
V2	37%	22%	15%
Promedio	37%	27%	10%

Fuente: Propia

Las tablas nos muestran cómo las variaciones en la dosificación de EVA afectan los límites de Atterberg de la calicata C-01, con cambios de disminución en los valores de IP a medida que aumenta el porcentaje de EVA. En cuanto al límite líquido se mantiene por debajo del 50%, indicando una baja plasticidad según la clasificación SUCS.

GRÁFICO N° 6 ÍNDICES DE PLASTICIDAD



Fuente: Propia

En general, se observa en la gráfica 5 que, con el aumento de la dosificación de EVA, el índice de plasticidad (IP) disminuye de manera progresiva, lo que indica una reducción en la plasticidad del suelo.

Límite Líquido y Límite Plástico

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-03, con el fin de analizar los cambios generados por cada combinación aplicada.

TABLA XXI
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 0% EVA

C-03+0% EVA			
MUESTRA NATURAL	LL	LP	IP
V1	38%	19%	19%
V1	47%	20%	26%
Promedio	42%	19%	23%

Fuente: Propia

TABLA XXII
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 2% EVA

C-03+2% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	41%	18%	22%
V2	44%	20%	23%
Promedio	42%	19%	23%

Fuente: Propia

TABLA XXIII
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 3% EVA

C-03+3% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	38%	18%	20%
V2	38%	18%	20%
Promedio	38%	18%	20%

Fuente: Propia

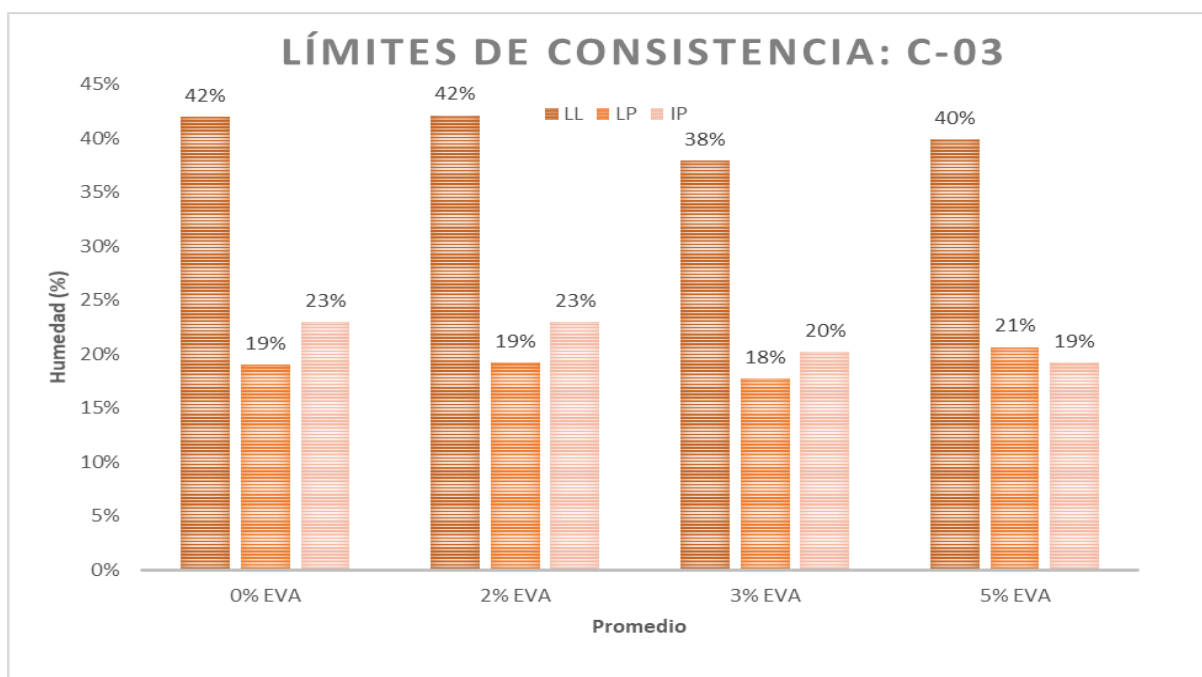
TABLA XXIV
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 5% EVA

C-03+5% EVA			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	40%	20%	19%
V2	40%	21%	19%
Promedio	40%	21%	19%

Fuente: Propia

Las tablas nos muestran cómo las variaciones en la dosificación de EVA varían los límites de Atterberg de la calicata C-03, sin embargo, con 0% EVA y 2% EVA se mantienen según el promedio indicado, en cuanto al límite líquido sigue perteneciendo a una plasticidad baja según clasificación SUCS.

GRÁFICO N° 7 ÍNDICES DE PLASTICIDAD



Fuente: Propia

En general, se observa en la gráfica 6 que, con el aumento de la dosificación de EVA, el índice de plasticidad (IP) disminuye de manera progresiva, a excepción de la dosificación 2% que se mantienen igual al 0%.

Límite Líquido y Límite Plástico

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-04, con el fin de analizar los cambios generados por cada combinación aplicada.

TABLA XXV
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 0% EVA

C-04+0% EVA			
MUESTRA NATURAL	LL	LP	IP
V1	37%	12%	24%
V1	36%	15%	22%
Promedio	36%	13%	23%

Fuente: Propia

TABLA XXVI
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 2% EVA

C-04+2%			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	38%	19%	19%
V2	38%	17%	21%
Promedio	38%	18%	20%

Fuente: Propia

TABLA XXVII
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 3% EVA

C-04+3%			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	39%	21%	18%
V2	40%	21%	19%
Promedio	40%	21%	19%

Fuente: Propia

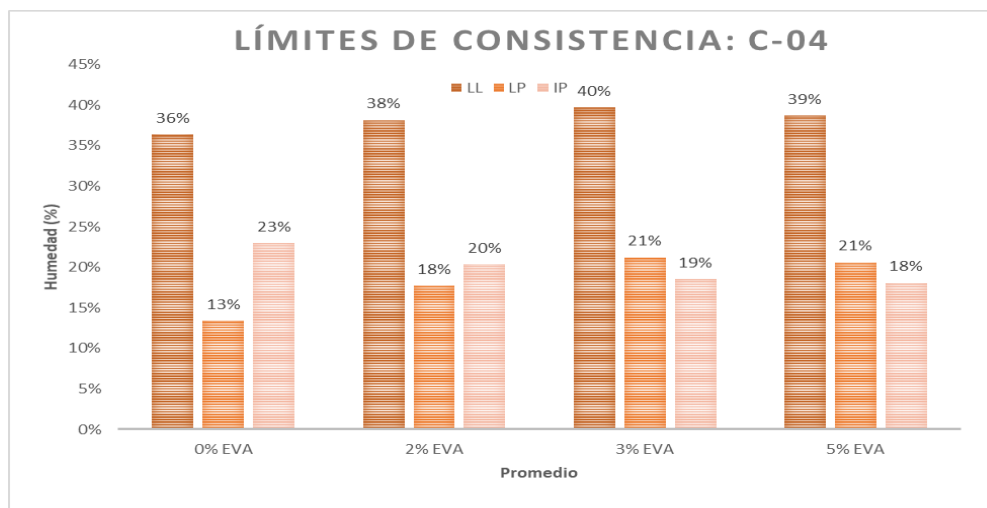
TABLA XXVIII
RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - 5% EVA

C-04+5%			
N° DE VUELTAS	LL	LP	IP
V1	39%	21%	17%
V2	38%	20%	19%
Promedio	39%	21%	18%

Fuente: Propia

Las tablas nos muestran cómo las variaciones en la dosificación de EVA afectan los límites de Atterberg de la calicata C-04. En cuanto al límite líquido se mantiene por debajo del 50%, indicando una baja plasticidad según la clasificación SUCS.

GRÁFICO N° 8 ÍNDICES DE PLASTICIDAD



Fuente: Propia

En general, se observa en la gráfica 7, que, con el aumento de la dosificación de EVA, el índice de plasticidad (IP) disminuye de manera progresiva.

Proctor Modificado

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-01, con el fin de analizar los cambios generados por dosificación aplicada. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

TABLA XXIX
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 0% EVA

C-01 - 0% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm ³)
V1	1.50	15.30	1.79
V2	1.50	14.25	1.83
V3	1.50	16.20	1.82
Promedio	1.50	15.00	1.81

Fuente: Propia

TABLA XXX
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 2% EVA

C-01 - 2% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	15.80	1.99
V2	1.50	13.50	2.08
V3	1.50	15.00	2.04
Promedio	1.50	14.50	2.03

Fuente: Propia

TABLA XXXI
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 3% EVA

C-01 - 3% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	12.50	2.10
V2	1.50	9.10	2.13
V3	1.50	15.00	2.04
Promedio	1.50	12.00	2.09

Fuente: Propia

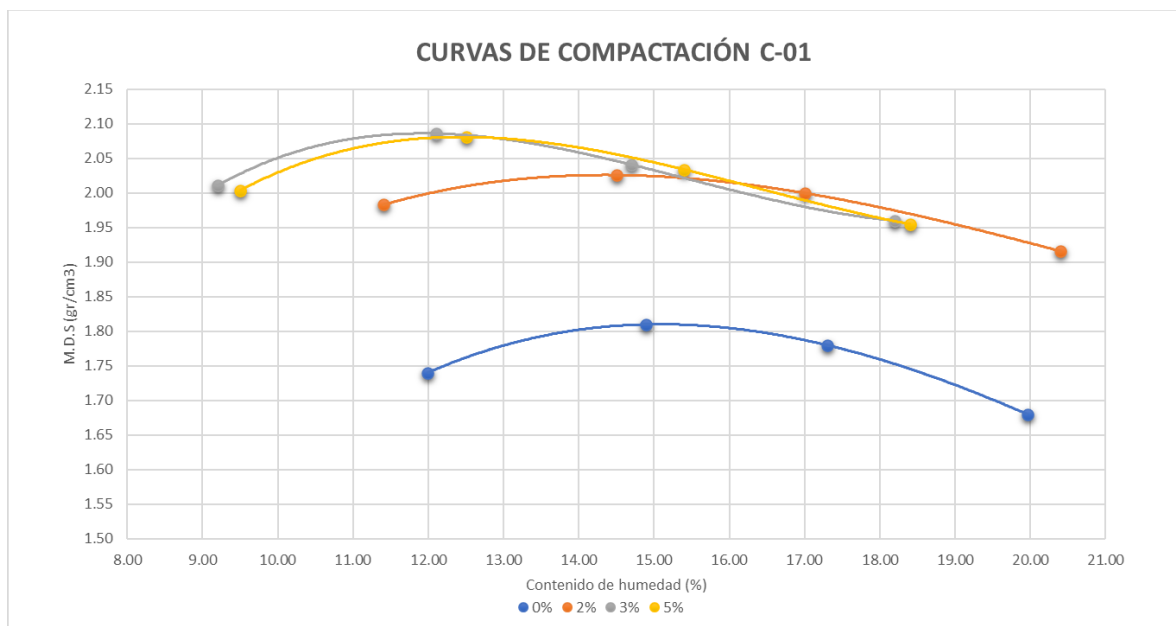
TABLA XXXII
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 5% EVA

C-01 - 5% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	12.50	2.07
V2	1.50	11.00	2.17
V3	1.50	13.40	2.04
Promedio	1.50	12.50	2.08

Fuente: Propia

Las tablas, nos muestra que, a lo largo de los distintos porcentajes de EVA, se observa una tendencia creciente en la densidad máxima seca, con un contenido de humedad en disminución.

