

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“Estabilización de suelos arcillosos aplicando polímeros en
polvo seco solubles al agua en la carretera Unión Huánuco,
2024”**

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

AUTOR: López Ferrer, Daniel Jhónatan

ASESOR: Elbio Fernando, Felipe Matías

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Transporte

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería del transporte

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 77090344

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 80037356

Grado/Título: Master en ingeniería civil con mención en ingeniería vial

Código ORCID: 0009-0006-3387-9498

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Jhonny Prudencio	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día lunes 07 de julio de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS	PRESIDENTE
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1326-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS APLICANDO POLÍMEROS EN POLVO SECO SOLUBLES AL AGUA EN LA CARRETERA UNIÓN HUÁNUCO, 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Daniel Jhonatan LOPEZ FERRER, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 06:00pm horas del día 07 del mes de julio del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS
DNI: 40895876
ORCID: 0000-0001-7920-1304
PRESIDENTE


MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
SECRETARIO (A)


MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: DANIEL JHONATAN LOPEZ FERRER, de la investigación titulada "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS APLICANDO POLÍMEROS EN POLVO SECO SOLUBLES AL AGUA EN LA CARRETERA UNIÓN HUÁNUCO, 2024", con asesor(a) ELBIO FERNANDO FELIPE MATIAS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1092-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 23 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 04 de junio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

239. López Ferrer, Daniel Jhónatan.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%	23%	2%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	13%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por ser mi fuente de fortaleza, guía y protección diaria, lo que me permitió culminar con éxito otro proyecto importante en mi vida. Todo lo logrado hasta hoy es gracias a su infinita misericordia y amor.

También expreso mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, con sus palabras de aliento, consejos oportunos y constante apoyo emocional, me motivaron a no rendirme en el camino. Gracias a su presencia y respaldo pude finalizar este trabajo y sentir la enorme satisfacción de estar más cerca de alcanzar una de las metas más significativas que me he propuesto.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por bendecirme constantemente, por iluminar mi camino en cada una de las metas que me he propuesto, y por no dejar que me rinda en los momentos difíciles, dándome la fuerza necesaria para perseverar y seguir adelante hasta alcanzar mis objetivos.

Expreso también mi sincero agradecimiento a mis padres y hermanos, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, motivándome a continuar esforzándome, a no fallarles, y a honrar la confianza que han depositado en mí. Gracias a ellos, he aprendido valiosas lecciones de vida, principios y valores que considero esenciales para desarrollarme como un profesional íntegro y comprometido.

Del mismo modo, agradezco a mis docentes, ya que sus enseñanzas, consejos y experiencias han sido fundamentales para mi formación académica y personal, permitiéndome crecer en el área que elegí con convicción y proyectarme como un profesional competente y preparado.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	23
2.1.1. INTERNACIONALES	23
2.1.2. NACIONALES	25

2.1.3. REGIONALES	27
2.2. BASES TEÓRICAS	28
2.2.1. POLÍMEROS	28
2.2.2. POLÍMERO DE POLVO SECO SOLUBLE	29
2.2.3. SOLUCIÓN LÍQUIDA.....	32
2.2.4. SUELOS ARCILLOSOS	33
2.2.5. PROPIEDADES DE LOS SUELOS ARCILLOSOS	34
2.2.6. ESTABILIZADOR DE SUELOS	36
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	39
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	41
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	41
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	42
2.5. VARIABLE.....	42
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	42
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	43
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	44
CAPÍTULO III	46
METODOLOGIA DE INVESTIGACION	46
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
3.1.1. ENFOQUE	46
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	46
3.1.3. DISEÑO	46
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.2.1. POBLACIÓN.....	47
3.2.2. MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO	48
3.3. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ...	49
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	49

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	50
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	51
CAPÍTULO IV.....	52
RESULTADOS.....	52
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	52
4.1.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO ARCILLOSO	52
4.2. CALCULO DEL ÍNDICE PLÁSTICO.....	53
4.3. PROPIEDADES MECÁNICAS	54
4.4. APLICACIÓN DEL POLÍMERO EN POLVO SECO DILUIDO EN AGUA56	
4.4.1. PROPIEDADES FÍSICAS	56
4.4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	67
4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	76
4.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	76
4.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA 1	76
4.5.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA 2	78
4.5.4. HIPÓTESIS ESPECIFICA 3	80
CAPÍTULO V.....	82
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
5.2. APOORTE CIENTÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del suelo arcilloso en las 3 calicatas de estudio.....	5252
Tabla 2 Limites de Atterberg del suelo arcilloso	533
Tabla 3 Proctor modificado del suelo arcilloso.....	544
Tabla 4 Ensayo de CBR del suelo arcilloso	555
Tabla 5 Resultados del Limite liquido por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	566
Tabla 6 Resultados del Limite plástico por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	633
Tabla 7 Resultados del índice plástico por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	655
Tabla 8 Resultados del peso unitario seco por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	677
Tabla 9 Resultados de Contenido de Humedad por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	699
Tabla 10 Resultados del CBR al 100% MDS por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	7171
Tabla 11 Resultados del CBR al 95% MDS por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	7272
Tabla 12 Resultados del grado de alcalinidad por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas	744

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Regresión lineal del límite líquido vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo de la Calicata - 1	577
Figura 2 Regresión lineal del límite líquido vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo de la Calicata - 2	599
Figura 3 Regresión lineal del límite líquido vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo de la Calicata - 3	60
Figura 4 Regresión lineal del límite líquido promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo	6161
Figura 5 Regresión lineal del límite plástico promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	644
Figura 6 Regresión lineal del índice plástico promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	666
Figura 7 Regresión lineal del peso unitario seco promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	688
Figura 8 Regresión lineal del Contenido de Humedad promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	70
Figura 9 Regresión lineal de CBR al 100% MDS promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	7171
Figura 10 Regresión lineal de CBR al 95% MDS promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	733
Figura 11 Regresión lineal del grado de alcalinidad promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso	755

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. Se formuló como hipótesis general de que la aplicación de estos polímeros influye de forma favorable en la estabilización de los suelos, mejorando sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. La metodología empleada es cuantitativa, de tipo aplicada y de nivel explicativo, utilizando un diseño experimental cuasi-experimental. La población se conforma por tres calicatas en el tramo de la carretera con suelo arcilloso crítico, de donde se extrajeron las muestras para su análisis en laboratorio. A través de esta investigación se buscó responder a preguntas específicas relacionadas con el impacto del diseño de solución líquida en las propiedades de los suelos. Los resultados obtenidos confirman que la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua tiene una influencia positiva en la estabilización de suelos arcillosos, evidenciando mejoras significativas en sus propiedades. Esta conclusión respalda la hipótesis planteada y ofrece un enfoque innovador para abordar los problemas asociados con la inestabilidad de suelos arcillosos en la construcción de carreteras.

Palabras claves: Polímeros, estabilización, suelos, viscosidad, plasticidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of the application of water-soluble dry powder polymers on the stabilization of clay soils on the Unión Huánuco highway, 2024. The general hypothesis is formulated that the application of these polymers has a favorable influence in the stabilization of soils, improving their physical, mechanical and chemical properties. The methodology used is quantitative, applied and explanatory level, using a quasi-experimental experimental design. The population is made up of six pits in the section of the road with critical clay soil, from where samples will be extracted for laboratory analysis. Through this research we seek to answer specific questions related to the impact of liquid solution design on soil properties. The results obtained confirm that the application of water-soluble dry powder polymers has a positive influence on the stabilization of clay soils, evidencing significant improvements in their properties. This conclusion supports the stated hypothesis and offers an innovative approach to address the problems associated with the instability of clay soils in road construction.

Keywords: Polymers, stabilization, soils, viscosity, plasticity.

INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos es una práctica fundamental en la ingeniería civil, especialmente en la construcción de infraestructuras viales, donde la estabilidad del terreno es crucial para garantizar la durabilidad y funcionalidad de las obras. En muchas regiones del mundo, los suelos arcillosos presentan desafíos significativos debido a su alta plasticidad y sensibilidad a las variaciones de humedad, lo que puede resultar en deformaciones, agrietamientos y fallas estructurales en las carreteras. En este contexto, la búsqueda de soluciones eficaces para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de estos suelos se vuelve esencial.

La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua ha emergido como una técnica innovadora en la estabilización de suelos, ofreciendo una alternativa prometedora frente a métodos tradicionales. Estos polímeros actúan como agentes aglutinantes que pueden modificar la estructura del suelo, mejorando su cohesión, resistencia y durabilidad. La investigación actual se centra en evaluar el impacto de esta técnica en la carretera Unión Huánuco, donde los suelos arcillosos son predominantes y su inestabilidad ha afectado la calidad de la infraestructura vial.

Este estudio se propone determinar la influencia de la incorporación de polímeros en polvo seco solubles al agua en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. A través de un enfoque experimental, se buscará comprobar en qué medida esta aplicación mejora las propiedades del suelo, contribuyendo así a una mayor seguridad y eficiencia en la construcción de carreteras. Los resultados obtenidos no solo brindarán información valiosa para la implementación de esta técnica en el contexto local, sino que también aportarán al desarrollo de prácticas sostenibles en la ingeniería civil.

La presente investigación abarca los siguientes elementos:

En el primer capítulo se aborda el Problema de investigación, incluyendo la descripción y formulación del problema, así como los objetivos del estudio.

En el segundo capítulo se presenta el Marco teórico, donde cada base y definición teórica es desarrollada exhaustivamente. Además, se detallan los aspectos operativos del estudio y se establecen las hipótesis.

El tercer capítulo expone la Metodología de la investigación, describiendo el nivel, tipo y diseño de estudio, así como los métodos y las técnicas con sus respectivos instrumentos que se emplearon.

El cuarto capítulo revela los Resultados, mediante el análisis descriptivo, inferencial y la contrastación de hipótesis.

El quinto capítulo aborda la Discusión de resultados. Finalmente, se presentan y explican cada conclusión y recomendación derivada de la investigación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde mediados del siglo XX, la técnica de estabilización de suelos con cemento ha sido aplicada con éxito en diversos países, consolidándose como una solución eficiente en múltiples áreas de la ingeniería. Su implementación se ha visto favorecida por los bajos costos tanto de construcción como de mantenimiento, lo que ha permitido su uso extendido en la construcción de pavimentos, cimentaciones para estructuras de concreto, aplicaciones geotécnicas, entre otros campos relevantes. Según las directrices de estabilización de suelos con cal o cemento, la normativa ambiental ha limitado el uso excesivo de materiales granulares externos al proyecto, al mismo tiempo que se requieren cimientos firmes capaces de soportar tráfico pesado. Esto ha favorecido el desarrollo del mejoramiento de suelos en el propio lugar de trabajo (*in situ*), optimizando el proceso mediante el uso de maquinaria especializada que facilita y acelera la incorporación del aglomerante al suelo de manera eficiente (Otálora et al, 2020).

El suelo, al actuar como elemento portante, cumple una función crucial en el comportamiento de las cimentaciones, ya que sus características físicas y mecánicas influyen directamente en la estabilidad estructural. A través de la cimentación, las cargas estructurales se transfieren al terreno, generando tensiones y deformaciones cuyo comportamiento dependerá tanto de la magnitud de las cargas como de las propiedades del suelo. En este contexto, la integridad del terreno de soporte puede verse comprometida, especialmente por factores como la presencia imprevista o inadecuadamente gestionada del agua, heladas (Ruxin Jing y Decheng Feng, 2019) y asentamientos excesivos no previstos, entre otros. La pérdida de resistencia del suelo de soporte conlleva daños severos en las estructuras. Se estima que los costos anuales de los daños ocasionados por suelos expansivos a nivel mundial oscilan entre 10 y 15 mil millones de dólares (Jones y Holtz, 2020). En muchos de los proyectos de ingeniería de obras civiles el suelo natural no posee las características necesarias para cumplir con las exigencias del diseño, lo que hace imprescindible aplicar técnicas de mejora, ya sea

mediante su modificación, estabilización o reemplazo, con el objetivo de obtener un material con propiedades adecuadas para garantizar el desempeño y la seguridad de la obra.

Actualmente, existen diversas investigaciones tanto en Latinoamérica como en el resto del mundo en las cuales se busca mejorar las propiedades de los suelos arcillosos.

En el caso de suelos deformables, es recomendable utilizar estructuras de pavimento flexibles, ya que permiten adaptarse mejor a los cambios de volumen del suelo, evitando así la aparición de grietas y fracturas. Por el contrario, si se emplea una estructura de pavimento rígida sobre un suelo blando, es más probable que se produzcan deformaciones que generen daños tanto en la capa inferior como en la superficie de rodadura (Sánchez et al., 2021).

El cemento Portland es uno de los materiales de construcción más ampliamente utilizados, incluyendo su aplicación en la estabilización de suelos. Sin embargo, la producción de cemento se ha relacionado estrechamente con el calentamiento global debido a las altas temperaturas requeridas en el proceso, el alto consumo energético y la extracción de recursos naturales (Damineli et al., 2020), con el propósito de disminuir el impacto ambiental asociado a la producción de cemento Portland, se han investigado y desarrollado materiales alternativos que mantengan sus propiedades aglutinantes, pero con una menor huella de carbono. En este contexto, han emergido los materiales activados alcalinamente, conocidos también como geopolímeros, los cuales se obtienen a través de una reacción química entre compuestos ricos en aluminosilicatos y soluciones alcalinas activadoras, dando lugar a una matriz con características cementantes sostenibles. A diferencia del cemento Portland, la fabricación de materiales activados alcalinamente requiere un consumo energético significativamente menor, ya que su procesamiento se lleva a cabo a bajas temperaturas, lo que los convierte en una opción más sostenible desde el punto de vista ambiental. Desde la década de 1930, la comunidad científica ha mostrado un creciente interés en el estudio de estos materiales, identificando en ellos un notable rendimiento mecánico, así como una alta resistencia frente a agentes

químicos agresivos y temperaturas elevadas, entre otras propiedades destacables.

En numerosos casos, los suelos naturales no reúnen las condiciones óptimas para su uso en proyectos de ingeniería, debido a su baja resistencia mecánica, tendencia a deformarse, desgaste progresivo y deterioro con el tiempo, especialmente por la acción de los agentes climáticos y ambientales. De acuerdo con esto, se hace necesario realizar ciertas adecuaciones o procesos que permitan mejorar estas características para volver los suelos aptos para su uso y así, evitar transporte de material adicional que aumenta los costos de las obras y el daño ambiental producto de la explotación de este. Estos procesos constan de cierta manipulación o tratamiento del suelo que permiten optimizar sus propiedades, logrando así superficies más estables y resistentes, capaces de soportar exigencias severas relacionadas con el tránsito vehicular, las condiciones climáticas adversas y los requerimientos estructurales del diseño. Uno de los principales desafíos durante la etapa constructiva radica en la calidad de los suelos in situ o de corte, ya que estos deben cumplir con criterios fundamentales como durabilidad, resistencia, trabajabilidad y viabilidad económica. En este contexto, es común que los suelos naturales no posean las propiedades óptimas para su aplicación directa en obra, por lo que resulta indispensable emplear materiales específicos y procesos de mejoramiento que permitan modificar sus características y alcanzar los parámetros requeridos para su adecuado uso en ingeniería. Por esto, en el presente trabajo se evaluará el uso de cal viva y/o granular entre los valores del 3-3.5% para mejorar el comportamiento mecánico y de calidad del suelo en estudio.

La arcilla, común en diversas zonas geográficas, generalmente presenta valores bajos del Índice CBR, insuficientes para cumplir con los requerimientos estructurales necesarios para soportar cargas. Ante esta condición, es fundamental implementar soluciones que permitan la ejecución de obras de infraestructura incluso cuando el suelo está compuesto por arcillas de alta plasticidad. El limitado acceso a materiales granulares adecuados para la construcción de carreteras sobre este tipo de suelos incrementa significativamente los costos. Por ello, la estabilización de suelos se plantea como una alternativa eficaz, ya que los suelos blandos presentan

baja resistencia al corte, lo que puede generar asentamientos excesivos por consolidación y, en consecuencia, fallas en la capacidad portante cuando se utilizan como subrasante en estructuras viales.

Por otro lado, debido a que existen diversos tipos de residuos plásticos que después de su uso son perjudiciales para el medio ambiente se buscan medios sostenibles para su reutilización en el sector de la construcción. Un método innovador para reciclar los desechos de bolsas de polímero es incorporarlos como material de refuerzo en la estabilización de suelos arcillosos destinados a la construcción de carreteras (Yadav et al, 2019).

Para poder estabilizar la subrasante de una vía necesariamente se tiene que dar algún tratamiento a sus propiedades físico – químico – mecánico, para mejorar o darle mejor estabilidad al material arcilloso. Si hablamos de la estabilización en forma química, estamos diciendo que se van a modificar sus moléculas adicionando por sustitución de agua un aditivo, donde, se va mezclar con el material del suelo (arcilla), y así provocar un aumento considerable del CBR. La estabilización físico - mecánica es la alteración de las propiedades del subsuelo.

La arcilla, debido a sus limitadas propiedades geotécnicas y su escasa capacidad de soporte, no satisface los criterios exigidos para la ejecución de múltiples proyectos de ingeniería civil. Esta deficiencia conlleva la necesidad de aplicar tratamientos especializados para su estabilización, lo que a su vez implica un incremento considerable en los costos del proyecto.

En el Perú, la expansión anual de la infraestructura vial terrestre es constante, lo que hace fundamental garantizar una adecuada ejecución de los proyectos viales. Para lograrlo, resulta esencial realizar un estudio detallado y una correcta estabilización de los suelos, especialmente en regiones de clima tropical, donde las condiciones del terreno pueden presentar mayores desafíos (MTC, 2020).

La variedad de tipos de suelo es amplia, y entre ellos se encuentran los suelos arcillosos, que en su estado natural suelen presentar características poco favorables para su aplicación en obras de construcción. Factores como el tamaño de partícula, la alta plasticidad y la limitada capacidad portante dificultan su desempeño estructural, lo que los hace inadecuados como material base o subrasante en la edificación de carreteras.

