

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



**Influencia del copolímero acrílico para la estabilización de la subrasante de
suelos arcillosos**

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

AUTOR

Max Ander Yarango Vasquez

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2025

**Influencia del copolímero acrílico para la estabilización de la
subrasante de suelos arcillosos**

PRESENTADA POR

Max Ander Yarango Vasquez

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Carlos Javier Ramírez Muñoz

PRESIDENTE

Carlos Enrique Cumpa Vieyra

SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez

VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, María Elena Vásquez Camacho y Max Ander Yarango Alejandría, por su aliento a ser una mejor persona en cada momento, por apoyarme sin costo alguno. Con la única finalidad de que sea una persona profesional y que ustedes se sientan orgullosos de ello, la educación superior que me brindan es el mejor regalo que me han podido dar, y sé que el mejor regalo que les pueda dar es ser un gran profesional, con ética.

Agradecimientos

Agradecido con mis padres y hermanos, por su apoyo, consejos. Por ser tolerantes y brindarme su cariño familiar que me han brindado y me brindan en cada momento.

A mi familia, por sus motivaciones siendo el impulso del día a día.

A Manuel Alejandro Borja Suarez, mi asesor que gracias a su ayuda incondicional puedo realizar el desarrollo de mi tesis.

Influencia del Copolímero Acrílico para la estabilización de la subrasante de suelos arcillosos

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

11%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

6%

3

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to City University of New York System

Trabajo del estudiante

<1%

6

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

7

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

<1%

8

ribuni.uni.edu.ni

Fuente de Internet

<1%

Índice

Resumen	10
Abstract	11
Introducción.....	12
Revisión de literatura.....	16
Bases Teóricas-científicas	18
Definición de términos básicos	27
Materiales y métodos	28
Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	38
Procedimiento	39
Resultados y discusión	48
Evaluación Económica	57
Evaluación Ambiental	60
Discusión.....	63
Conclusiones	73
Recomendaciones	75
Referencias.....	76

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Pavimento dañado en Av. Chiclayo - Mariano Cornejo	13
Ilustración 2 Pavimento dañado en Av. México - Sáenz Peña.....	14
Ilustración 3: Granulometría del suelo	24
Ilustración 4: Estados de consistencia.....	24
Ilustración 5: Tipos de suelos predominantes de Chiclayo	29
Ilustración 6: Localización de las muestras.....	31
Ilustración 7: Calicata 01: Intersección Ca. Garcilazo de la Vega y Enrique Arenas	39
Ilustración 8 Calicata 02: Intersección Ca. Hugo Niño Arbulu y San Germán	39
Ilustración 9: Calicata 03: Intersección Ca. Trujillo y San Germán	40
Ilustración 10: Ubicación de Calicatas.....	41
Ilustración 11: Almacenamiento de muestras naturales	43
Ilustración 12: Muestra de Copolímero Acrílico.....	43
Ilustración 13: Contenido de Humedad.....	44
Ilustración 14: Granulometría por tamizado	45
Ilustración 15: Limite Líquido	45
Ilustración 16: Limite Plástico	46
Ilustración 17: Proctor Modificado	46
Ilustración 18: CBR – compactación y enrazado	47
Ilustración 19: CBR – Fase de inmersión.....	47
Ilustración 20: CBR – prensa de carga.....	48

Lista de Tablas

Tabla 1 Clasificación AASHTO	20
Tabla 2 Clasificación SUCS.....	21
Tabla 3 Correlación de tipos de suelos.....	22
Tabla 4 Categoría de subrasante según su CBR.....	23
Tabla 5 Clasificación del tamaño de partículas.....	23
Tabla 6 Rangos de I. Plasticidad	25
Tabla 7 Número mínimo de puntos de investigación.....	30
Tabla 8 Puntos de Investigación.....	30
Tabla 9 Cantidad de ensayos por Contenido de Humedad.....	32
Tabla 10 Cantidad de ensayos de Granulometría.....	32
Tabla 11 Cantidad de ensayos de Índice de plasticidad, muestra natural	32
Tabla 12 Cantidad de ensayos de IP, muestra alterada	33
Tabla 13 Cantidad de ensayos de Densidad máxima seca, muestra natural.....	33
Tabla 14 Cantidad de ensayos de Densidad máxima seca, muestra alterada	33
Tabla 15 Cantidad de ensayos de CBR, muestra natural	34
Tabla 16 Cantidad de ensayos de CBR, muestra alterada	34
Tabla 17 Variables de operacionalización.....	35
Tabla 18 Sucesión para demostrar la Hipótesis	36
Tabla 19 Tabla de Operacionalización.....	37
Tabla 20 Ensayos y Normativas.....	38
Tabla 21 Detalle C-01	42
Tabla 22 Detalle de C-02.....	42
Tabla 23 Detalle de C-03.....	42
Tabla 24 Resultados del C.H de M-1	48
Tabla 25 Resultados de la Granulometría por tamizado	49
Tabla 26 Resultados de los L.A. de las muestras naturales.....	50

Tabla 27 Clasificación SUCS.....	51
Tabla 28 Clasificación AASHTO.....	51
Tabla 29 Resultados P.M naturales	51
Tabla 30 CBR naturales	52
Tabla 31 Composición Química.....	52
Tabla 32 Resultados L.A. muestras con adición	53
Tabla 33 Clasificación SUCS de muestras con adición	53
Tabla 34 Clasificación AASHTO de muestras con adición.....	54
Tabla 35 Resultados de P.M de muestras con adición	54
Tabla 36 Resultados CBR, C-01 con adición.....	55
Tabla 37 Resultados CBR, C-02 con adición.....	56
Tabla 38 Resultados CBR, C-03 con adición.....	56
Tabla 39 Costos de estabilizar con C.A al 2%	57
Tabla 40 Costos de estabilizar con C.A al 4%	58
Tabla 41 Costos de estabilizar con C.A al 6%	58
Tabla 42 Identificación de impactos ambientales	61
Tabla 43 Matriz de Leopold de estabilizar con C.A.....	62

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Detalle Granulométrico M-1 de la C-1	49
Gráfico 2 Detalle Granulométrico M-1 de la C-2	49
Gráfico 3 Detalle Granulométrico M-1 de la C-3	50
Gráfico 4 Comparación de costos en cada adición de C.A	59
Gráfico 5 Resultados de C.H, muestras naturales	63
Gráfico 6 Detalle granulométrico por tamizado de muestras naturales	64
Gráfico 7 Detalle L. Atterberg de muestras naturales	64
Gráfico 8 Resultados de Optimo Contenido de Humedad – Proctor Modificado.....	65
Gráfico 9 Resultados de Densidad Máxima Seca – Proctor Modificado.....	65
Gráfico 10 Resultados de CBR sin adición.....	66
Gráfico 11 Resultados de los L. Atterberg de la C-1 con adición.....	67
Gráfico 12 Resultados de los L. Atterberg de la C-2 con adición.....	67
Gráfico 13 Resultados de los L. Atterberg de la C-3 con adición.....	68
Gráfico 14 Resultados de P.M con adición – MDS	68
Gráfico 15 Resultados de Proctor con adición C.A - OCH.....	69
Gráfico 16 Resultados del CBR con adición de C.A	70

Resumen

El distrito de José Leonardo Ortiz presenta suelos con bastante plasticidad y una baja capacidad portante, los cuales requieren ser estabilizados para poder ser utilizados como una buena subrasante de pavimentos. Según INDECI, en un estudio realizado en el año 2003 la zona de JLO presenta este tipo de suelos arcillosos, es por ello, en la presente investigación se estudia en cómo puede afectar la adición del copolímero acrílico el cual es un producto industrial. El cual tiene como objetivo en la presente investigación, ver cómo influye el C.A en la estabilización de subrasantes arcillosas. El copolímero acrílico se utilizó en polvo, el cual será añadido en porcentajes de 2%, 4% y 6% realizando sus respectivos ensayos, como son el límite líquido y plástico, el Proctor y CBR. Posterior a ello, basándose en los resultados obtenidos de laboratorio se concluyó que hubo un aumento significativo en su CBR, cumpliendo con estándares mínimos establecidos por la norma para una subrasante sea aceptable.

Palabras claves

Subrasante, estabilización, capacidad portante, copolímero acrílico (C.A)

Abstract

The district of José Leonardo Ortiz has soils with a lot of plasticity and a low bearing capacity, which require stabilization to be used as a good subgrade for pavements. According to INDECI, in a study carried out in 2003, the JLO area has this type of clay soils, which is why this research studies how the addition of acrylic copolymer, which is an industrial product, can affect it. The objective of this research is to see how C.A influences the stabilization of clay subgrades. The acrylic copolymer was used in powder form, which will be added in percentages of 2%, 4% and 6% performing their respective tests, such as the liquid and plastic limit, the Proctor and CBR. After that, based on the results obtained from the laboratory, it was concluded that there was a significant increase in its CBR, meeting the minimum standards established by the standard for an acceptable subgrade.

Keywords:

Subgrade, stabilization, load-bearing capacity, acrylic copolymer (C.A)

Introducción

Hoy en día el crecimiento poblacional en el Perú está experimentando un rápido crecimiento debido al desarrollo global, lo cual ha generado una alta demanda en la construcción e infraestructura, a pesar de esto, todavía existen numerosas vías sin pavimentar en todo el mundo, ya sea debido a la falta de tiempo o al alto costo asociado con su desarrollo. En el sector de Sudamérica, en particular, hay una gran cantidad de carreteras que presentan estas carencias, lo cual ha motivado la exploración de tecnologías innovadoras que posibiliten la mejora y estabilización de estas vías a través de la modificación de sus diseños estructurales. La situación actual en el Perú presenta desafíos en relación con la construcción en suelos arcillosos, ya sea en zonas de la costa, sierra y selva, puesto que, debido a su variedad geológica, presenta gran cantidad de características de subrasantes, estos suelos son altamente susceptibles a los cambios de humedad, lo que provoca fisuras, asentamientos, inestabilidad, baja capacidad de carga y resistencia, por ello el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) ha presentado soluciones estabilizantes para mejorar las propiedades de estos suelos, estas soluciones incluyen la incorporación de residuos de construcción, aditivos químicos, cenizas, vidrio triturado, polímeros, copolímeros, entre otros. Estos materiales tienen como objetivo mejorar la capacidad de carga y resistencia de los suelos arcillosos, teniendo en cuenta que el valor del CBR (California Bearing Ratio) debe ser igual o mayor a 6%.

Por esta razón, es fundamental investigar nuevas tecnologías y/o materiales que cumplan con los requisitos necesarios para la estabilización de subrasantes, aportando ventajas técnicas, económicas y medioambientales.

Como material alternativo se tiene el copolímero acrílico, en la actualidad, países como España, Estados Unidos y varios países de otros continentes están optando por el uso de productos químicos, como polímeros, biopolímeros y copolímeros, en la construcción de carreteras. Estas sustancias se utilizan de manera satisfactoria en el tratamiento de los suelos, mejorando las propiedades mecánicas en las distintas capas de las estructuras de las carreteras, ya sean pavimentadas o no pavimentadas.

En Perú, no existen procedimientos constructivos con polímeros claramente establecidos. Sin embargo, se han realizado numerosas investigaciones sobre estos productos, que han arrojado resultados prometedores. Esto se debe a que los polímeros tienen una mejor capacidad para interactuar con los suelos estabilizados durante el proceso de construcción y son sostenibles, lo que implica que mantienen los niveles de servicio de las carreteras tratadas a lo largo del

tiempo en comparación con los métodos convencionales.[1]

De acuerdo con el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) los tipos de suelos predominantes en la ciudad de Chiclayo, y por ende en José Leonardo Ortiz ubicado en el sector III dentro de la microzonificación de la ciudad, el tipo de suelo que presentan en predominancia son arcillas de mediana y alta plasticidad, con una capacidad portante entre 0.5 – 1.0 Kg/cm², concluyendo que estos suelos son críticos ocasionando problemas a futuro en el comportamiento del pavimento construido.

De igual forma, un estudio realizado por los ingenieros D. Luna Duran y J. Alba Hurtado, en la cual se detalla el tipo de zonificación geotécnica que presenta el distrito de José Leonardo Ortiz en donde se encuentra ubicada la zona de estudio, nos menciona que es una zona afectada por suelos arcillosos, presentando arcillas con porcentajes medianos y altos con respecto a su plasticidad, con gran contenido de humedad en estos suelos, lo cual daña el estado del pavimento que se encuentran construidos en estos sectores.

Así mismo, en el año 2017 la Contraloría de la Republica realizo un estudio del estado de las vías del distrito, determinando que el distrito de José Leonardo Ortiz (JLO) cuenta con un 95% de estas vías en mal estado, las cuales se ven reflejado en sus calles, ya sea por la falta de pistas o parchados de estas mismas, necesitando ser arregladas de manera urgente, como se observa en la figura 1 y 2 a continuación.

Ilustración 1

Pavimento dañado en Av. Chiclayo - Mariano Cornejo



Fuente: Propia

Ilustración 2

Pavimento dañado en Av. México - Sáenz Peña



Fuente: Propia

Debido a la problemática mencionada, la presente tesis busca implementar el uso del copolímero acrílico en polvo en subrasantes arcillosas con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas, determinando el porcentaje que se debe utilizar del copolímero acrílico para conseguir la estabilización del suelo dentro de la normativa vigente.

Es por eso, que surge la siguiente pregunta ¿Como influye en la estabilización de la subrasante de suelos arcillosos la incorporación del copolímero acrílico?

Para dar solución al problema, se plantea la siguiente hipótesis:

- ✓ La incorporación del copolímero acrílico en la estabilización de la subrasante del suelo arcilloso mejorara sus propiedades.

Siendo el objetivo general: Evaluar la influencia al incorporar el copolímero acrílico en la estabilización de subrasante del suelo arcilloso. De igual forma, se detallaron los objetivos específicos:

- ✓ Caracterización y clasificación de la muestra natural del suelo. Determinar las características del copolímero acrílico.
- ✓ Determinar el contenido de humedad, % óptimo de humedad y densidad máxima seca de las subrasantes arcillosas de la muestra natural mediante ensayos de Plasticidad y Proctor Modificado.
- ✓ Realizar y evaluar los ensayos de CBR de la muestra natural.
- ✓ Determinar el contenido de humedad, % óptimo de humedad y densidad máxima seca de las subrasantes arcillosas de la muestra estabilizada mediante ensayos de

Plasticidad y Proctor Modificado.

- ✓ Realizar y evaluar los ensayos de CBR de la muestra estabilizada con la incorporación del copolímero acrílico.
- ✓ Determinar la influencia del copolímero acrílico en las subrasantes arcillosas y comprobar que porcentaje es el óptimo.
- ✓ Determinar el costo de estabilizar subrasantes arcillosas con la incorporación del copolímero acrílico.
- ✓ Evaluar los impactos ambientales en la estabilización de subrasantes arcillosas con la incorporación del copolímero acrílico.

El presente trabajo investigativo tiene por justificación técnica ampliar el número de opciones para mejorar las subrasantes de los suelos arcillosos mediante distintos estabilizadores, de llegarse el caso de comprobar que la incorporación del copolímero acrílico, de mejoras en las propiedades de dichos suelos, cumpliendo siempre con los requisitos normados y posterior a ello puedan ser establecidos como una forma más de estabilizar dentro una obra.

Con respecto al tema económico, establece una alternativa de solución en la estabilización, pues, como se sabe hoy en día los tipos de estabilizadores más comunes en el Perú son la cal y el cemento, pero surge que en ocasiones estos estabilizadores suelen ser muy costosos su compra y por consecuencia aumentar el precio de la Obra, es por ello que el presente trabajo de investigación tiene como fin buscar mejorar las propiedades del suelo incorporando el copolímero acrílico, y que a la par se reduzcan los costos de ejecución en la estabilización de la subrasante.

Y, por último, como justificación social del presente trabajo investigativo, se tiene en cuenta mejorar la calidad de vida de los pobladores, puesto que una mejora del suelo conllevaría a una mejoría en la transitabilidad, aumento en el comercio, ahorro en tiempos de traslados y fácil comunicación entre comunidades, mejorando sus vías de acceso a zonas quizás poco visitadas debido a una inseguridad por parte de ellos mismos; y que sumado todo ello se daría una mejor calidad de vida de todos los pobladores.