GRÁFICO N° 9 CURVAS DE COMPACTACIÓN



Fuente: Propia

El gráfico 8 nos muestra como a medida que se adiciona el EVA, tiende a alcanzar una mayor máxima densidad seca sin requerir una humedad alta a comparación del suelo natural. Asimismo, también se verifica que en promedio con adición de 3 y 5% no arroja valores continuos en su M.D.S.

Proctor Modificado

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-03, con el fin de analizar los cambios generados por cada adición aplicada.

TABLA XXXIII
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 0% EVA

C-03 - 0% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm3)
V1	1.5	18.20	1.75
V2	1.5	14.25	1.83
V3	1.5	17.00	1.83
Promedio	1.5	17.00	1.78

Fuente: Propia

TABLA XXXIV
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 2% EVA

C-03 - 2% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.5	14.80	2.07
V2	1.5	13.52	2.09
V3	1.5	13.00	2.06
Promedio	1.5	13.80	2.08

Fuente: Propia

TABLA XXXV
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 3% EVA

C-03 - 3% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	13.00	2.07
V2	1.50	14.59	2.05
V3	1.50	14.00	2.09
Promedio	1.50	13.80	2.07

Fuente: Propia

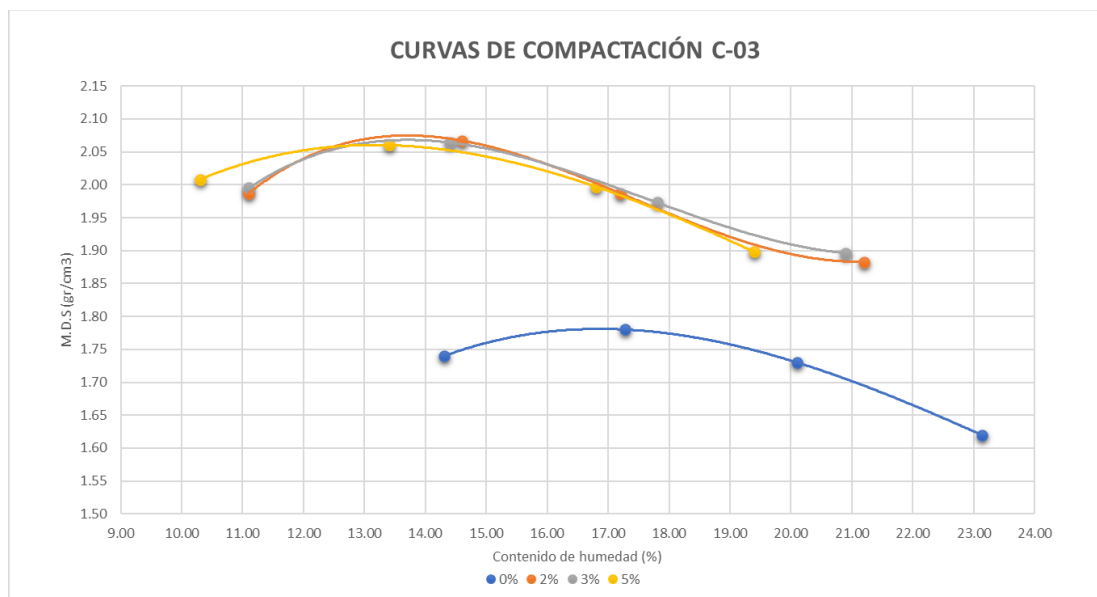
TABLA XXXVI
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 5% EVA

C-03 + 5% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.5	12.70	2.05
V2	1.5	12.50	2.05
V3	1.5	13.50	2.10
Promedio	1.5	13.30	2.06

Fuente: Propia

Las tablas, nos muestran que, a lo largo de los distintos porcentajes de EVA, tenemos valores muy continuos donde resalta la cantidad de humedad para obtener esa M.D.S.

GRÁFICO N° 10 CURVA DE COMPACTACIÓN



Fuente: Propia

El gráfico 9 nos muestra como a medida que se adiciona el EVA, la curva indica que el suelo alcanza una mayor densidad seca en comparación con las muestras sin EVA, y con menos contenido de humedad.

Proctor Modificado

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-04, con el fin de analizar los cambios generados por cada combinación aplicada.

TABLA XXXVII
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 0% EVA

C-04 + 0% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	17.20	1.79
V2	1.50	17.00	1.79
V3	1.50	15.00	1.86
Promedio	1.50	15.90	1.82

Fuente: Propia

TABLA XXXVIII
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 2% EVA

C-04 + 2% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	16.20	2.01
V2	1.50	15.70	2.02
V3	1.50	12.89	2.10
Promedio	1.50	14.50	2.04

Fuente: Propia

TABLA XXXIX
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 3% EVA

C-04 + 3% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	14.50	2.08
V2	1.50	14.00	2.07
V3	1.50	13.80	2.08
Promedio	1.50	14.00	2.07

Fuente: Propia

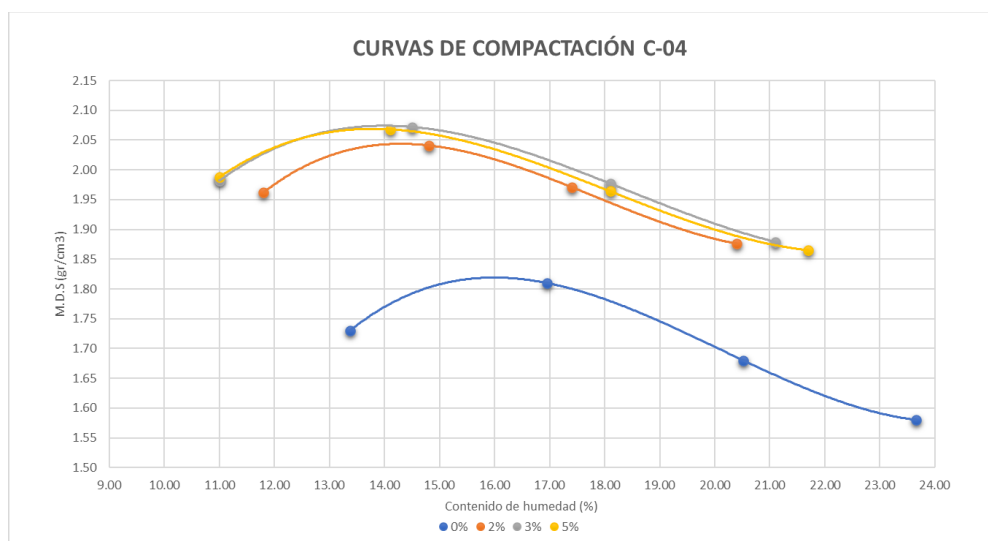
TABLA XL
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO - 5% EVA

C-04 + 5% EVA			
N° VUELTAS	Profundidad	O.C.H (%)	M.D.S (gr/cm³)
V1	1.50	13.20	2.07
V2	1.50	15.20	2.05
V3	1.50	13.60	2.08
Promedio	1.50	13.60	2.07

Fuente: Propia

Las tablas nos muestran que, a lo largo de los distintos porcentajes de EVA, llega a tener una máxima densidad seca de 2.07% adicionando en adiciones de 3% o 5%, sin embargo, el contenido de humedad que requiere para alcanzar dicha densidad es distinta.

GRÁFICO N° 11 CRUVA DE COMPACTACIÓN



Fuente: Propia

El gráfico 10 nos muestra como a medida que se adiciona el EVA, alcanza una mayor densidad seca en comparación con las muestras sin EVA, y con un menos contenido de humedad.

CBR

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-01, con el fin de analizar los cambios generados por adición aplicada.