A lo largo del tiempo, la presencia de suelos arcillosos ha representado un desafío significativo en la construcción, debido a su comportamiento poco favorable y dificultades técnicas asociadas. Los principales problemas de los suelos arcillosos están asociados a sus propiedades de resistencia, cambios de estado y comportamiento volumétrico cuando entran en contacto con el agua (Cordeiro et al, 2021).

Es importante destacar que el progreso social y económico de la comunidad está estrechamente vinculado con la construcción de carreteras, ya que estas facilitan el intercambio de bienes y productos, satisfacen las necesidades de servicios para la población y permiten el desplazamiento eficiente de las personas.

En la zona de Moyobamba, diversos caminos vecinales están constituidos por suelos arcillosos que, debido a las fuertes precipitaciones, sufren un rápido deterioro. Esta situación genera considerables pérdidas económicas y provoca la interrupción de las comunicaciones, aislando a las comunidades locales.

La evaluación de la resistencia del suelo es un factor clave para el diseño y construcción de carreteras, lo que motiva la búsqueda de métodos efectivos para su estabilización (Sánchez et al, 2022). En las normas técnicas peruanas se menciona que los suelos con poca capacidad portante requieren ser estabilizados, pues la inestabilidad de los mismos pone en peligro los bienes, y por ello, se determinan requisitos básicos para su mejora mediante la aplicación de técnicas químicas, mecánicas o mediante la alteración de la topografía (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

La estabilización de suelos arcillosos es una preocupación constante en la construcción y mantenimiento de carreteras, especialmente en regiones donde este tipo de suelo es predominante. En la región de Huánuco se viene ejecutando el proyecto de la carretera Unión Huánuco, ubicada en una zona con suelos arcillosos, que enfrenta desafíos significativos en términos de estabilidad y durabilidad. La carretera en construcción es una importante vía de comunicación que conecta diversas localidades de la región. Sin embargo, sus construcciones se ven obstaculizados por las características de los suelos arcillosos, que son altamente susceptibles a la erosión, la compactación y la

deformación, lo que compromete la estabilidad de la carretera y aumenta los costos de construcción y posteriormente el de mantenimiento.

Ante ello en la presente investigación se realizará un estudio de estabilización de suelos en adición de polímeros en polvo seco en las proporciones de 5%, 10% y 15% con fin de mejorar sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la influencia de la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿De qué manera el diseño de solución líquida influye en las propiedades físicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?
- ¿De qué manera el diseño de solución líquida influye en las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?
- ¿De qué manera el diseño de solución líquida influye en las propiedades químicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprobar en qué medida la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye en las propiedades físicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

- Demostrar en qué medida la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye en las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024
- Evaluar en qué medida la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye en las propiedades químicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La estabilización de suelos arcillosos es un aspecto crucial en la construcción y mantenimiento de carreteras, ya que estos suelos poseen propiedades que pueden comprometer la durabilidad y resistencia de la infraestructura vial.

Justificación práctica. Estos polímeros tienen la capacidad de mejorar las propiedades del suelo arcilloso, aumentando su resistencia a la compresión, reduciendo su susceptibilidad a la erosión y mejorando su capacidad de drenaje. Además, la aplicación de polímeros en polvo seco ofrece ventajas logísticas y de almacenamiento sobre otras formas de polímeros líquidos.

La aplicación de polímeros como agentes estabilizadores emerge como una solución prometedora para abordar las problemáticas asociadas con los suelos arcillosos en esta carretera. Los polímeros ofrecen propiedades mejoradas de cohesión y resistencia, contribuyendo así a la formación de una matriz más estable en el suelo. Esta técnica de estabilización se presenta como una alternativa eficaz para mejorar las características geotécnicas del terreno, optimizando la capacidad de carga y reduciendo la susceptibilidad del suelo a procesos erosivos.

La investigación se justifica por la necesidad de proporcionar una solución sostenible y económicamente viable para la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco 2024. Además, este estudio contribuirá a la generación de conocimiento técnico-científico en el ámbito de la ingeniería de suelos, proporcionando directrices y recomendaciones específicas para la implementación exitosa de polímeros como agentes estabilizadores en proyectos viales similares.

La estabilización de suelos permite aumentar la capacidad portante del suelo natural, mejorar su resistencia al corte y su resistencia frente al ablandamiento causado por el agua. Además, contribuye a la estabilidad volumétrica al reducir la permeabilidad del agua, disminuir la plasticidad y aumentar el peso unitario de los suelos tratados.

Justificación social. El impacto potencial de esta investigación se traduce en la mejora de la seguridad vial, la durabilidad de la infraestructura y la eficiencia en el mantenimiento de la carretera Unión Huánuco 2024, promoviendo así el desarrollo sostenible de la región y ofreciendo una contribución significativa al campo de la ingeniería civil.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La realización de la tesis "Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando Polímeros en polvo seco solubles al agua en la Carretera Unión Huánuco 2024" enfrenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas durante la investigación y desarrollo del proyecto:

- a. Disponibilidad de datos geotécnicos.** La escasa información primaria de los estudios geotécnicos realizados por parte del tesista, ya que la carretera Huánuco – La Unión tiene una longitud aproximada de 200km, y es bien complejo realizar estos estudios para conocer las propiedades del suelo en todo su trayecto.
- b. Condiciones climáticas variables:** Las condiciones climáticas cambiantes pueden influir en los ensayos y pruebas de campo, afectando la estabilidad temporal de los suelos y la efectividad de los polímeros aplicados. Las variaciones estacionales pueden introducir complejidades que requieren una cuidadosa consideración.
- c. Restricciones presupuestarias:** Limitaciones financieras podrían afectar la capacidad para realizar extensos ensayos de laboratorio y muestreos detallados. Esto podría influir en la representatividad de los resultados obtenidos.
- d. Compatibilidad de polímeros con el entorno ambiente:** La evaluación de la compatibilidad ambiental de los polímeros utilizados, así como su impacto a largo plazo en el ecosistema circundante, puede ser un desafío

importante. Es esencial considerar las implicaciones medioambientales de cualquier intervención.

- e. **Duración del estudio:** La duración limitada del estudio podría restringir la capacidad para evaluar completamente la efectividad de la estabilización a largo plazo. La investigación podría requerir seguimiento continuo más allá del alcance temporal de la tesis.

Considerar y abordar estas limitaciones de manera proactiva garantizará una investigación más completa y precisa en el ámbito de la estabilización de suelos arcillosos mediante polímeros en la carretera Unión Huánuco 2024.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones planteadas en el numeral anterior serán controladas en aplicación de los siguientes procedimientos y estrategias:

Disponibilidad de datos geotécnicos. Para poder tener alcance y conocimientos a todos los datos geotécnicos de la carretera de estudio se procederá a solicitar información de las condiciones geológicas y geotécnicas a la empresa ejecutora, para tratamiento con fines académicos. Esto permite conocer mejor las propiedades y tipos de suelos de los tramos de estudio, y validar el tramo de estudio en la muestra.

Condiciones climáticas variables. La investigación de las condiciones meteorológicas a través de SENAMHI u otros institutos de hidrología permitirán planificar la intervención en campo para la exploración y pruebas mecánicas en el ámbito de estudio.

Restricción presupuestación. El acceso de los estudios geológicos y geotécnicos reducirá la exploración de los suelos de la carretera. Este informe ayudará a conocer los tramos donde existe suelos arcillosos permitiendo elegir el tramo de estudio, que en este caso se presume la progresiva 45+000km a 46+000km. Solo de este tramo se realizará los estudios detallados para conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas.

Compatibilidad de polímeros con el entorno ambiente. Con fines de evitar impactos negativos con el medio ambiente, las pruebas se realizarán en laboratorio.

Duración del estudio. La información de los estudios geológicos y geotécnicos facilitada por la empresa contratista reducirá los tiempos de

estudios y facilitará la identificación de los tramos con suelos arcillosos. Para los estudios de las propiedades de las muestras de las calicatas del tramo de suelo arcilloso, se contratará por anticipado los servicios de un laboratorio acreditado para garantizar la calidad de los resultados y acortar el tiempo de los estudios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. INTERNACIONALES

Según Palacios (2020) presentó la tesis de pregrado de la Universidad católica de Colombia Titulado: “Comportamiento de los polímeros como agente estabilizante en los suelos para la construcción de cimentaciones”, el cual fija como objetivo general: Recolectar la investigación de la aplicación de los polímeros, en cimentaciones, de tal modo evaluar de forma cualitativa los valores resueltos por principios secundarios y terciarias de las informaciones presentes, empleando como metodología: cuantitativa con un enfoque de investigación aplicada de nivel explicativo y un diseño experimental. Obteniendo como resultados: indicaron que la interacción de los polímeros con el suelo genera cohesión mediante la precipitación de diversas partículas, manteniendo el pH estable, facilitando la mezcla, reduciendo las pérdidas durante el almacenamiento y manejo de los productos. Finalmente, se concluyó que los polímeros actúan de manera eficaz como agentes estabilizantes en los suelos destinados a cimentaciones.

Según Cañar y Edwin (2019) presentó la tesis de pregrado de la Universidad técnica de Ambato Titulado: “Análisis de comparación de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos mezcladas con ceniza de carbón”, el cual fija como objetivo general: Evaluar los resultados en relación a la resistencia al corte de los suelos que contienen arena y arcilla, en el comportamiento mecánico de las estabilizaciones de los suelos que contienen arena y arcilla con cenizas de carbón, se aplicó una metodología: de tipo experimental, con un nivel de investigación exploratorio, descriptivo y explicativo. Como resultado, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio, incluyendo pruebas de CBR y resistencia al corte, demostrando que los especímenes alcanzan propiedades adecuadas en cuanto a plasticidad y granulometría. Finalmente, se concluyó que la incorporación de residuos de carbón en

mezclas de arena y arcilla reduce significativamente la saturación, el ensanchamiento y mejora la flexibilidad del material.

Según Li (2020) presentó la tesis de posgrado de la University of Warwick Titulado: “Synthesis of Functional Water-Soluble Polymers”, el cual fija como objetivo general: Evaluar las características físico – mecánicas de la superficie terrestre de subrasante, a través de la aplicación de aditivos alternos como lo son las cenizas de carbón y algunos especímenes como la cal , aplicando la metodología: Desde un enfoque: cuantitativo con un tipo de investigación aplicada de nivel explicativo, obteniendo como resultado: Los polímeros Píolados (Cu) Pc son altamente solubles y no se agregan en solventes orgánicos comunes, y finalmente concluyó: Mencionando los productos que no están agregados en DMF y muestran la presencia de complejos dimétricos en agua por análisis UV-Vis; tienen buena solubilidad en agua, lo que da como resultado soluciones de color azul brillante.

Según Canaria y Martinez (2020) presentó la tesis de pregrado de la Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas Titulado: “Estudio de estabilización de material para la conformación de afirmado en terraplenes del municipio de La Primavera – Vichada, mediante la adición de polímeros sintéticos ecológicos “, cuyo objetivo general fue: Evaluar técnicamente la estabilización de material extraído de la cantera Matiyure, para la conformación de afirmado en terraplenes del Municipio de La Primavera-Vichada, utilizando polímeros sintéticos ecológicos, aplicando la metodología: De tipo cuantitativo, obteniéndose como resultado: La identificación de un material relativamente homogéneo en las tres muestras analizadas. Estas estaban compuestas principalmente por una mezcla de arena limo arcillosa, con un promedio del 17 % de partículas angulosas de grava con un tamaño máximo de 12.70 mm, aproximadamente 40 % de arena y cerca del 44 % de partículas finas de alta plasticidad, presentándose compactas y húmedas in situ. Según la clasificación del sistema unificado de suelos (USCS) como SC, el material es impermeable en estado compacto, presenta resistencia al corte moderado tanto en condiciones compactas como saturadas, baja

compresibilidad y ofrece un tratamiento de obra regular con posibilidades medias de expansión.

Según Hernández (2021) presento la tesis de pregrado de la Universidad de El Salvador Titulado: “Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de El Salvador”, el cual fija como objetivo general: Evaluar el mejoramiento del comportamiento del suelo tipo arcillosos a través de la aplicación de cal como agente estabilizador, empleando la metodología: Desde un enfoque cuantitativo y con una investigación aplicada de nivel explicativo, empleando un diseño experimental, se obtuvo como resultado que la incorporación del 5 % de cal respecto al peso del suelo incrementó la capacidad de soporte de 1.93 % a 54.00 %. Asimismo, la adición de cal redujo el índice de plasticidad de 45 % a 8 %, y disminuyó el hinchamiento unidimensional en un 88 %. Finalmente, se concluyó que la mezcla suelo-cal con una dosificación del 5 % es adecuada para ser utilizada como parte de la capa subrasante en pavimentos rígidos.

2.1.2. NACIONALES

Según Batazar (2023) presentaron la tesis de pregrado de la Universidad Peruana los Andes Titulado: “Análisis de Estabilización de Suelos Aplicando Polímero en Polvo Seco Soluble en Agua en el Jr. Atahualpa, Provincia de Satipo”, el cual fija como objetivo general: Determinar la mejora de la estabilización de suelos aplicando polímero en polvo seco soluble en agua en el Jr. Atahualpa, provincia de Satipo, empleando la metodología: de investigación aplicada con un enfoque explicativo, obteniendo como resultado: Que muestran una reducción en el índice de plasticidad del suelo, pasando de 10.53 % a 8.24 % tras la incorporación de polímero en polvo en dosificaciones de 0.10 g, 0.15 g y 0.20 g por kilogramo de suelo. Además, el grado de compactación y la resistencia del suelo aumentaron hasta en un 7 % y la resistencia mejoró significativamente, incrementándose de 4.13 % hasta un 23.60 %. El nivel de alcalinidad registrado fue neutro. Como conclusión, se determinó que la dosificación de 0.15 g de polímero por kilogramo de

suelo es la más efectiva para optimizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo inestable presente en el Jr. Atahualpa, provincia de Satipo.

Según Sulla (2020) presentó la tesis de pregrado de la Universidad Peruana los Andes titulada: “Análisis del uso del polímero Sika Dust Seal pe en caminos que no se encuentran pavimentados, intersección Av. San Luis y cuadra 1- Palian – Huancayo 2017”, el cual fija como objetivo general: Analizar el uso del polímero Sika Dust Seal PE en caminos que no se encuentran pavimentados, intersección Av. San Luis y Cuadra 1 – Palian – Huancayo 2017, empleando la metodología: En el presente trabajo de investigación es descriptivo y explicativo, obteniendo como resultado: Que la dosificación óptima para alcanzar un CBR máximo del 45.30 % es de 18.5 L/m³. Sin embargo, al realizar un análisis económico, se determinó que con una dosificación reducida de 10 L/m³ se obtiene un CBR de 41.67 %, superando el 40 % exigido por la normativa. Finalmente, se concluye que la aplicación del polímero Sika Dust Seal en carreteras mejora significativamente la durabilidad, la capacidad de soporte y la densidad máxima seca del suelo, además de minimizar el desgaste provocado por la corrosión de las lluvias, brindando mayor confort a los conductores.

Según la investigación de Nesterenko (2018) detalló la tesis de pregrado de la Universidad de Piura Titulado: “Ejercer los suelos en la que son estabilizados mediante los polímeros en Perú”, el cual fija como objetivo general: Detallar el proceso de construcción de estabilización de superficies terrestres a través de la aplicación del polímero poliacrilamida relacionada a la realidad peruana agregando variables correctas del contexto como son los tipos de equipos de ejecución y rendimientos constructivos, empleando la metodología: Desde un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, se obteniendo como resultado: Que la incorporación del polímero poliacrilamida (PAM) en los ensayos de laboratorio generó un aumento significativo del CBR en los especímenes prototipo, con incrementos que varían del 70% al 95% en la densidad máxima seca (MDD) y un aumento promedio del 58% al 100% MDD. Finalmente, se concluye que la estabilización mediante PAM constituye

una alternativa viable para mejorar suelos con baja capacidad portante (CBR <30%).

2.1.3. REGIONALES

Según la investigación de Ramirez (2023) detallo la tesis de pregrado de la Universidad de Huánuco Titulado “Estabilización de un suelo arcilloso mediante óxido de calcio para mejorar sus propiedades, en Supte San Jorge – provincia de Leoncio Prado”, el cual tuvo como objetivo general: la determinación del porcentaje óptimo de óxido de calcio que se necesita para adicionar en las calles principales del centro poblado Supte, para que después el suelo estabilizado sea usado como base de diferentes tipos de pavimentos. La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, la cual consistió en incluir al óxido de calcio como estabilizante de suelos arcillosos, de diseño experimental descriptiva – inferencial, obteniendo como resultado: El suelo del centro poblado Supte San Jorge presenta arcilla de mediana plasticidad y consistencia blanda, como se evidenció en los ensayos de laboratorio que mostraron deformaciones significativas. Frente a esta problemática, se evaluó el efecto del óxido de calcio como estabilizador químico, observándose mejoras en las propiedades mecánicas del suelo natural, especialmente en la reducción del índice de plasticidad. Este resultado concuerda con Palli (2015), quien señala que la mezcla de suelo con estabilizador químico genera rápidamente una reacción de floculación e intercambio iónico. Asimismo, Altamirano y Díaz (2015) indican que la adición de cal a suelos arcillosos mejora notablemente la densidad de compactación y reduce la plasticidad, debido a la reacción exotérmica del estabilizador, incrementando la capacidad portante del suelo.