Revisión de literatura

Antecedentes de la investigación

Huang[2], En su artículo examina la aplicación de los polímeros en la estabilización de suelos en pavimentos e ingeniería geotécnica. Se analizan las propiedades clave de los polímeros, como los geopolímeros, biopolímeros y polímeros orgánicos, incluyendo características como su naturaleza, peso molecular, tamaño de partícula y solubilidad. También se investigan los mecanismos que controlan la estabilización de los suelos mediante polímeros, destacando la influencia de las fuerzas electrostáticas y los cambios estructurales en los suelos granulares. Se abordan los beneficios de esta técnica, como el aumento de la resistencia y la reducción de la permeabilidad. Además, se mencionan los desafíos, como la falta de estándares de evaluación y la susceptibilidad a la humedad.[2]

Debbarma[3], El presente artículo aborda la mejorar de la resistencia y durabilidad del suelo de subrasante en pavimentos a través de la estabilización del suelo. Se pone énfasis en el uso cada vez más extendido de estabilizadores poliméricos, particularmente el copolímero vinílico acrílico (K31-APS). Se realizó un estudio en laboratorio utilizando diferentes combinaciones de suelo y agregado en proporciones del 0%, 25%, 50% y 75%, y se llegó a tener un aumento notable en la resistencia a la compresión, resistencia al corte y módulo resiliente al agregar este copolímero en comparación con las muestras no modificadas. Estas mejoras variaron según la proporción de suelo y agregado, y se destacaron los beneficios económicos al utilizar el copolímero. En conclusión, el uso del copolímero vinílico acrílico como estabilizador se presenta como una solución sostenible y rentable para la construcción de carreteras, mejorando las propiedades del pavimento con un impacto financiero mínimo.[3]

Mirzababaei [4], Este estudio investiga la influencia de dos tipos de aditivos químicos, uno es el poli (alcohol vinílico) o PVA y otro de ellos es el ácido butanotetracarboxílico (BTCA), en las propiedades de ingeniería de un suelo arcilloso expansivo. Donde se evaluó la influencia de los distintos polímeros en la resistencia de muestras de suelo preparadas a su máxima densidad seca (16.2 kN/m³ y 17% de contenido de agua) y a una densidad seca más baja (10.8 kN/m³ y 48% de contenido de agua). Se añadieron PVA y BTCA en concentraciones del 0.1% al 1.5% y del 0.1% al 0.5%, respectivamente, a las muestras de suelo compactadas y se curaron durante 1 y 14 días. Los resultados de las pruebas de compresión no confinada en las muestras de suelo arcilloso estabilizadas con PVA y BTCA en diferentes concentraciones, curadas durante 1 y 14 días, indicaron que estos polímeros hidrofílicos mejoran significativamente la resistencia de los suelos arcillosos, tanto los compactos como los suaves, y esta resistencia

aumenta con el tiempo de curado. Sin embargo, la eficiencia de los aditivos depende en gran medida del peso unitario del suelo. Además, se examinó la durabilidad de las muestras estabilizadas mediante pruebas de remojo, y las pruebas mostraron que estos polímeros mejoran la durabilidad de los suelos arcillosos cuando se exponen al agua.[4]

Lecarnaque Ortiz[5], El presente estudio se centra en investigar el impacto de la adición de un copolímero acrílico líquido en las propiedades iniciales de un suelo arcilloso, tanto en términos físicos como químicos. El copolímero acrílico líquido se utilizó como agente estabilizador en la capa de afirmado de la Avenida El Porvenir, ubicada en el Distrito de Puente Piedra. La investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque cuantitativo, y se realizaron diversos ensayos de laboratorio para clasificar el suelo. Asimismo, se llevaron a cabo pruebas para evaluar el comportamiento del suelo al añadirle el copolímero en concentraciones del 2.5% y 5.0%, incluyendo diversos ensayos, con el propósito de determinar cómo estos parámetros variaron tras la incorporación del copolímero. Las muestras tratadas con el copolímero se sometieron a un proceso de curado durante 1, 3 y 7 días. En conclusión, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se pudo observar que el suelo estabilizado con copolímero acrílico experimentó mejoras notables en sus propiedades, especialmente en los ensayos de CBR y compresión no confinada.[5]

Curitomay Najarro[6], Expone las alteraciones ocasionadas por la presencia de humedad en el suelo de arcilla en el Distrito de Socos-Ayacucho, es por ello por lo que plantea utilizar un copolímero compuesto por poliuretano y acrílico, para lo cual se analizaron muestras de suelo patrón y suelo estabilizado con el polímero con porcentajes de 6%, 8%, 10% y 12%, evaluando diversas propiedades como índices, compactación, resistencia a cargas verticales, expansión y contracción. Estas pruebas tenían como objetivo determinar la viabilidad de utilizar dicho polímero, dando como el resultado más significativo la disminución de la contracción, la expansión y el aumento de la resistencia a la carga, en comparación con el suelo natural. Concluyendo de tal forma que la utilización del polímero mejora sus propiedades físico-mecánicas haciéndolos así aptos para ser utilizados en estructuras de pavimentos.[6]

Nesterenko[7], En la presente investigación nos indica que hubo un incremento notorio en el interés por los suelos estabilizados con polímeros debido a su eficacia y sostenibilidad como agentes estabilizadores. Varios estudios han concluido que estos estabilizadores permiten la reutilización del suelo existente una vez que ha logrado alcanzar el final de su vida útil, y además evitan el agrietamiento por contracción que se produce con los estabilizadores convencionales. A pesar de esto, en el Perú, las normas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones no definen un procedimiento constructivo específico para la

utilización de polímeros en la estabilización de suelos. Por lo tanto, en este artículo se plantea un tipo de procedimiento de estabilización de suelos adaptado al ámbito peruano que utiliza polímeros, y se determinan los parámetros estructurales que corresponden a muestras de suelo las cuales provienen de obras constructivas viales peruanos. Para ello, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio con muestras de suelo sin tratar y en muestras estabilizadas con polímeros. Como resultado, se pudo concluir que el uso de polímeros como estabilizadores mejora las características físicas y mecánicas del suelo, especialmente en suelos peruanos con un Índice de Plasticidad (IP) igual o mayor a 9, estos hallazgos demuestran el potencial de los polímeros en la estabilización de suelos en el contexto peruano.[7]

Calle[8], En la presente investigación, tiene por finalidad demostrar cómo se mejora las propiedades mecánicas de un suelo para que luego estas puedan ser utilizadas como capa estructural de base, para ello se determinaron realizar distintos ensayos de laboratorio con distintos porcentajes de polímero, a través de la incorporación del polímero acrílico a diferentes cantidades, dicha estabilización se analizó y comprobó, que se obtuvo un incremento de la capacidad de soporte (CBR), y por otra parte también se obtuvo un aumento de la densidad máxima seca y en la resistencia a compresión del suelo.[8]

Bases Teóricas-científicas

Concepto de suelo

Compuesto por partículas minerales, las cuales pueden ser de origen orgánico o inorgánico, resultado del proceso de descomposición de las rocas. Este abarca todo tipo de material terreo, desde desechos hasta lutitas. Incluye rocas ígneas sólidas y depósitos sedimentarios con alta tasa de sedimentación, que permanecen inalterados frente a la intemperie.

Propiedades físicas de los suelos

El suelo en su estado natural, a nivel del terreno, se presenta como un material no compactado que puede contener componentes orgánicos, lo cual afecta sus características físicas. Estas características son tanto cuantificables como visibles, lo que permite su clasificación en diversos tipos. Las propiedades del suelo se verán dependiendo de la profundidad y la capa de la muestra analizada.

Como principales propiedades físicas se encuentra:

- **Textura y color:** Las partículas del suelo se clasifican en función de su textura en diversas categorías, tales como rugosas, lisas, estriadas, picadas y pulidas. Esta textura es perceptible al tacto del observador, y su interpretación puede diferir según la experiencia de este al asociarla con alguna propiedad mecánica. Por otro lado, el color del suelo está

más vinculado a la composición química de las partículas y resulta particularmente significativo para los geólogos.

- **Forma de las partículas:** Las partículas del suelo presentan una diversidad de formas que están influenciadas por su origen, y estas formas varían en relación con su tamaño. Se pueden categorizar de la siguiente manera: redondeadas, cantos vivos, cantos redondeados, laminares, alargadas y chatas. Esta característica se vincula con la capacidad de carga del suelo en relación con los siguientes factores: esfericidad, angulosidad y planitud.
- **Índice de vacíos:** Relación entre el volumen de vacíos y el volumen de las partículas sólidas del suelo es un factor fundamental. El valor mínimo de esta relación es 1, aunque puede llegar a ser considerablemente mayor, dependiendo del grado de compactación al que ha sido sometido el suelo y su capacidad para reajustarse internamente.

Clasificación de suelos

En la actualidad, el MTC ofrece dos sistemas de clasificación más detallados, los cuales consideran tanto la granulometría de las partículas como los límites de Atterberg. Estos sistemas son la clasificación AASHTO M-145 y la ASTM D-2487 (SUCS), teniendo mayor relevancia el primero mencionado puesto que, es utilizado en construcciones viales.

- **Clasificación de suelos mediante la norma AASHTO M -145**

Esta técnica se originó en 1929 bajo el nombre de "Sistema de clasificación de la oficina de caminos públicos" y ha sufrido modificaciones a lo largo del tiempo, evolucionando hasta convertirse en la normativa actual conocida como método AASHTO M145. Este método fue propuesto por el comité encargado de la categorización de materiales para subrasantes y caminos de tipo granular del consejo de investigaciones de carreteras. La clasificación abarca siete grupos generales de suelos, que van desde el grupo A-1 hasta el A-7, donde los grupos A-1 y A-7 se subdividen en dos subgrupos cada uno, mientras que el A-2 se divide en cuatro subgrupos. Para llevar a cabo este tipo de clasificación, es fundamental realizar pruebas de análisis granulométrico y determinar los límites de Atterberg. Adicionalmente, se puede incluir la posición relativa dentro del grupo utilizando el índice de grupo IG, que varía entre 0 y 20, en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 ASTM.

La tabla AASHTO que clasifica a los suelos es la siguiente:

Tabla 1

Clasificación AASHTO

TABLA DE CLASIFICACION AASHTO												
CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% ó menos pasa el Tamiz N°200)							MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (Más del 35% pasa el Tamiz N°200)				
CLASIFICACION DE GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Granulometria (%) que pasa tamiz												
N° 10	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Plasticidad de fraccion que pasa tamiz No 40												
Limite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	41 mín
Indice plástico	6 máx	6 máx	N.P.	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	11 mín
Tipos de materiales	Frag. de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y Arena limosa ó arcillosa				suelos limosos			suelos arcillosos	
Calidad general como subrasante	excelente a buena							Regular a deficiente				
IG = (F-35) [0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01 (F-15)(IP-10)							(*) El índice plástico del subgrupo A-7-5 es igual o menor que (LL-30)					
F = % de finos, LL = limite líquido, IP= índice plástico							(**) El índice plástico del subgrupo A-7-6 es mayor que (LL - 30)					

Fuente: Manual de Carreteras Ensayo de Materiales (MTC,2016)

- **Clasificación de suelos mediante la norma ASTM D-2487 (SUCS)**

La tabla SUCS que clasifica a los suelos es la siguiente:

Tabla 2

Clasificación SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES			SÍMBOLOS	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz N°200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N°4 (4.76mm)	Gravas Limpias (sin o con pocos finos)	GW	Grava bien graduada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.	Determinar el porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz N° 200), los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: 12% GM, GC, SM, SC 5 al 12% casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu>4, Cc entre 1 y 3.		
			GP	Grava mal graduada, mezclas grava - arena, poco o ningún fino.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
		Gravas con Finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.		Limites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de la línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren GC doble símbolo.	
			GC	Grava arcillosa, mezclas grava - arena arcillosas		Limites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el por el tamiz N°4 (4.76mm)	Arenas Limpias (pocos o sin finos)	SW	Arena bien graduada.		Cu>6, Cc entre 1 y 3.		
			SP	Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW		
		Arenas con Finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena y limo.		Limites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren de doble símbolo.	
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla.		Limites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.		
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200	Limos y Arcillas Limite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o					
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas					
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.					
	Limos y Arcillas Limite Líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.					
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.					
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.					
Suelos muy Orgánicos		P	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.					

Fuente: Norma D-2487: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

- **Correlación de tipos de suelos**

Se pronostica el desempeño estimado de los distintos suelos, identificando sus similitudes en ambas clasificaciones desde la perspectiva geotécnica.

Tabla 3

Correlación de tipos de suelos

Relación entre los sistemas de clasificación AASHTO M-145 y ASTM D-24	
Clasificación de Suelos según AASHTO M-145	Clasificación de Suelos según ASTM D-2487 (SUCS)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras Ensayos de Materiales (MTC, 2016) y la norma ASTM D-2487 (SUCS)

Suelo Cohesivos

Se caracterizan por poseer partículas constitutivas de tamaño muy reducido, inferior a 0.08 mm. La cohesión es la propiedad mecánica principal de este tipo de suelo. Estos suelos cohesivos, se pueden clasificar en dos categorías principales: los limos, que consisten en tamaños muy pequeños que están entre los 0.02 y 0.002mm, y por otro lado se tiene a las arcillas, que se componen de un conjunto aún más pequeño que el de los limos.

Suelo Arcilloso

Son aquellos suelos que contienen una alta proporción de arcilla en sus componentes (limo y arena) y tienen una capacidad de retención de agua elevada son conocidos por su dificultad para el cultivo. Estos suelos se caracterizan por su color rojizo distintivo y su apariencia densa y agrietada.

Subrasante

Es la superficie última de una superficie la cual está expuesta a diversas cargas y, por lo tanto, debe mantener sus propiedades físico-mecánicas en buenas condiciones para resistir el soporte de suelos óptimos. Si el suelo está por debajo del parámetro establecido teniendo un $CBR \leq 6\%$ se considera un suelo inadecuado, por lo que se lleva a cabo la estabilización para mejorarlo.

Tabla 4*Categoría de subrasante según su CBR*

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%

*Fuente: Manual de Carreteras Ensayos de Materiales (MTC, 2016)***Ensayo para la clasificación de suelos****Contenido de humedad**

Se utiliza para determinar un porcentaje de CH de una muestra patrón. La norma MTC E 108 establece los procedimientos y condiciones necesarias para realizar la medición del C.H en un suelo. Determina el porcentaje de agua que puede estar presente en la muestra, y consiste en medir el peso de una muestra patrón antes y después de ser sometida a un horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas, para luego calcular el porcentaje de humedad que se ha eliminado.

Granulometría por Tamizado

Nos permite medir de manera gradual las partículas de un material o suelo. Para ello, se realiza la granulometría del suelo a través de un conjunto de tamices definidos en las especificaciones técnicas (MTC EM 107), utilizando mallas que van de mayor a menor tamaño. Los resultados se grafican en una curva granulométrica, que muestra los porcentajes de material retenido en las aberturas de cada tamiz, en función del tamaño de las partículas.

Tabla 5*Clasificación del tamaño de partículas*

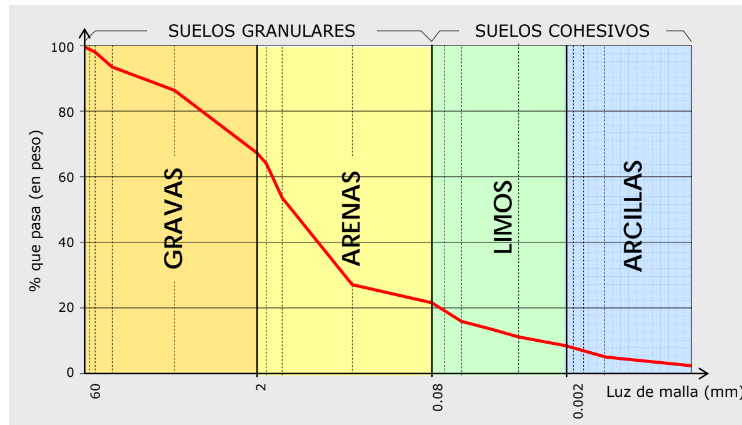
Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Carreteras Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

La ilustración N°3 es un ejemplo de tamizado que se procederá a realizar más adelante en las calicatas excavadas.

Ilustración 3

Granulometría del suelo



Fuente: Manual de Carreteras Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

Límites de Atterberg

Comúnmente denominados límites de consistencia son aquellos que caracterizan el comportamiento de los suelos finos. Estos límites dan una relación entre la plasticidad del suelo y el contenido de humedad, los cuales se determinan mediante pruebas de laboratorio.[13]

✓ L. líquido (LL)

Viene hacer el porcentaje donde la humedad altera la estabilidad plástica. [13]

✓ L. Plástico (LP)

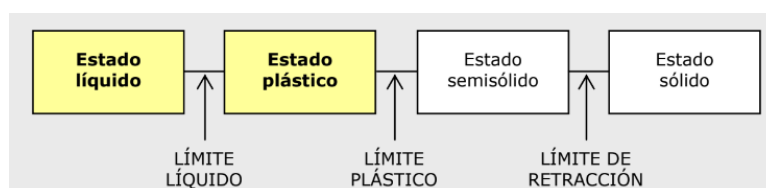
Es el punto en el cual, el contenido de humedad alcanza un contenido de humedad mínimo, la cual provoca la transición del estado semisólido al estado plástico.[13]

✓ Índice de Plasticidad

Son suelos con un rango de humedad que no se desintegra y que son clasificados según su índice de plasticidad por el Manual de Carreteras.[13]

Ilustración 4

Estados de consistencia



Fuente: Manual de Carreteras Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

Los parámetros fundamentales son el LL y el LP, cuya diferencia de ambos define el IP del suelo, permitiendo una rápida clasificación del suelo.