TABLA XLI
RESULTADOS DE CBR - 0% EVA

C-01 + 0% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%): 0.2"
V1	1.5	2.2	1.4	2.1	1.4
V2	1.5	2.9	2.8	3.4	2.9
V3	1.5	3.7	3.2	4.0	3.4
V4	1.5	3.8	3.1	3.7	2.6
V5	1.5	3.9	3.2	3.8	3.0
V6	1.5	3.0	2.7	3.1	2.7
V7	1.5	3.2	3.0	3.3	3.2
V8	1.5	3.1	2.9	3.0	2.6
V9	1.5	3.7	3.6	3.6	3.5
V10	1.5	3.9	3.8	3.8	3.6
PROMEDIO		3.3%	3.0%	3.4%	2.9%

Fuente: Propia

TABLA XLII
RESULTADOS DE CBR - 2% EVA

C-01 + 2% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	4.1	3.5	4.7	3.6
V2	1.5	2.5	2.1	2.5	2.1
V3	1.5	2.6	2.2	2.8	2.3
V4	1.5	2.4	2.0	2.4	2.1
V5	1.5	2.4	2.2	2.7	2.4
V6	1.5	3.7	3.0	4.0	3.3
V7	1.5	3.0	3.0	4.3	3.2
V8	1.5	4.1	3.3	4.3	3.5
V9	1.5	4.3	3.3	4.5	3.4
V10	1.5	3.9	3.4	4.2	3.6
PROMEDIO		3.3%	2.8%	3.6%	2.9%

Fuente: Propia

TABLA XLIII
RESULTADOS DE CBR - 3% EVA

C-01 + 3% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	10.3	8.0	10.7	8.9
V2	1.5	8.9	7.1	7.1	8.4
V3	1.5	7.2	6.5	8.6	7.9
V4	1.5	6.6	5.9	7.7	6.9
V5	1.5	6.0	5.6	7.0	6.5
V6	1.5	6.8	5.9	7.9	6.8
V7	1.5	7.0	6.0	8.1	6.9
V8	1.5	7.3	6.2	8.5	7.1
V9	1.5	6.6	5.8	7.7	6.7
V10	1.5	7.2	7.5	8.2	8.8
PROMEDIO		7.4%	6.5%	8.1%	7.5%

Fuente: Propia

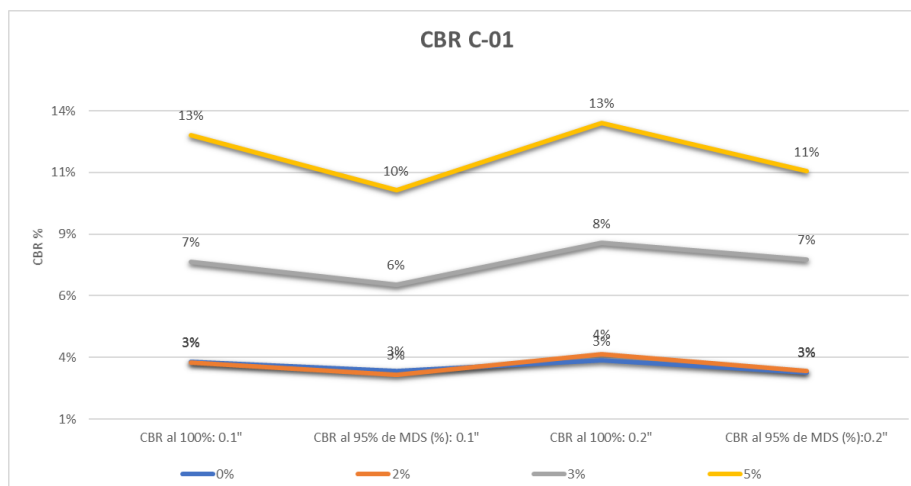
TABLA XLIV
RESULTADOS DE CBR - 5% EVA

C-01 + 5% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	12.2	9.6	11.8	8.6
V2	1.5	14.8	10.9	15.5	12.6
V3	1.5	14.1	10.2	14.9	10.3
V4	1.5	10.5	10.5	10.8	10.2
V5	1.5	9.9	8.8	10.2	9.1
V6	1.5	12.8	10.4	13.6	11.5
V7	1.5	12.7	10.1	13.4	11.6
V8	1.5	12.5	9.9	13.2	11.3
V9	1.5	12.2	10.5	12.9	12.1
V10	1.5	13.5	11.9	14.0	13.4
PROMEDIO		12.5%	10.3%	13.0%	11.1%

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos de las 10 repeticiones de CBR mostraron una ligera variabilidad, entre CBR al 100% y al 95% con una penetración de 0.1" y 0.2"; llegando a obtener un 10.3% de CBR con 5%, pasando de ser suelo deficiente a un suelo eficiente.

GRÁFICO N° 12 ÍNDICE CBR



Fuente: Propia

La gráfica indica como se ha elevado notoriamente los índices de CBR al adicionarle 5% de EVA llegando a tener un incremento de 7% respecto al suelo natural, evaluando el CBR al 95% de M.D.S.

CBR

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-03, con el fin de analizar los cambios generados por cada combinación aplicada.

TABLA XLV
RESULTADOS DE CBR - 0% EVA

C-03 + 0% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	2.04	1.28	1.84	1.31
V2	1.5	3.54	2.18	3.24	2.28
V3	1.5	4.12	3.43	4.46	3.64
V4	1.5	4.60	3.90	4.89	4.07
V5	1.5	4.64	3.64	4.98	3.85
V6	1.5	4.35	4.01	4.19	3.89
V7	1.5	4.86	4.73	4.80	4.70
V8	1.5	4.72	4.48	4.54	4.33
V9	1.5	4.74	4.44	4.63	4.36
V10	1.5	4.20	3.65	4.07	3.29
PROMEDIO		4.2%	3.6%	4.2%	3.6%

Fuente: Propia

TABLA XLVI
RESULTADOS DE CBR - 2% EVA

C-03 + 2% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%; 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%; 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	4.53	3.51	4.88	3.77
V2	1.5	4.71	3.63	5.00	3.82
V3	1.5	4.69	3.44	4.95	3.60
V4	1.5	4.85	3.56	5.07	3.69
V5	1.5	5.19	3.77	5.36	3.85
V6	1.5	5.53	3.66	5.70	3.82
V7	1.5	5.42	4.02	5.46	4.12
V8	1.5	5.81	4.28	5.90	4.35
V9	1.5	5.74	4.18	5.84	4.23
V10	1.5	5.70	4.11	5.52	4.02
PROMEDIO		5.2%	3.8%	5.4%	3.9%

Fuente: Propia

TABLA XLVII
RESULTADOS DE CBR - 3% EVA

C-03 + 3% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%; 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%; 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	12.06	8.27	12.74	10.10
V2	1.5	8.65	6.85	10.16	8.11
V3	1.5	9.19	7.13	10.66	8.35
V4	1.5	9.34	7.95	10.87	9.29
V5	1.5	9.71	7.71	11.17	8.98
V6	1.5	8.54	7.06	10.22	8.57
V7	1.5	8.44	6.20	9.99	7.48
V8	1.5	9.30	6.72	10.81	7.99
V9	1.5	9.07	8.20	10.60	9.63
V10	1.5	9.41	7.38	10.89	8.69
PROMEDIO		9.4%	7.3%	10.8%	8.7%

Fuente: Propia

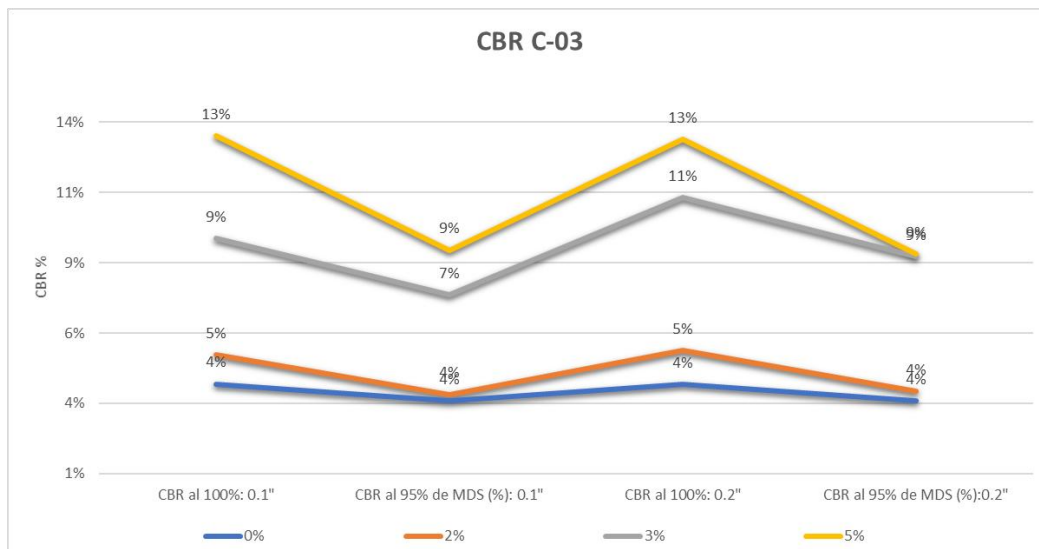
TABLA XLVIII
RESULTADOS DE CBR - 5% EVA

C-03 + 5% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%; 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%; 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	15.78	9.62	16.32	10.85
V2	1.5	13.35	10.02	12.82	10.00
V3	1.5	13.91	10.43	13.36	9.75
V4	1.5	13.49	9.05	12.85	8.56
V5	1.5	13.45	9.59	12.82	9.45
V6	1.5	10.95	7.58	11.08	8.26
V7	1.5	12.41	9.31	13.34	10.66
V8	1.5	11.80	7.58	11.52	6.17
V9	1.5	12.35	7.11	12.16	6.42
V10	1.5	12.73	9.19	12.55	7.90
PROMEDIO		13.0%	8.9%	12.9%	8.8%

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos de las 10 repeticiones de CBR mostraron una ligera variabilidad, entre CBR al 100% y al 95% con una penetración de 0.1" y 0.2"; llegando a obtener un 8.9% de CBR con 5%, pasando de ser suelo deficiente a un suelo eficiente.

GRÁFICO N° 13 ÍNDICE CBR



Fuente: Propia

La gráfica indica como se ha elevado notoriamente los índices de CBR al adicionarle 5% de EVA llegando a tener un incremento de 5% respecto al suelo natural, evaluando el CBR al 95% de M.D.S.

CBR

El presente ensayo experimental se llevó a cabo para la calicata C-04, con el fin de analizar los cambios generados por cada combinación aplicada.