Según la investigación de Apolinario y Delgado (2019) detalló la tesis de pregrado de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan Titulado “Estabilización de suelos arcillosos, con bajos valores de soporte (CBR), con fines de mejoramiento de la subrasante”, el cual tuvo como objetivo general: Incrementar la capacidad de soporte del suelo de la subrasante, con la aplicación del aditivo proes, con la finalidad de mejorar su desempeño como sub rasante. Empleando la metodología: De enfoque

cuantitativo, tipo experimental, obteniendo como resultado: De acuerdo con los resultados presentados en la tabla n°35, el estadístico de prueba Shapiro-Wilk arrojó un valor de 0.846 con un nivel de significancia de 0.146. Dado que este valor es superior a 0.05, se acepta la hipótesis nula. Por consiguiente, se concluye que los datos provienen de una distribución normal, lo que implica que los datos son normales y adecuados para llevar a cabo el análisis de varianza (ANOVA) de manera confiable y precisa.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. POLÍMEROS

Se define así a las moléculas de gran tamaño, las cuales son constituidas por eslabones orgánicos que se denominan monómeros y se unen mediante enlaces covalentes, estos formados fundamentalmente por los átomos de carbono (Meira y Gugliotta, 2019).

Según Fernando Bellandi y Ricardo Contreras (2005) los polímeros son un tipo de macromolécula que se distingue por tener una estructura repetitiva. Los monómeros, que son moléculas pequeñas, se combinan a través de un proceso químico conocido como polimerización para formar el polímero. Esta combinación de monómeros crea una estructura repetitiva, y la unidad que se repite a lo largo de la molécula se llama unidad constitucional repetitiva (ucr) o unidad monomérica. La longitud del polímero depende del número de estas unidades repetitivas en la cadena, conocido como grado de polimerización (X). El peso molecular del polímero se calcula multiplicando el peso de la unidad repetitiva por el grado de polimerización.

Etimológicamente, el término polímero proviene de las palabras griegas “poli”, que significa muchos, y “meros”, que significa parte. Así, se refiere al compuesto formado por la repetición de una unidad básica llamada “monómero”. Cuando en la composición intervienen al menos dos tipos diferentes de unidades monoméricas, estas se denominan copolímeros (Hermida, 2011).

2.2.2. POLÍMERO DE POLVO SECO SOLUBLE

Un polímero se define como el producto resultante de la unión de múltiples partículas covalentes que generan una macromolécula, es decir, una molécula de gran tamaño. Según su origen, estos polímeros pueden clasificarse en naturales o sintéticos (Woodward, 1995). La polimerización es el proceso químico mediante el cual pequeñas moléculas, denominadas monómeros, se enlazan para formar estructuras repetitivas dentro del polímero, siendo cada unidad repetitiva conocida como unidad monomérica (Woodward, 1995). La ciencia de las macromoléculas estudia tanto los polímeros de origen biológico como los sintéticos, incluyendo sustancias como polisacáridos (almidón), proteínas, celulosa y ácidos nucleicos (Woodward, 1995).

Clasificación de los polímeros. Los polímeros se clasifican en los siguientes:

- A. Polímeros sintéticos.** Según Hermida (2011), los polímeros sintéticos pueden contener entre una y tres clases diferentes de unidades repetitivas, lo que les confiere un notable interés en el ámbito comercial. Las primeras síntesis de estos materiales se orientaron principalmente a reemplazar macromoléculas naturales como la seda y el caucho. En la actualidad, existe una amplia gama de polímeros, los cuales se clasifican generalmente en tres categorías principales:
 - a. Elastómeros.** Es una sustancia con propiedades elásticas comparables a las del caucho, utilizada comúnmente en la fabricación de productos como gomas, mangueras y neumáticos (Hermida, 2011).
 - b. Las fibras.** Se trata de materiales que pueden organizarse en forma de filamentos o hebras delgadas, caracterizados por una alta resistencia a lo largo de su eje longitudinal, de manera semejante al algodón, la lana o la seda, siendo ampliamente empleados en la industria textil (Hermida, 2011).
 - c. Los plásticos.** Estos polímeros poseen la propiedad de adaptarse a moldes bajo condiciones de alta presión, lo que permite su transformación en diversos objetos, así como su

aplicación en forma de recubrimientos o pinturas sobre distintas superficies (Hermida, 2011, p. 18).

Los polímeros sintéticos se obtienen a través de procesos de síntesis realizados en laboratorios o industrias, y presentan una estructura molecular organizada, como es el caso del polietileno, nylon, tecnopor, cloruro de polivinilo, polipropileno, entre otros. Una de sus principales ventajas es que, aunque suelen ser más costosos que los polímeros naturales, ofrecen mayor resistencia a agentes contaminantes. Estos materiales se distinguen por su elevado peso molecular y se emplean comúnmente en funciones de estabilización, floculación y viscosificación (Hermida, 2011).

- B. Los polímeros semisintéticos.** Se denomina polímeros modificados a aquellos que se obtienen a partir de la transformación química de polímeros naturales, manteniendo en gran medida su estructura molecular original. Un ejemplo representativo de este tipo es la seda artificial. (López et al., 2010) Estos materiales destacan por sus propiedades tixotrópicas favorables y su textura fluida; no obstante, presentan limitaciones en cuanto a características geológicas. Su aplicación se orienta principalmente a la viscosificación de salmueras, especialmente en sistemas que carecen de cargas eléctricas (López et al., 2010).
- C. Polímeros naturales.** De acuerdo con López et al. (2010), los polímeros naturales como la celulosa, el ADN y otras estructuras similares suelen presentar cadenas moleculares extensas. Estos compuestos se encuentran de forma natural en el entorno, como es el caso de la seda, el caucho, el algodón y la celulosa extraída de la madera, entre otros. Se caracterizan por su origen natural, lo que los hace más económicos y con propiedades hidrocálidas, es decir, que no se disuelven fácilmente. Gracias a su estructura básica, estos polímeros desarrollan una elevada viscosidad, siendo esta una de las razones por las cuales se utilizan principalmente para el control de filtraciones en soluciones salinas, como ocurre con el almidón.

Tipos de polímeros. Los polímeros se pueden clasificar en múltiples categorías, según diversos criterios como su composición

química, sus características físicas o su origen, entre otros factores. Según Mora (2020) se tienen las siguientes presentaciones de polímeros:

- A. De acuerdo a su composición.** Se viene clasificando en mono polímeros (monómero) y copolímeros (de dos a más monómeros)
- B. De acuerdo a sus características físicas.** Se refiere a la relación entre las propiedades físicas de los polímeros y la estructura molecular de las sustancias que los conforman.
 - **Polímeros elastoméricos.** Este tipo de polímeros llegan a poseer propiedades elásticas, las cuales llegan a estar compuestos por carbón, hidrógeno y silicio, las cuales en ocasiones llega a ser reemplazado por goma, estos polímeros son usados mayormente en cierres herméticos, adhesivos y partes flexibles.
 - **Polímeros termoplásticos.** Estos polímeros, a temperatura ambiente, actúan como plásticos flexibles; al someterse a altas temperaturas se funden, y al enfriarse alcanzan un estado vítreo que les permite ser moldeados. Ejemplos de estos incluyen el polietileno, polipropileno, polimetilmetacrilato, poliestireno, politereftalato de etileno y nylon.
 - **Polímeros termoestables.** Estos tipos de polímeros no pueden fundirse ni disolverse, debido a que presentan enlaces covalentes altamente resistentes que les otorgan propiedades notables como alta resistencia al impacto, a los solventes, a temperaturas extremas y baja permeabilidad a los gases. Uno de los ejemplos más representativos de este grupo es la resina.
- C. Por su estructura física.** Los polímeros pueden clasificarse en dos grandes grupos: iónicos y no iónicos. Los primeros se caracterizan por poseer cargas eléctricas, lo que les permite generar viscosidad mediante la ionización del agua, sin necesidad de disolverse. En contraste, los polímeros no iónicos no presentan cargas eléctricas y desarrollan viscosidad a través del proceso de solubilización, lo que los hace solubles en agua. La capacidad de solubilidad de estos materiales está estrechamente vinculada a la fuerza iónica y al

contenido de electrolitos del medio, razón por la cual se emplean comúnmente para aumentar la viscosidad de soluciones salinas o fluidos a base de salmuera (Mora et al., 2020).

2.2.3. SOLUCIÓN LÍQUIDA

Una solución líquida es una mezcla homogénea en la que una o más sustancias (solutos) se disuelven en una sustancia líquida (solvente), resultando en una única fase líquida (Tro, 2019).

Las soluciones líquidas son sistemas homogéneos donde los componentes se encuentran dispersos molecularmente en el solvente líquido, formando una única fase continua (Silberberg y Amateis, 2020).

Propiedades de la solución líquida. Para los fines de la presente investigación de estudiar algunas de las propiedades como son:

A. Viscosidad. La viscosidad de una solución líquida es una medida de su resistencia interna al flujo y es influenciada por la concentración y la naturaleza de los solutos disueltos en el líquido base (Munson et al., 2013).

La viscosidad de una solución líquida es la medida de su resistencia al flujo, determinada por la fricción interna entre las moléculas del solvente y los solutos disueltos. Esta propiedad es crucial para el diseño de procesos industriales donde la manipulación y transporte de soluciones son comunes (Rivera, 2017).

B. Densidad. La densidad de un fluido es la relación entre la masa del fluido y el volumen que ocupa. Esta propiedad es esencial para entender y predecir el comportamiento de los fluidos en diversas aplicaciones industriales y científicas (González, 2018).

La densidad de una sustancia se define como su masa por unidad de volumen. Es una propiedad intensiva que puede utilizarse para identificar materiales y determinar su comportamiento en diferentes condiciones físicas (Serway y Jewett, 2019).

C. pH. El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en una solución, y se define como el logaritmo negativo de la

actividad de los iones hidronio. Un pH bajo indica una alta concentración de iones de hidrógeno, lo que significa que la solución es ácida, mientras que un pH alto indica una baja concentración de iones de hidrógeno, lo que significa que la solución es básica o alcalina (Chang y Goldsby, 2016).

El pH de una solución es una medida logarítmica de la concentración de iones hidrógeno, que permite conocer su grado de acidez o alcalinidad. Un pH de 7 es considerado neutro, valores menores indican acidez y valores mayores indican alcalinidad (Ramírez y Rodríguez, 2021).

2.2.4. SUELOS ARCILLOSOS

Los suelos arcillosos son suelos compuestos predominantemente por partículas finas, menores de 0.002 mm de diámetro, que poseen una gran capacidad de retención de agua y una alta plasticidad. Estos suelos son característicamente cohesivos, lo que significa que las partículas de arcilla tienden a adherirse entre sí, otorgándoles una estructura más rígida en comparación con los suelos arenosos o limosos (Tomlinson, 2001).

Los suelos arcillosos son aquellos que contienen una alta proporción de minerales de arcilla, lo que les confiere características únicas como alta plasticidad y cohesión. Estos suelos son muy sensibles a los cambios de humedad, lo que puede provocar expansiones o contracciones significativas. La capacidad de carga y la estabilidad de los suelos arcillosos dependen en gran medida de su contenido de agua y estructura mineral (Das, 2008).

Características del suelo arcilloso. Según Soberon (2022), el suelo arcilloso presenta las siguientes características:

- **Plasticidad:** Los suelos arcillosos pueden modificar su consistencia según la humedad, debido a la formación de películas de agua alrededor de las partículas de arcilla, lo que actúa como lubricante. Factores como el contenido de agua, tamaño y forma de las

partículas, y la presencia de materia orgánica afectan esta propiedad.

- **Hinchamiento:** Este fenómeno, también conocido como expansividad, se refiere al aumento de volumen del suelo al absorber agua, característico de arcillas esmectitas y montmorillonitas. Ocurre cuando el agua entra en los poros del suelo, causando fuerzas electrostáticas de repulsión entre las láminas de arcilla. La retracción es el proceso opuesto, donde el volumen disminuye al expulsar agua.
- **Superficie específica:** Es la relación entre la superficie de una partícula de suelo y su masa. Las partículas finas de los suelos arcillosos les otorgan una alta superficie específica, lo cual es crucial para estimar la interacción con el entorno.
- **Tixotropía:** Este fenómeno ocurre cuando las arcillas, al ser amasadas, pierden sus propiedades mecánicas y se comportan como líquidos, pero las recuperan al dejarlas en reposo. La tixotropía depende del tiempo de reposo, condiciones originales, contenido de agua y porosidad del material.

2.2.5. PROPIEDADES DE LOS SUELOS ARCILLOSOS

A. Propiedades físicas.

- **Límite líquido (LL).** Es el contenido de humedad expresado como porcentaje del peso seco del suelo, en el cual el suelo pasa de un estado semisólido a un estado líquido cuando se somete a un esfuerzo cortante estándar en una cápsula de Casagrande (Luque y Mahave, 1959).
Para O'Kelly (2021) es el contenido de agua en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Es el punto en el que el suelo comienza a fluir bajo una pequeña fuerza de corte.
- **Límite plástico (LP).** Es el contenido de humedad expresado como porcentaje del peso seco del suelo, en el cual el suelo comienza a comportarse plásticamente y a dejar de ser moldeable sin romperse (Luque y Mahave, 1959).

Según Construneic (2023) es el contenido de agua en el cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido. Este límite se determina enrollando a mano un pequeño trozo de suelo en una superficie no porosa hasta que forme un hilo de aproximadamente 3 mm de diámetro. Si el hilo se desmorona a ese diámetro, se considera que el suelo ha alcanzado su límite plástico.

- **Índice de plasticidad.** Según Luque y Mahave (1959) el índice de plasticidad representa la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, constituyendo un parámetro fundamental para cuantificar su grado de plasticidad.

Asimismo, Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC (2023) indica que el índice de plasticidad se calcula restando el límite plástico (LP) del límite líquido (LL), es decir, $IP = LL - LP$. Este índice indica la plasticidad del suelo, clasificando su capacidad de deformarse sin romperse. Suelos con un alto índice de plasticidad tienen una mayor capacidad para absorber agua y deformarse plásticamente, mientras que los suelos con un índice bajo son menos plásticos y más susceptibles a fracturas.

B. Propiedades mecánicas

- **Proctor modificado.** Es una prueba de laboratorio utilizada para determinar la relación entre la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de un suelo. Esta prueba se realiza compactando una muestra de suelo en un molde con una energía de compactación específica y variando el contenido de humedad (Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC, 2023).
- **CBR.** Es una medida de la capacidad de carga relativa de un suelo. Según California Division of Highways (1938), el CBR se determina mediante un ensayo de laboratorio en el que se aplica una carga estática a una muestra compactada de suelo a una cierta profundidad y se compara con la carga que podría soportar una muestra de suelo estándar, generalmente una

mezcla de arena y grava compactada, a la misma profundidad (Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC, 2023).

C. Propiedades químicas

- **pH.** Es una medida de su acidez o alcalinidad, que está determinada por la concentración de iones de hidrógeno en el suelo. Según Brady y Weil (2008), el pH del suelo es una variable fundamental que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad microbiana y la solubilidad de los metales pesados. Un suelo con un pH menor a 7 se considera ácido, mientras que un pH mayor a 7 se considera alcalino o básico. Un pH de 7 se considera neutro. El pH del suelo puede variar debido a factores como la composición mineralógica, el contenido orgánico, la actividad biológica y las prácticas de manejo del suelo (Calderón-Medina et al., 2018).

2.2.6. ESTABILIZADOR DE SUELOS

Según Lemus Ponce y Zelaya Ramírez (2023), el suelo es fundamental para la vida en la tierra, ya que ofrece soporte natural a plantas y animales. Sin embargo, la erosión del suelo puede debilitar y desestabilizar la tierra. Para mitigar este problema, es crucial implementar métodos de estabilización del suelo. Un suelo estabilizado reduce la erosión provocada por el viento y el agua, contribuyendo a la preservación del suelo mediante prácticas sostenibles.

El objetivo principal del mejoramiento de suelos es optimizar las condiciones del terreno para conformar capas de base y subbase sólidas y resistentes. En los países desarrollados, la estabilización de suelos se aplica ampliamente en los proyectos de infraestructura para garantizar un desempeño adecuado de los materiales utilizados. Históricamente, esta técnica se basaba en procedimientos como la compactación de suelos arcillosos, el uso de aditivos cementantes o el reemplazo de materiales mediante cal. Con el avance de la tecnología, estos métodos han evolucionado significativamente, permitiendo el desarrollo de nuevas alternativas más eficientes. Actualmente, se emplean aditivos de

origen natural e industrial, destacando tecnologías sostenibles como las enzimas, biopolímeros, polímeros sintéticos, copolímeros acrílicos, estabilizantes iónicos, refuerzos con fibras, y compuestos como el cloruro de calcio. Además, la innovación tecnológica ha permitido ampliar el uso de aditivos no convencionales, entre ellos productos formulados a base de polímeros y fibras, que han transformado los enfoques tradicionales de estabilización del suelo. (Hernández, 2021).

- La estabilización de suelos constituye una técnica empleada para mejorar la capacidad de soporte y resistencia de los suelos, permitiendo que estos puedan sostener adecuadamente las cargas aplicadas sobre terrenos arenosos.
- Los principales objetivos es mejorar el CBR
- El segundo propósito consiste en evitar la infiltración de agua, ya sea por efecto de las heladas o por la penetración directa en la capa tratada, dado que este fenómeno representa una de las principales causas de deterioro en las estructuras del suelo. (Hernández, 2021).

Estabilizador. Un estabilizador es un producto que, al mezclarse con los suelos mediante procesos específicos, mejora sus propiedades físicas para que cumplan con los requisitos establecidos por la normativa, asegurando que el suelo sea apto para soportar adecuadamente las cargas generadas por el tránsito vehicular. Estos estabilizadores pueden ser de origen natural o industrial y se presentan en diversas formas, cada una diseñada para lograr resultados específicos acorde a las características deseadas. La cantidad necesaria depende del tipo de suelo y sus propiedades, tales como humedad, contenido de finos, tipo de subbase, volumen de tráfico, peso, resistencia a la compresión requerida en el diseño estructural y peso de transporte, factores que determinan la tasa de aplicación. El objetivo es ofrecer una solución rentable que reduzca costos en materiales y en la etapa inicial de construcción, logrando un equilibrio con los métodos de compactación empleados, recomendándose una compactación profunda para prevenir la erosión. Estos estabilizadores brindan soluciones integrales para la mejora de suelos en proyectos viales,

desde caminos rurales y trochas hasta vías de acarreo en minería, incrementando la resistencia a la tracción y la capacidad de carga de la superficie mediante la incorporación de un estabilizador emulsionado con polímero (MTC, 2014).