Tabla 6

Rangos de I. Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

Proctor modificado

El ensayo de compactación, llevado a cabo según la normativa MTC EM 115, determina la relación entre la humedad y la densidad seca de los suelos compactados. Este procedimiento permite identificar la HO de compactación del suelo para un nivel específico de energía de compactación.[19]

California Bearing Ratio (CBR)

El presente ensayo, conforme a la normativa MTC EM 132, se mide la presión que requiere un pistón para poder penetrar una muestra de suelo, la cual arrojará valores los cuales se evaluarán y determinarán la resistencia de la subrasante que posee dicho suelo. El objetivo es determinar el porcentaje de CBR de la muestra, el cual indicaría la capacidad de soporte que tendría un suelo, considerando el 95% de la máxima densidad seca (MDS) y a una penetración de carga de 1" (2.54 cm), cuya velocidad de penetración durante el ensayo es de 1.27 mm/min. Además, se evalúa la expansión del material al sumergir la muestra en agua durante 4 días, en este procedimiento, se realizan dos mediciones: una ni bien se sumerge el molde y otra al final, antes de sacar el molde del agua, estas mediciones se realizan utilizando un trípode calibrado.

Estabilización de suelos

Es la modificación en donde el suelo pasa por un proceso mediante el cual se alteran las características físicas y mecánicas con el fin de mejorarlas, utilizando materiales naturales o químicos, esto se hace con el objetivo de mejorar las propiedades del suelo y brindar facilidades en las construcciones de nuevos proyectos. [14]

- ✓ Estabilización química

La estabilización química es un proceso que utiliza productos químicos para mejorar las características del suelo. Su objetivo principal es aumentar la resistencia mecánica, disminuir la compresibilidad y mejorar la estabilidad de este. Este método es comúnmente empleado en proyectos de construcción y en obras viales, especialmente en situaciones donde el suelo existente no es capaz de soportar cargas estructurales. Al aplicar productos químicos, se busca reducir la permeabilidad y la compresibilidad del suelo, al tiempo que se incrementa su resistencia al corte y a la flexión.

✓ Estabilización mecánica

La estabilización mecánica se refiere a un proceso diseñado para mejorar las propiedades del suelo con el fin de aumentar su resistencia y estabilidad. Este procedimiento se utiliza frecuentemente en proyectos de construcción y en la construcción de carreteras, especialmente cuando el suelo existente no es adecuado para soportar la carga estructural necesaria. A través de técnicas de estabilización mecánica, se busca reducir la compresibilidad del suelo, aumentar su resistencia al corte y a la flexión, y prevenir el asentamiento diferencial de las estructuras sobre el suelo estabilizado. La estabilización mecánica se lleva a cabo mediante procesos de compactación y densificación del suelo, utilizando métodos como la adición de cemento u otros materiales estabilizantes en la mezcla del suelo. Estas técnicas contribuyen a mejorar las propiedades del suelo y a garantizar una base sólida para las estructuras construidas.

Pavimento

Se conoce como pavimento a la composición de capas horizontales superpuestas, diseñadas y construidas meticulosamente mediante un procedimiento técnico, utilizando materiales granulares apropiados y compactados. Esta disposición descansa sobre una subrasante resultante del movimiento de tierras (corte o relleno), la cual debe ser capaz de soportar las cargas generadas por el tránsito a lo largo de su vida útil.

Polímero

El término pavimento se refiere a la estructura compuesta por capas horizontales superpuestas, diseñadas y construidas de manera cuidadosa a través de un procedimiento técnico, utilizando materiales granulares adecuados y compactados. Esta configuración se asienta sobre una subrasante que resulta del movimiento de tierras (corte o relleno), la cual debe ser capaz de soportar las cargas producidas por el tránsito a lo largo de su vida útil.[16]

Copolímero

Los copolímeros son polímeros formados por dos o más unidades monoméricas diferentes.

Entre los copolímeros más comunes se encuentran aquellos compuestos por dos tipos distintos de monómeros, lo que resulta en cuatro combinaciones posibles: copolímero al azar, copolímero alternado, copolímero en bloque y copolímero injerto. Estas macromoléculas poseen una estructura única y propiedades diferentes a las de los polímeros simples, lo que las convierte en un área de gran interés para diversas aplicaciones. [17]

Copolímero Acrílico

Los copolímeros son macromoléculas que están compuestas por 2 o más unidades monoméricas diferentes. Es un copolímero acrílico de bajo molecular diseñada para inhibir la dispersión en arcillas. Está diseñado para utilizarse en fluidos basados en ambientes de agua dulce o salina. [17]

Por apariencia física es en polvo granular color blanco, el cual es soluble en agua, el copolímero acrílico viene en recipientes de 2.5lb (1kg), 5gal (18.9L), su almacenamiento debe ser un lugar seco, temperatura ambiente, y no debe estar en contacto con zonas húmedas.

Matriz de Leopold

El primer enfoque empleado para evaluar el impacto ambiental en los Estados Unidos desde 1971 consiste en una matriz que organiza las acciones en columnas y los factores ambientales en filas. Al cruzar estas dos dimensiones, se identifican los posibles efectos o impactos ambientales, que se evalúan en términos de magnitud y relevancia en una escala del 0 al 10. La suma de los valores en cada fila indica el impacto de un factor ambiental, mientras que la suma de los valores en cada columna refleja el impacto de una acción.

Definición de términos básicos

Calicata: La excavación manual a cielo abierto se lleva a cabo en el terreno para realizar una estratigrafía del suelo a diversas profundidades, así como para la recolección de muestras alteradas.

Capacidad portante: También conocida como capacidad de carga, este término se refiere al esfuerzo máximo que un suelo puede soportar sin provocar asientos ni deformaciones excesivas.

Estabilidad: Es el resultado de la estabilización.

Estabilización: Proceso físico o químico que mejora las propiedades físicas y mecánicas de un suelo.

Pavimento: Estructura formada por varias capas horizontales superpuestas, diseñadas y construidas de acuerdo con un procedimiento técnico detallado, empleando materiales

granulares adecuados y compactados correctamente.

Plasticidad: Suelos que tienen la capacidad de alterar su textura en función de la cantidad de humedad y la presencia de partículas finas en el suelo.

Subrasante: Es la capa inferior del pavimento que se obtiene después de la excavación o relleno del terreno.

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

De acuerdo con el fin que se persigue la presente investigación es aplicada; puesto que se apoya en distintas bases teorías y conocimientos las cuales forman parte de aportes en la ingeniería, brindando con ello una solución a la problemática sobre las subrasantes arcillosas.

De acuerdo con los datos analizados es cuantitativa; ya que plantea la veracidad de sus resultados numéricos a través de pruebas en laboratorio y se analizarán los datos para probar la hipótesis propuesta que si el copolímero acrílico mejorara las propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos.

De acuerdo su metodología para verificar la hipótesis es experimental; porque se determinará la veracidad de la hipótesis, en la cual se busca medir como influye la incorporación del copolímero acrílico en suelos arcillosos, esta misma que estará sustentada por los ensayos realizados en laboratorio. Demostrando que la incorporación del insumo sea un agente que estabilice, mejorando las propiedades físico-mecánica.

Diseño de investigación

La presente tesis tiene un diseño experimental, puesto que se busca a través de cada ensayo en laboratorio determinar si al estimular el suelo arcilloso con la incorporación del copolímero acrílico se mejorará las propiedades físico-mecánicas, comprobando la hipótesis planteada.

Población

La población para esta investigación es el Distrito de José Leonardo Ortiz, el cual presenta suelos arcillosos con diferentes tipos de plasticidades, y se clasifican según la tabla resumen del mapa de peligros de la ciudad de Chiclayo INDECI; el cual será mezclado una vez incorporado el copolímero acrílico para lograr su estabilización.

Ilustración 5

Tipos de suelos predominantes de Chiclayo

Cuadro N° 24 CIUDAD DE CHICLAYO: TIPOS DE SUELOS PREDOMINANTES POR SECTORES						
SECTORES	ASENTAMIENTOS HUMANOS	TIPOS DE SUELO PREDOMINANTES	ESTATIGRAFIA	EXPANSION DEL SUELO	CAPACIDAD PORTANTE	NIVEL FREATICO
I	Urb. El Ingeniero I y II, Miraflores, Ciudad del Chofer, 03 de Octubre, Quinones, Remigio Silva, Las Brisas, La Purísima, Residencial A. B. Leguía y Cerropon, Cruz de Chalpon, Rosa Nelida Castillo, Sto. Toribio de Magrojevo, 4 de Noviembre, Simón Bolívar, Vista Alegre, Nueva Esperanza, Cruz de la Esperanza, Sta. Lila, F. Belandé, J. Basadre, Los Mochicas, Ricardo Palma, Sta. Elena, José Quinonez, José Balta, José Olaya, Elias Aguirre, José Obrero, Cruz del Perdón, Cerro Pololó, J. Carlos Mariategui, Amp. Cruz del Perdón, Los Olivos, Parte de 9 de Octubre, 19 de Setiembre, San Sebastian, Virgen de la Paz, San Julio, Sta. Alejandrina, Santuario, Progresiva Cerropón, La Molina Alta, Las Mercedes, La Colina, Vista Hermosa, AVIANTEL, La Concordia, La Plaza, La Pradera, Los Cedros de la Pradera, Virgen de Fátima, san Jerónimo, Los Jardines y Sagrado Corazón de Jesús.	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	Media a Semiduro: 2.0 m. < C-3 < 4.5 Rigido: 4.5 m. < C-5 < 15.0 m.	Suelos superficiales de expansión baja a media, con cambio de volúmen pequeño.	1.0 - 2.0 Kg./cm. ²	2.0 a 7.0 m.
II	Comprende parte del sector Este de la ciudad: Aeropuerto, Planta de Tratamiento de Agua Potable, AA.HH. López Albuja, Micaela Bastidas, San Antonio, Nuevo Mundo, Atusparias, Francisco Cabrera, Las Mercedes, César Vallejo, Amp. Campodónico, Progresiva UCHOFEN, Sagrado Corazón de Jesús, San Guillermo, Sto. Toribio, El Obrero, Amp. San Antonio, Puente Blanco, Jorge Chávez, Fanny Abanto Calle, parte del A.H. Suiza.	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	Media a Semiduro: 6.0 m. < C-3 < 8.0 Rigido: 8.0 m. < C-5 < 13.0 m.	Suelos finos de expansión baja a media, con cambio de volúmen pequeño a moderado.	1.0 - 2.0 Kg./cm. ²	2.0 a 3.5 m.
III	Ramiro Prisle, José Santos Chocano, UPIS 1° de Mayo, María Purado de Bellido, Mercado Moshoqueque, Área Central, AA.HH. Santa Rosa, Diego Ferré, Urb. La Primavera, Patazca, Bancarios, La Florida, Hipodromo y el 3er Sector del distrito, Stein, Miraflores, Indoamérica, El Saltral, 6to Sector Urrunaga, Sta. Ana, Nuevo San Lorenzo, Casablanca, San José Obrero, Garcés, Latina, Artesanos, 12 de Octubre, F. Bolognesi, San Carlos, Las Palmeras, Fundo Sta. María, San Isidro, Miraflores, Amp. T. Amará, Luis Heyser, La Primavera, San Luis, Porvenir, Cois, San Juan, Salazar, Chiclayo, El Molino, Las Américas, Señor de Los Milagros, San Nicolás, Boggiano, San Francisco, Campodónico, Raymondi, 3° Sector de La Victoria, San Martín, Zamora, Diego Ferré, Mesones Muroy y Ciro Alegria.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Blando a Medio: 2.0 m. < C-2 < 5.0 m. Semiduro: 3.0 m. < C-4 < 8.0 m. Duro a Rigido: 6.0 m. < C-5 < 13.0 m.	Suelos fino de expansión media a alta, con cambio de volúmen moderado.	0.5 - 1.0 Kg./cm. ²	1.5 a 2.3 m.
IV	Urb. Santa Victoria, Federico Villareal, Café Perú, Santa Angela, Parque Zonal, C.E. Salaverry, Sta. Victoria, San Eduardo, Carlos Cabrejos Falla, Ana de los Angeles, Villa El Salvador, Sta. Angela, Nazareno, H. Unanue, Divino Maestro, Corazón de Jesús, Carmen Angélica, Los Jardines de Santa Rosa, La Florida, El Amauta, Los Jazmines, Los Pinos de Plata, V. R. Haya de la Torre, Sta. Margarita y parte del A.H. La Victoria.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Muy Blando a Medio: 3.5 m. < C-1 < 4.5 m. Semiduro: 4.5 m. < C-4 < 5.5 m. Duro a Rigido: 5.5 m. < C-5 < 10.0 m.	Suelos fino de expansibilidad alta a extremadamente alta, con cambio de volumen moderado a severo.	0.0 - 0.5 Kg./cm. ²	1.0 a 2.0 m.

FUENTE: "Microzonificación de la Ciudad de Chiclayo y Zonas de Expansión para la Reducción de Desastres", UNPRG - Lambayeque - 2001
ELABORACION: Equipo Técnico INDECI, Mayo 2003.

Fuente: "Microzonificación de la Ciudad de Chiclayo y Zonas de Expansión para la Reducción de Desastres", UNPRG – Lambayeque - 2001

Muestra

La muestra para la presente investigación son las subrasantes arcillosas las cuales están presentes en el distrito de José Leonardo Ortiz.

Muestreo

Para el desarrollo del estudio, se obtendrán muestras de cada calicata en el área de investigación, las cuales serán sometidas a diversos ensayos de laboratorio. Esto incluirá tanto la muestra patrón como la estabilizada, a la que se le añadirá copolímero acrílico en diferentes porcentajes. Se utilizará un muestreo no probabilístico, basado en el criterio del investigador. Por lo tanto, se realizarán tres calicatas para extraer la muestra patrón, a la que posteriormente se le incorporarán los porcentajes establecidos, considerando los puntos de inspección predefinidos por la norma técnica peruana CE.010 Pavimentos Urbanos, como se indica en la tabla 7.

Tabla 7

Número mínimo de puntos de investigación

TIPO DE VIA	NUMERO MIIMO DE PUNTOS DE INVESTIGACION	Area (m2)
Expresa	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: Manual Suelos Pavimentos (2013)

- Tipo de Vía: De acuerdo con el reglamento para el Sistema Vial Urbano de la provincia de Chiclayo, se clasifica como vías locales las siguientes calles: Garcilazo de la Vega, Enrique Arenas, Hugo Niño Arbulu, Los Ediles, Trujillo.
- Área: El área calculada por m² para el presente estudio dio un aproximado de 8242.22 m² pertenecientes a las calles mencionadas anteriormente.
- Numero de puntos de investigación: Tomando en cuante el tipo de Vía de estudio y el área obtenida, se procede a realizar el siguiente calculo: $8242.22\text{m}^2/3600\text{m}^2 = 2.29$, pero, teniendo en cuenta el número mínimo según el reglamento, se opto por elegir el mayor valor máximo entero, que es 3, extrayendo a una profundidad de 1.50m las muestras de manera uniforme.

La investigación presentada en esta tesis se enfocará en la exploración del suelo mediante la excavación de calicatas. Se evaluará el área de las vías locales no pavimentadas, considerando su ancho y longitud, como se detalla en la tabla 8:

Tabla 8

Puntos de Investigación

Nombre de Calles no Pavimentadas	Ancho de vías (m)	Longitud de vía (m)	Area Parcial (m ²)
Garcilazo de la Vega	7	270	1890
Enrique Arenas	7	224.17	1569.19
Hugo Niño Arbulu	7	222.72	1559.04
Los Ediles	7	226.62	1586.34
Trujillo	7	233.95	1637.65
Area Total			8242.22
Total de Muestras			2.29

Fuete: Elaboración propia a partir del cálculo de muestras y área de estudio

En la tabla 8, se precisa una total de 2.29, asumiendo ello a su mayor valor entero más próximo, entonces se determina que los puntos de investigación serán 3.

Ilustración 6

Localización de las muestras



Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de campo en el área de estudio.

Para el caso del Copolímero Acrílico se utilizaron porcentajes de 2%, 4% y 6% puesto que, haciendo uso de una revisión literaria en los antecedentes de los autores Lecarnaque y Curitomay se pudo observar que el suelo estabilizado con copolímero acrílico entre los rangos del 0.5% al 10 % experimentó mejoras notables en sus propiedades, los ensayos de CBR dando como el resultado más significativo el aumento de la resistencia a la carga, en comparación con el suelo natural.