TABLA XLIX
RESULTADOS DE CBR - 0% EVA

C-04 + 0% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%): 0.2"
V1	1.5	2.22	1.38	2.16	1.43
V2	1.5	6.03	4.43	5.62	4.08
V3	1.5	3.74	3.23	4.08	3.44
V4	1.5	4.57	4.27	4.5	4.17
V5	1.5	3.91	3.2	3.8	3.03
V6	1.5	4.96	2.96	4.74	2.76
V7	1.5	4.87	4.32	4.63	4.08
V8	1.5	5.13	4.35	4.84	4.07
V9	1.5	4.87	4.98	4.62	4.72
V10	1.5	4.39	3.05	4.19	2.83
PROMEDIO		4.5%	3.6%	4.3%	3.5%

Fuente: Propia

TABLA L
RESULTADOS DE CBR - 2% EVA

C-04 + 2% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	4.47	3.92	4.82	4.22
V2	1.5	4.59	3.81	4.87	4.02
V3	1.5	4.82	4.02	5.08	4.22
V4	1.5	5.04	4.02	5.27	4.18
V5	1.5	5.16	4.26	5.33	4.37
V6	1.5	5.35	4.42	5.91	4.84
V7	1.5	5.48	4.77	5.96	5.16
V8	1.5	5.64	4.48	6.1	4.81
V9	1.5	5.68	4.93	6.11	5.26
V10	1.5	5.09	4.11	5.25	4.21
PROMEDIO		5.1%	4.3%	5.5%	4.5%

Fuente: Propia

TABLA LI
RESULTADOS DE CBR - 3% EVA

C-04 + 3% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	9.65	7.3	10.73	8.42
V2	1.5	9.99	7.06	11.01	8.11
V3	1.5	10.88	9.41	11.79	10.37
V4	1.5	10.35	8.76	11.31	9.75
V5	1.5	10.67	9.06	11.56	10.00
V6	1.5	10.36	8.6	11.44	9.72
V7	1.5	12.97	9.96	13.34	10.44
V8	1.5	13.45	10.27	13.72	10.67
V9	1.5	13.28	9.55	13.73	10.1
V10	1.5	13.1	9.95	13.36	10.41
PROMEDIO		11.5%	9.0%	12.2%	9.8%

Fuente: Propia

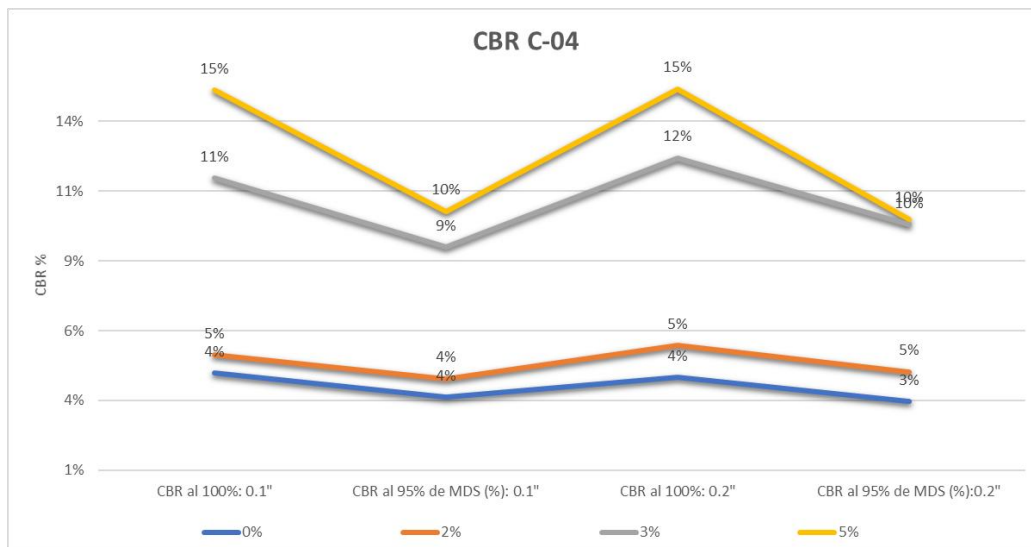
TABLA LII
RESULTADOS DE CBR - 5% EVA

C-04 + 5% EVA					
N° VUELTA	Profundidad	CBR al 100%: 0.1"	CBR al 95% de MDS (%): 0.1"	CBR al 100%: 0.2"	CBR al 95% de MDS (%):0.2"
V1	1.5	15.98	8.77	16.59	7.69
V2	1.5	14.06	9.71	13.78	9.12
V3	1.5	13.91	9.46	13.56	9.12
V4	1.5	14.71	9.87	14.38	9.07
V5	1.5	14.61	9.66	14.16	9.00
V6	1.5	15.85	11.87	16.66	12.53
V7	1.5	14.83	12.02	14.98	12.3
V8	1.5	16.13	11.32	16.98	11.43
V9	1.5	13.11	9.54	12.77	9.28
V10	1.5	13.08	10.6	12.85	10.5
PROMEDIO		14.6%	10.3%	14.7%	10.0%

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos de las 10 repeticiones de CBR mostraron una ligera variabilidad, entre CBR al 100% y al 95% con una penetración de 0.1" y 0.2"; llegando a obtener un 10.3% de CBR con 5%, pasando de ser suelo deficiente a un suelo eficiente.

GRÁFICO N° 14 ÍNDICE CBR



Fuente: Propia

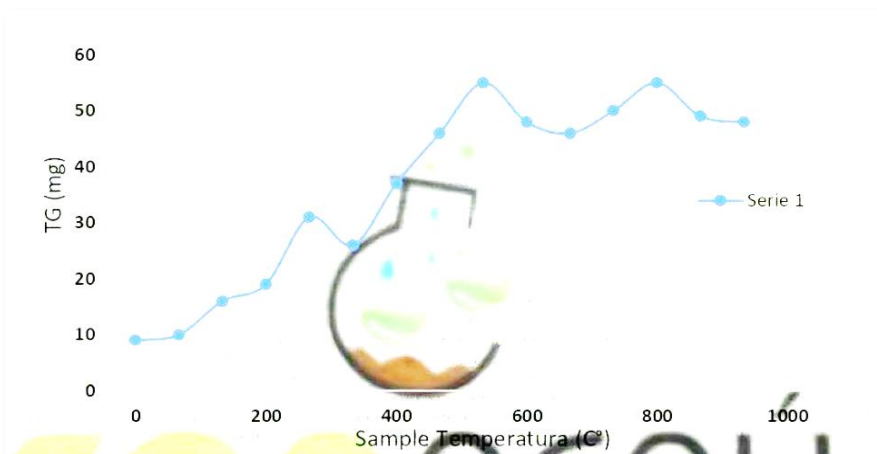
La gráfica indica como se ha elevado notoriamente los índices de CBR al adicionarle 5% de EVA llegando a tener un incremento de 6% respecto al suelo natural, evaluando el CBR al 95% de M.D.S.

Evaluación a Copolímero EVA

Degradación Térmica

Esta acción se evaluó mediante el análisis termogravimétrico y térmico diferencial (TGA y ATD), obteniendo el siguiente gráfico.

GRÁFICO N° 15 PÉRDIDA DE MASA



Fuente: Propia

El gráfico 14 muestra la descomposición térmica a través de la pérdida de masa en función a la temperatura indicado dos regiones donde se hace más intensa la perdida, la primera en un rango entre 200 y 450 °C y la segunda menos intensa entre 550 Y 750 °C, posteriormente la perdida es gradual pero no significativa.

Ensayos experimentales: SN + % óptimo

Esterescopía

Esta acción se evaluó mediante un estereoscopio la muestra natural y adicionada, mostrando sus poros y grietas.

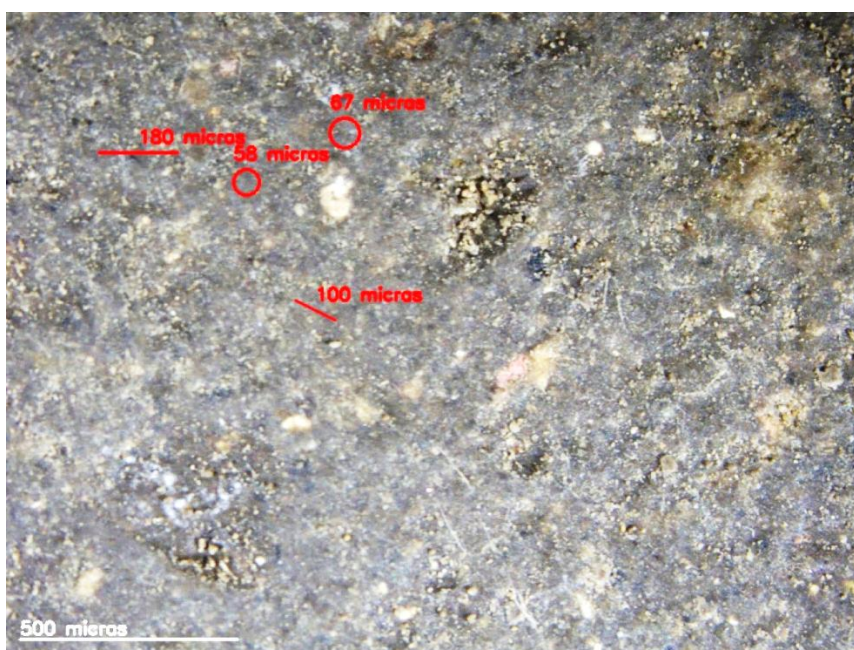


Fig. 63. MUESTRA 1 DE SUELO NATURAL

Fuente: Propia

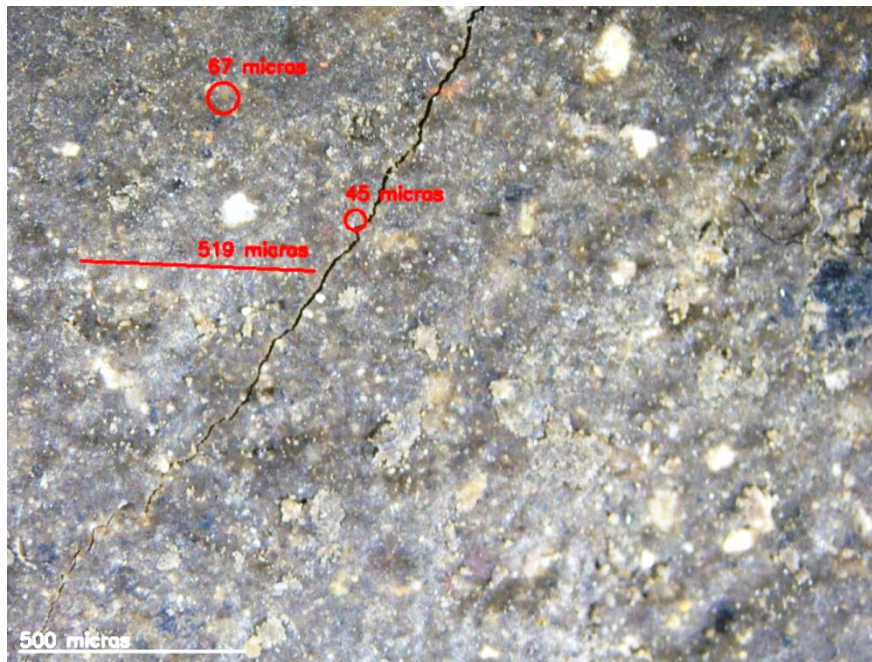


Fig. 64. MUESTRA 2 DE SUELO NATURAL

Fuente: Propia

La figura 63 y 64 muestran el suelo natural siendo una estructura porosa y fracturada, evaluando diferentes dimensiones a 500 micras.