Tipos de estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en optimizar las propiedades físicas del terreno a través de técnicas mecánicas combinadas con la incorporación de aditivos químicos, ya sean de origen natural o sintético. Este proceso es necesario cuando los suelos no cumplen con los requisitos de construcción. Se clasifica en tres tipos principales: mecánica, química y física. Según Zambrano (2021) existen los siguientes tipos:

- **Estabilización por compactación:** Este método mecánico común en pavimentación incrementa la resistencia del suelo al compactarlo con equipos que aplican energía específica. La compactación reduce los vacíos y aumenta el contacto entre partículas, mejorando la fricción y la capacidad de soporte del suelo (Zambrano, 2021).
- **Estabilización con materiales ligeros:** En infraestructura vial, el uso de suelos de bajo peso específico en terraplenes puede prevenir asentamientos excesivos, evitando la disminución de presiones transmitidas al suelo de soporte (Zambrano, 2021).
- **Estabilización con sobrecargas:** Se anticipa la construcción de terraplenes para permitir que los asentamientos ocurran antes de pavimentar. Esto requiere la preparación del sitio con terraplenes que pueden ser retirados o ajustados antes de la construcción final (Zambrano, 2021).
- **Estabilización con reemplazo de material:** Este método sencillo consiste en reemplazar el material de la subrasante con suelos de mejor calidad si no cumple con los requisitos estructurales. Es crucial considerar el drenaje del suelo y, si es necesario, utilizar materiales granulares (Zambrano, 2021).

- **Estabilización química:** Involucra la adición de productos químicos estabilizadores mezclados homogéneamente con el suelo. Este proceso busca mejorar las propiedades del suelo mediante reacciones químicas que reducen su plasticidad y aumentan su resistencia (Zambrano, 2021).
- **Estabilización fisicoquímica:** Este tipo de estabilización, aún en desarrollo, utiliza intercambios iónicos entre el suelo y agentes añadidos para modificar la estructura del suelo, incrementando su resistencia y reduciendo la deformación (Zambrano, 2021).
- **Estabilización iónica:** Se utiliza en suelos finos y consiste en un intercambio iónico entre el agente estabilizador y el suelo, desplazando el agua y bloqueando la capacidad de adsorción de agua, lo que mejora la estabilidad del suelo (Zambrano, 2021).
- **Estabilización térmica:** Aún en fase experimental, este método modifica la estructura cristalina del suelo mediante la aplicación de altas temperaturas, reduciendo su compresibilidad. Se requiere precaución con la distribución de la temperatura según la porosidad del suelo (Zambrano, 2021).
- **Estabilización con polímeros:** Los polímeros aumentan la resistencia y controlan la susceptibilidad al agua de los suelos, siendo cruciales en carreteras no pavimentadas. Estas macromoléculas, formadas por monómeros, proporcionan alta resistencia mecánica gracias a sus largas cadenas poliméricas (Zambrano, 2021).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- Polímeros.** Material compuesto por macromoléculas que se forman mediante enlaces covalentes entre unidades llamadas monómeros, las cuales pueden tener un origen natural o ser sintetizadas artificialmente. (Calle et al., 2018)
- Polímero en polvo seco soluble al agua.** Es una cadena larga de moléculas que, al entrar en contacto con el agua, se disuelve, creando una solución uniforme. Este tipo de polímero es particularmente útil en

aplicaciones donde se requiere una modificación de las propiedades del agua o del medio en el que se disuelve (García, 2018).

- c) **Solución líquida.** es una mezcla homogénea en la cual uno o más solutos están disueltos en un solvente líquido, resultando en una única fase líquida. Las propiedades de la solución son uniformes en toda su extensión, y los componentes no pueden ser separados por métodos físicos simples como la filtración (García & Martínez, 2019).
- d) **Dosificación.** La dosificación de suelos arcillosos con polímeros consiste en la incorporación precisa de polímeros sintéticos al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y reducir su susceptibilidad a la humedad (Álvarez y Gómez, 2020).
- e) **Estabilización de suelos arcillosos.** Procedimiento que consiste en añadir un material estabilizador o en realizar una acción de compactación para mejorar las propiedades físicas o mecánicas del suelo (Parra, 2018).
- f) **Suelos arcillosos.** Es un tipo de suelo caracterizado por su alto contenido de partículas de arcilla, que son minerales de grano fino. Estos suelos tienen una textura suave y pegajosa cuando están húmedos, pero se vuelven duros y compactos cuando están secos (Smith, 2017).
- g) **Propiedades físicas.** Es una propiedad que permite identificar un material a través de aspectos como su forma, color, densidad, contenido de humedad, variaciones de volumen, entre otros (Cañar, 2017).
- h) **Propiedades mecánicas.** Son aquellas que definen su comportamiento ante la aplicación de fuerzas externas. Estas incluyen la resistencia al corte, que determina la capacidad del suelo para resistir deslizamientos; la compresibilidad, que mide el grado de deformación bajo carga; la cohesión, que es la fuerza de atracción entre partículas; y el ángulo de fricción interna, que indica la resistencia al deslizamiento entre partículas" (Moreno y García, 2019).
- i) **Propiedades químicas.** Estas propiedades incluyen el pH, que mide la acidez o alcalinidad del suelo; la capacidad de intercambio catiónico, que refleja la capacidad del suelo para retener y suministrar cationes nutrientes a las plantas; la salinidad, que puede afectar la absorción de agua por las plantas; y la presencia de nutrientes esenciales como

nitrógeno, fósforo, y potasio, así como contaminantes que pueden afectar la salud del ecosistema (Pérez & Hernández, 2020).

- j) **CBR.** Es el resultado de medir la penetración del suelo en una profundidad de 0.1" o 0.2", provocada por una carga unitaria que no se mantiene constante, sino que se aplica únicamente en el momento en que el suelo estaba en condición de soporte (Ravines, 2010).
- k) **Capacidad de carga.** La capacidad de carga representa el límite de resistencia del suelo ante esfuerzos de corte o presión máxima, y puede calcularse utilizando las fórmulas establecidas en la E.0.50. (Reglamento nacional de Edificaciones, 2018, p. 5).
- l) **Límite líquido.** Contenido de humedad entre los límites entre estados de consistencia semilíquido y plástico, es necesario para el cálculo del índice de plasticidad (García, 2019, p. 35).
- m) **Límite plástico.** Este término define el contenido de humedad del suelo entre los límites del estado de consistencia plástico y semisólido, usado para identificar el IP (Salazar et al., 2020, p. 45).
- n) **Presión admisible.** Es la presión máxima que el terreno puede soportar sin causar asentamientos excesivos o superiores a los permitidos (Castillo et al., 2021).
- o) **Solubilidad.** La solubilidad es la característica de algunos materiales que les permite disolverse o dispersarse en un solvente (Castillo et al., 2021).

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H_{IG}: La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

H_{OG}: La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua no influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Hi₁: La aplicación del diseño de solución líquida influye de forma favorable en las propiedades físicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Ho₁: La aplicación del diseño de solución líquida no influye de forma favorable en las propiedades físicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Hi₂: La aplicación del diseño de solución líquida influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Ho₂: La aplicación del diseño de solución líquida no influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Hi₃: La aplicación del diseño de solución líquida influye de forma favorable en las propiedades químicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Ho₃: La aplicación del diseño de solución líquida no influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

2.5. VARIABLE

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Polímeros en polvo seco solubles. De acuerdo con Lara (2008), los polímeros solubles en polvo seco se emplean como modificadores reológicos, con el propósito de lograr un efecto espesante notable, ya que las cadenas de polímero ocupan un volumen hidrodinámico esencial.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Estabilización de suelos arcillosos. Es el proceso que optimiza las características físicas del suelo a través de métodos mecánicos y la incorporación de productos químicos, ya sean de origen natural o sintético (MTC, 2014).

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Rangos	Escala de Medición
Variable independiente Polímeros	El polímero en polvo seco soluble al agua será diluido en el solvente agua para generar una solución homogénea. Se realizará tres soluciones con las tres cantidades de polímeros(gr) que representan el 5%, 10% y 15% de la muestra de suelo arcilloso que se estudiará, que serán diluido en las cantidades de agua que son 590ml, 610ml y 630ml respectivamente. Ante ello la dimensión sería el diseño de solución, donde se analizará la viscosidad, densidad y pH, y cómo estos influyen en las propiedades de los suelos arcillosos.	Diseño de solución líquida	Cantidad de polímero (gr)	5%, 10%, 15%	Razón
			Cantidad de agua (ml)	590ml, 610ml, 630ml	
			Viscosidad (cP) centipoise	Muy Baja 0.1 - 10 cP Baja 10 - 100 cP Moderada 100 - 1,000 cP Alta 1,000 - 10,000 cP Muy Alta 10,000 - 100,000 cP	
				Muy Baja (0.1 - 0.5 g/cm ³) Baja (0.5 - 0.9 g/cm ³) Moderada 0.9 - 1.1 g/cm ³ Alta 1.1 - 1.5 g/cm ³ Muy Alta 1.5 - 2.0 g/cm ³	
			Densidad (g/cm ³)	Alto (07 a 14 alcalino unid (pH)) Medio (07 neutro unid (pH)) Bajo (0 a 07 ácido unid (pH))	
Variable dependiente Estabilización de suelos Arcillosos	La variación de las características de los suelos arcillosos será medida gracias a las modificaciones de las propiedades físicas, mecánicas y químicas. Estos variaran conforme a	Propiedades Físicas	Ph		Razón
			Limite liquido (%)	Alto (10.00% al 20.00%) Medio (21.00% al 29.00%) Bajo (30.00% al 40.00%)	
			Límite plástico (%)	Alto (03.00% al 10.00%)	

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Rangos	Escala de Medición
	la adición de las tres soluciones de polímero.			Medio (10.05% al 16.00%) Bajo (16.05% al 22.00%)	
			Índice de plasticidad (%)	Alto (07.00% al 10.00%) Medio (10.05% al 13.00%) Bajo (13.05% al 18.00%)	
		Propiedades Mecánicas	Proctor Modificado (%)	Alto (10.00% al 15.00%) Medio (15.01% al 20.00%) Bajo (20.01% al 25.00%)	
			CBR (%)	Alto (09.01% al 13.00%) Medio (07.00% al 09.00%) Bajo (02.00% al 03.00%)	
		Propiedades Químicas	Potencial del hidrógeno (pH)	Alto (07 a 14 alcalino unid (pH)) Medio (07 neutro unid (pH)) Bajo (0 a 07 ácido unid (pH))	

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación será de **tipo aplicada**, debido a que se pondrá en prueba tres dosis de polímeros en polvo seco solubles en agua en muestras de suelos arcillosos y se evidenciará las variaciones de los indicadores de las propiedades físicas, mecánicas y químicas. Castro (2021) la investigación aplicada trasciende la mera descripción de conceptos o fenómenos y el simple establecimiento de relaciones entre ellos; su propósito fundamental es indagar las causas subyacentes de eventos y fenómenos tanto físicos como sociales. Esta modalidad investigativa busca emplear el conocimiento científico de manera práctica, orientándose a la resolución efectiva de problemas concretos.

3.1.1. ENFOQUE

El proyecto de investigación será de **enfoque cuantitativo**, ya que las variables se medirán de forma numérica. En lo que respecta la variable independiente se tendrán soluciones con polímeros. Estos serán aplicados en muestras de suelos arcillosos, y posteriormente se medirán en términos numéricos los indicadores de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos en mención.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El proyecto de investigación es de nivel explicativo, ya que a causa de la adición de las tres dosis de polímeros diluido en agua se tendrá un efecto en la variación de los indicadores de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos arcillosos.

3.1.3. DISEÑO

El diseño del proyecto de investigación fue experimental, de **tipo cuasi experimental** debido a que se tuvo un grupo de control y grupos experimentales, cada uno con una sola observación. En lo que respecta al grupo experimental se aplicaron las 3 dosis de 0.10gr, 0.15gr y 0.20gr

los cuales fueron diluido en 590ml, 610ml y 630ml de agua respectivamente, formado una solución, cada uno con sus tres pruebas, y luego se observó y se cuantifico sus propiedades; en lo que respecta grupo de control, fue considerada la muestra de calicata sin la adición de polímeros. Según Sierra (2014) considera que cuando una investigación requiere la manipulación de variables, es fundamental aplicar un diseño experimental. Este tipo de diseño permite estructurar adecuadamente la recolección de datos, reproduciendo las características del objeto de estudio mediante un modelo o prototipo.

Aplicación de dosis de polímero en polvo seco diluido en agua (3 pruebas para cada dosis)

Grupo de control

GC1 O (0% de polímero, muestra Patrón, tres pruebas), que representan el estrado que tiene las propiedades más críticas.

Grupo experimental

GE1 X1 O1 (0.1gr con 590ml, tres pruebas)

GE2 X2 O2 (0.15 gr con 610ml, tres pruebas)

GE3 X3 O3 (0.20 gr con 630ml, tres pruebas)

GE1, GE2, GE3: Grupo Experimentales

GC1: Grupo de control

X1, X2, X3: Tratamientos con dosis

O, O1, O2, O3: Observaciones.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Estuvo conformado por el tramo que presenta el suelo arcilloso más crítico, que estuvo ubicado en la progresiva 45+000 km – 46+000km de la carretera Unión Huánuco. En referencia del manual de carreteras en el acápite que indica el número de calicatas según el tipo de carreteras para la exploración de suelos, estipula que por cada kilómetro se tiene

que realizar 3 calicatas. Para fines de investigación para tener resultados más precisos y exactos en la investigación se optó por realizar 3 calicatas de estudio, el cual representó la población. Según Sampieri (2016) es el conjunto de elementos que se encuentran dentro de un área específica en la cual se desarrollará la investigación propuesta por el investigador.

3.2.2. MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO

La muestra es censal o poblacional, es decir, que la muestra representa la población debido a que es pequeña, ya que se ha tomado el tramo con suelo arcilloso crítico donde se realizara 3 calicatas y de donde se han extraído 4 muestras y se realizó el estudio de las propiedades físicas, mecánicas y químicas en laboratorio.

Calicatas	N° de Muestras
Calicata 1	4
Calicata 2	4
Calicata 3	4

Se realizaron los tres experimentos con las dosis de 0.1g, 0.15gr y 0.20gr de polvo seco soluble al agua, cada uno de las dosis tuvo tres pruebas. En la siguiente tabla se muestra el detalle.

Aditivo		Polímero en polvo seco soluble al agua		
Muestras	0%de polímeros (Muestra Patrón)	0.1gr en 590ml de agua	0.15gr en 610ml de agua	0.2gr en 630ml de agua
Calicata - 1	1	1	1	1
Calicata - 2	1	1	1	1
Calicata - 3	1	1	1	1
Total	3	3	3	3

El muestreo en lo que respecta al número de muestras por calicata para el experimento fue no probabilístico por conveniencia. Ya que se eligió el número de muestras de acuerdo a la precisión de los datos.

3.3. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

En la presente investigación se utilizó como técnica la observación y como instrumentos las fichas de recolección de datos. Según Vásquez (2011) se refiere a los métodos utilizados para obtener información, siendo la observación uno de los más relevantes.

Para los estudios en campo y laboratorio de las propiedades físicas, mecánicas y químicas se utilizó los siguientes equipos, dispositivos y accesorios:

- Balanzas de precisión
- Tamices
- Proctor compactador
- Máquina de corte directo
- Equipo CBR portátil
- Reómetro, para medir viscosidad
- Densímetro
- pH-metro

Se describe los procedimientos de recolección de datos

- 1) En campo, se extrajo las muestras de suelos arcillosos de las 3 calicatas del tramo de estudio de la carretera la Unión Huánuco.
- 2) En laboratorio y/o campo en soporte de los equipos, dispositivos y accesorios se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y químicas. Con fines de investigación, en lo que respecta las propiedades físicas se estudió la consistencia del suelo con los indicadores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad; en lo que respecta las propiedades mecánicas se estudió los indicadores de Proctor modificado y CBR, ya que es una medida de suelo utilizada en diseño de pavimentos; y en lo que respecta las propiedades químicas se optó por estudiar el indicador de pH.
- 3) Los datos cuantitativos o numéricos de escala de razón fueron registrados en las fichas de recolección de datos (ver anexos) o en su defecto en formatos propios de laboratorio. Cuatro muestras

extraídas de las 3 calicatas respectivamente, siendo un total de 12 muestras.

4) Se realizó los ensayos

ENSAYOS	NORMA
Propiedades físicas	
Análisis granulométrico	MTC E 107
Contenido de Humedad	MTC E 108
Límite líquido	MTC E 110
Límite plástico	MTC E 111
Clasificación de suelos SUCS	NTP 339.134
Propiedades mecánicas	
Proctor modificado	MTC E 115
CBR (California Bearing Ratio)	MTC E 132
Propiedades químicas	
pH	

5) Finalmente, todos los resultados de las propiedades físicos, mecánicos y químicos en adición de los polímeros fueron registrados en la ficha de recolección de datos.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos fueron presentados en la ficha de recolección de datos anexados en la tesis. En lo que respecta el capítulo de resultados se presentaron en tablas y figuras donde se resume los datos de los estudios de suelos de las 3 calicatas: estudios granulométricos, porcentaje de suelos grava, arena o finos, contenido de humedad, límites de consistencia, clasificación SUCS, ensayos de CBR y potencial del hidrógeno (pH).

En lo que respecta a los polímeros y sus dosis, se presentó en tabla sus especificaciones técnicas.

En lo que respecta la aplicación de la dosis de polímeros en polvo seco y diluido en agua se presentó en tablas y figuras, contenido de humedad, límites de consistencia, clasificación SUCS, ensayos de CBR y potencial del hidrógeno (pH).