Con respecto al número de ensayos, si bien la norma no especifica un mínimo o máximo de ensayos que se deben realizar, se realizó una prueba para los siguientes ensayos a mencionar:

- Contenido de Humedad
- Granulometría por Tamizado
- Límites de Atterberg
- Proctor Modificado

Para el ensayo de California Bearing Ratio se realizó lo siguiente:

- Se realizaron 5 veces los ensayos de CBR para la muestra natural, esto con el objetivo de disminuir el porcentaje de error en el ensayo.
- En el caso de los ensayos de CBR con adición, se realizó un total de 5 veces por cada adición en cada calicata, para tener resultados aún más precisos.

Ensayos de Contenido de Humedad: El ensayo se realizará utilizando la muestra patrón. Durante este procedimiento, se determinará el peso del agua eliminada al secar una muestra de

suelo húmedo en el horno controlado a una temperatura constante de 110 °C, con una variación de ± 5 °C.

Tabla 9

Cantidad de ensayos por Contenido de Humedad

Muestra Patrón Contenido de Humedad	
Muestra	Análisis Granulométrico
Calicata 01	S 100% + C.A 0%
Calicata 02	S 100% + C.A 0%
Calicata 03	S 100% + C.A 0%

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de Granulometría por Tamizado: El presente ensayo solo se realizaron en las muestras patrón de las tres calicatas obtenidas de diferentes puntos. En este análisis, se evaluará el tamaño de las partículas del suelo, realizando el tamizado en aquellas partículas retenidas en el tamiz No. 200.

Tabla 10

Cantidad de ensayos de Granulometría

Muestra Patrón Granulometría	
Muestra	Análisis Granulométrico
Calicata 01	S 100% + C.A 0%
Calicata 02	S 100% + C.A 0%
Calicata 03	S 100% + C.A 0%

Fuente: Propia

Ensayo de Índice de Plasticidad: El presente ensayo se llevó a cabo para las muestras patrón y las muestras dosificadas con copolímero acrílico, lo que resulta en un total de 3 ensayos para las muestras patrón y 9 ensayos para los suelos estabilizados. En primer lugar, las muestras obtenidas se secarán a temperatura ambiente y, posteriormente, se harán pasar por el tamiz #40, sumando así un total de 12 ensayos.

Tabla 11

Cantidad de ensayos de Índice de plasticidad, muestra natural

Muestra Patrón Índice de Plasticidad	
Muestra	Análisis Granulométrico
Calicata 01	S 100% + C.A 0%
Calicata 02	S 100% + C.A 0%
Calicata 03	S 100% + C.A 0%

Fuente: Propia

Tabla 12

Cantidad de ensayos de IP, muestra alterada

Muestra Patrón Índice de Plasticidad	
Calicata 01	S 98% + C.A 2%
	S 96% + C.A 4%
	S 94% + C.A 6%
Calicata 02	S 98% + C.A 2%
	S 96% + C.A 4%
	S 94% + C.A 6%
Calicata 03	S 98% + C.A 2%
	S 96% + C.A 4%
	S 94% + C.A 6%

Fuente: Propia

Ensayo de Densidad Máxima Seca: Se realizaron un total de 3 ensayos para la muestra patrón y un total de 9 ensayos para la muestra estabilizada. Danto una sumatoria de 12 ensayos.

Tabla 13

Cantidad de ensayos de Densidad máxima seca, muestra natural

Muestra Patrón Densidad Máxima Seca	
Muestra	Análisis Granulométrico
Calicata 01	S 100% + C.A 0%
Calicata 02	S 100% + C.A 0%
Calicata 03	S 100% + C.A 0%

Fuente: Propia

Tabla 14

Cantidad de ensayos de Densidad máxima seca, muestra alterada

Muestra Densidad Máxima Seca	
Calicata 01	S 98% + C.A 2%
	S 96% + C.A 4%
	S 94% + C.A 6%
Calicata 02	S 98% + C.A 2%
	S 96% + C.A 4%
	S 94% + C.A 6%
Calicata 03	S 98% + C.A 2%
	S 96% + C.A 4%
	S 94% + C.A 6%

Fuente: Propia

Ensayo de CBR: Se realizaron 5 ensayos tanto para la muestra natural de cada calicata, como para cada porcentaje incorporado para la muestra natural. Dando un total de 60 ensayos.

Tabla 15

Cantidad de ensayos de CBR, muestra natural

Muestra Patrón CBR		
Muestra	Análisis Granulométrico	Numero de Ensayos
Calicata 01	S 100% + C.A 0%	5
Calicata 02	S 100% + C.A 0%	5
Calicata 03	S 100% + C.A 0%	5

Fuente: Propia

Tabla 16

Cantidad de ensayos de CBR, muestra alterada

Muestra Patrón CBR		
Calicata 01	S 98% + C.A 2%	5 ensayos
	S 96% + C.A 4%	5 ensayos
	S 94% + C.A 6%	5 ensayos
Calicata 02	S 98% + C.A 2%	5 ensayos
	S 96% + C.A 4%	5 ensayos
	S 94% + C.A 6%	5 ensayos
Calicata 03	S 98% + C.A 2%	5 ensayos
	S 96% + C.A 4%	5 ensayos
	S 94% + C.A 6%	5 ensayos

Fuente: Propia

Operacionalización de Variables

Variables

- Variable Independiente

Incorporación del Copolímero Acrílico

➤ **Variable Dependiente**

Estabilización de la subrasante

➤ **Variable Interviniente**

Índice de Plasticidad bajo- medio y alto

Tabla 17

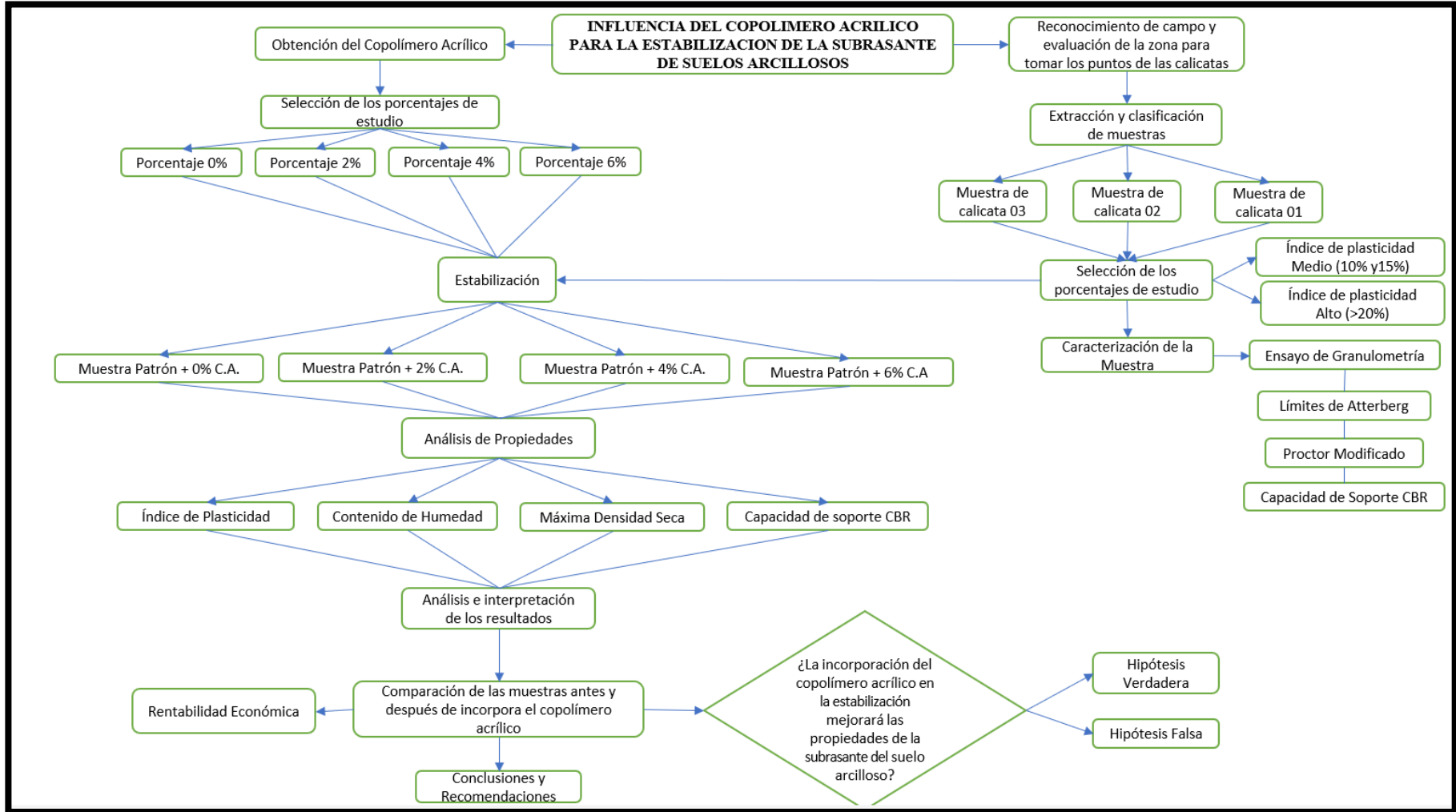
Variables de operacionalización

OBJETO DE ESTUDIO	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
Suelos Arcillosos	Incorporación del Copolímero Acrílico	Estabilización de la subrasante

Fuente: Propia

Tabla 18

Sucesión para demostrar la Hipótesis



Fuente: Propia

Tabla 19*Tabla de Operacionalización*

VARIABLE	DESCRIPCION	INDICADOR	UNID. DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN	METODO DE MEDICION (Instrumento, Ensayo, NTP)
Independiente	Incorporación del Copolímero Acrílico	% de Copolímero Acrílico	gr	0.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0%	Balanza Electronica Aprox. a 0.1g
VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	UNID. DE MEDIDA	METODO DE MEDICION (Instrumento, Ensayo, NTP)	
Dependiente	Propiedades Físicas	Plasticidad	%	Ensayo determinar LP, LL e IP NTP 339.129	
		Contenido de Humedad	%	Ensayo de contenido de humedad NTP 339.127	
	Propiedades Mecánicas	Máxima Densidad Seca	g/cm ³	Ensayo de Proctor Modificado NTP 339.141	
		Capacidad de Soporte CBR	%	Ensayo CBR MTC E 132/ ASTM D 1883	
VARIABLE		DESCRIPCION		Valor	
Interviniente		Indice de plasticidad de la subrasante		>10%	

Fuente: Propia

Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnicas recolección de datos

La metodología que se utilizará en la investigación consiste en emplear la técnica de observación, esta técnica se llevará a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Ensayo de Materiales.

Instrumentos de recolección de datos

El estudio utilizó guías de observación, lo que facilitó la identificación de las ideas más significativas de la investigación para su posterior análisis documental basado en los ensayos de laboratorio. Esto generará resultados que serán útiles para el análisis posterior. Se desarrollarán guías para los ensayos de suelos aplicados en muestras alteradas con diferentes porcentajes de Copolímero Acrílico.

Ensayos por realizar

Los ensayos por realizar en el presente proyecto de tesis para la obtención de los resultados son los siguientes, los cuales se realizarán tanto para el suelo arcilloso natural, como para el suelo estabilizado con la incorporación del copolímero acrílico:

Tabla 20

Ensayos y Normativas

METODO	ENSAYOS	INSTRUMENTOS	
EXPERIMENTAL	SUELO ARCILLOSO		
	Granulometría	NTP 339.128	Balanzas y Tamices
	Contenido de Humedad	NTP 339.127	Balanza, Horno y Recipientes
	Limite Liquido	NTP 339.129	Copa de Casagrande, Acanalador y Horno
	Limite Plastico	NTP 339.129	Copa de Casagrande, Acanalador y Horno
	Proctor Modificado	NTP 339.141	Moldes Cilindricos, Pison, Balanza y Tamices
	CBR	MTD E 132/ ASTM D 1883	Prensa, Molde, Pison y Pesas
	SUELO ESTABILIZADO CON COPOLIMERO ACRILICO		
	Limite Liquido	NTP 339.129	Copa de Casagrande, Acanalador y Horno
	Limite Plastico	NTP 339.129	Copa de Casagrande, Acanalador y Horno
	Contenido de Humedad	NTP 339.127	Balanza, Horno y Recipientes
	Maxima Densidad Seca	NTP 339.141	Moldes Cilindricos, Pison, Balanza y Tamices
	CBR	MTD E 132/ ASTM D 1883	Prensa, Molde, Pison y Pesas

Fuente: Propia

Procesamiento de datos

Los resultados de los diferentes ensayos se evaluaron utilizando la información recopilada de fuentes bibliográficas y antecedentes, se empleará el software Excel como instrumento para el procesamiento de la información con respecto a la influencia del copolímero acrílico, para lo cual se desarrollará formatos de acuerdo con los estándares de las normas, los cuales tengan un registro para los datos obtenidos de los ensayos en laboratorio y así poder analizar los

resultados a través de gráficos o histogramas, con el objetivo de obtener respuestas o conclusiones finales de cada prueba.

Procedimiento

Obtención de la muestra

Inicialmente, se llevaron a cabo visitas al terreno para examinar las características y el estado actual del área de estudio. Luego, se realizaron excavaciones manuales en tres calicatas con el objetivo de obtener muestras alteradas, situadas en el distrito de José Leonardo Ortiz, Chiclayo, Lambayeque. La zona de excavación abarcó aproximadamente 1.00 m x 1.20 m y alcanzó una profundidad de 1.50 m. Las muestras obtenidas de cada calicata se conservaron en sacos

Ilustración 7

Calicata 01: Intersección Ca. Garcilazo de la Vega y Enrique Arenas



Fuente: Propia

Ilustración 8

Calicata 02: Intersección Ca. Hugo Niño Arbulu y San Germán



Fuente: Propia

Ilustración 9

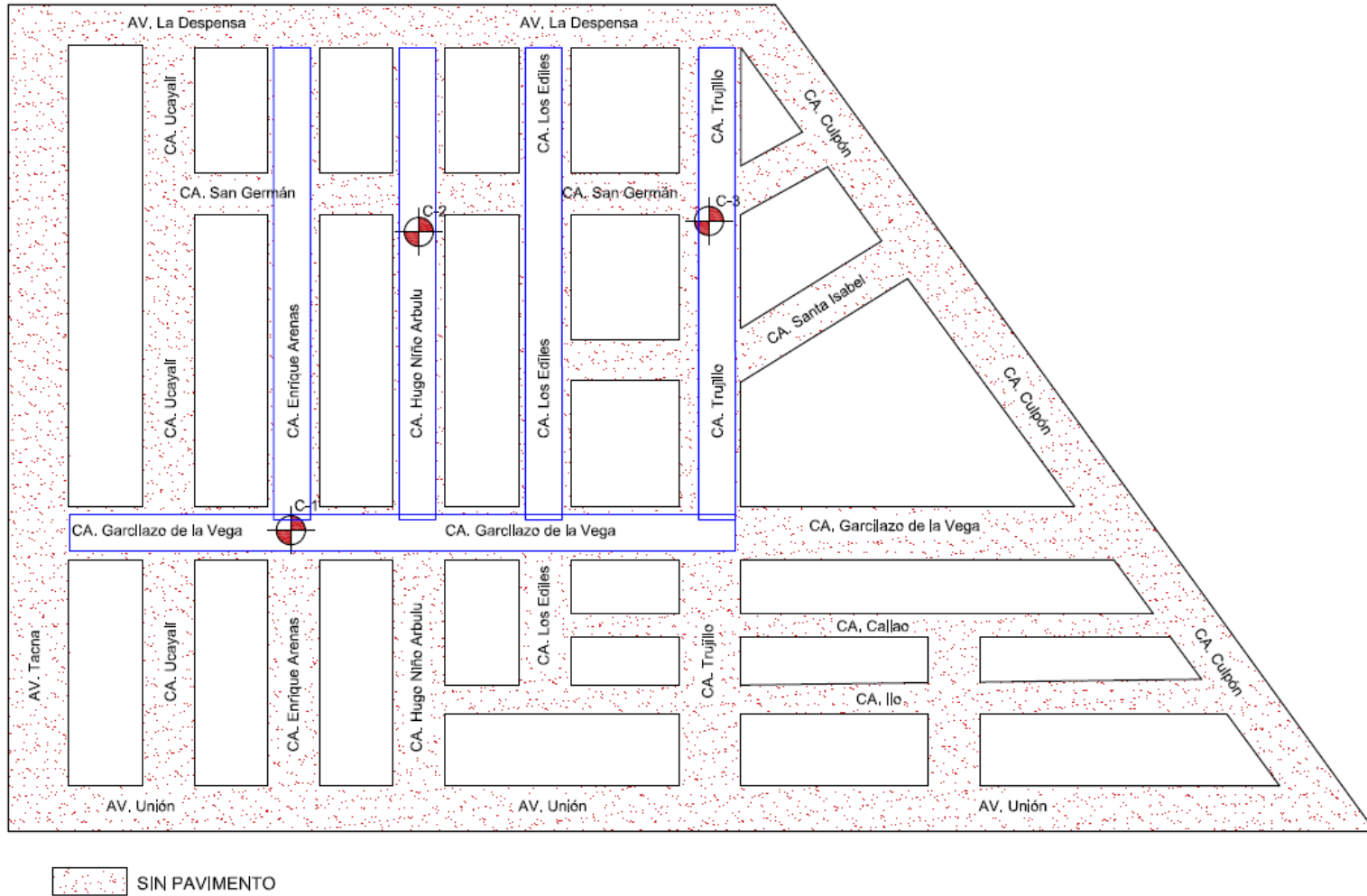
Calicata 03: Intersección Ca. Trujillo y San Germán