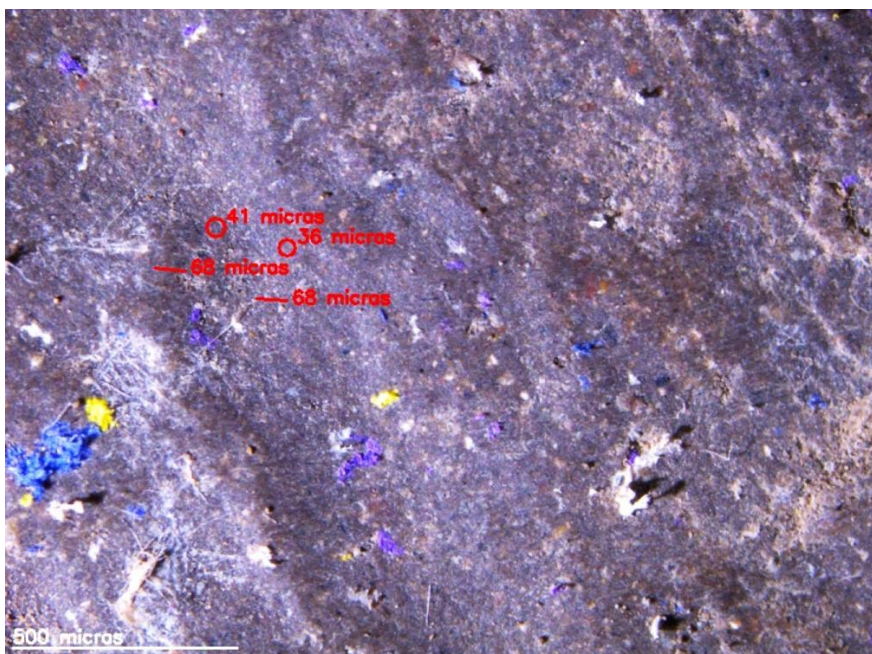


Fig. 65 MUESTRA 1 DE SUELO NATURAL + EVA

Fuente: Propia

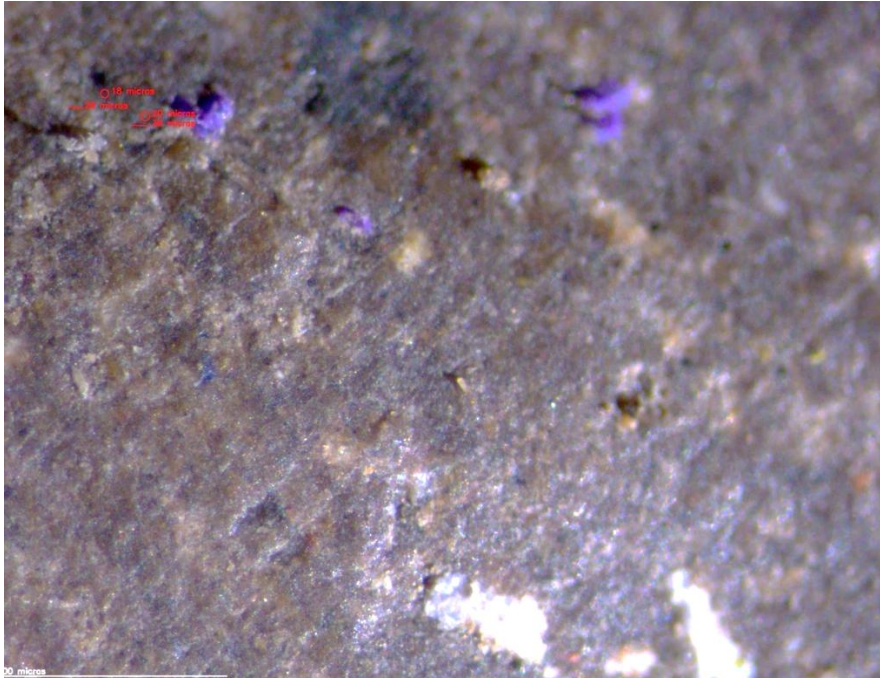


Fig. 66 MUESTRA 2 DE SUELO NATURAL + EVA

Fuente: Propia

La figura 65 y 66 muestran el suelo natural + EVA siendo una estructura menos porosa y fracturada, evaluando diferentes dimensiones a 500 micras.

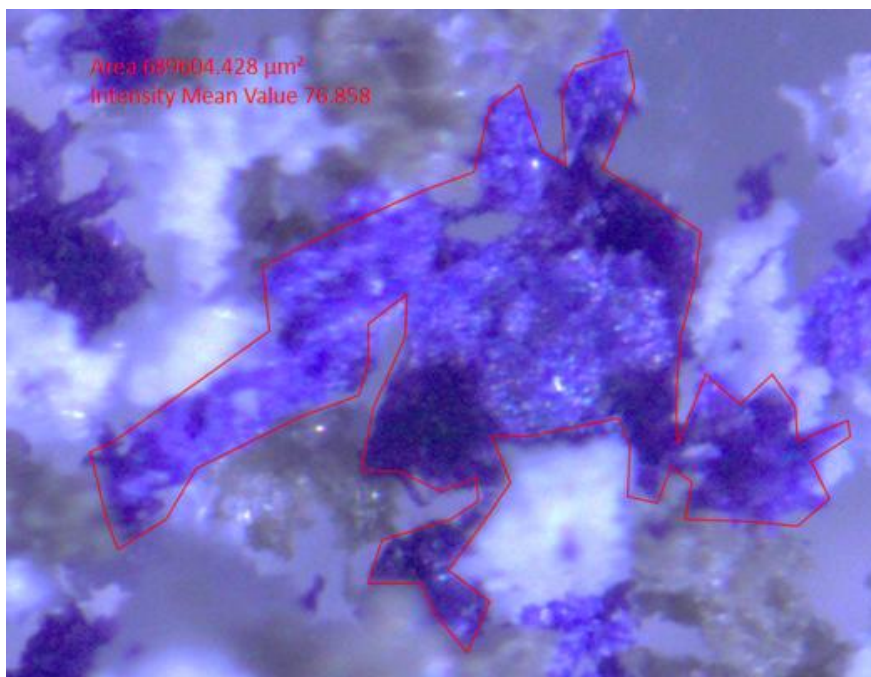


FIG. 67 VARIACIÓN DIMENSIONAL DE EVA USADO EN INVESTIGACIÓN

Fuente: Propia

Densidad de campo

El presente ensayo experimental se llevó a cabo en campo con la adición óptima 5%, bajo la N.T.P. 339.143.

TABLA LIII
DENSIDAD IN-SITU

N° de Prueba / N° Base	D-01	D-02	D-03	D-04
Cono	2	2	2	2
Placa	B	B	B	B
Contenido Humedad				
Humedad (Speedy)	15.4	14.8	12.4	11.8
Densidad natural seca	1.698	1.700	2.044	2.036
Resultados de Laboratorio (Proctor Modificado)				
Máxima densidad seca	1.780	1.780	2.08	2.08
Óptimo contenido de humedad	17.00	17.00	12.50	12.50
Resultado Final				
GRADO DE COMPACTACIÓN	95.4	95.5	98.30	97.79

Fuente: Propia

La tabla registra los valores de densidad in-situ aplicando 5% de EVA obteniendo grados de compactación al 98.3% y 97.9%, mientras que suelo natural de 95.4% y 95.5%.

Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP)

El presente ensayo experimental se llevó a cabo en campo con la adición óptima 5%, bajo la ASTM D 6951.

TABLA LIV
ENSAYO DCP-ÍNDICES DE CBR

SUELO NATURAL				SUELO NATURAL + EVA			
N° golpes	CBR (%)	N° golpes	CBR (%)	N° golpes	CBR (%)	N° golpes	CBR (%)
4	7.94	4	7.94	12	27.17	10	22.15
3	5.75	3	5.75	18	12.5	7	14.86
4	7.94	5	10.19	22	7.94	5	10.19
5	10.19	6	12.50	27	10.19	6	12.50

Fuente: Propia

Las tablas nos muestran que se obtiene valores de 12.50 y 14.86% de CBR con 5% de EVA aplicado in-situ, escogiendo los valores intermedios

Análisis de costos

Con el propósito de obtener un valor aproximado de costo de producción de Etilvinilacetato, se realiza lo siguiente:

TABLA LV PESO DE AGENTE ESTABILIZADOR

1 par de muestra reciclada	Desgaste Gradual (gr)		
	Muestra reciclada	Muestra Pulverizada	Muestra Tamizado
	150 gr	130gr	90 gr

Fuente: Propia

Densidad de Etilvinilacetato reciclado

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{0.160 \text{ kg}}{0.00085235 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 187.72 \text{ kg/m}^3$$

Teniendo en cuenta los datos anteriores, cuando obtengo 90 gr de Etilvinilacetato tendría 0.0005 m³ de etilvinilacetato. Si requiero por metro cuadrado 0.01m³ de etilvinilacetato, necesitaría 1800gr es decir 1.8 kg.

- ✓ El costo por kg de pulverización y tamizado es de s/. 6.00 soles, entonces nos costaría s/. 10.80 soles pulverizar 1.8 kg.
- ✓ El costo de transporte según antecedentes de s/. 20.82 soles por 500kg, entonces para 1.8 kg el costo sería alrededor de s/. 0.07 equivalente a s/. 0.10.