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los datos fueron presentados en tablas y figuras, se utilizó la estadística descriptiva como son la tendencia central para evaluar promedio, y estadística de dispersión para evidenciar variaciones y desviaciones. Asimismo, se utilizó los diagramas de regresión lineal para evidenciar el comportamiento de las propiedades del suelo arcilloso conforme se incrementa las dosis de polímeros.

En los que respecta la estadística inferencial, que es para la contratación de hipótesis, se utilizó la prueba no paramétrica pudiendo ser la prueba de Rho de Spearman con un error del 5%, para evidenciar las relaciones significativas entre las propiedades de los suelos arcillosos y los polímeros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO

ARCILLOSO

La caracterización de suelos es un proceso fundamental que se lleva a cabo para adquirir un conocimiento profundo sobre las propiedades geotécnicas del suelo de la carretera Huánuco La Unión. Para este estudio, se realizaron perforaciones en tres calicatas. Este trabajo inicial permitió establecer las bases para la realización de diversas pruebas de laboratorio. Las pruebas comenzaron con la determinación del índice de consistencia de los suelos (CH), seguidas de análisis de granulometría y límites de consistencia. Finalmente, se clasificaron los suelos de acuerdo con los sistemas SUCS y AASHTO. A continuación, se presenta una tabla que detalla todos los resultados obtenidos en estas pruebas.

Tabla 1

Propiedades del suelo arcilloso en las 3 calicatas de estudio

Clasificación de Suelo	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3
Grava	7.00%	11.36%	8.96%
Arena	12.42%	15.56%	15.90%
Fino	80.59%	73.08%	75.14%
Contenido de Humedad	19.57%	19.50%	17.40%
SUCS	CL (arcilla ligera arenosa)		
AASHTO	A-6 (0)		

En términos de grava, los porcentajes son 7.00% en Calicata-1, 11.36% en Calicata-2 y 8.96% en Calicata-3. Esto indica que Calicata-2 tiene la mayor proporción de grava, lo que podría contribuir a una mejor drenabilidad.

Respecto a la arena, Calicata-1 presenta un 12.42%, mientras que Calicata-2 y Calicata-3 tienen 15.56% y 15.90%, respectivamente. Esta

tendencia sugiere que los suelos en las calicatas 2 y 3 son más arenosos, lo que puede afectar su comportamiento mecánico.

Los finos predominan en todos los casos, con un 80.59% en Calicata-1, 73.08% en Calicata-2 y 75.14% en Calicata-3, lo que indica una alta plasticidad y un potencial de retención de agua significativo.

El contenido de humedad es relativamente alto, con 19.57% en Calicata-1, 19.50% en Calicata-2 y 17.40% en Calicata-3, destacando la capacidad de los suelos para retener agua.

Finalmente, la clasificación SUCS indica que todos los suelos son de tipo "CL" (arcilla ligera arenosa), mientras que la clasificación AASHTO los categoriza como "A-6 (0)", lo que sugiere suelos de baja calidad para construcción. En resumen, los datos reflejan una alta concentración de finos y variaciones en grava y arena que podrían influir en el comportamiento del suelo.

4.2. CALCULO DEL ÍNDICE PLÁSTICO

Según las directrices establecidas en el manual de carreteras, sección de suelos y pavimentos (2014), se determina que si el Índice de Plasticidad (IP) de un suelo supera el 12%, esto indica que el material es geotécnicamente inestable. Esta inestabilidad puede tener repercusiones significativas en el diseño y la construcción de infraestructuras, ya que sugiere una mayor susceptibilidad a la deformación y a la falla bajo condiciones de carga. Por lo tanto, es crucial considerar este parámetro al evaluar la idoneidad del suelo para proyectos de ingeniería civil.

Tabla 2

Límites de Atterberg del suelo arcilloso

Límites de Atterberg	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
Límite Líquido	26.71	25.58	25.29	25.86
Límite Plástico	15,90	13,90	14,90	15.33
Índice Plástico	10,50	10,60	9,90	10.53

Límite Líquido (LL): Indica la humedad máxima en la que el suelo se comporta como líquido. Los valores en las calicatas varían ligeramente entre

25.29% y 26.71%, con un promedio de 25.86%, lo que sugiere una capacidad limitada del suelo para absorber agua antes de perder su consistencia.

Límite Plástico (LP): Muestra el contenido de humedad en el que el suelo comienza a comportarse de manera plástica. Los valores oscilan entre 13.90% y 15.90%, con un promedio de 15.33%, lo que indica un suelo con moderada plasticidad.

Índice Plástico (IP): Representa la diferencia entre el límite líquido y el plástico, reflejando el rango de contenido de humedad en el que el suelo se comporta plásticamente. El promedio es 10.53, lo que sugiere que los suelos tienen una plasticidad moderada.

4.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

La evaluación de las propiedades mecánicas, específicamente el índice de CBR (California Bearing Ratio) y el ensayo Proctor modificado, se llevó a cabo en las muestras convencionales con el propósito de determinar las condiciones actuales del suelo en el ámbito de estudio. Este análisis es fundamental para comprender el comportamiento del suelo bajo cargas y su capacidad de soporte, lo que resulta crucial para la planificación y el diseño de infraestructuras. A través de estos ensayos, se obtienen datos que permiten evaluar la idoneidad del terreno para proyectos de construcción y, en consecuencia, se pueden implementar las medidas necesarias para su mejora.

Tabla 3

Proctor modificado del suelo arcilloso

Proctor	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
Máxima Densidad Seca	1,67	1,97	2,19	1,94
Óptimo Contenido de Humedad	15,10	14,74	14,45	14,76

Máxima Densidad Seca (MDS): Los valores varían entre 1.67 g/cm³ y 2.19 g/cm³, con un promedio de 1.94 g/cm³. Este valor indica la mayor densidad que el suelo puede alcanzar al compactarse, lo que sugiere que las

condiciones de compactación son favorables para obtener una alta densidad, especialmente en la calicata 3.

Óptimo Contenido de Humedad (OCH): Los valores de humedad óptima varían ligeramente entre 14.45% y 15.10%, con un promedio de 14.76%. Este parámetro muestra el contenido de humedad en el que el suelo alcanza su máxima compactación.

En conjunto, estos resultados sugieren que el suelo tiene una buena capacidad de compactación, y las condiciones de humedad son bastante uniformes, lo que facilita alcanzar la densidad óptima en las tres calicatas.

Tabla 4

Ensayo de CBR del suelo arcilloso

Proctor	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
CBR al 100% de MDS (%)	5,90	8,50	5,90	6,77
CBR al 95% de MDS (%)	5,10	3,50	3,78	4,13

La tabla presenta los resultados del CBR (California Bearing Ratio) al 100% y al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS) para tres calicatas. Para el CBR al 100% de MDS, el promedio es de 6.77%, indicando que el suelo tiene una capacidad de carga moderada. La Calicata 2 destaca con un valor más alto de 8.50%, sugiriendo que este suelo puede soportar cargas más pesadas en comparación con las otras calicatas. Por otro lado, los resultados del CBR al 95% de MDS muestran un promedio de 4.13%, lo que indica una reducción significativa en la capacidad de carga. La Calicata 2 presenta el valor más bajo de 3.50%, lo que indica que es la menos adecuada para soportar cargas. En conclusión, aunque el suelo tiene una capacidad aceptable al 100% de MDS, la disminución al 95% resalta la importancia de mantener la densidad óptima para asegurar la resistencia estructural, recomendando así evaluaciones y mejoras en la densidad del suelo para aplicaciones que requieran un mayor soporte.

4.4. APLICACIÓN DEL POLÍMERO EN POLVO SECO DILUIDO EN AGUA

4.4.1. PROPIEDADES FÍSICAS

La evaluación de la relación en las propiedades físicas del suelo se llevó a cabo mediante la aplicación de polímero en polvo seco soluble. Para este propósito, se realizaron ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, con el fin de determinar el grado de mejora en la plasticidad del suelo, que previamente se había registrado con un índice inferior al 12% en los ensayos convencionales.

Para analizar el impacto de los polímeros, se evaluó el índice de plasticidad, el límite líquido y el índice de plasticidad del suelo utilizando diferentes dosificaciones de polímero: 0.10 g por cada 1 kg de suelo, 0.15 g por cada 1 kg de suelo y 0.20 g por cada 1 kg de suelo. Los resultados obtenidos de estos ensayos se presentan a continuación en las tablas y gráficos correspondientes, lo que permitirá una visualización clara de las mejoras en las propiedades del suelo tras la adición del polímero.

Límite líquido

Tabla 5

Resultados del Límite líquido por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	26,71%	25,80%	25,29%	25,93%
0,1	25,29%	25,38%	24,03%	24,90%
0,15	23,32%	23,60%	22,35%	23,09%
0,2	20,99%	20,34%	20,11%	20,48%

Sin polímero (0 g), los límites líquidos son 26.71% en Calicata-1, 25.80% en Calicata-2 y 25.29% en Calicata-3, con un promedio de 25.93%. Esto indica que, en condiciones naturales, el suelo tiene una buena capacidad de retención de agua.

Con 0.1 g de polímero, los límites líquidos disminuyen a 25.29% en Calicata-1, 25.38% en Calicata-2 y 24.03% en Calicata-3, promediando 24.90%. La reducción sugiere que la adición de polímero comienza a afectar la plasticidad del suelo.

A 0.15 g de polímero, los límites líquidos bajan aún más: 23.32% en Calicata-1, 23.60% en Calicata-2 y 22.35% en Calicata-3, con un promedio de 23.09%. Esto refuerza la idea de que el polímero reduce la capacidad de retención de agua del suelo.

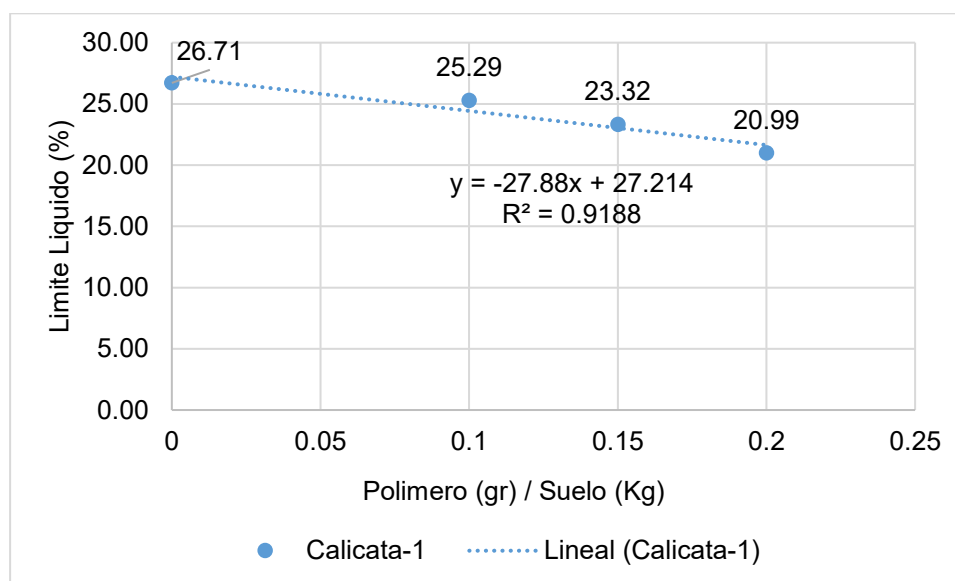
Finalmente, con 0.2 g de polímero, los límites líquidos son 20.99% en Calicata-1, 20.34% en Calicata-2 y 20.11% en Calicata-3, resultando en un promedio de 20.48%. Esta caída significativa indica que el polímero tiene un efecto notable en la disminución de la plasticidad del suelo, lo que podría mejorar su comportamiento en aplicaciones de ingeniería.

En resumen, los datos reflejan que la adición de polímero reduce el límite líquido, lo que implica una disminución en la plasticidad y una posible mejora en las características mecánicas del suelo.

Calicata -1

Figura 1

Regresión lineal del límite líquido vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo de la Calicata - 1



La ecuación de regresión lineal $y = -27.88x + 27.214$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.9188$ proporcionan información valiosa sobre la relación entre la cantidad de polímero añadida (x) y el límite líquido del suelo (y).

Interpretación de la ecuación:

Pendiente (-27.88): Este valor negativo indica que, por cada gramo adicional de polímero, el límite líquido del suelo disminuye en aproximadamente 27.88%. Esto sugiere que la adición de polímero reduce significativamente la capacidad del suelo para retener agua, lo que puede resultar en una disminución de su plasticidad.

Intersección (27.214): Este valor representa el límite líquido del suelo cuando no se añade polímero ($x = 0$). Indica que, en condiciones naturales, el suelo tiene un límite líquido de aproximadamente 27.21%, lo que sugiere una buena capacidad de retención de agua.

Interpretación de R^2 :

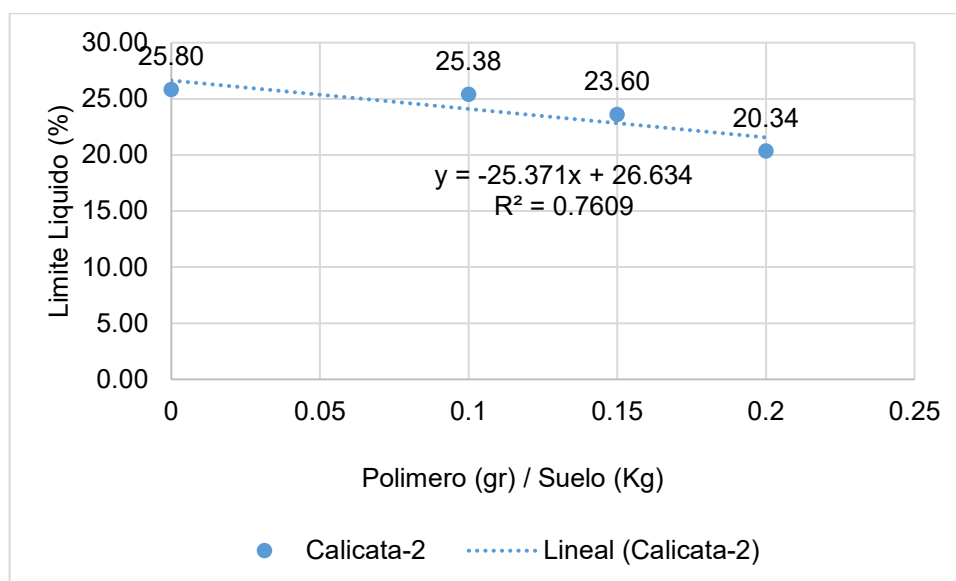
Un $R^2 = 0.9188$ significa que aproximadamente el 91.88% de la variabilidad en el límite líquido del suelo se puede explicar por la cantidad de polímero añadida. Este alto valor indica una relación fuerte y significativa entre las dos variables, lo que sugiere que el polímero tiene un efecto notable en las propiedades del suelo.

En resumen, los resultados indican que la adición de polímero no solo afecta la plasticidad del suelo, sino que también hay una relación muy clara y predecible entre la cantidad de polímero y el límite líquido, lo que puede ser útil para aplicaciones en ingeniería civil y geotécnica.

Calicata -2

Figura 2

Regresión lineal del límite líquido vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo de la Calicata - 2



La ecuación de regresión lineal $y = -25.371x + 26.634$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.7609$ ofrecen una visión clara de la relación entre la cantidad de polímero añadida (x) y el límite líquido del suelo en Calicata-2 (y).

Interpretación de la ecuación:

Pendiente (-25.371): Este valor negativo indica que, por cada gramo adicional de polímero, el límite líquido del suelo disminuye en aproximadamente 25.37%. Esto sugiere que la adición de polímero tiene un efecto significativo en la reducción de la capacidad del suelo para retener agua, lo que podría resultar en una disminución de su plasticidad.

Intersección (26.634): Este valor representa el límite líquido del suelo cuando no se añade polímero ($x = 0$). Indica que, en condiciones naturales, el límite líquido de Calicata-2 es de aproximadamente 26.63%, sugiriendo una buena capacidad de retención de agua en su estado natural.

Interpretación de R^2 :

Un $R^2 = 0.7609$ significa que aproximadamente el 76.09% de la variabilidad en el límite líquido del suelo se puede explicar por la cantidad de polímero añadida. Este valor indica una relación moderadamente

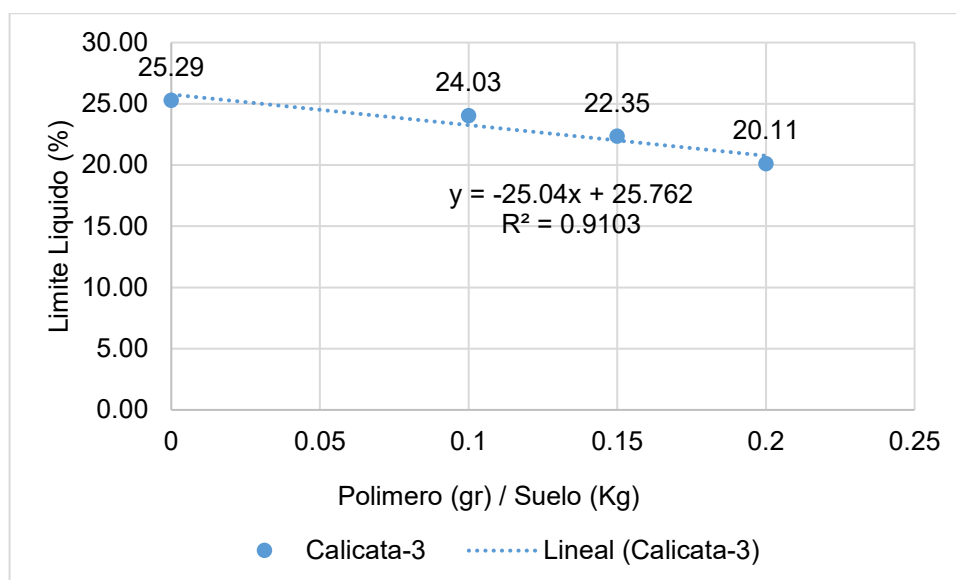
fuerte entre las dos variables, lo que sugiere que la adición de polímero afecta de manera notable las propiedades del suelo, aunque hay otros factores que también pueden influir.