Fuente: Propia

Ilustración 10

Ubicación de Calicatas



Fuente: Propia

Luego se detalló la excavación de cada una de las calicatas, como se muestra a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 21

Detalle C-01

PROFUNDIDAD	ESTRATO	DESCRIPCION	SUCS	AASHTO	HUME D.	LL.	L.P.	I.P.	IDENTIFIC.
0.00	0.10	-	Relleno con material suelto			-	-	-	
0.10									
0.20	1.50	M-1	Suelo de matriz arcillosa limosa de color marrón. Es un material compacto, estructura fina estructura lisa, baja humedad y moldeable.	CL	A-7 (6)	20.80	41.00	18.00	23.00
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									

Fuente: Propia

Tabla 22

Detalle de C-02

PROFUNDIDAD	ESTRATO	DESCRIPCION	SUCS	AASHTO	HUME D.	LL.	L.P.	I.P.	IDENTIFIC.
0.00	0.10	-	Relleno con material suelto			-	-	-	
0.10									
0.20	1.50	M-1	Suelo de matriz arcillosa limosa de color marrón claro. Es un material compacto, estructura fina estructura lisa, baja humedad y moldeable.	CL	A-6 (12)	24.54	36.00	17.00	19.00
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									

Fuente: Propia

Tabla 23

Detalle de C-03

PROFUNDIDAD	ESTRATO	DESCRIPCION	SUCS	AASHTO	HUME D.	L.L.	L.P.	I.P.	IDENTIFIC.
0.00									
0.10	0.10	Relleno con material suelto			-	-	-	-	
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80	1.50	Suelo de matriz arcillosa limosa de color marrón oscuro. Es un material compacto, estructura fina estructura lisa, baja humedad y moldeable.	CL	A - 7 (14)	25.26	44.00	20.00	24.00	
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									

Fuente: Propia

Después de realizar los ensayos correspondientes para las tres calicatas, se concluyó que todas cumplían con el tipo de suelo arcilloso, como se detalla en las tablas 21, 22 y 23.

Las muestras almacenadas se llevaron al laboratorio para ser preparadas y realizar los ensayos mencionados anteriormente.

Ilustración 11

Almacenamiento de muestras naturales



Fuente: Propia

Para la obtención de la muestra de Copolímero Acrílico se adquirió de forma comercial, a través de la compra de un familiar, realizada en Lima – Perú, las cuales estas muestras se venden en paquetes de 1kg.

Ilustración 12

Muestra de Copolímero Acrílico



Fuente: Propia

Contenido de Humedad

- ✓ Para la calicata - 01 se pesó 675.3 g de la muestra humedad en su suelo natural (Ww), sin contar el peso de la tara.
- ✓ Para la calicata - 02 se pesó 559.2 g de la muestra humedad en su suelo natural (Ww), sin contar el peso de la tara.
- ✓ Para la calicata – 03 se pesó 609 g de la muestra humedad en su suelo natural (Ww), sin contar el peso de la tara.

Ilustración 13

Contenido de Humedad



Fuente: Propia

Análisis Granulométrico por tamizado

Se pesó una muestra significativa, la cual se colocó en el horno durante 24 horas. Posteriormente, se realizó un lavado utilizando una malla N°200 y se volvió a colocar en el horno por 24 horas adicionales. Una vez retirada del horno, se dejó enfriar y se pesó, lo que permitió obtener el peso de la muestra lavada y secada al horno. Finalmente, se procedió a tamizar la muestra y a pesar el material retenido en cada tamiz.

Ilustración 14

Granulometría por tamizado



Fuente: Propia

Límites de Atterberg

Límite Líquido

Se peso entre 150g y 200g de muestra, la cual fue tamizada por el tamiz N°40 y colocada en un recipiente donde se añadirá agua destilada. Posteriormente, se hizo el mezclado de dicha muestra con la ayuda de una espátula de tal forma se obtenga una muestra homogénea, la cual será utilizada en la Copa de Casagrande. La superficie se niveló y, utilizando un acanalador, se realizó un corte en el centro de la copa para dividir la muestra de suelo en dos partes. A continuación, se dieron los golpes suficientes para cerrar la ranura formada hecha por el acanalador; una vez conseguido, se anota el número de golpes que se dio en la Copa de Casagrande, posterior a ello se toma una pequeña muestra del centro de la ranura, se pesa y coloca al horno por 24h. Este procedimiento se repitió con tres muestras adicionales, lo que permitió obtener cuatro puntos diferentes en relación con los porcentajes de contenido de humedad.

Ilustración 15

Límite Líquido



Fuente: Propia

Limite Plástico

En el límite plástico, se disminuyó la humedad hasta lograr una consistencia en la cual se pueda realizar rollitos uniformes de 3.2mm aproximadamente, hasta que se agrieten, se colocó en las taras previamente pesadas y se colocó en el horno.

Ilustración 16

Limite Plástico



Fuente: Propia

Proctor Modificado

Se prepararon mezclas de 3 kg cada uno utilizando el "método A". La muestra, que estaba seca y disgregada, se tamizó a través del tamiz N°4. Se verificó la masa y el volumen de un molde de 4", y se colocó la primera capa en el molde, aplicando 25 golpes.

Ilustración 17

Proctor Modificado



Fuente: Propia

California Bearing Ratio

Fase de compactación

Después de determinar la HO y la masa seca máxima (MDS) mediante el ensayo de Proctor Modificado, se pesó una muestra de 5 kg para cada molde de CBR. Se analizó la humedad

natural de la muestra para calcular la cantidad de agua a añadir.

Ilustración 18

CBR – compactación y enraizado



Fuente: Propia

Fase de Inmersión

Se sumergieron los moldes compactados de CBR, tomando una lectura inicial y final (antes de ser sacadas del agua).

Ilustración 19

CBR – Fase de inmersión



Fuente: Propia

Fase penetración

Se realizó la toma de lecturas en la prensa durante 10min, en la cual se iba ejerciendo una presión constante sobre el pistón.

Ilustración 20

CBR – prensa de carga



Fuente: Propia

Resultados y discusión

Resultados

Contenido de Humedad (C.H) M-1

Como resultados se detalla en la Tabla N°24, donde se observa porcentajes que pasan el 20% en todas las calicatas las cuales fueron excavadas a una profundidad de 1.50m.

Tabla 24

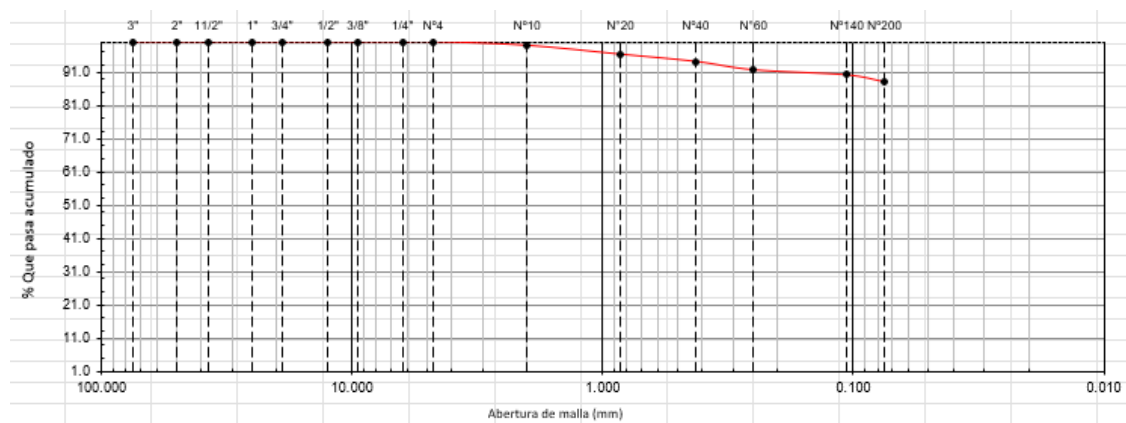
Resultados del C.H de M-1

DATOS DE ENSAYO		DATOS DE ENSAYO		DATOS DE ENSAYO	
N° TARRO		N° TARRO		N° TARRO	
TARRO + SUELO HUMEDO	675.3	TARRO + SUELO HUMEDO	559.2	TARRO + SUELO HUMEDO	609
TARRO + SUELO SECO	568.3	TARRO + SUELO SECO	457.1	TARRO + SUELO SECO	495.44
PESO DEL AGUA	107	PESO DEL AGUA	102.1	PESO DEL AGUA	113.56
PESO DEL TARRO	54	PESO DEL TARRO	41	PESO DEL TARRO	46
PESO DEL SUELO SECO	514.3	PESO DEL SUELO SECO	416.05	PESO DEL SUELO SECO	449.54
PORCENTAJE DE HUMEDAD	20.80%	PORCENTAJE DE HUMEDAD	24.54%	PORCENTAJE DE HUMEDAD	25.26%

Fuente: Propia

Granulometría por tamizado de M-1

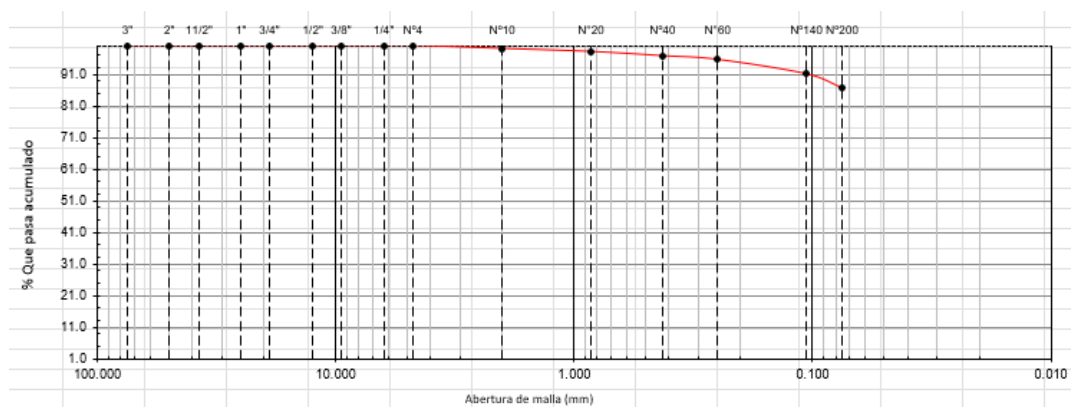
Durante la realización de este ensayo se obtuvieron valores, de los cuales los de mayor porcentaje en las 3 calicatas pertenecen a una granulometría de limo y arcilla, seguida por un porcentaje mínimo de arena y, por último, con porcentaje nulo lo que es grava, estos resultados se expresan en la Tabla N°25, donde se muestran a detalle los porcentajes que pasan tanto por



Fuente: Propia

Gráfico 3

Detalle Granulométrico M-1 de la C-3



Fuente: Propia

Límites de Atterberg de M-1

El ensayo de límites para la muestra natural para las 3 calicatas se ve reflejada en la Tabla N°26, donde M-1 significa la muestra natural sin adición alguna, el cual se detalla cada valor obtenido ya sea el LL, LP e IP para cada una de las calicatas.

Tabla 26

Resultados de los L.A. de las muestras naturales

Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad					
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C - 1	M-1	0 - 1.50	41	18	23
C - 2	M-1	0 - 1.50	36	17	19
C - 3	M-1	0 - 1.50	44	20	24

Fuente: Propia

Clasificación SUCS de M-1

Luego de haber realizado los ensayos anteriormente mencionados, se procede a clasificar por Sistema SUCS cada una de las calicatas, de tal manera se verifique que cumplen con el tipo de suelo el cual está dicha para la presente investigación que son las arcillas. Y según los resultados, y viendo el tipo de clasificación las 3 calicatas cumplen con ser un suelo arcilloso de tipo CL, arcilla de plasticidad baja a media como se detalla en la Tabla N°27.

Tabla 27

Clasificación SUCS

Clasificación de suelos en el sistema SUCS			
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	SUCS
C - 1	M-1	0 - 1.50	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
C - 2	M-1	0 - 1.50	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
C - 3	M-1	0 - 1.50	CL - Arcilla de plasticidad baja a media

Fuente: Propia

Clasificación AASHTO de M-1

De la misma manera, en cómo se clasificó el suelo por SUCS se realiza por el sistema AASHTO, el cual se verifica que dichos suelos cumplan de la misma con ser suelos arcillosos, en la Tabla 28, se nota que las 3 calicatas excavadas cumplen de igual forma que en el sistema SUCS con dicho requisito, clasificándose como un material limo arcilloso, con constituyentes principales a ser suelos arcillosos de pobre a malo según este tipo de clasificación.

Tabla 28

Clasificación AASHTO

Clasificación de suelos según Sistema						
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Grupo	AASHTO		
				Clasificación General	Constituyentes principales	Características de Subgrado
C - 1	M-1	0 - 1.50	A - 7(6)	Material Limo Arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a Malo
C - 2	M-1	0 - 1.50	A - 6	Material Limo Arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a Malo
C - 3	M-1	0 - 1.50	A - 7 (6)	Material Limo Arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a Malo

Fuente: Propia

Proctor Modificado (P.M) de M-1

Se detalla los resultados de MDS y OCH de la C-1, C-2 y C-3 para su muestra natural sin adición que es la M-1, estos resultados se observan expresados en la Tabla N°29.

Tabla 29

Resultados P.M naturales

Proctor Modificado				
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	Optimo Contenido de Humedad (%)
C-1	M-1	0 - 1.50	1.803	16.37
C-2	M-1	0 - 1.50	1.861	15.9
C-3	M-1	0 - 1.50	1.849	17.74

Fuente: Propia

California Bearing Ratio de las muestras naturales

Se muestra los 5 resultados que se realizaron para cada una de las calicatas en la Tabla N°30, se detalla a una penetración de 0.1" y 0.2" con 95% de la MDS y 100% de la MDS respectivamente, teniendo como un promedio para la calicata C-1 al 95% de 3.2% en CBR y al 100%, 3.7% en CBR, de igual manera la C-2 se obtiene un promedio de 2.6% al 95% y 3.5% en CBR al 100%, y por último, la C-3 el cual cuyo promedio dio de 3.1% en CBR al 95% y 3.6% en CBR al 100%, todos estos mencionados son con una penetración de 0.1".

Tabla 30

CBR naturales

California Bearing Ratio					
Calicata	Muestra	Valor del CBR			
		Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
		95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-1	M-1	3.3%	3.3%	3.1%	4.9%
		1.8%	2.3%	1.8%	3.0%
		3.0%	3.8%	3.0%	5.0%
		4.3%	4.9%	4.4%	6.1%
		3.7%	4.1%	3.6%	4.9%
C-2	M-1	2.5%	3.1%	2.8%	4.2%
		1.8%	3.6%	1.8%	4.9%
		2.4%	3.5%	2.5%	4.9%
		3.3%	4.4%	3.5%	6.1%
		3.1%	3.1%	2.9%	5.1%
C-3	M-1	2.5%	3.1%	3.1%	4.2%
		4.5%	4.8%	5.6%	6.3%
		2.5%	2.8%	2.9%	3.7%
		2.5%	3.0%	2.8%	4.0%
		3.4%	4.1%	3.9%	5.4%

Fuente: Propia

Ensayos Químicos

En la tabla 31 se muestra la composición del Copolímero Acrílico, al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada, se encontraron Sodio (Na) y Oxido de calcio (CaO) con un alto porcentaje dentro de su composición química.

Tabla 31

Composición Química

Composición Química	Resultados (%)	Método Utilizado
Sodio (Na)	55.2	Espectrometría de fluorescencia de rayos x
Oxido de Calcio (CaO)	14.56	
Carbono (C)	1.84	
Oxido de Potasio (K ₂ O)	0.9	
Oxido Fosforico (CuO)	2.91	
Oxido de Magnesio (MnO)	1.96	
Oxido de Zinc (ZnO)	<0.60	
Perdida Por Quemado	22.13	

Fuente: Propia

Límites de Atterberg (L.A) con adición de Copolímero Acrílico

Se plasma los resultados con la incorporación de cada porcentaje de adición en cada una de las calicatas siendo el M-2 (2% de C.A), el M-3 (4% de C.A) y el M-4 (6% de C.A), como se poder ver en la Tabla 32 que se muestra a continuación.