El costo total para obtención del producto para un m³ sería de:

TABLA LVI COSTO DE PRODUCCIÓN

Costo Total de producción (S/.)	
Pulverización y Tamizado	s/. 10.80
Transporte	s/. 0.10
TOTAL	s/. 10.90

Fuente: Propia

Costo de Estabilización con 5% de Cal vs 5% de EVA:

TABLA LVII ESTABILIZADOR CONVENCIONAL

COSTO CON 5% DE CAL				
	METRADO		P.U	TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO DE LA OBRA	4000	M2	1.75	S/ 7,015.82
PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	4000	M2	3.49	S/ 13,968.71
ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	800	M3	7.49	S/ 5,989.62
CONFORMACION DE SUBRASANTE	4000	M2	21.59	S/ 86,351.59
				S/ 113,325.73

Fuente: Propia

TABLA LVIII ESTABILIZADOR NO CONVENCIONAL

COSTO CON 5% DE EVA				
	METRADO		P.U	TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO DE LA OBRA	4000	M2	1.75	S/ 7,015.82
PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	4000	M2	3.49	S/ 13,968.71
ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	800	M3	7.49	S/ 5,989.62
CONFORMACION DE SUBRASANTE	4000	M2	5.59	S/ 22,347.59
				S/ 49,321.73

Fuente: Propia

Las tablas registran un costo mayor, cuando se requiere estabilizar suelo con Cal, a diferencia del estabilizador EVA. Cabe recalcar que han sido evaluados con una incorporación de 5% para una carretera de 1km y una calzada de 4 m.

Discusiones

Con el objetivo de caracterizar y clasificar las muestras de las subrasantes arcillosas a través de los sistemas SUCS y AASHTO, los resultados obtenidos reflejan que el lugar de estudio, La Victoria – Chiclayo, cuentan con suelos finos con presencia de arcilla y arena clasificándose en un suelo tipo CL y A-6-7 respectivamente, indicando una arcilla de baja plasticidad y una capacidad portante baja; esto quiere decir que en general nos encontramos con una subrasante

inadecuada. Estos resultados son respaldados por INDECI [4] quien refiere que, durante la evaluación de los sectores de la ciudad de Chiclayo, enfocándonos en el sector III donde se encuentra la variable estudiada, arroja suelos predominantes CL – ML y con pequeñas proporciones de arena. Asimismo, los resultados obtenidos son similares a los de León Burga et al. [12] quien corrobora que Chiclayo tiene presencia de suelo CL según clasificación SUCS y según ASSTHO suelos tipo A-6. Analizando dichos resultados podemos afirmar que se trabajó con una subrasante arcillosa e inadecuada ubicada en el Sector 3- La Victoria - Chiclayo.

Con el objetivo de analizar las propiedades mecánicas de la subrasante natural y estabilizada con etilvinilacetato mediante el ensayo Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR), se obtuvo bajo metodología experimental y estadística que su máximo incremento de CBR con 5% de EVA respecto al suelo natural en la C-01, C-03, C-04 fue de 7%,5%,6% respectivamente; Estos resultados son respaldados por Zavala et al. [11] quien obtuvo en su investigación un incremento de 4.7% respecto al suelo natural con un porcentaje de 3% EVA. Asimismo, en el presente estudio se evaluó su M.D.S donde se obtuvo un aumento respecto al suelo natural, llegando a tener una M.D.S de 2.08/cm³, 2.06 g./cm³, 2.07 g./cm³ con 5% de EVA, respaldado por León Burga et al. [12] quien, al incorporarlo de manera pulverizada polímeros PET, aumenta su M.D.S. Sin embargo, en diversos estudios previos como Cuipal [15] y Capia [16] quienes usaron un estabilizador de su misma categoría (Termoplástico PET) a manera de fibra obtuvieron un incremento en CBR, pero una disminución en M.D.S. Este comportamiento puede generarse por la manera en que ha sido incorporado el termoplástico, donde en el presente estudio se adicionó de manera pulverizada y en estudios previos a manera de fibra, permitiendo el EVA pulverizada reacomodar las partículas, creando así una mezcla homogénea, mientras que la fibra crea vacíos entre las partículas del suelo, obstruyendo así tener una mejor compactación, pero si brindando una mayor capacidad de soporte. Al analizar los resultados actuales y previos podemos determinar que el EVA no solo mejora la resistencia a la penetración, sino también la estructura interna del suelo.

Con el objetivo de evaluar el agente estabilizador, mediante degradación térmica se aplicó el análisis TGA y ATD, indicando pérdidas de masa intensas entre 200 y 450 °C y posteriormente entre 550 y 750 °C. Esto lo respalda Kuczynska y Klugmann [29] quien indica que el copolímero EVA se descompone alrededor de 350 °C, donde los disolventes orgánicos provocan hinchamiento y conlleva a una rotura de células. Asimismo, para aplicaciones viales el MTC [6] nos indica que los pavimentos llegan alcanzar temperaturas no mayores a 40°C, y

según SENAMHI [26] lo respalda proporcionándonos el récord de altas temperaturas durante el 2024, siendo la mayor 39.6°C. Analizando los resultados y dichas investigaciones, podemos ver que el uso para EVA en aplicaciones viales, no alcanzaría las temperaturas que conlleven a una degradación térmica, manteniendo así su integridad estructural y función bajo las temperaturas reales del entorno vial.

Con el objetivo de evaluar la muestra natural y con adición óptima mediante la técnica de Estereoscopía se obtuvo una visión microscópica donde la porosidad y fisuras tienen dimensiones de 67 micras y 519 micras respectivamente en suelo natural y en suelo estabilizando tienden a disminuir teniendo dimensiones de 41 micras y 68 micras en porosidad y fisuras respectivamente, visualmente cuenta con una textura más uniforme que la de suelo natural. Esto demuestra que copolímero etilvinilacetato ha actuado como un relleno flexible evitando tensiones internas, reduciendo vacíos y mejorando de tal manera la compactación. Esto respalda Lenoir [30] que indica que el etilvinilacetato cuenta con una excelente flexibilidad, teniendo una capacidad de moldearse. Asimismo, Bozyigit [14] y Nezhad [13]; corrobora que las partículas recubren los granos de arcilla optimizando el contacto microestructural. Analizando los resultados, y antecedentes se indica que soporta tensiones elevadas sin romperse ni deformarse, interpretándose que resiste a los esfuerzos internos causados por cambios de humedad, carga o temperatura; de igual manera, cuenta con una fricción alta, contribuyendo a la disminución de la movilidad de partículas del suelo evitando la propagación de poros o micro fisuras.

Con el objetivo de desarrollar con el óptimo porcentaje los ensayos de densidad de Campo, Penetrómetro Dinámico de Cono; se obtuvo como resultado una densidad de 98.3% y 97.9% en relación a la densidad máxima de Proctor obtenida mediante laboratorio, asimismo el ensayo DCP nos arrojó valores de 12.50% y 14.86% de CBR. En este contexto, nos permite analizar y correlacionar con datos obtenidos en laboratorio, indicando que la M.D.S obtenida en laboratorio es eficaz, dado que el grado de compactación obtenido en campo ha sido superior al requerido que es 95%; ahora si hablamos del CBR, nos ha permitido afirmar la capacidad de soporte del suelo, dado que en laboratorio llegamos a obtener un CBR de 10.3% siendo semejante al obtenido en campo. Reafirmando la mejora de sus propiedades mecánicas del suelo, evaluadas en campo al adicionarle el copolímero etilvinilacetato.

Con el objetivo de realizar un análisis de costos de la estabilización de la subrasante arcillosa con el porcentaje óptimo del copolímero etilvinilacetato y compararlo con otro tipo de insumo ya aplicado y evaluado respecto al suelo en estudio, se obtuvo que el costo para una carretera de 1km con 4 m de calzada utilizando cal es de S/ 324,105.73 sol/m² y estabilizando con Etilvinilacetato es de S/ 49,317.73 sol/m², demostrando un costo menor con el aditivo de la presente investigación. De la misma forma León Burga et al. [12] comparó otro termoplástico reciclado, con Cal, ambas en 5% y obtuvo un costo menor al estabilizador convencional. Si bien hoy en día solo se recicla el 15% según REMADE ISNTITUTE [9]. Para llevar esta investigación a la realidad se debe contar con una responsabilidad ambiental, por la masiva importación de calzado que se generan cada año como indica TRADEMAP [32]; pues ello garantiza ser un residuo encontrado en cualquier parte del país donde solo faltaría un desarrollo cultural y gestión de autoridades para garantizar no solo un estabilizador que mejora las propiedades físicas y mecánicas sino también contribuyente con la sociedad y el ambiente.

Conclusiones

Caracterizando y clasificando las muestras de las subrasantes arcillosas a través de los sistemas SUCS y AASHTO se determinó que el suelo extraído en la ciudad de Chiclayo – Victoria sector III, cuenta con suelo CL (suelo arcilloso de baja plasticidad) y A-6-7 según clasificación SUCS Y ASSTHO, además de tener un CBR máximo de 2.05% indicando un suelo de baja capacidad portante.

Analizando las propiedades mecánicas de la subrasante natural y estabilizada con etilvinilacetato mediante el ensayo Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR) se determinó que con 5% de Etilvinilacetato (EVA) se obtuvo un incremento en su capacidad portante llegando a un 10.30% de CBR, y 2.08/cm³ de M.D.S teniendo un aumento respecto al suelo natural. Validando así, la efectividad de ese polímero para estabilizar subrasantes.

La evaluación del agente estabilizador, mediante degradación térmica, demostró mediante el análisis termogravimétrico y térmico diferencial ser apto para aplicaciones en infraestructura vial debido a que no alcanzaría los 200 a 450 °C donde este copolímero alcanza la rotura de sus células.

La evaluación de la muestra natural y con adición óptima mediante la técnica de Estereoscopía indica que el copolímero etilvinilacetato recubre los granos de arcilla, optimizando de tal

manera el contacto con las partículas, llegando a tener una excelente adherencia que le permite tener una estructura más compacta.

Desarrollando con el óptimo porcentaje los ensayos de densidad de Campo, Penetrómetro Dinámico de Cono, en un tramo de 2x1x0.5 arrojó un grado de compactación de 98.3% y un índice de CBR de 14.86%, validando los ensayos de laboratorio.

Al realizar un análisis de costos de la estabilización de la subrasante arcillosa con el porcentaje óptimo del copolímero etilvinilacetato y compararlo con otro tipo de insumo ya aplicado y evaluado respecto al suelo en estudio, se obtuvo un costo más económico estabilizando con EVA, determinando no solo su mejoramiento de propiedades, sino también una contribución social y cultura, enfatizando el reciclaje y creando una la cultura ambiental.

Recomendaciones

En la presenta investigación se utilizó etilvinilacetato de manera pulverizada hasta un 5%, recomendando seguir evaluando este aditivo en proporciones más elevados, para validar si mantiene un incremento continuo.