En resumen, los resultados muestran que hay una relación clara entre la cantidad de polímero y el límite líquido en Calicata-2. La reducción en el límite líquido sugiere que el polímero puede mejorar las características mecánicas del suelo, lo cual es relevante para aplicaciones en ingeniería y construcción.

Calicata -3

Figura 3

Regresión lineal del límite líquido vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo de la Calicata - 3



La ecuación de regresión lineal $y = -25.04x + 25.762$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.9103$ brindan información sobre la relación entre la cantidad de polímero añadida (x) y el límite líquido del suelo en Calicata-3 (y).

Interpretación de la ecuación:

Pendiente (-25.04): Este valor negativo indica que, por cada gramo adicional de polímero, el límite líquido del suelo disminuye en aproximadamente 25.04%. Esto sugiere que la adición de polímero tiene un impacto significativo en la reducción de la capacidad del suelo para

retener agua, lo que puede llevar a una disminución de su plasticidad y mejorar sus características mecánicas.

Intersección (25.762): Este valor representa el límite líquido del suelo cuando no se añade polímero ($x = 0$). Indica que, en condiciones naturales, el límite líquido de Calicata-3 es de aproximadamente 25.76%, lo que sugiere una buena capacidad de retención de agua en su estado original.

Interpretación de R2:

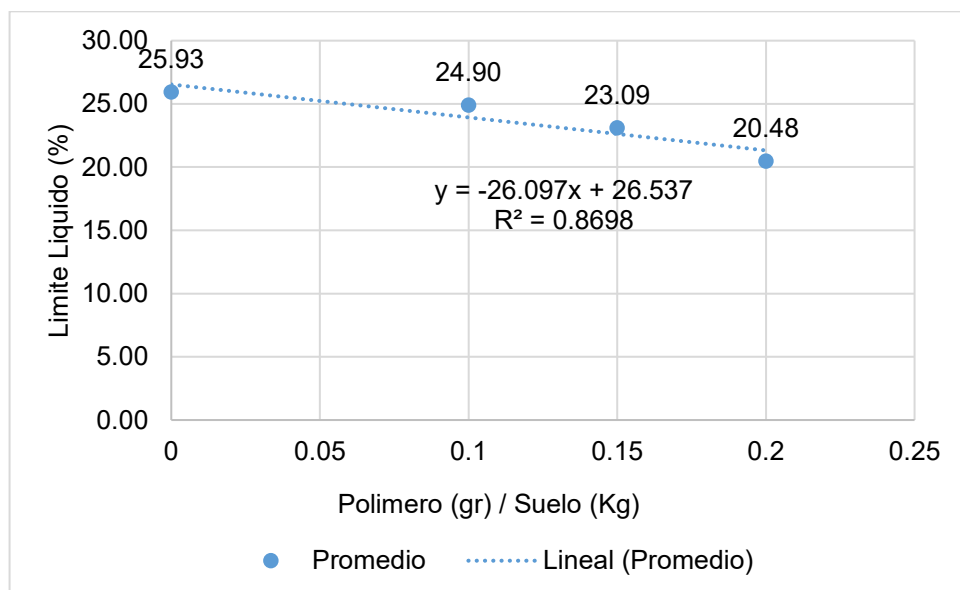
Un $R^2=0.9103$ significa que aproximadamente el 91.03% de la variabilidad en el límite líquido del suelo se puede explicar por la cantidad de polímero añadida. Este alto valor indica una relación fuerte y consistente entre las dos variables, sugiriendo que la adición de polímero influye notablemente en las propiedades del suelo.

En resumen, los resultados indican que existe una relación clara entre la cantidad de polímero y el límite líquido en Calicata-3. La disminución del límite líquido con la adición de polímero implica que este material puede mejorar las propiedades mecánicas del suelo, lo que es relevante para aplicaciones en ingeniería geotécnica y construcción.

Promedio de la calicata 1, 2 y 3.

Figura 4

Regresión lineal del límite líquido promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo



Ecuación de Regresión: $y = -26,097x + 26,537$

Pendiente (-26,097): La pendiente negativa de -26,097 indica que hay una relación inversa entre la cantidad de polímero y el límite líquido. Es decir, a medida que aumenta la cantidad de polímero aplicado al suelo, el límite líquido disminuye en promedio 26,097 unidades. Esto sugiere que el polímero tiene un efecto estabilizador, reduciendo la plasticidad del suelo y, por lo tanto, el límite líquido.

Intercepto (26,537): El intercepto de 26,537 significa que cuando no se aplica ningún polímero ($x=0$), el límite líquido del suelo es de aproximadamente 26,537 unidades. Este valor puede considerarse como el límite líquido inicial del suelo arcilloso sin tratamiento.

Coefficiente de Determinación ($R^2 = 0,8698$):

- Un valor de $R^2=0,8698$ indica que el 86,98% de la variabilidad en el límite líquido (variable dependiente, y) se explica por la cantidad de polímero (variable independiente, x). Este alto coeficiente sugiere que el modelo de regresión es efectivo y que la cantidad de polímero tiene una influencia significativa sobre el límite líquido del suelo.
- Además, un R^2 cercano a 1 implica que hay un buen ajuste del modelo a los datos, lo que significa que el uso de polímeros es un factor importante en la modificación de las propiedades del suelo.

En conclusión, los resultados sugieren que la aplicación de polímeros en polvo solubles en agua tiene un efecto notable en la disminución del límite líquido de los suelos arcillosos, lo que puede contribuir a mejorar su estabilidad y comportamiento mecánico. La alta correlación indica que este enfoque de estabilización es efectivo.

Limite plástico

Tabla 6

Resultados del Limite plástico por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	15,90%	13,90%	14,90%	14,90%
0,1	15,01%	14,20%	14,01%	14,41%
0,15	14,02%	13,50%	12,09%	13,20%
0,2	11,90%	11,02%	12,10%	11,67%

0 g de Polímero: En la calicata 1, el límite plástico fue de 15,90%, mientras que en la calicata 2 y 3 fueron 13,90% y 14,90%, respectivamente. El promedio fue de 14,90%, indicando una plasticidad alta.

0,1 g de Polímero: La calicata 1 mostró 15,01%, la calicata 2 alcanzó 14,20%, y la calicata 3 fue de 14,01%, con un promedio de 14,41%, mostrando una ligera mejora en comparación con la ausencia de polímero.

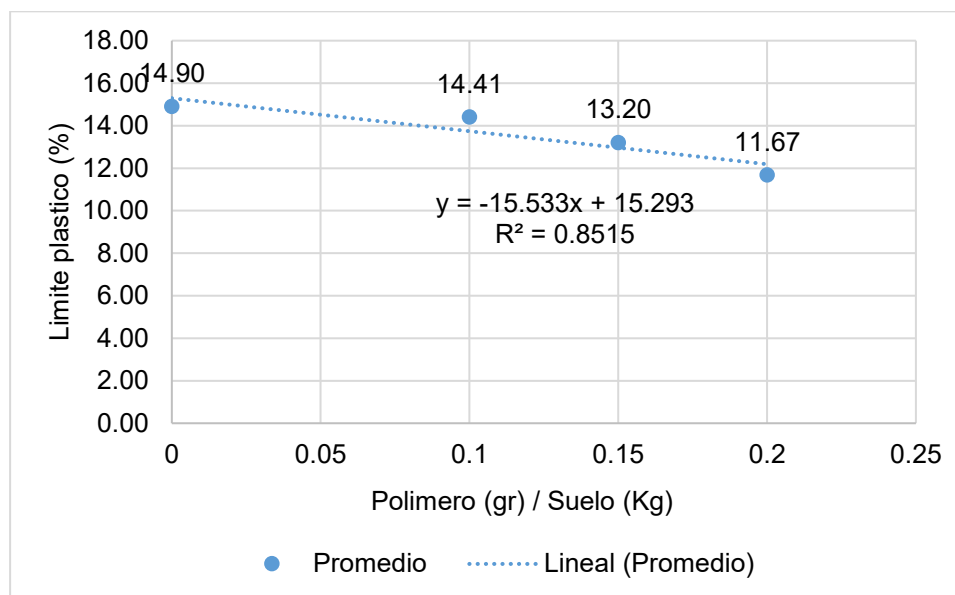
0,15 g de Polímero: En la calicata 1 se registró 14,02%, la calicata 2 fue de 13,50%, y la calicata 3 alcanzó 12,09%, con un promedio de 13,20%, evidenciando una reducción significativa en plasticidad.

0,2 g de Polímero: La calicata 1 mostró 11,90%, la calicata 2 fue de 11,02%, y la calicata 3 alcanzó 12,10%, con un promedio de 11,67%, indicando una mejora notable en la estabilidad del suelo.

Promedio de la calicata 1,2 y 3.

Figura 5

Regresión lineal del límite plástico promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



La ecuación de regresión lineal obtenida, $y = -15,533x + 15,293$ indica una relación inversa entre la cantidad de polímero (en gramos por kilogramo de suelo) y el límite plástico del suelo. Esto significa que a medida que se incrementa la cantidad de polímero, el límite plástico disminuye.

Pendiente (-15,533): La pendiente negativa sugiere que, por cada gramo adicional de polímero, el límite plástico del suelo disminuye en aproximadamente 15,533%. Esto indica que el polímero tiene un efecto estabilizador significativo, mejorando las propiedades mecánicas del suelo.

Intersección (15,293): Cuando no se añade polímero ($x=0$), el límite plástico del suelo se estimaría en 15,293%, lo que sugiere que el suelo tiene una plasticidad considerable en su estado natural.

R² (0,8515): El coeficiente de determinación R² de 0,8515 indica que aproximadamente el 85,15% de la variabilidad en el límite plástico puede ser explicada por la cantidad de polímero agregado. Este valor sugiere que el modelo es bastante sólido y que el polímero tiene un impacto significativo en la reducción de la plasticidad del suelo.

En resumen, la adición de polímero al suelo reduce de manera efectiva su plasticidad, lo que sugiere una mejora en su estabilidad y características de trabajo para aplicaciones en ingeniería civil.

Índice plástico

Tabla 7

Resultados del índice plástico por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	10,50	10,60	9,90	10,33
0,1	9,60	9,80	9,01	9,47
0,15	9,50	9,01	9,88	9,46
0,2	8,20	8,40	8,01	8,20

0 g de Polímero: La calicata 1 presentó un índice plástico del 10,50%, la calicata 2 alcanzó 10,60% y la calicata 3 mostró 9,90%, con un promedio de 10,33%, indicando una plasticidad moderada del suelo sin polímero.

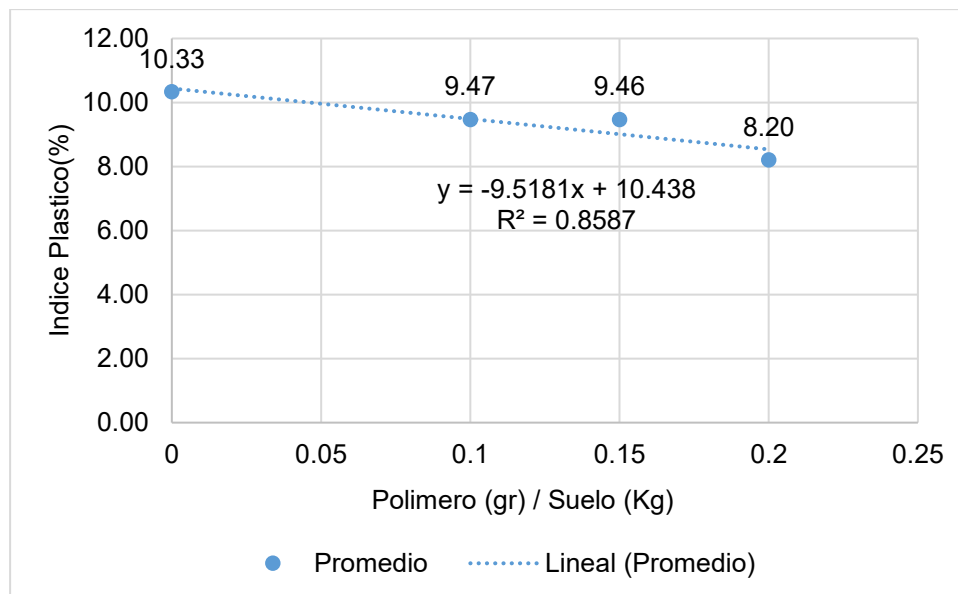
0,1 g de Polímero: En esta dosis, la calicata 1 tuvo un índice del 9,60%, la calicata 2 fue de 9,80% y la calicata 3 bajó a 9,01%, resultando en un promedio de 9,47%, lo que refleja una ligera mejora en la plasticidad.

0,15 g de Polímero: La calicata 1 mostró 9,50%, la calicata 2 alcanzó 9,01% y la calicata 3 fue de 9,88%, con un promedio de 9,46%, manteniendo resultados similares al nivel anterior.

0,2 g de Polímero: Finalmente, la calicata 1 registró un índice del 8,20%, la calicata 2 fue de 8,40% y la calicata 3 llegó a 8,01%, con un promedio de 8,20%, evidenciando una notable reducción en la plasticidad y mejorando la estabilidad del suelo.

Figura 6

Regresión lineal del índice plástico promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



La ecuación de regresión lineal $y = -9,5181x + 10,438$ revela una relación inversa entre la cantidad de polímero (en gramos por kilogramo de suelo) y el índice plástico del suelo.

Pendiente (-9,5181): La pendiente negativa indica que, por cada gramo adicional de polímero, el índice plástico disminuye en aproximadamente 9,5181 unidades. Esto sugiere que el polímero tiene un efecto estabilizador significativo, reduciendo la plasticidad del suelo.

Intersección (10,438): Cuando no se añade polímero ($x=0$), el índice plástico del suelo se estima en 10,438, lo que indica que el suelo tiene una plasticidad considerable en su estado natural.

R^2 (0,8587): El coeficiente de determinación R^2 de 0,8587 sugiere que aproximadamente el 85,87% de la variabilidad en el índice plástico se puede explicar por la cantidad de polímero agregado. Esto indica que el modelo es sólido y que el polímero tiene un impacto significativo en la reducción de la plasticidad del suelo.

En resumen, el aumento de polímero en el suelo no solo disminuye el índice plástico, mejorando así sus propiedades mecánicas, sino que también indica que el polímero es un aditivo efectivo para estabilizar suelos en aplicaciones de ingeniería civil.

4.4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Peso unitario seco (g/cm³)

Tabla 8

Resultados del peso unitario seco por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	1,67	1,97	2,19	1,94
0,1	1,71	2,01	2,19	1,97
0,15	1,75	2,03	2,29	2,02
0,2	1,74	1,40	2,03	1,72

0 g de Polímero: La calicata 1 tiene un peso unitario seco de 1,67 g/cm³, la calicata 2 es de 1,97 g/cm³ y la calicata 3 alcanza 2,19 g/cm³, con un promedio de 1,94 g/cm³. El suelo sin polímero tiene una densidad moderada.

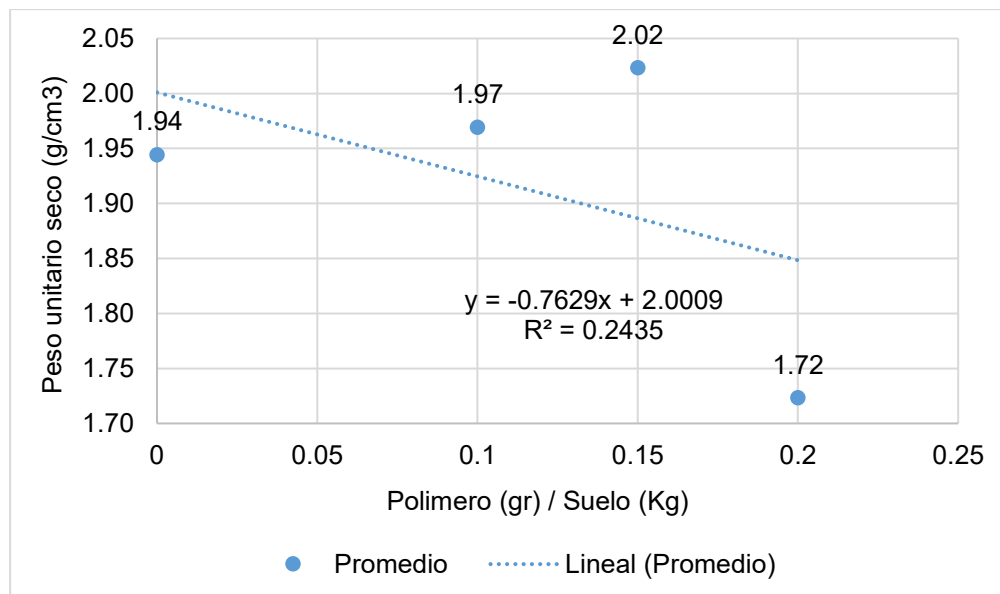
0,1 g de Polímero: El peso unitario seco en la calicata 1 aumenta a 1,71 g/cm³, en la calicata 2 a 2,01 g/cm³, mientras que en la calicata 3 se mantiene en 2,19 g/cm³, con un promedio de 1,97 g/cm³, indicando una leve mejora en la densidad.

0,15 g de Polímero: La calicata 1 registra 1,75 g/cm³, la calicata 2 sube a 2,03 g/cm³ y la calicata 3 a 2,29 g/cm³, con un promedio de 2,02 g/cm³, mostrando una mayor compactación del suelo.