Tabla 32

Resultados L.A. muestras con adición

Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad					
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C - 1	M-2	0 - 1.50	37	16	21
	M-3	0 - 1.50	29	12	17
	M-4	0 - 1.50	26	12	13
C - 2	M-2	0 - 1.50	32	16	16
	M-3	0 - 1.50	29	15	15
	M-4	0 - 1.50	27	15	12
C - 3	M-2	0 - 1.50	41	20	21
	M-3	0 - 1.50	35	17	18
	M-4	0 - 1.50	30	16	14

Fuente: Propia

Categorización método SUCS de muestras con adición de Copolímero Acrílico

De la misma forma en cómo se clasifico la muestra natural después de a ver realizado los ensayos correspondientes, se procede a clasificar las distintas muestras con cada porcentaje adicionado como se puede detallar en la Tabla N°33, donde se muestra el número de calicata, el numero de la muestra y su clasificación correspondiente para cada una de ellas.

Tabla 33

Clasificación SUCS de muestras con adición

Clasificación de suelos en el sistema SUCS		
Calicata	Muestra	SUCS
C - 1	M-2	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
	M-3	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
	M-4	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
C - 2	M-2	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
	M-3	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
	M-4	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
C - 3	M-2	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
	M-3	CL - Arcilla de plasticidad baja a media
	M-4	CL - Arcilla de plasticidad baja a media

Fuente: Propia

Categorización método AASHTO de muestras con adición de Copolímero Acrílico

Por AASHTO se realiza el mismo procedimiento a detalla ya mencionado líneas arriba, y el cual esta expresado en Tabla N°34 del presente trabajo investigativo.

Tabla 34

Clasificación AASHTO de muestras con adición

Clasificación de suelos en el sistema AASHTO						
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Grupo	AASHTO		
				Clasificación General	Constituyentes Principales	Características de subgrado
C - 1	M-2	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
	M-3	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
	M-4	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
C - 2	M-2	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
	M-3	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
	M-4	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
C - 3	M-2	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
	M-3	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo
	M-4	0 - 1.50	A - 7 (5)	Material Limoso arcilloso	Suelos Arcillosos	Pobre a malo

Fuente: Propia

Proctor Modificado (P.M) con adición de Copolímero Acrílico

Los resultados de este ensayo están inscritos en la Tabla N°35, se muestra a detalle cada resultado de cada una de las muestras con sus distintos porcentajes adicionados.

Tabla 35

Resultados de P.M de muestras con adición

Proctor Modificado				
Calicata	Muestra	% Copolímero Acrílico	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	Optimo Contenido de Humedad (%)
C - 1	M-2	2%	1.831	12.99
	M-3	4%	1.867	14.18
	M-4	6%	1.872	13.75
C - 2	M-2	2%	1.873	15.56
	M-3	4%	1.876	12.83
	M-4	6%	1.919	15.65
C - 3	M-2	2%	1.863	15.97
	M-3	4%	1.870	16.35
	M-4	6%	1.916	14.10

Fuente: Propia

California Bearing Ratio con adición de Copolímero Acrílico

Se realizaron 3 tablas para cada calicata puesto que el número de ensayos es amplio, en la Tabla N°36 se muestran los resultados obtenidos de la calicata C-1 con cada adición del 2% de C.A el cuál es el M-2, 4% de C.A que sería el M-3 y por último el 6% de C.A que sería el M-4, con penetración de 0.1" y 0.2", cada una al 95% de la MDS y 100% de MDS.

Tabla 36

Resultados CBR, C-01 con adición

California Bearing Ratio					
Calicata	Muestra	Valor del CBR			
		Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
		95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-1	M-2	4.2%	6.4%	5.7%	8.8%
		5.7%	6.7%	6.2%	8.7%
		5.7%	6.7%	8.0%	9.2%
		6.4%	6.8%	7.2%	9.0%
		6.3%	7.0%	7.0%	9.2%
	M-3	7.5%	7.7%	8.8%	10.1%
		7.8%	8.2%	8.7%	10.7%
		7.9%	9.0%	9.4%	11.8%
		8.0%	9.2%	9.0%	12.0%
		7.8%	8.8%	8.7%	11.5%
	M-4	10.8%	13.9%	13.2%	18.0%
		11.0%	14.0%	13.5%	18.1%
		10.0%	11.6%	11.0%	15.1%
		9.5%	10.3%	10.5%	13.5%
		9.5%	9.6%	11.6%	12.9%

Fuente: Propia

De la misma manera se trabajó la calicata C-2, en la Tabla N°37 se muestran los resultados obtenidos de dicha calicata con cada adición del 2% de C.A el cuál es el M-2, 4% de C.A que

sería el M-3 y por último el 6% de C.A que sería el M-4, con penetración de 0.1” y 0.2”, cada una al 95% de la MDS y 100% de MDS.

Tabla 37

Resultados CBR, C-02 con adición

California Bearing Ratio					
Calicata	Muestra	Valor del CBR			
		Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
		95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-2	M-2	6.1%	7.1%	7.9%	9.7%
		6.7%	7.0%	7.7%	9.4%
		5.7%	6.7%	7.8%	9.3%
		5.8%	6.5%	6.4%	8.6%
		6.1%	6.4%	6.8%	8.3%
	M-3	8.2%	8.4%	9.4%	11.1%
		8.1%	8.2%	9.3%	10.8%
		7.6%	7.7%	9.2%	10.1%
		8.7%	8.9%	9.7%	10.6%
		8.2%	8.3%	9.5%	11.1%
	M-4	11.7%	14.6%	14.3%	18.8%
		11.7%	15.0%	14.3%	19.5%
		10.3%	10.7%	12.5%	14.1%
		10.5%	11.5%	12.0%	15.0%
		11.6%	14.4%	13.2%	20.5%

Fuente: Propia

Y por último la Tabla N°38 de la calicata C-3, la cual se muestran los resultados obtenidos de dicha calicata con cada adición del 2% de C.A el cuál es el M-2, 4% de C.A que sería el M-3 y por último el 6% de C.A que sería el M-4, con penetración de 0.1” y 0.2”, cada una al 95% de la MDS y 100% de MDS.

Tabla 38

Resultados CBR, C-03 con adición

California Bearing Ratio					
Calicata	Muestra	Valor del CBR			
		Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
		95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-3	M-2	5.5%	6.3%	7.4%	8.6%
		5.8%	6.2%	6.6%	7.9%
		5.4%	6.3%	7.1%	8.6%
		6.1%	6.5%	6.8%	8.6%
		6.0%	6.2%	6.8%	8.1%
	M-3	8.3%	8.4%	9.5%	10.9%
		7.5%	7.7%	8.8%	10.1%
		8.1%	8.6%	9.9%	11.3%
		8.5%	8.8%	9.5%	11.6%
	M-4	7.9%	8.9%	8.9%	11.5%
		12.3%	13.5%	14.9%	17.5%
		10.2%	10.5%	12.6%	14.1%
		10.1%	10.2%	12.4%	13.8%
		10.3%	10.9%	12.0%	14.4%
		11.3%	11.9%	14.2%	16.2%

Fuente: Propia

Evaluación Económica

De acuerdo con la evaluación técnica, todas las incorporaciones del C.A son beneficiosas, ya que se da una mejora en la subrasante del suelo, permitiendo que cumpla con los requisitos mínimos necesarios para su uso como una subrasante BUENA. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo una evaluación económica. Para calcular el costo por metro cuadrado de suelo, se consideró los 3 porcentajes de adiciones (2%, 4% y 6%); y con respecto a los precios unitarios de la mano de obra se obtuvieron según la tabla salarial de Capeco, actualizados al 2025, y de igual forma el costo de los equipos los cuales servirán para el traslado y mezclado del material con la subrasante se obtuvo de Capeco, cuyos costos se puede observar en las tablas 39, 40 y 41, en las cuales el costo para una dosificación del 2% de C.A por m² es de S/.147.01, para una dosificación de 4% por m² es de S/.291.01 y para una dosificación del 6% de C.A, da un costo de S/.435.01, es necesario recalcar en el costo de los porcentajes de 4% y 6%, puesto que según la evaluación técnica el valor de CBR ≥ 6 con dichas adiciones.

Tabla 39

Costos de estabilizar con C.A al 2%

Partida : ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON COPOLIMERO ACRILICO 2% E=0.20 M						
Unidad : m2				Fecha: 2025		
Rendimiento : 2,000.00				Costo unitario directo por m S/ 147.01		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Mano de obra						S/ 0.26
OPERARIO	hh	1.00	0.0040	27.78	0.11	
PEON	hh	2.00	0.0080	18.39	0.15	
Materiales						S/ 144.00
COPOLIMERO ACRILICO	bls		7.2000	20.00	144.00	
Equipos y herramientas						S/ 2.75
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.26	0.01	
VIBRADOR LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP	hm	1.00	0.0040	165.36	0.66	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.00	0.0040	181.87	0.73	
CARGADOR FRONTAL 100-125 HP	hm	1.00	0.0040	171.55	0.69	
CAMION CISTERNA 4X2 122 HP 2 000 GAL	hm	1.00	0.0040	164.75	0.66	
Costo Unitario S/						147.01

Fuente: Propia

Tabla 40

Costos de estabilizar con C.A al 4%

Partida : ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON COPOLIMERO ACRILICO 4% E=0.20 M						
Unidad : m2				Fecha: 2025		
Rendimiento : 2,000.00				Costo unitario directo por m S/ 291.01		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Mano de obra						S/ 0.26
OPERARIO	hh	1.00	0.0040	27.78	0.11	
PEON	hh	2.00	0.0080	18.39	0.15	
Materiales						S/ 288.00
COPOLIMERO ACRILICO	bls		14.4000	20.00	288.00	
Equipos y herramientas						S/ 2.75
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.26	0.01	
VIBRADOR LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP	hm	1.00	0.0040	165.36	0.66	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.00	0.0040	181.87	0.73	
CARGADOR FRONTAL 110-135 HP	hm	1.00	0.0040	171.55	0.69	
CAMION CISTERNA 4X2 122 HP 2 000 GAL	hm	1.00	0.0040	164.75	0.66	
Costo Unitario S/						291.01

Fuente: Propia

Tabla 41

Costos de estabilizar con C.A al 6%

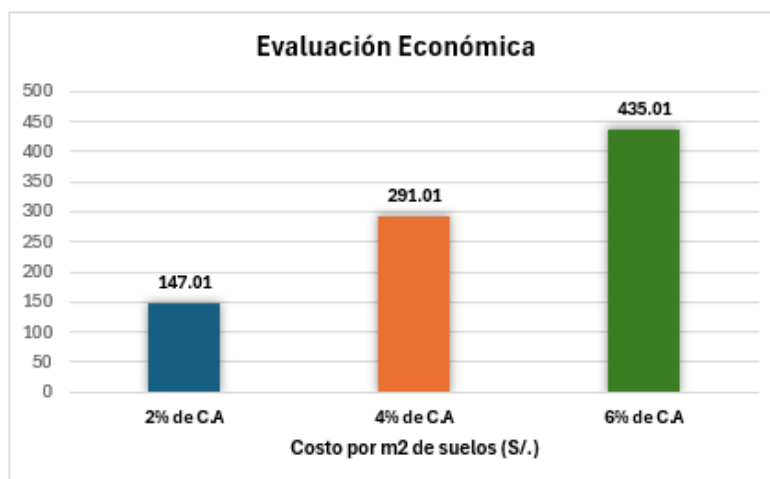
Partida : ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON COPOLIMERO ACRILICO 6% E=0.20 M						
Unidad : m2				Fecha: 2025		
Rendimiento : 2,000.00				Costo unitario directo por m S/		435.01
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Mano de obra						S/ 0.26
OPERARIO	hh	1.00	0.0040	27.78	0.11	
PEON	hh	2.00	0.0080	18.39	0.15	
Materiales						S/ 432.00
COPOLIMERO ACRILICO	Kg		21.6000	20.00	432.00	
Equipos y herramientas						S/ 2.75
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.26	0.01	
VIBRADOR LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP	hm	1.00	0.0040	165.36	0.66	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.00	0.0040	181.87	0.73	
CARGADOR FRONTAL 110-135 HP	hm	1.00	0.0040	171.55	0.69	
CAMION CISTERNA 4X2 122 HP 2 000 GAL	hm	1.00	0.0040	164.75	0.66	
Costo Unitario S/						435.01

Fuente: Propia

Los costos aumentan directamente conforme el porcentaje de adición va en aumento, considerando el 4% de C.A como base por cumplir con el CBR mínimo por normativa, el cual su costo va de S/291.01 soles por m2 a un costo de S/435.01 soles por m2 con una adición de 6% de C.A.

Gráfico 4

Comparación de costos en cada adición de C.A



Fuente: Propia

Evaluación Ambiental

Para llevar a cabo la evaluación ambiental de la estabilización de subrasantes mediante la incorporación de Copolímero Acrílico, se utilizó la matriz de Leopold, dado que facilita la síntesis y la jerarquización de los efectos ambientales. Este enfoque también permite identificar y mitigar los impactos que puedan ser considerados nocivos.

Para identificar los impactos ambientales, se consideran tanto los factores del entorno que pueden verse beneficiados o perjudicados, como las acciones que influyen en el medio ambiente. Se utilizan códigos de color para clasificar los impactos: el rojo indica impactos negativos, el verde representa impactos positivos y el blanco se emplea para señalar la ausencia de impacto ambiental.

Los valores de los impactos, se da el signo positivo para aquellos resultan beneficiosos y en caso contrario si son perjudiciales se les dará un signo negativo, en el caso la cuantificación de la magnitud e importancia se realiza utilizando una tabla en la que se detalla una escala del 1 al 10, siendo 1 un impacto muy bajo o sin nada de relevancia, y un 10 caso contrario si el impacto es muy alto o tiende a ser muy significativo. Si el resultado del ponderado es negativo, se considera que el proyecto obtuvo un impacto es perjudicial, mientras que un valor positivo sugiere que el proyecto no generará efectos negativos.

La tabla 42 presenta la identificación de los impactos ambientales. En la columna vertical se enumeran los factores ambientales, que incluyen el suelo, el aire, la flora, la fauna, actividades, así como los factores socioeconómicos y humanos. En la fila horizontal se detallan las acciones realizadas durante la fase de obtención del C.A, que abarcan tanto la recolección y preparación del material como la conformación de subrasantes. Esta última incluye actividades como el trazo, excavación, limpieza de terreno, el mezclado de la subrasante mejorada, compactación de la subrasante y nivelación de terreno

La Tabla 43 se da los datos otorgados para cada efecto ambiental. En la etapa de cómo obtener el C.A, se observó un efecto positivo, alcanzando un valor ponderado de 197. En contraste, durante la preparación de la subrasante con la inclusión del C.A, se registró un efecto negativo, con una puntuación ponderada de -300. En el cálculo total ponderado, se obtuvo un valor de -96, lo que sugiere una reducción notable del impacto negativo. Se determinó que el factor ambiental más susceptible fueron las partículas en suspensión, mientras que las actividades más perjudiciales correspondieron a la excavación.