Se recomienda realizar estudios más amplios sobre los insumos utilizados en la estabilización de suelos y aplicar estos tratamientos en distintas regiones geográficas, con el fin de evaluar si los beneficios observados en la zona costera se replican en otras regiones.

Con el fin de visualizar el comportamiento interno de la estructura, se propone a posteriores investigadores tratar sobre diversos análisis microscópicos y aplicarlos para comprender mejor la influencia del comportamiento microscópico al comportamiento macroscópico del suelo.

Se recomienda implantar un ensayo específico para el estudio de la expansión del suelo, con el fin de evaluar su comportamiento volumétrico frente a variaciones de humedad.

Referencias

- [1] Infratam, «Inversión Pública en Infraestructura Económica,» [En línea]. Available: <https://www.infratam.info/>. [Último acceso: 2 Mayo 2025].
- [2] I. Aneke and M. Mohamed, "Assessing the Extent of Pavement Deterioration Caused by Subgrade Volumetric Movement Through Moisture Infiltration," *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 15, pp. 676-692, 2021.
- [3] A. Hayder, S. Mohamed and W. Megan, "Geo-mechanical behavior of clay soils stabilized at ambient temperature with fly-ash geopolymer-incorporated granulated slag," *Soils and Foundations*, vol. 59, no. 6, p. 11, 2019.
- [4] INDECI, "REPORTE DE EMERGENCIAS," [Online]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNTFkOWRhYWQtYmMwMS00OWNmLTg4ZTctNjZjYTc1OTIyN2M0IiwidCI6IjNlZW5kMjZlLThNTUtNDg4MC04ODEyLWEzMGZjZGU3OGEyZCJ9&pageName=ReportSectioncd99edcca07a5ff10551>. [Accessed 2 Mayo 2025].
- [5] IPE, «¿Hacia dónde va la infraestructura del Transporte en el Perú?,» [En línea]. Available: <https://ipe.org.pe/hacia-donde-va-la-infraestructura-del-transporte-en-el-peru/>. [Último acceso: 2 Mayo 2025].
- [6] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, «Manual de carreteras,» [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html. [Último acceso: 2 Mayo 2025].
- [7] A. Castro y J. Chanamé, «Estudio de zonificación de suelos para diseño de cimentaciones superficiales en el sector Lagunas I y II, distrito de Santa Rosa, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque,» [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo], Chiclayo, 2021.
- [8] D. Medrano, "Estudio de zonificación de los suelos para fines de cimentación superficial del sector Pómape del distrito de Monsefú - Chiclayo," [Tesis de Pregrado, USMP], Chiclayo, 2020.
- [9] REMADE Institute, "Dynamic Crosslinking to Enable EVA Recycling," REMADE Institute, 02 Junio 2023. [Online]. Available: <https://remadeinstitute.org/remade-projects/dynamic-crosslinking-to-enable-eva-recycling/>. [Accessed 06 Abril 2025].
- [10] J. Carranza y V. Guzmán, «Influencia del polímero eva reciclado en el porcentaje del CBR en la subrasante para la carretera en el centro poblado pampas de san Juan - Laredo - Perú.,» [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego], San Juan, 2019.
- [11] J. Zavala and V. Gusmán, "Influencia del polímero eva reciclado en el porcentaje del CBR en la subrasante para la carretera en el centro poblado pampas de san Juan - Laredo - Perú.," [Tesis de Pregrado, UPAO], San Juan, 2019.
- [12] J. León and D. Marín, "Evaluar el uso de polímeros reciclados para el mejoramiento de vías no pavimentadas del distrito de José Leonardo Ortiz - Chiclayo - 2021," [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo], Chiclayo, 2021.

- [13] M. Ghasemi, T. Alireza and L. Nima, "Effect of natural and synthetic fibers reinforcement on California bearing ratio and tensile strength of clay," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 13, no. 3, p. 17, 2021.
- [14] B. Irem, B. Fatih, A. Candas and A. Selim, "Effect of randomly distributed pet bottle strips on mechanical properties of cement stabilized kaolin clay," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 24, no. 5, p. 12, 2021.
- [15] B. Cuipal, «Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018,» [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo], Chchapoyas, 2018.
- [16] C. Capia, "Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, 2019," [Tesis de Pregrado, UPEU], Juliaca, 2020.
- [17] Y. Ramos y W. Seminario, «Uso de polímeros pet triturados para mejorar la subrasante del centro poblado la golondrina entre las progresivas 0+000 hasta 1+000 del distrito de Marcavelica – Sullana – Piura,» [Tesis de Pregrado, UCV], Piura, 2019.
- [18] A. Mahdieh, S. Amin, M. Mehdi, J. Mark and A. Najappa, "Biopolymer stabilization of clayey soil," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 16, no. 7, p. 12, 2023.
- [19] A. Jara, "Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera (aserrín), en su comportamiento mecánico - deformacional para el mejoramiento de la subrasante, de las vías de la urbanización las gardenias de la ciudad de Juliaca," [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano], Puno, 2024.
- [20] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «Manual de carreteras,» [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html. [Último acceso: 4 5 2025].
- [21] A. Montejo, "Ingeniería de pavimentos," 2002.
- [22] W. Lambe, "Mecánica de Suelos," Limusa, 2012.
- [23] P. Berry, "Mecánica De Suelos," 2024.
- [24] B. Juarez, "MECANICA DE SUELOS TOMO I," 2024.
- [25] T. Martinez, «Mecanica de suelos».
- [26] Ministerio del Ambiente, "Vigilancia climática/temperatura," [Online]. Available: https://www.senamhi.gob.pe/site/vigilancia-climatica/pages/record_temperatura.php.
- [27] M. Beltrán, «Estructura y propiedades de los polímeros,» Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química, 2011.
- [28] REPSOL , "EVA/EBA," 2025. [Online]. Available: <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/materiales/productos/eva/index.cshtml>. [Accessed 06 04 2025].
- [29] A. Kucynska and R. Klugmann, "Influencia del tamaño de los fragmentos en el tiempo y la temperatura de descomposición de la laminación de etileno acetato de vinilo en el proceso de reciclaje de módulos fotovoltaicos," *National library of medicine*, vol. 12, no. 18, 2019.

- [30] R. Lenoir, "'1 - Plastics'," in *Global Legislation for Food Contact Materials (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2022, pp. 1-50.
- [31] Inversiones God, "CATÁLOGO DE PRODUCTOS 2018 /".
- [32] Trade Map, [Online]. Available: <https://www.trademap.org/Index.aspx>. [Accessed 16 mayo 2025].
- [33] L. Aranzazu and Cárdenas, "Modelos cinéticos de degradación térmica de polímeros: una revisión.," *Revista ingenierías*, p. 11, 2013.
- [34] F. Llopis and J. Izquierdo, "Análisis Térmico / Termogravimetría (ATD, TG y DSC)," *Universidad complutense madrid*.
- [35] Biología, "Estereoscopio (Microscopio de Disección)".
- [36] ASTM, "Helping Our World Work Better," [Online]. Available: <https://www.astm.org/>.
- [37] ASTM, "Standard Test Method for Temperature Calibration of Differential Scanning Calorimeters and Differential Thermal Analyzers1".
- [38] ISO, "Microscopes-Microscopes with digital imaging displays information provided to the regarding imaging performance," [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:18221:ed-1:v1:en:en>.
- [39] M. Borja, "Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil," 2016.
- [40] Ministerios de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2016.
- [41] Instituto Nacional de Calidad, "Listado de Normas Técnicas Peruanas que se encuentran referidas en dispositivos de carácter obligatorio," [Online]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/informes-publicaciones/1515837-listado-de-normas-tecnicas-peruanas-que-se-encuentran-referidas-en-dispositivos-de-caracter-obligatorio>. [Accessed 9 9 2024].
- [42] ASTM International, "Lista de Normas ASTM," [Online]. Available: <https://la.astm.org/es/standards/astm-standards-list/>. [Accessed 9 9 24].
- [43] N. Fustamante, «Evaluación de la capacidad de soporte del suelo adicionando polímeros reciclados (PET) en la sub rasante de la calle Camino Real, progresiva Km 0+000 - Km 0+750, Chota.,» [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota], Chota, 2021.
- [44] S. Tayfun, A. Noyan and V. Yasar, "Investigating the effects of stabilization carried out using fly ash and polypropylene fiber on the properties of highway clay soils," *Construction and Building Materials*, vol. 400, p. 12, 2023.
- [45] E. Escalante y L. Raygada, «Evaluación del comportamiento geotécnico del suelo tropical reforzado con paja de Ichu (Stipa Ichu) para cimentaciones superficiales para la construcción de un colegio en la localidad de Llochegua,» [Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola], Lima, 2021.
- [46] Inversiones GOD, "CATÁLOGO DE PRODUCTOS 2018 /".

Anexos**CONFORMIDAD DE ASESOR SEMINARIO TESIS II**

Chiclayo, 19 de mayo del 2025.

Señores

**LOPEZ CARRANZA, ATILIO RUBEN
ROBERTO CARLOS CASTILLO VELARDE
Escuela Profesional de Ingeniería Civil -USAT**

Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: **ADICIÓN DE ETILVINILACETATO EN SUBRASANTES ARCILLOSAS PARA MEJORAR LA PLASTICIDAD, COMPACTACIÓN Y CAPACIDAD DE SOPORTE** presentado por la estudiante **MIRANDA ROQUE CARLA SOFIA** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del informe de tesis de acuerdo con el art.32 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.