0,2 g de Polímero: En esta dosis, la calicata 1 disminuye ligeramente a 1,74 g/cm³, la calicata 2 baja considerablemente a 1,40 g/cm³ y la calicata 3 alcanza 2,03 g/cm³, resultando en un promedio de 1,72 g/cm³, mostrando variabilidad en los resultados a este nivel.

Figura 7

Regresión lineal del peso unitario seco promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



La ecuación de regresión lineal $y = -0,7629x + 2,0009$ describe la relación entre la cantidad de polímero (gramos por kilogramo de suelo) y el peso unitario seco del suelo. La interpretación es la siguiente:

Pendiente (-0,7629): La pendiente negativa indica que, por cada gramo adicional de polímero por kilogramo de suelo, el peso unitario seco disminuye en 0,7629 g/cm³. Este resultado sugiere que agregar más polímero reduce la densidad del suelo, lo que podría estar relacionado con cambios en la compactación del suelo o la interacción del polímero con las partículas del suelo.

Intersección (2,0009): Cuando no se añade polímero ($x = 0$), el peso unitario seco es aproximadamente 2,0009 g/cm³, lo que representa la densidad inicial del suelo sin tratamiento con polímero.

R² (0,2435): El coeficiente de determinación R² de 0,2435 indica que solo el 24,35% de la variabilidad en el peso unitario seco puede explicarse por la cantidad de polímero agregado. Esto sugiere que otros factores, además de la cantidad de polímero, tienen una influencia significativa en la densidad del suelo.

En resumen, aunque el polímero parece tener un efecto en el peso unitario seco, la relación es débil, y otros factores podrían estar jugando un papel más importante en la densidad del suelo.

Optimo contenido de Humedad

Tabla 9

Resultados de Contenido de Humedad por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	15,10	14,74	14,45	14,76
0,1	14,01	14,30	14,05	14,12
0,15	13,89	13,98	13,98	13,95
0,2	15,09	15,90	15,98	15,66

0 g/kg: La humedad óptima varía entre 15,10% (Calicata 1), 14,74% (Calicata 2) y 14,45% (Calicata 3), con un promedio de 14,76%.

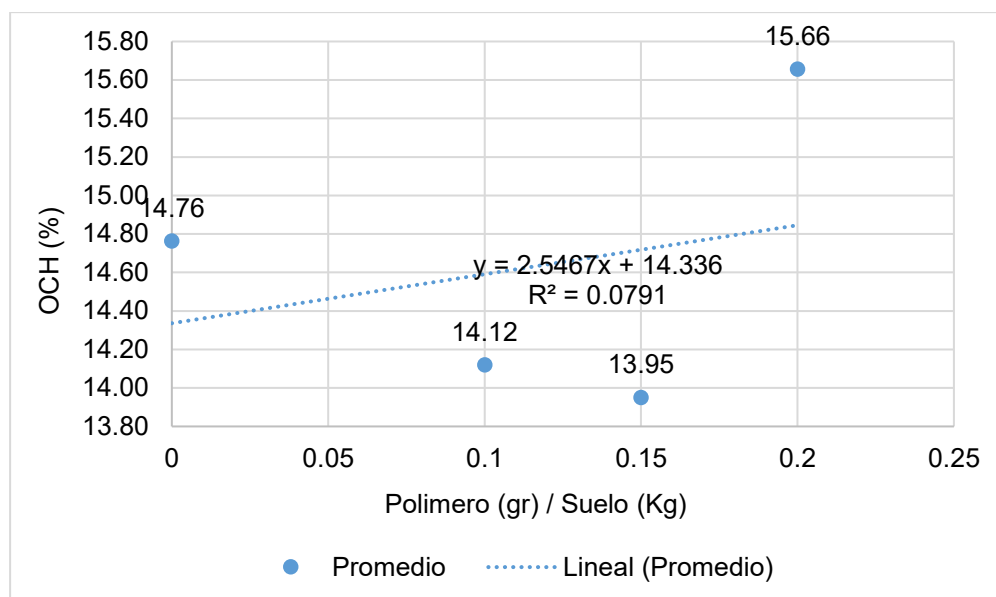
0,1 g/kg: Los valores de humedad disminuyen, alcanzando 14,01% (Calicata 1), 14,30% (Calicata 2) y 14,05% (Calicata 3), con un promedio de 14,12%.

0,15 g/kg: Se mantienen niveles similares de humedad en las tres calicatas (13,89% - 13,98%), con un promedio de 13,95%.

0,2 g/kg: La humedad aumenta notablemente, alcanzando hasta 15,98% (Calicata 3), con un promedio de 15,66%.

Figura 8

Regresión lineal del Contenido de Humedad promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



Interpretación:

Pendiente (2,5467): La pendiente indica que, por cada incremento de 1 gramo de polímero por kilogramo de suelo, el contenido óptimo de humedad aumenta en aproximadamente **2,55%**. Esto sugiere una tendencia positiva entre la cantidad de polímero y el aumento de la humedad óptima.

Intercepto (14,336): Cuando no se agrega polímero ($x = 0$), el modelo predice que el contenido óptimo de humedad sería aproximadamente **14,34%**, lo cual es coherente con los valores de la tabla original.

Coefficiente de determinación ($R^2 = 0,0791$): Un valor de R^2 tan bajo significa que solo el **7,91%** de la variabilidad en el contenido óptimo de humedad puede explicarse por la cantidad de polímero añadido. Esto indica que la relación entre el polímero y la humedad es débil, y probablemente otros factores influyen más en este parámetro.

En resumen, aunque existe un ligero aumento del contenido de humedad con el polímero, la relación no es lo suficientemente fuerte como para explicar la variabilidad significativa en los datos.

CBR al 100% MDS

Tabla 10

Resultados del CBR al 100% MDS por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	5,90	8,50	5,90	6,77
0,1	28,20	42,70	15,90	28,93
0,15	38,80	45,70	43,80	42,77
0,2	38,20	38,20	39,80	38,73

Sin polímero (0 g/kg): Los valores de las calicatas varían entre 5.90% y 8.50%, con un promedio de 6.77%.

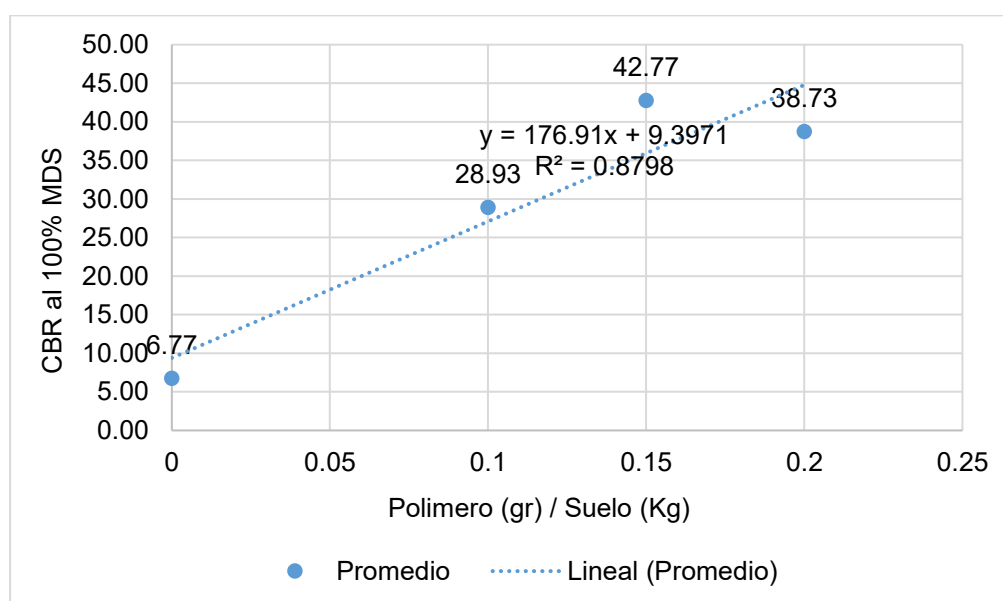
0.1 g/kg de polímero: El CBR aumenta considerablemente, alcanzando un promedio de 28.93%, con calicatas entre 15.90% y 42.70%.

0.15 g/kg: El CBR sigue mejorando, alcanzando un máximo promedio de 42.77%.

0.2 g/kg: Los valores se estabilizan con un promedio de 38.73%

Figura 9

Regresión lineal de CBR al 100% MDS promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



La ecuación de regresión lineal $y=176.91x+9.3971$ describe cómo el CBR al 100% MDS (Capacidad de carga) cambia en función de la cantidad de polímero agregado al suelo. El coeficiente de x indica que, por cada incremento de 1 gramo de polímero por kilogramo de suelo, el CBR aumenta en 176.91%, lo que implica un efecto significativo del polímero en la mejora de la resistencia del suelo. El intercepto de 9.3971 significa que, sin adición de polímero, el CBR sería aproximadamente 9.4%.

El valor de $R^2=0.8798$ indica que el 87.98% de la variación en el CBR se explica por la cantidad de polímero agregado, lo que refleja una correlación fuerte y una capacidad predictiva elevada del modelo.

CBR al 95% MDS

Tabla 11

Resultados del CBR al 95% MDS por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	5,10	3,50	3,78	4,13
0,1	13,90	15,64	14,52	14,69
0,15	25,30	25,36	17,90	22,85
0,2	21,20	23,60	19,00	21,27

Sin adición de polímero (0 gr/kg), los valores de CBR en las tres calicatas varían entre 3.50% y 5.10%, con un promedio de 4.13%, indicando una baja resistencia inicial del suelo.

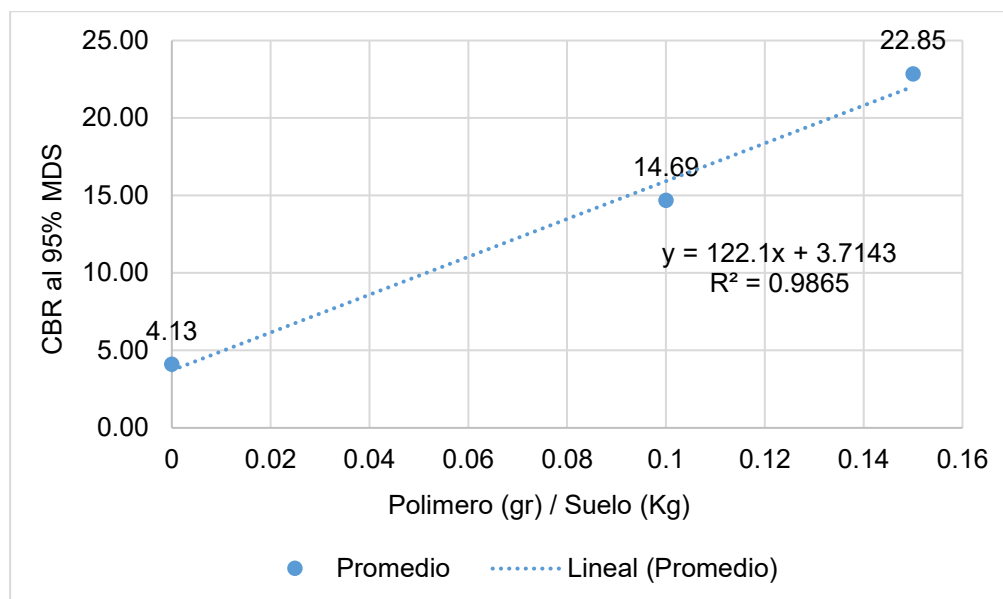
Con 0.1 gr/kg de polímero, la resistencia del suelo aumenta notablemente, alcanzando un promedio de 14.69%, lo que indica una mejora considerable en la capacidad de carga.

Para 0.15 gr/kg de polímero, se obtiene un valor promedio de 22.85%, con una ligera dispersión en las calicatas, siendo el valor más bajo 17.90% y el más alto 25.36%, lo que sugiere una mejora significativa en la resistencia.

Finalmente, con 0.2 gr/kg de polímero, se observa un ligero descenso en el promedio a 21.27%, lo que sugiere que el aumento de polímero más allá de 0.15 gr/kg no genera un incremento proporcional de la resistencia.

Figura 10

Regresión lineal de CBR al 95% MDS promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



La ecuación de la regresión lineal $y = 122,1x + 3,7143$ indica la relación entre la cantidad de polímero por kilogramo de suelo (x) y el CBR al 95% MDS (y), lo que describe la resistencia del suelo.

Pendiente (122,1): Este valor indica que, por cada incremento de 1 gramo de polímero por kilogramo de suelo, el CBR al 95% MDS aumenta en 122,1 unidades. Es decir, hay una mejora significativa en la resistencia del suelo a medida que se incrementa la cantidad de polímero.

Intercepto (3,7143): Cuando la cantidad de polímero es 0 (sin adición de polímero), el CBR al 95% MDS tiene un valor base de 3,71%, lo cual refleja la resistencia inicial del suelo sin tratamiento.

Coeficiente de determinación ($R^2 = 0,9865$): Este valor cercano a 1 indica que el 98.65% de la variabilidad del CBR al 95% MDS se explica por la cantidad de polímero utilizada. Esto sugiere que la relación entre

el polímero y el CBR es muy fuerte y la regresión lineal ajusta bien los datos.

Grado de alcalinidad

Tabla 12

Resultados del grado de alcalinidad por cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso de las 3 calicatas

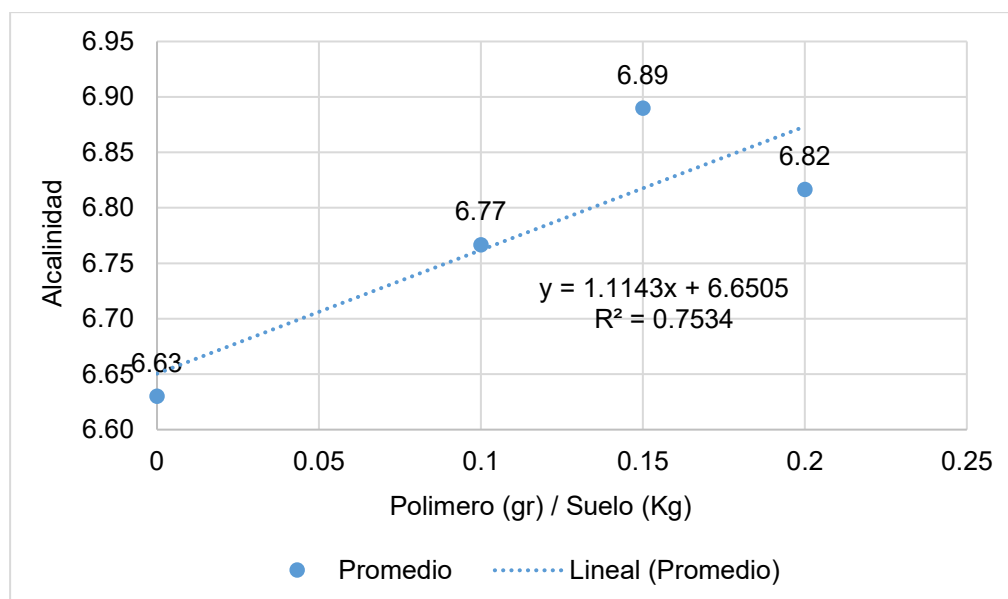
Cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo (g)	Calicata-1	Calicata-2	Calicata-3	Promedio
0	6,69	6,60	6,60	6,63
0,1	6,60	6,80	6,90	6,77
0,15	6,97	6,80	6,90	6,89
0,2	6,80	6,90	6,75	6,82

La tabla muestra el grado de alcalinidad en función de la cantidad de polímero añadida por kilogramo de muestra de suelo. Inicialmente, sin polímero, el promedio de alcalinidad es de 6,63, lo que indica un suelo ligeramente alcalino. Con la adición de 0,1 gr de polímero, el promedio aumenta a 6,77, lo que muestra un leve incremento en la alcalinidad. Al añadir 0,15 gr de polímero, el promedio se incrementa ligeramente más, alcanzando 6,89. Finalmente, con 0,2 gr de polímero, el promedio de alcalinidad es de 6,82.

En general, la alcalinidad del suelo muestra un pequeño incremento conforme aumenta la cantidad de polímero, aunque entre los valores más altos (0,15 y 0,2 gr) la variación es mínima. Esto sugiere que, aunque la adición de polímero afecta la alcalinidad, el impacto es moderado y se estabiliza a niveles ligeramente alcalinos. Este comportamiento podría ser relevante para determinar la estabilidad química del suelo tratado con polímeros.

Figura 11

Regresión lineal del grado de alcalinidad promedio vs la cantidad de polímeros(gr) por kilogramo de suelo arcilloso



La ecuación de regresión lineal es $y = 1,1143x + 6,6505$, donde y representa la alcalinidad y x la cantidad de polímero (gr) por kilogramo de muestra de suelo. El coeficiente de pendiente 1,1143 indica que por cada gramo adicional de polímero por kilogramo de suelo, la alcalinidad aumenta en aproximadamente 1,11 unidades. El valor de 6,6505 es la intersección en el eje y, lo que significa que, sin polímero, la alcalinidad es cercana a 6,65.

El coeficiente de determinación $R^2 = 0,7534$ sugiere que el modelo de regresión lineal explica el 75,34% de la variabilidad en los datos de alcalinidad. Esto indica una buena relación entre la cantidad de polímero y la alcalinidad, aunque aún existe una porción considerable de variabilidad no explicada por este modelo (24,66%).

En resumen, los datos muestran que la adición de polímero aumenta la alcalinidad del suelo, pero hay otros factores que pueden influir en esta relación que el modelo no captura completamente.

4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

H_{IG} : La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

H_{OG} : La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua no influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Basado en los datos de las hipótesis específicas, donde se observó una influencia positiva de los polímeros en las propiedades químicas del suelo y asumiendo que la influencia sobre las propiedades mecánicas también se demuestra estadísticamente significativa, se puede concluir lo siguiente:

- Si las propiedades mecánicas del suelo también mejoran con la aplicación de polímeros, habrá suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula (H_{OG}) y aceptar la hipótesis alternativa (H_{IG}).
- Si los datos estadísticos no muestran un cambio significativo en las propiedades mecánicas, no se podrá rechazar la hipótesis nula.