Tabla 42

Identificación de impactos ambientales

Magnitud MAGNITUD + / - Expresa el grado de alteración potencial de la calidad ambiental del factor considerado, hace referencia a la dimensión, trascendencia y medida del efecto en si mismo. Importancia IMPORTANCIA Valor ponderal que proporciona el peso relativo del efecto potencial y refleja la significación y relevancia del mismo, así como la extensión o parte del entorno afectado.		ACTIVIDADES DEL PROYECTO ETAPA: CONSTRUCCION DE OBRA							
		OBTENCION DEL COPOLIMERO ACRILICO		OBRAS PRELIMINARES				MOVIMIENTO DE TIERRAS	
		Recolección del C.A.	Preparación del C.A.	Trazo y replanteo	Excavación	Limpieza de terreno	Mezclado de la subrasante mejorada	Compactación de la subrasante	Nivelación de terreno
FACTORES AMBIENTALES	FÍSICA QUÍMICA	AIRE							
		Emisión de gases							
		Partículas en suspensión							
		Nivel de ruido							
		SUELOS							
		Morfología del terreno							
	Contaminación del Suelo								
	Proceso erosivo de suelo								
	CONDICIÓN BIOLÓGICA	FLORA							
		Diversidad							
		FAUNA							
		Diversidad							
	FACTORES CULTURALES	FACTOR SOCIOECONOMICO							
		Empleo							
		ESTÉTICA E INTERÉS HUMANO							
		Unidades paisajísticas							
		ACTIVIDADES							
		Eliminación de residuos							
Reciclaje									
Ventaja económica									
POBLACIÓN									
Seguridad Y Salud									
Calidad de Vida									

LEYENDA	
	Impacto Negativo
	Impacto Positivo
	No hay Impacto

Fuente: Propia

Tabla 43

Matriz de Leopold de estabilizar con C.A

MAGNITUD - I - IMPORTANCIA		ACTIVIDADES DEL PROYECTO										SUMA	
		ETAPA: CONSTRUCCION DE OBRA										MAGNITUD (+/-)	PROMEDIO
		OBTENCION DEL COPOLIMERO ACRILICO		OBRAS PRELIMINARES				MOVIMIENTO DE TIERRAS					
		Recoleccion del C.A.	Preparacion del C.A.	Trazo y replanteo	Excavacion	Limpieza de terreno	Mezclado de la subrasante mejorada	Compactacion de terreno	Nivelacion de terreno				
FACTORES AMBIENTALES	FÍSICA QUÍMICA	AIRE											
		Emisión de gases	-2	-5	-1	-5	-2	-5	-4	-3	-27	19	-75
		Partículas en suspensión	-4	-6	-4	-6	-5	-5	-4	-4	-38	33	-160
		Nivel de ruido		-6	-2	-2	-4	-5	-5	-3	-27	22	-98
		SUELOS											
		Morfología del terreno			-3	-6	-2	-7	-2	-2	-22	20	-96
	Contaminación del suelo	4		-1	-2		-2	-2	-2	-5	18	-16	
	Proceso erosivo del suelo				-4		-3			-7	7	-25	
	CONDICIÓN BIOLÓGICA	FLORA											
		Diversidad	2		-1	-4		-1			-4	7	-4
	CONDICIÓN BIOLÓGICA	FAUNA											
		Diversidad	3		-1	-4		-1			-3	7	-1
	FACTORES CULTURALES	FACTOR SOCIOECONÓMICO											
		Empleo	3	3	3	6	2	2	2	2	23	20	64
		ESTÉTICA E INTERÉS HUMANO											
		Unidades paisajísticas	5		-1	-4		-2			-2	10	12
		ACTIVIDADES											
		Eliminación de residuos	7	7	7		-4	7		-3	14	25	112
Reciclaje		7	6				7			20	19	128	
Ventaja económica		5	3				5			13	10	46	
POBLACIÓN													
Seguridad Y Salud	4			-4					0	8	8		
Calidad de Vida	4			-3		3			4	8	9		
MAGNITUD (+/-)		38	2	#	#	-11	-7	-15	-15			-36	
PROMEDIO		197	7	-22	-140	-40	1	-56	-43	-36	VERDADERO		

Factor Ambiental mas fragil	Partículas en suspensión
Accion mas agresiva	Excavacion y Nivelacion

Fuente: Propia

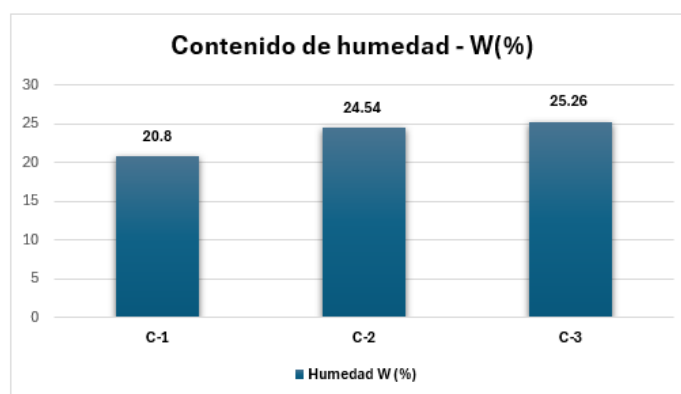
Discusión

Contenido de Humedad (C.H) de muestras naturales

Los valores de C.H obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por los estudios previos, lo que valida la caracterización inicial de las muestras como suelos de alta plasticidad. Además, la variabilidad observada entre las calicatas es consistente con lo reportado en la literatura, donde factores como la ubicación, profundidad y condiciones ambientales pueden influir en el contenido de humedad. En el gráfico 5 se puede apreciar que las 3 calicatas ejecutadas son iguales o mayores al 20%.

Gráfico 5

Resultados de C.H, muestras naturales



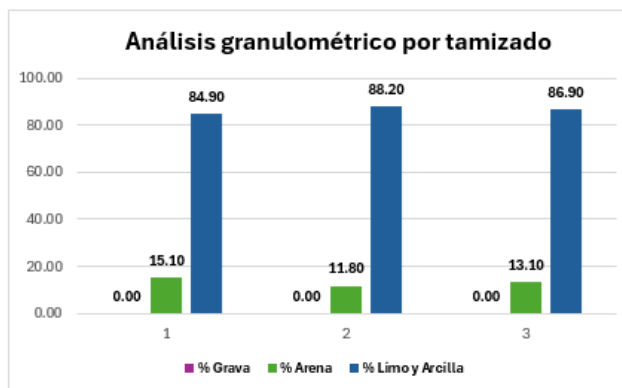
Fuente: Propia

Granulometría por tamizado de muestras naturales

Los antecedentes revisados, como los trabajos de Huang, Debbarma y Lecarnaque Ortiz, resaltan que los suelos arcillosos estabilizados presentar una granulometría dominada por partículas finas. Estos autores coinciden en que la presencia mayoritaria de partículas que pasan por la malla N°200 es característica de suelos con baja capacidad portante y alta plasticidad. En el gráfico 6, más del 80% de todas las muestras atraviesan la malla N°200, lo que sugiere una significativa presencia de suelo limo-arcilloso. Los resultados granulométricos indican que más del 50% de las muestras de las calicatas pasan por la malla #200 según SUCS, y más del 35% de acuerdo a AASHTO.

Gráfico 6

Detalle granulométrico por tamizado de muestras naturales



Fuente: Propia

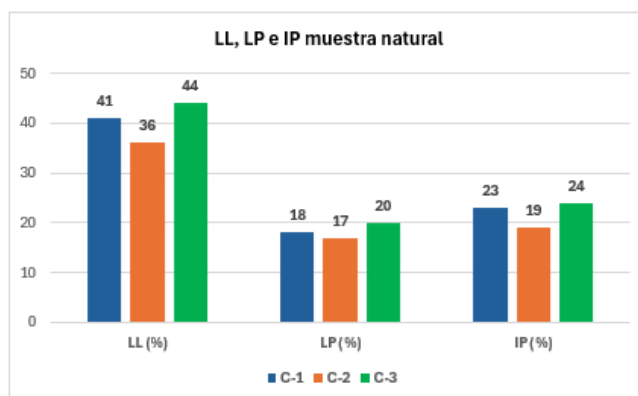
Límites de Atterberg (L.A), muestras naturales

Los antecedentes revisados, como los trabajos de Huang, Mirzababaei y Lecarnaque Ortiz, coinciden en que los suelos arcillosos tienden a mostrar un alto porcentaje de IP, como es el caso de los antecedentes que sobrepasan el 25%, contrastando con la presente investigación cuyos resultados son similares o incluso mayores al 20%.

En el gráfico 7 se puede observar que las calicatas C-1 y C-3 tienen índices de plasticidad similares de 23 y 24, respectivamente, lo que las clasifica como suelos de alta plasticidad, típicos de materiales muy arcillosos. En contraste, la calicata C-3 presenta un índice de plasticidad de 19, situándose en la categoría de plasticidad media, característica de suelos arcillosos.

Gráfico 7

Detalle L. Atterberg de muestras naturales



Fuente: Propia

Clasificación del suelo por método SUCS y AASHTO de las muestras naturales

De acuerdo con los resultados obtenidos del tamizado para la granulometría y los límites de Atterberg, el suelo se clasifica según las metodologías SUCS y AASHTO. Esta clasificación se presenta en las tablas 24 y 25. En ambas metodologías, el suelo se identifica como de partículas finas y presenta características tanto arcillosas como limosas.

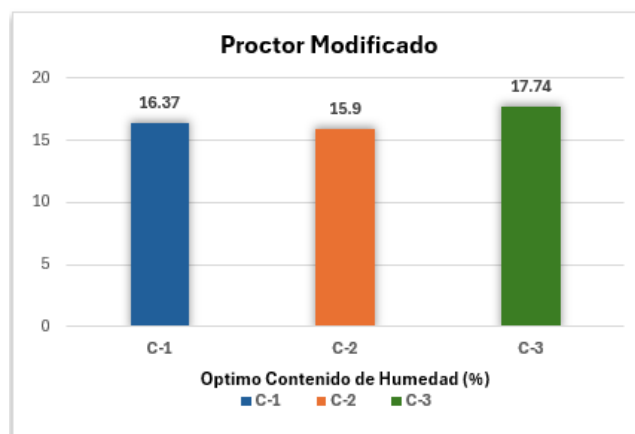
En cuanto al índice de grupo encontrado para las calicatas C-1, C-2 y C-3, los valores son 6, 12 y 14, respectivamente. Estos índices de grupo indican que el suelo tiene una calidad muy deficiente.

Proctor Modificado de las muestras naturales

Los antecedentes revisados destacan que los suelos arcillosos estabilizados suelen presentar una densidad máxima seca relativamente baja y un óptimo contenido de humedad elevado, debido a la alta plasticidad y capacidad de retención de agua de estos suelos. En los gráficos 8 y 9 se presentan los valores del OCH y DMS respectivamente.

Gráfico 8

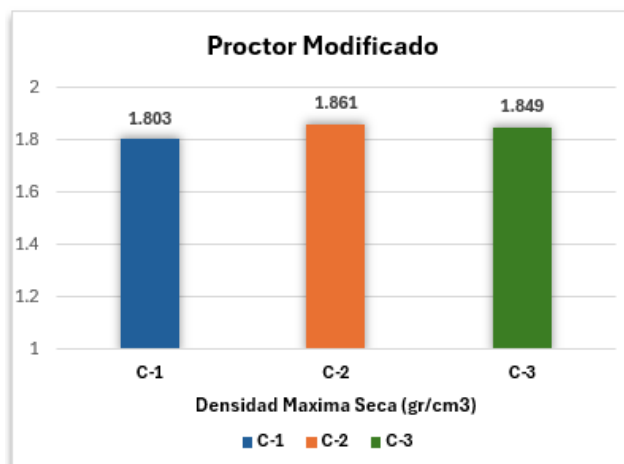
Resultados de Optimo Contenido de Humedad – Proctor Modificado



Fuente: Propia

Gráfico 9

Resultados de Densidad Máxima Seca – Proctor Modificado



Fuente: Propia

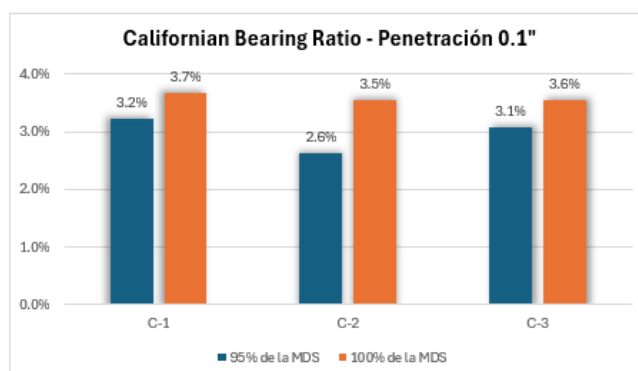
California Bearing Ratio (CBR) de las muestras naturales

En el gráfico 10 se presentan los valores de CBR para una penetración de 0.1", considerando densidades del 95% y 100%. Al comparar estos resultados con los antecedentes revisados, se observa una tendencia similar:

- **Huang et al. (2021):** Reportan que los suelos arcillosos sin estabilizar suelen presentar valores de CBR entre 2% y 5%, reflejando una limitada capacidad portante y la necesidad de estabilización para cumplir con los estándares mínimos exigidos en obras viales.
- **Debarma et al. (2023):** En su estudio, las muestras de suelo natural presentaron valores de CBR cercanos a 3%.
- **Lecarnaque Ortiz (2020):** En su investigación sobre suelos arcillosos en Lima, los valores de CBR para las muestras naturales estuvieron en el rango de 2.5% a 4%, confirmando la baja capacidad portante de estos suelos antes de la estabilización.

Gráfico 10

Resultados de CBR sin adición



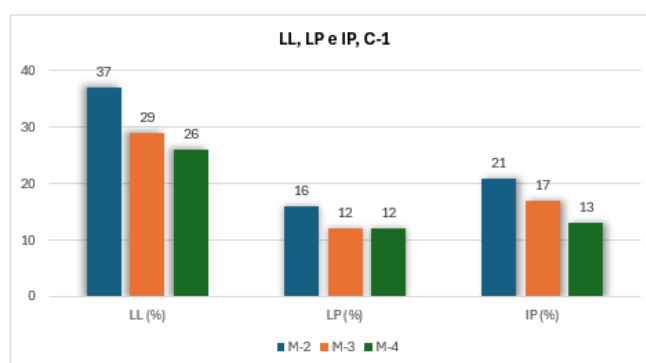
Fuente: Propia

Límites de Atterberg de las muestras con adición de C.A.

En el gráfico 11, 12 y 13 se presentan 3 muestras de cada una de las calicatas que evidencian una disminución en el límite líquido a medida que aumenta el porcentaje de C.A, dando valores de IP menores al 15%, que comparando dichos valores con los antecedentes como es el caso de Mirzababaei (2017), el cual logro reducir el valores iniciales de 25-30% hasta rangos de 10-15% tras la estabilización; por otro lado Lecarnaque Ortiz (2020) en su estudio realizado tuvo como resultados finales porcentajes entre el 12 y 14% y por ultimo; Curitomay Najarro (2018) la incorporación del copolímero llego a reducir hasta valores mínimo de 10 – 13%.

Gráfico 11

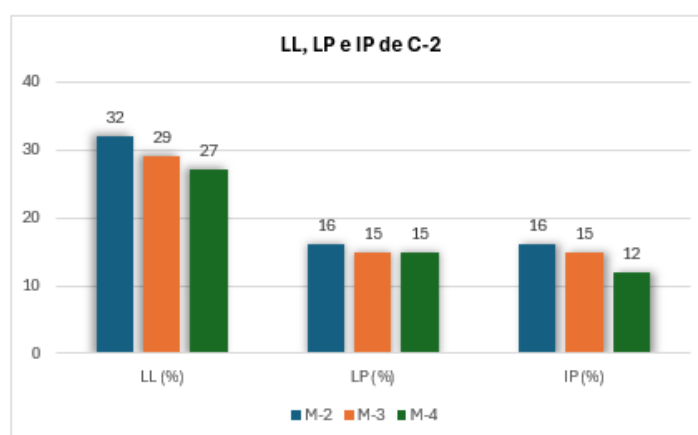
Resultados de los L. Atterberg de la C-1 con adición



Fuente: Propia

Gráfico 12

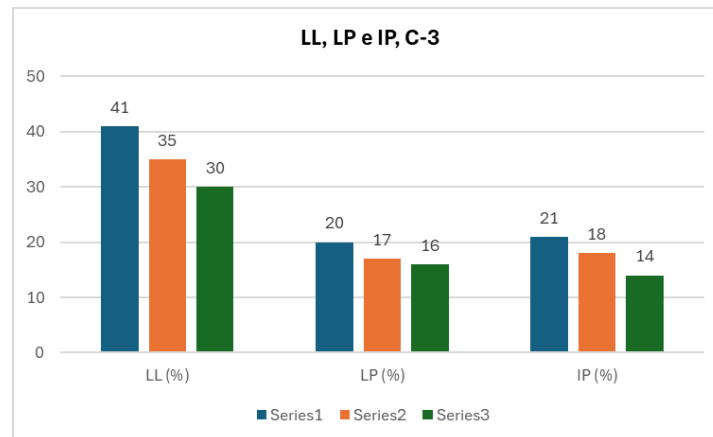
Resultados de los L. Atterberg de la C-2 con adición



Fuente: Propia

Gráfico 13

Resultados de los L. Atterberg de la C-3 con adición



Fuente: Propia

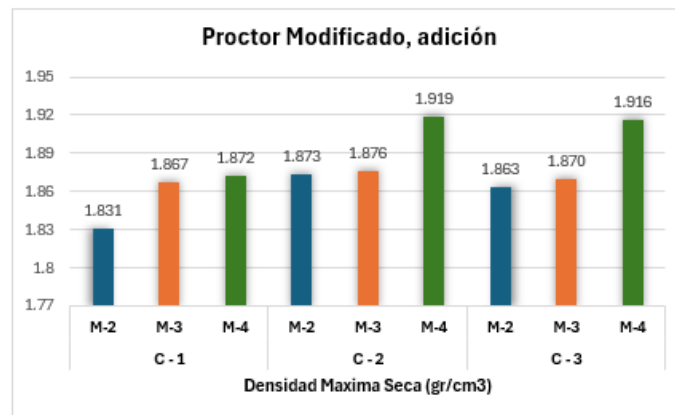
De acuerdo con los resultados de Límites de Atterberg, se observa que conforme aumentamos el porcentaje de C.A, va disminuyendo su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, en la cual, comparándola con su tema de investigación de (Lecarnaque Ortiz, 2020), presenta las mismas consecuencias en sus ensayos de IP, que conforme va aumentando sus porcentajes de adición sus valores tienden a disminuir.