Ms. Roberto Carlos Castillo Velarde
INGENIERO CIVIL
REG. CP. N° 67640

Ing. Castillo Velarde Roberto Carlos

ANEXO N° 1 CONFORMIDAD ASESOR



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

- LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
- CONCRETO Y ASFALTO

INFORME N° LEM USAT 039-2025-I

FECHA: 22 de Mayo 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Carla Sofia Miranda Roque

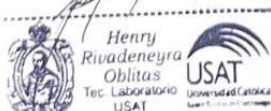
TITULO DE LA TESIS: Adición de etilvinilacetato en subrasantes arcillosas para mejorar la plasticidad, compactación y capacidad de soporte.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Granulometría por Tamizado
- Granulometría por Hidrometría
- Límite líquido
- Límite plástico
- Gravedad Especifica
- Proctor Modificado
- CBR de Laboratorio
- Ensayo de Penómetro Dinámico de Cono
- Ensayo para Determinar la Densidad y Peso Unitario del Suelo Insitu Mediante el Método del Cono de Arena
- Ensayo de Espectrometría de Rayos X
- TGA Y ATD
- Estereoscopia

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil



ANEXO N° 2 VALIDACIÓN DE ENSAYOS

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC:2060355189

REPORTE DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRA POR EL ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL

SOLICITANTE	CARLA SOFIA MIRANDA ROQUE
TESIS	ADICIÓN DE ETILVINILACETATO EN SUBRASANTES ARCILLOSAS PARA MEJORAR LA PLASTICIDAD, COMPACTACIÓN Y CAPACIDAD DE SOPORTE
MUESTRA	ETILVINILACETATO
FECHA	21 DE ABRIL 2025
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

1. MUESTRA: Etilvinilacetato (10. GR)

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
001	500 mg	

2. ENSAYOS A APLICAR:

- ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL (ATD)
- ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- ANALIZADOR TÉRMICO SIMULTANEO TG, DTA, DSC CAP. MAX 1600°C, SETSYS- EVOLUTION, CUMPLE CON NORMAS ASTM-ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- TASA DE CALENTAMIENTO: 20 °C/MIN
- GAS DE TRABAJO-FLUJO: NITROGENO, 10 ML/MIN
- RANGO DE TRABAJO 25-920°C
- MASA DE MUESTRA ANALIZADA: 35 MG


 CARLOS ALBERTO VALQUI MENDOZA
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP 122588



JEFE DE LABORATORIO: ING. CARLOS VALQUI MENDOZA
ANALISTA RESPONSABLE: ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS – SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITES -CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: Fqaperusac@gmail.com

ANEXO N° 3 ENSAYO QUÍMICO

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC:2060355189

4. RESULTADOS

c. CURVA TGA Y ATD

CURVA DE PÉRDIDA DE MASA-ANÁLISIS TERMOTERMIGRÁFICO



4. CONCLUSIONES

- Según el análisis Termogravimétrico se muestra la descomposición térmica a través de la pérdida de masa en función a la temperatura indicado dos regiones donde se hace más intensa la pérdida, la primera en un rango entre 200 y 450°C y la segunda menos intensa entre 550 y 750°C, posteriormente la pérdida es gradual. El material llega a perder un aproximado de 0.18% de masa, respecto a su masa inicial a la temperatura máxima de ensayo.

Carlos Alberto Valqui
CARLOS ALBERTO VALQUI
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP 122588

TRUJILLO, 21 DE ABRIL DEL 2025

AGUAS – SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITES – CARBÓN – CAL

CELULAR: 944 077 288 – 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: Fqaperusac@gmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC:2060355189

REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR EL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

SOLICITANTE	CARLA SOFIA MIRANDA ROQUE
TESIS	ADICIÓN DE ETILVINILACETATO EN SUBRASANTES ARCILLOSAS PARA MEJORAR LA PLASTICIDAD, COMPACTACIÓN Y CAPACIDAD DE SOPORTE
MUESTRA	ETILVINILACETATO
FECHA	21 DE ABRIL 2025

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca

BRUKER, MODELO S2-PICOFOX

Fuente de rayos x: Tubo de Mo

Tiempo de medida: 2000 segundos.

ESTANDAR INTERNACIONAL PARA

CUANTIFICACIÓN: Elemento: Galio (Ga)

Concentración: g/l.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Se analizó 25 mg de la muestra de **ETILVINILACETATO**, la cual fue tamizada previamente a malla a 200.

3. METODO

- **BASADO EN LA NORMA** : ASTM C25
- **VOLUMETRIA** : USAQ-ME06

JEFE DE LABORATORIO:

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

ANALISTA RESPONSABLE:

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS – SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITES – CARBON – CAL

CELULAR: 944 077 288 – 949 959 632 – CORREO ELECTRÓNICO: Fqaperusac@gmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC:2060355189

4. RESULTADOS

COMPOSICION QUIMICA	RESULTADOS (%)	METODO UTILIZADO
SODIO (Na)	55.2	Espectrometria de fluorescencia de rayos x
OXIDO DE CALCIO (CaO)	14.56	
CARBONO (C)	1.84	
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O)	0.9	
ACIDO CARBONICO (H ₂ CO ₃)	2.67	
HIDROGENO (H)	0.64	
OXIDO FOSFORICO (P ₂ O ₅)	2.91	
CLORO (Cl)	0.04	
OXIDO DE ZINC (ZnO)	<0.60	
OXIDO DE MANGANESO (MnO)	1.96	
PÉRDIDA POR QUEMADO	19.31	

5. CONCLUSION

- Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica, se encontraron Sodio (Na) y Oxido de calcio (CaO) con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró Cloro (Cl), Hidrogeno (H).

TRUJILLO, 21 DE ABRIL DEL 2025


CARLOS ALBERTO VALQUI MENDINI
INGENIERO QUIMICO
CIP-122588



AGUAS – SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITES -CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 949 959 632

CORREO ELECTRÓNICO: Fqaperusac@gmail.com

INFORME DE ENSAYO N° 2888

Expediente N° : 2863 - 2025 L.E.M. AMAZING S.A.C
Solicitante : CARLA SOFIA MIRANDA ROQUE
Proyecto : "ADICIÓN DE ETILVINILACETATO EN SUBRASANTES ARCILLOSAS PARA MEJORAR LA PLASTICIDAD, COMPACTACIÓN Y CAPACIDAD DE SOPORTE"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 26 de Abril del 2025

ENSAYO : SUELOS, Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo In-Situ mediante el cono de arena.
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 339.143 ASTM D-1556

I.- Ubicación y/o Descripción de Prueba					
Nº de Prueba / Nº Base		D - 01	D - 02	D - 03	D - 04
Cono		2	2	2	2
Placa		B	B	B	B
II.- Datos de Campo y de Laboratorio					
1.-Peso de frasco + arena calibrada	g.	6318	6298	6271	6247
2.-Peso de frasco + arena que queda	g.	2584	2515	2654	2586
3.-Peso de la arena en el cono	g.	1628	1628	1628	1628
4.-Densidad de la arena	g/cm ³	1.35	1.35	1.35	1.35
5.-Volumen del material extraído	cm ³	1560	1596	1473	1506
6.-Peso del material + recipiente	g.	3066	3125	3394	3437
7.-Peso del recipiente	g.	9.0	9.0	9.0	9.0
8.-Peso del material retenido 3/4"	g.	0	0	0	0
9.-Peso específico de la grava	g/cm ³	2.41	2.41	2.41	2.41
10.-Volumen de la grava	cm ³	0	0	0	0
11.-Peso de finos	g.	3057	3116	3385	3428
12.-Volumen de finos	cm ³	1560	1596	1473	1506
13.-Densidad natural húmeda	g/cm ³	1.960	1.952	2.298	2.276
III.- Contenido de Humedad					
14.-Humedad (Speedy)	(%)	15.4	14.8	12.4	11.8
15.-Densidad natural seca	g/cm ³	1.698	1.700	2.044	2.036
IV.- Resultados de Laboratorio (Proctor Modificado)					
16.-MÁXIMA DENSIDAD SECA	g/cm ³	1.780	1.780	2.08	2.08
17.-ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.00	17.00	12.50	12.50
V.- Resultados Final					
18.-GRADO DE COMPACTACIÓN	(%)	95.4	95.5	98.3	97.9

D - 01 SUELO NATURAL
D - 02 SUELO NATURAL
D - 03 SUELO + 5% EVA
D - 04 SUELO + 5% EVA

OBSERVACIONES:

- Ensayo realizado : Chiclayo, 26 de Abril del 2025
- Identificación y Ubicación de pruebas designadas por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


German Oscar Gasteo Chirinos
TEC. LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES




Juan Carlos Firme Queda Ajusta
INGENIERO CIVIL
Reg. CP. 123351



Municipalidad Distrital de
LA VICTORIA

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

La Victoria, 30 de Julio del 2024

Carta N.º 215 -2024-MDLV/URH

Dr. Ing. Maximiliano Arroyo Ulloa
Decano(e) de la Facultad de Ingeniería
USAT

**ASUNTO: ACEPTACION PARA REALIZAR TRABAJO DE
INVESTIGACION**

REF. : CARTA N.º 116-2024-USAT-EICA

Tengo el agrado de dirigirme a Usted, para saludarlo en nombre de la Unidad de Recursos Humanos de la Municipalidad Distrital de La Victoria que represento y a la vez manifestarle lo siguiente:

Que, la estudiante **MIRANDA ROQUE CARLA SOFIA**, alumna de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil Ambiental** la Institución Universitaria que Usted representa, ha sido admitido para realizar su proyecto de investigación denominado "**Adición de Etilvinilacetato en subsarantes arcillosos para mejorar la plasticidad, compactación y capacidad de soporte**", en la Gerencia de Desarrollo Territorial e Infraestructura de la Municipalidad Distrital de La Victoria.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente,


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA VICTORIA
Alc. Sara Cecilia Villegas Santiago
JEFE DE RECURSOS HUMANOS

c.c. Archivo.

CIUDAD DE PROGRESO

Av. Unión N° 1696, La Victoria - Chiclayo


gob.pe/munilavictoria-chiclayo munilavictoriachiclayo imagenmunilavictoria@gmail.com

ANEXO N° 8 ACTORIZACIÓN PARA EXPLORACIÓN DE CALICATAS

ANEXO N° 9 LINK DE DRIBE
VALIDACIÓN DE CADA ENSAYOS DE LABORATORIO

https://drive.google.com/drive/folders/1sr_sE3IGekfw-8sk3AQuDHGqQcb6pVEN?usp=sharing

Sofia Miranda_ Tesis para título de Ingeniería Civil 3.docx

 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Document Details

Submission ID

trn:oid::3117:461853797

Submission Date

May 24, 2025, 2:22 AM GMT-5

Download Date

May 24, 2025, 2:48 AM GMT-5

File Name

Sofia Miranda_ Tesis para título de Ingeniería Civil 3.docx

File Size

108.9 KB

113 Pages

16,921 Words

91,325 Characters



Page 1 of 124 - Cover Page

Submission ID trn:oid::3117:461853797




Page 2 of 124 - Integrity Overview


Submission ID trn:oid::3117:461853797


19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

16%  Internet sources

1%  Publications

14%  Submitted works (Student Papers)