Proctor Modificado (P.M), con adición de C.A

El gráfico 14 ilustra que, a medida que aumenta la dosificación de C.A, también incrementa la densidad máxima seca, dando valores por encima del 1.80 gr/cm³ y un OCH por debajo del 15%; que comparando dichos resultados con los antecedentes estudiados tenemos, por parte de Debbarma (2023) obteniendo valores de 1.85gr/cm³ con la mayor dosificación; en el estudio realizado por Lecarnaque Ortiz (2020) obtuvo resultados de 1.88gr/cm³ con un OCH entre 13% y 15% y por último, en el estudio de Curitomay Najarro (2018) logro aumentar a 1.90gr/cm³ con un OCH de 12 % a 16%.

Gráfico 14

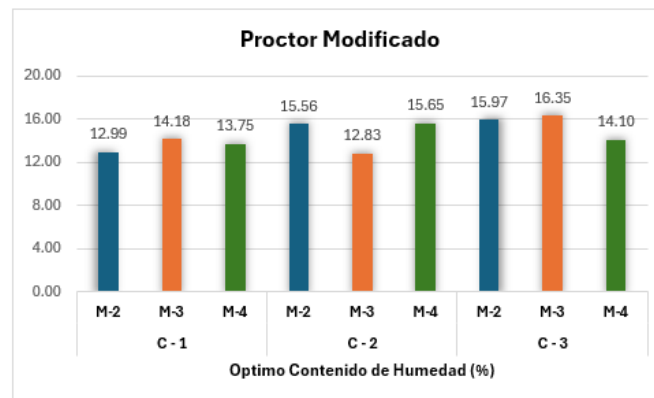
Resultados de P.M con adición – MDS



Fuente: Propia

Gráfico 15

Resultados de Proctor con adición C.A - OCH



Fuente: Propia

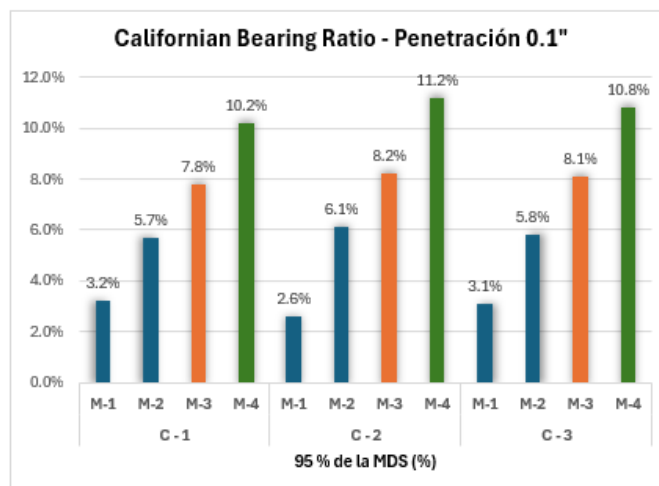
De igual forma se tiene un aumento en lo que respecta al MDS, conforme lo detalla Lecarnaque Ortiz en su investigación, donde se expresa el aumento conforme se va adicionando más el C.A en líquido de 0.03% entre el suelo natural y adicionada, de igual manera en esta investigación se ve un aumento notable entre su MDS del suelo natural con el MDS el suelo con adición, teniendo un aumento del 0.06% como diferencia.

California Bearing Ratio de las muestras con adición de C.A

El gráfico 16, se detalla que al aumentar la adición de C.A, se observa un incremento en el valor del CBR por encima del 10% pasando de ser considerados subrasantes inadecuadas ($CBR \leq 6\%$) a subrasantes regulares o buenas ($CBR > 6\%$), de igual forma lo recalcan los antecedentes en los cuales se obtuvieron valores iguales o por encima del 10% en algunos casos, dando como consecuencias suelos factibles para el tema de construcción.

Gráfico 16

Resultados del CBR con adición de C.A



Fuente: Propia

Los valores de CBR en la investigación de Curitomay Najarro nos indica que a mayor porcentaje se obtiene mejores resultados, de igual forma para en la presente investigación, en las cuales ambos estudios realizados sobre pasa el valor mínimo requerido que es 6%, que si comparamos los resultados obtenidos, para Curitomay con un 12% que es un porcentaje más alto se obtuvo un MDS de 14.9%, y para mi investigación con un 6% siendo mi porcentaje más alto se obtuvo valores sobrepasando el 10% en todas las calicatas.

Evaluación Económica

La evaluación económica es un aspecto crucial en la viabilidad de cualquier técnica de estabilización de suelos, especialmente en contextos donde el costo puede ser un factor limitante para la implementación de nuevas tecnologías. En la presente tesis, se analizaron los costos asociados a la incorporación de copolímero acrílico (C.A.) en porcentajes de 2%, 4% y 6%, obteniendo los siguientes valores reales por metro cuadrado:

- **2% de C.A.: S/.146.05/m²**
- **4% de C.A.: S/.290.05/m²**
- **6% de C.A.: S/.434.05/m²**

Al comparar estos resultados con los antecedentes, se observa una tendencia similar en cuanto a la relación costo-beneficio:

- **Debbarma (2023)** reporta que el uso de copolímero vinílico acrílico como estabilizador resulta en una solución sostenible y rentable, mejorando significativamente la

resistencia del suelo con un impacto financiero mínimo. Aunque no se especifican valores exactos de costo, el estudio enfatiza la eficiencia económica del método, especialmente cuando se compara con estabilizadores convencionales como la cal y el cemento, que suelen ser más costosos.

- **Lecarnaque Ortiz (2020)** también destaca que la adición de copolímero acrílico genera mejoras notables en el CBR y la resistencia a compresión, con costos que, aunque incrementan con el porcentaje de adición, se mantienen competitivos frente a otras alternativas. En su estudio, los valores de CBR superan el 10% con adiciones entre 2.5% y 5%, lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación.

La comparación directa entre los valores reales obtenidos y los antecedentes revisados permite afirmar que la incorporación de copolímero acrílico, aunque implica un aumento en el costo por metro cuadrado, ofrece beneficios técnicos significativos que justifican la inversión. El valor óptimo identificado en tu tesis es el 4% de adición, ya que a partir de este porcentaje se obtienen mejoras sustanciales en el CBR, cumpliendo con los estándares mínimos requeridos para una subrasante aceptable.

Además, el análisis económico realizado toma en cuenta los precios unitarios de mano de obra y equipos actualizados al 2025, lo que aporta realismo y actualidad a la evaluación. Este enfoque permite comparar de manera objetiva los costos de estabilización con copolímero acrílico frente a otras alternativas tradicionales, evidenciando que, aunque el costo inicial puede ser mayor, los beneficios en términos de durabilidad, capacidad portante y reducción de impactos negativos justifican la inversión.

Evaluación Ambiental

La evaluación ambiental es un aspecto esencial para determinar la viabilidad y sostenibilidad de nuevas tecnologías aplicadas a la estabilización de suelos. En la presente tesis, la evaluación ambiental se realizó mediante la Matriz de Leopold, permitiendo identificar y ponderar los impactos positivos y negativos asociados al uso del copolímero acrílico (C.A.) en la estabilización de subrasantes arcillosas.

Al comparar estos resultados con los antecedentes, se observa una tendencia similar en cuanto a la reducción de impactos negativos y la generación de beneficios ambientales:

- **Debarma (2023)** destacan que el uso de copolímeros como estabilizadores no solo mejora las propiedades mecánicas del suelo, sino que también reduce el impacto ambiental en comparación con estabilizadores convencionales como la cal y el cemento, que suelen generar mayores residuos y emisiones.

- **Lecarnaque Ortiz (2020)** reporta que la incorporación de copolímero acrílico en suelos arcillosos genera un impacto ambiental bajo, especialmente cuando se compara con métodos tradicionales. Además, resalta que el uso de materiales industriales como el C.A. puede contribuir a la reducción de residuos y a la mejora de la calidad ambiental en el entorno de las obras viales.
- **Curitomag Najarro (2018)** señala que la utilización de polímeros en la estabilización de suelos disminuye la expansión y contracción del suelo, lo que se traduce en una menor alteración del entorno y una mayor durabilidad de las vías, reduciendo la necesidad de intervenciones frecuentes y, por ende, el impacto ambiental a largo plazo.

Conclusiones

Se determina que todas las calicatas presentan un alto porcentaje de limos y arcillas ($\geq 85\%$) y contenidos de humedad superiores al 20%. Los índices de plasticidad son del 23% para C-1, 19% para C-2 y 24% para C-3, clasificándose como suelos CL (arcilla de plasticidad baja a media) según el sistema SUCS, y como suelos limo-arcillosos en el sistema AASHTO. En cuanto a la composición química del material adicionado, se encontraron 55.2% de Sodio (Na) y 14.56% de Óxido de Calcio (CaO), siendo estos los porcentajes más altos

Se obtuvo en el ensayo de Límites de Atterberg un índice de plasticidad medio a alto en las 3 calicatas, con respecto al Proctor modificado, se obtuvo una Densidad Máxima Seca de 1.803 gr/cm³ en la C-1, 1.861 gr/cm³ en la C-2 y 1.849 en la C-3 gr/cm³ y un Óptimo Contenido de Humedad de 16.37%, 15% y 17.74%, para la C-1, C-2 y C-3 respectivamente.

Se determinó un CBR para las muestras naturales de las 3 calicatas, dando como resultados un promedio del 3.2% al 95% de la MDS a una penetración del 0.1" para la C-1, un 2.6% en la C-2 y un 3.1% en la C-3, todo al 95% de la MDS a una penetración del 0.1".

Se concluyó que la adición de C.A. reduce el índice de plasticidad en las tres calicatas (suelo arcilloso), dando valores mínimos de 13% en C-1, 12% en C-2 y 14% en C-3, con una reducción añadir 6% de C.A. En el ensayo de Proctor modificado, se observó un aumento en el MDS con el incremento de C.A, obteniendo valores máximos 1.872% para C-1, 1.919% para C-2 y 1.916% para C-3, con una adición del 6%.

Se verificó un aumento del CBR en las tres calicatas al incrementar los porcentajes de adición de C.A., observándose mejoras a partir del 4% de adición arrojando valores mayores al 6% como requerimiento mínimo según la norma. Con una adición del 6%, los valores mejoraron aún más, alcanzando 10.2% en C-1, 11.2% en C-2 y 10.8% en C-3, siendo C-2 la que presentó el mayor CBR. Así, las tres calicatas se clasifican como una subrasante buena.

La investigación sobre la adición de Copolímero Acrílico en las subrasantes de José Leonardo Ortiz muestra que hay una mejora en las propiedades del suelo en comparación con las muestras naturales. Estas mejoras se reflejan en el CBR, un indicador fundamental según el Manual de

Diseño de Carreteras. Se concluye que la adición óptima es del 4% de C.A., ya que a partir de este porcentaje se obtienen mejoras en el CBR

Se concluye que una incorporación del 2% de C.A genera un costo por m² de S/.146.05 soles, para una adición del 4% se tiene un costo de S/.290.05 soles por m² y por último para una adición del 6% de C.A se tiene un costo de S/.434.05 soles por m², tomando como relevancia estos dos valores ultimo ya que son los que superan el $CBR \geq 6$.

La estabilización de subrasante con la adición de C.A. mostró una reducción significativa del impacto negativo resultando en un total de -96. Esto minimiza el daño ambiental y genera oportunidades de empleo mediante el uso de un material industrializado.

Recomendaciones

Se sugiere proseguir con estudios adicionales sobre la estabilización de subrasantes con baja capacidad portante, utilizando diferentes porcentajes Copolímero Acrílico en comparación con los empleados en esta investigación.

Seguir investigando la aplicación de dicha adición para estabilizar otros tipos de suelos como son los limos de baja o alta plasticidad, de tal manera se amplie el estudio.

Continuar la investigación, aplicando esta adición en distintos tipos de suelos, para otros sectores del distrito de José Leonardo Ortiz, con distintos porcentajes a los que se utilizó en esta investigación.

Se recomienda combinar el copolímero acrílico con otros tipos de estabilizadores convencionalmente utilizados como la cal o cemento, y determinar si mejora o no las propiedades de la subrasante.

Se recomienda mezclar en seco el suelo natural con la adición del copolímero acrílico, antes de añadirle el agua para que se obtenga una buena mezcla homogénea.

Se recomienda que, para el uso del Copolímero Acrílico, se tome algunas consideraciones que pueden ser fundamentales antes de ser utilizado, como el no estar en contacto con el suelo, mantenerlo a una temperatura ambiente, no estar expuesto al sol o a la humedad, puesto que, se podría dar alguna alteración con los resultados.

Referencias

- [1] R. Andrews y P. Duffy, «Polymer stabilisation and best value management of unsealed road networks», *Road Transp. Res.*, vol. 17, pp. 59-69, sep. 2008.
- [2] J. Huang, R. B. Kogbara, N. Hariharan, E. A. Masad, y D. N. Little, «A state-of-the-art review of polymers used in soil stabilization», *Constr. Build. Mater.*, vol. 305, p. 124685, oct. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124685.
- [3] K. Debbarma, S. Saha, y P. Pratim Sarkar, «Application of vinyl acrylic co-polymer on subgrade and sub base pavement stabilization», *Mater. Today Proc.*, abr. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.03.653.
- [4] M. Mirzababaei, A. Arulrajah, y M. Ouston, «Polymers for Stabilization of Soft Clay Soils», *Procedia Eng.*, vol. 189, pp. 25-32, ene. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.005.
- [5] D. I. Lecarnaque Ortiz, «Estabilización de suelo arcilloso utilizando copolímero acrílico a nivel de afirmado en la avenida El Porvenir, distrito Puente Piedra - 2020», *Repos. Inst. - UCV*, 2020, Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91882>
- [6] C. J. Curitomay Najarro, «Estabilización de suelos arcillosos con polímeros de tipo copolímero, aplicado a obras viales de mediano tránsito en la carretera Pucalloma - Yanayacu, distrito de Socos», *Univ. Nac. San Cristóbal Huamanga*, 2018, Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3569>
- [7] D. Nesterenko Cortes, «Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú», *Univ. Piura*, jun. 2018, Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3474>
- [8] S. E. Calle Lactahuamani y M. G. Arce Huahuachampi, «Estabilización con polímero acrílico de la subrasante de la zona del puente de Añashuayco para su uso como base y comparación frente a un pavimento convencional», 2018, Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6118>
- [9] «ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS EG-2013 (Julio 2013) | PDF». Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/castilloaroni/especificaciones-tcnicas-generales-para-la-construccin-de-carreteras-eg2013-julio-2013>
- [10] «Manual suelos pavimentos». Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/GuillermoSoto32/manual-suelos-pavimentos>

- [11] «MANUAL DE CARRETERAS ENSAYOS DE MATERIALES (Aprobado con R.D. N° 18-2016-MTC/14, Vigente desde el 27:jun.16)». Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/castilloaroni/manual-de-carreteras-ensayos-de-materiales-aprobado-con-rd-n-182016mtc14-vigente-desde-el-27jun16>
- [12] «CP12-025 - MTC Manual de Ensayo de Materiales (2016) | PDF | Hormigón | Cemento», Scribd. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/524101731/CP12-025-MTC-Manual-de-Ensayo-de-Materiales-2016>
- [13] «NTP 339.129 | PDF | El plastico | Materiales», Scribd. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/474697212/NTP-339-129>
- [14] «Estabilización de suelos», Soluciones de geopolímeros. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.geopolymertech.com/es/estabilizacion-del-suelo/>
- [15] «▷ Suelos Arcillosos: características, qué cultivar y cómo mejorar este suelo | Balam». Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://balam.es/suelo-arcilloso-caracteristicas-que-cultivar-y-como-mejorar-este-suelo/>
- [16] «¿Qué son los polímeros y cómo se clasifican?», ZS España. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-son-los-polimeros-y-como-se-clasifican/>
- [17] «Copolímeros acrílicos - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos». Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/copol%C3%ADmeros%20acr%C3%ADlicos.html>
- [18] «NTP 339.127 - Contenido de Humedad | PDF | Humedad | Agua», Scribd. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/213648347/NTP-339-127-Contenido-de-Humedad>
- [19] «NTP339.141 1999 Proctor Modificado | PDF | Aluminio | Densidad», Scribd. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/263730265/NTP339-141-1999-Proctor-Modificado>
- [20] «Astm D 1883-16 | PDF | Nature», Scribd. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/376102574/ASTM-D-1883-16>