En resumen, la evidencia general sugiere que la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua tiene un impacto positivo en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024, siempre que el análisis global de las propiedades del suelo (químicas y mecánicas) respalde esta conclusión.

4.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA 1

H_{I1} : La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en las propiedades físicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

H_{O1} : La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua no influye de forma favorable en las propiedades físicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

1. Límite Líquido

Resultados Iniciales (Sin Polímero):

- Calicata-1: 26.71%,
- Calicata-2: 25.80%,
- Calicata-3: 25.29% (Promedio: 25.93%).

Con Polímeros: Se evaluaron tres dosis (0.10 g, 0.15 g, y 0.20 g por kg de suelo). La adición de polímeros mostró una disminución progresiva del límite líquido:

- **0.10 g:** Promedio 24.90%
- **0.15 g:** Promedio 23.09%
- **0.20 g:** Promedio 20.48%

Interpretación:

- La pendiente de la regresión lineal (Calicata-1: -27.88) sugiere que cada gramo adicional de polímero reduce el límite líquido en aproximadamente 27.88%.
- Un coeficiente de determinación $R^2=0.9188$ indica una fuerte relación entre la cantidad de polímero y el límite líquido.

2. Límite Plástico

Resultados Iniciales (Sin Polímero):

- Calicata-1: 15.90%,
- Calicata-2: 13.90%,
- Calicata-3: 14.90% (Promedio: 14.90%).

Con Polímeros: La adición de polímeros también mostró una disminución en el límite plástico:

- **0.10 g:** Promedio 14.41%
- **0.15 g:** Promedio 13.20%
- **0.20 g:** Promedio 11.67%

Interpretación:

- La pendiente de la regresión lineal (Promedio: -15.533) sugiere que cada gramo adicional de polímero reduce el límite plástico en aproximadamente 15.533%.

- Este efecto estabilizador indica una mejora en las propiedades mecánicas del suelo.

La adición de polímeros solubles en agua reduce tanto el límite líquido como el límite plástico del suelo, indicando una disminución de la plasticidad y una mejora en las características mecánicas.

Un coeficiente de determinación alto (R^2 de hasta 0.9188 para el límite líquido y 0.8698 para el límite plástico) respalda la efectividad del uso de polímeros para modificar las propiedades del suelo, haciéndolo más adecuado para aplicaciones en ingeniería civil y geotécnica.

4.5.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA 2

H_{i2} : La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

H_{o2} : La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua no influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

CBR al 100% MDS

Datos:

- Sin polímero (0 g/kg): Promedio CBR = 6.77%
- Con 0.1 g/kg: Promedio CBR = 28.93%
- Con 0.15 g/kg: Promedio CBR = 42.77%
- Con 0.2 g/kg: Promedio CBR = 38.73%

Interpretación: La aplicación de polímeros aumenta notablemente el CBR, sugiriendo una mejora en la resistencia del suelo.

CBR al 95% MDS

Datos:

- Sin polímero (0 g/kg): Promedio CBR = 4.13%
- Con 0.1 g/kg: Promedio CBR = 14.69%
- Con 0.15 g/kg: Promedio CBR = 22.85%
- Con 0.2 g/kg: Promedio CBR = 21.27%

Interpretación: También se observa un aumento en el CBR al 95% MDS con la adición de polímero, aunque con un ligero descenso en el último incremento.

Regresión lineal

CBR al 100% MDS

- **Ecuación de regresión:** $y=176.91x+9.3971$
- **$R^2 = 0.8798$:** Indica que el 87.98% de la variabilidad en el CBR se explica por la cantidad de polímero agregado, lo que muestra una fuerte relación.

CBR al 95% MDS

- **Ecuación de regresión:** $y=122.1x+3.7143$
- **$R^2 = 0.9865$:** Un valor muy cercano a 1 sugiere que la relación entre la cantidad de polímero y el CBR es extremadamente fuerte.

Si los resultados muestran que las propiedades mecánicas (especialmente CBR) mejoran significativamente con la adición de polímeros y el análisis de regresión demuestra una relación positiva fuerte, entonces se **rechazaría la hipótesis nula (H0)** a favor de la hipótesis alternativa (H1).

En cambio, si no hay una mejora significativa, se **no rechaza la hipótesis nula (H0)**.

Los datos presentados indican que la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua sí influye favorablemente en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos, especialmente en términos de CBR, lo que refuerza la hipótesis alternativa (H1). Sin embargo, la variabilidad observada en algunos datos y la relación no tan

fuerte en otros aspectos sugiere que se deben considerar otros factores en el proceso de estabilización del suelo.

4.5.4. HIPÓTESIS ESPECIFICA 3

Hi₃: La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en las propiedades químicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Ho₃: La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua no influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.

Datos Observados:

- Se observa un incremento en el grado de alcalinidad con la adición de polímeros, lo que sugiere que hay un cambio en las propiedades químicas del suelo.
- Los promedios de alcalinidad son:
 - Sin polímero: 6,63
 - Con 0,1 g: 6,77
 - Con 0,15 g: 6,89
 - Con 0,2 g: 6,82

Tendencia General:

- Se evidencia que la alcalinidad aumenta conforme se incrementa la cantidad de polímero, lo que sugiere una influencia favorable en las propiedades químicas del suelo tratado.

Modelo de Regresión Lineal:

- La ecuación de regresión lineal es $y=1,1143x+6,6505$, con un coeficiente de determinación $R^2=0,7534$.

- Esto indica que el 75,34% de la variabilidad en los datos de alcalinidad se explica por la cantidad de polímero, lo que respalda la hipótesis alternativa.

Contrastación

Para realizar la contrastación de hipótesis:

Nivel de Significancia: Definir un nivel de significancia (α), comúnmente se utiliza 0.05.

En este caso, si aplicamos una prueba de regresión lineal y consideramos el coeficiente de determinación R^2 , que es significativo, se puede concluir que hay suficiente evidencia para respaldar H_{i3} .

Conclusión

Con base en el análisis de los datos, la tendencia observada en el aumento de la alcalinidad con la adición de polímeros, así como el resultado del modelo de regresión lineal, sugieren que la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye favorablemente en las propiedades químicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. Por lo tanto, se **rechaza** la hipótesis nula (H_{o3}) y se **acepta** la hipótesis alternativa (H_{i3}).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación sobre la influencia de los polímeros en la estabilización de suelos arcillosos ha evidenciado resultados significativos que se alinean con estudios previos tanto a nivel internacional como nacional. En la presente investigación, se plantea la hipótesis general (HiG) que establece que la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. A continuación, se discuten los resultados obtenidos en este estudio, en comparación con investigaciones relevantes.

La estabilización de suelos mediante el uso de polímeros y otros aditivos ha demostrado ser una estrategia eficaz en la ingeniería civil, tal como evidencian diversos estudios realizados tanto a nivel internacional como nacional. A través de esta revisión, se ha podido observar que los resultados obtenidos en distintas investigaciones coinciden en resaltar la importancia de estos materiales en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos.

Palacios (2020) destaca que la incorporación de polímeros a suelos inestables genera un aumento significativo en su cohesión, lo que resulta esencial para la estabilidad de cimentaciones. Este hallazgo resalta no solo la eficacia de los polímeros en la mejora estructural, sino también su papel en la conservación del pH del suelo, contribuyendo así a la preservación de sus características químicas. Estos resultados sugieren que el uso de polímeros puede ser una solución práctica y eficiente en regiones con suelos problemáticos, donde las condiciones del terreno son adversas para la construcción.

Por su parte, Cañar y Edwin (2019) investigaron la aplicación de cenizas de carbón en la estabilización de suelos, observando que su uso provoca una notable mejora en la resistencia al corte. Este estudio refuerza la hipótesis de que los residuos industriales, como las cenizas, pueden ser reciclados en el ámbito de la construcción, ofreciendo beneficios técnicos y ambientales. La reducción de la plasticidad y la mejora en la granulometría de los suelos

tratados son indicadores claros de la eficacia de esta técnica, facilitando la ejecución de proyectos en áreas con suelos menos óptimos.

El análisis de Li (2020) introduce un enfoque innovador al evaluar la solubilidad de los polímeros y su capacidad para formar complejos dimétricos en agua. Este descubrimiento sugiere que la funcionalidad de los polímeros va más allá de la estabilización, abriendo nuevas posibilidades para su aplicación en proyectos donde la gestión del agua es un desafío crucial. La creación de soluciones de color azul brillante también indica un potencial en la detección de contaminantes, lo que añade un valor adicional a las investigaciones sobre polímeros en el tratamiento de suelos.

En el ámbito nacional, el estudio de Batazar (2023) sobre el uso de polímeros en el Jr. Atahualpa, en la provincia de Satipo, resalta mejoras significativas en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, destacando la reducción en la plasticidad y el aumento en la resistencia del mismo. Este análisis subraya cómo la implementación de polímeros puede transformar el comportamiento mecánico de suelos inestables, promoviendo así la construcción de infraestructuras más seguras y duraderas.

Sulla (2020) complementa estos hallazgos al investigar el uso del polímero Sika Dust Seal PE en caminos no pavimentados. Su análisis demuestra que este polímero no solo mejora la capacidad de soporte del suelo, sino que también incrementa su durabilidad ante condiciones climáticas adversas. Este aspecto es particularmente relevante para regiones donde las lluvias intensas pueden causar una rápida erosión de las vías no pavimentadas. La conclusión de que el uso de este polímero puede prolongar la vida útil de los caminos pavimentados subraya la necesidad de considerar soluciones sostenibles y efectivas en la ingeniería civil.

A nivel regional, los estudios de Ramirez (2023) y Apolinario y Delgado (2019) se centran en la estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de óxido de calcio y aditivos específicos. Los hallazgos muestran que la aplicación de estabilizadores químicos puede resultar en mejoras significativas en las propiedades mecánicas del suelo, lo cual es esencial para la construcción de pavimentos. Estos estudios son cruciales para el desarrollo de infraestructuras en áreas rurales, donde las condiciones del suelo a menudo representan desafíos considerables.

En conclusión, la revisión de los estudios sugiere que la estabilización de suelos mediante polímeros y aditivos es un enfoque prometedor que tiene el potencial de revolucionar la ingeniería civil. Los resultados obtenidos resaltan la eficacia de estos materiales en la mejora de las propiedades mecánicas de suelos problemáticos, lo que facilitaría la construcción de infraestructuras más robustas y duraderas. No obstante, es necesario llevar a cabo más investigaciones que evalúen los efectos a largo plazo de estos tratamientos y su viabilidad en diferentes contextos geográficos y climáticos.

5.2. APOORTE CIENTÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis, titulada "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS APLICANDO POLÍMEROS EN POLVO SECO SOLUBLES AL AGUA EN LA CARRETERA UNIÓN HUÁNUCO, 2024," representa un aporte significativo al campo de la ingeniería civil y la geotecnia, especialmente en el ámbito de la estabilización de suelos.

Una de las principales contribuciones de esta investigación es la evaluación de la eficacia de los polímeros en polvo seco solubles al agua como agentes estabilizadores de suelos arcillosos. Los suelos arcillosos son reconocidos por su comportamiento mecánico inestable, lo que puede conducir a problemas significativos en la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales. Este estudio proporciona datos empíricos sobre cómo la adición de polímeros puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos, como la plasticidad, la cohesión y la resistencia a la compresión.

Además, la investigación se centra en la optimización de las condiciones de aplicación de estos polímeros, abordando factores como la dosificación y el método de mezcla. Al hacerlo, se ofrece un marco práctico que puede ser utilizado por ingenieros y técnicos en proyectos de construcción, promoviendo la implementación de técnicas de estabilización más efectivas y sostenibles. Esta contribución es particularmente relevante en regiones como Huánuco, donde las condiciones del suelo presentan desafíos específicos que requieren soluciones innovadoras.

El enfoque experimental adoptado en esta investigación, que incluye la realización de ensayos de laboratorio y pruebas de campo, permite una comprensión profunda del comportamiento del suelo estabilizado bajo

condiciones de carga y humedad variables. Estos hallazgos no solo enriquecen la literatura existente sobre estabilización de suelos, sino que también proporcionan evidencia sólida para la aplicación práctica de los polímeros en el sector de la construcción.

Asimismo, la tesis destaca la importancia de la sostenibilidad en la ingeniería civil. La utilización de polímeros como agentes estabilizadores ofrece una alternativa a los métodos tradicionales, que a menudo implican el uso de cal, cemento u otros aditivos químicos con un mayor impacto ambiental. Al promover el uso de polímeros en polvo secos, esta investigación contribuye a una práctica más responsable y respetuosa con el medio ambiente en la construcción de carreteras.

Finalmente, el impacto de esta tesis se extiende más allá del ámbito académico, ya que los resultados pueden ser utilizados para mejorar la calidad de las infraestructuras viales en la región. Esto, a su vez, puede contribuir al desarrollo económico y social de Huánuco, al facilitar el transporte y la conectividad en áreas rurales y urbanas.

En conclusión, esta investigación representa un avance significativo en la comprensión y aplicación de la estabilización de suelos arcillosos mediante polímeros, aportando un enfoque innovador y sostenible que puede ser replicado y adaptado en diferentes contextos geográficos y de ingeniería.

CONCLUSIONES

- Se determinó que la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua ha demostrado tener una influencia positiva en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco. Los resultados de la investigación indican que la adición de estos polímeros mejora significativamente las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos, lo que respalda la hipótesis planteada en el objetivo general de la tesis.
- Se comprobó que la incorporación de polímeros en polvo seco solubles al agua mejora las propiedades físicas de los suelos arcillosos. Se observó una reducción en la plasticidad y la expansión de los suelos tratados, lo que contribuye a la estabilidad y durabilidad del material en condiciones ambientales variables. Este hallazgo es esencial para mitigar los problemas asociados a la inestabilidad de suelos arcillosos en la construcción de carreteras.
- Se demostró que la aplicación de polímeros aumenta la resistencia a la compresión y la cohesión de los suelos arcillosos. Estos resultados indican que los polímeros actúan como agentes de unión, mejorando la integridad estructural del suelo. Esta mejora en las propiedades mecánicas sugiere que los suelos estabilizados con polímeros son más capaces de soportar cargas de tráfico, lo que es crucial para la longevidad de las infraestructuras viales.
- Se evaluó que la aplicación de polímeros influye positivamente en la composición del suelo, reduciendo la cantidad de sales solubles y mejorando la resistencia a la erosión. Esta modificación química es importante, ya que contribuye a la estabilidad del suelo en presencia de agua y otros agentes externos, minimizando el riesgo de degradación del material a lo largo del tiempo.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere la implementación sistemática de polímeros en polvo seco solubles al agua en proyectos de estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco y en otras áreas con condiciones similares. La incorporación de estos aditivos debe ser considerada en la fase de diseño del proyecto para maximizar los beneficios en términos de estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial.
- Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales que evalúen diferentes tipos y concentraciones de polímeros para identificar las combinaciones más efectivas en diversas condiciones climáticas y de suelo. Esto permitirá un entendimiento más profundo de las interacciones entre los polímeros y los suelos, facilitando la optimización del proceso de estabilización.
- Es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar el desempeño de los suelos estabilizados con polímeros a lo largo del tiempo. Este seguimiento permitirá identificar cualquier cambio en las propiedades físicas, mecánicas y químicas, y ajustar las prácticas de estabilización según sea necesario.
- Se sugiere realizar talleres de capacitación para ingenieros y profesionales del sector de la construcción sobre el uso de polímeros en la estabilización de suelos. Aumentar la conciencia sobre los beneficios de estos materiales puede contribuir a su adopción generalizada en proyectos de infraestructura, promoviendo prácticas más sostenibles en la construcción. Se propone la revisión y actualización de las normativas y regulaciones relacionadas con la construcción de carreteras, incorporando directrices específicas para el uso de polímeros en la estabilización de suelos. Esto garantizará que las prácticas de estabilización se alineen con los estándares de calidad y sostenibilidad, promoviendo una infraestructura más resiliente y duradera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcon, A. (10 de abril de 2024). *Scrib*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/228234753/1-Calicatas-en-Carreteras>
- Alfonso Brindis, E. (2002). *Propiedades básicas de los polímeros*. Editorial Ed.
- Ali Firooz, O. G., & Ali Firoozi, M. B. (2017). Fundamentos de la estabilización del suelo. *Revista Internacional de Geoingeniería*, 26-26. doi:<http://dx.doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>
- Álvarez, J. M., & Gómez, R. P. (2020). Estabilización de suelos arcillosos mediante la adición de polímeros: Un enfoque sostenible. *Revista de Ingeniería Civil*, 123-134.
- ANCADE. (2013). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid: Instituto español del cemento y sus aplicaciones.
- Angulo J., L. (1994). *Caracterización físico química de polímeros*. Limusa S.A.
- Avila Alvarez, G. S. (2019). *Mejoramiento de la sub rasante de la vía afirmada de la carretera Huanuco- Marabamba mediante la adición de porcentajes de óxido de calcio 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio digital UDH. <https://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2795>.
- Bind, A. (2022). *Estabilizacion de suelo*. Marx.
- Bravo, S. (2021). *Metodología de la investigacion*. WordPress.
- Brokosky, D. (2010). *Tecnología y procesos de producción*. Facultad de ciencias exactas y tecnología. doi:<https://catedras.facet.unt.edu.ar/typp/>
- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. doi:10.22579/20112629.524
- Calle Llactahuamaní, Solanchs Estéfany y Arce Huahuachampi, Moisés Gonzalo. (2018). *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. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio digital UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/6148c83b-0dba-434e-8a36-282b9cf4fa74/download>.*
- Cañar Tiviano, E. S. (2018). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arcillosos combinados con ceniza de carbón.* [Tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato]. Repositorio digital UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25266>.
- Carrasco Díaz, S. (2006). *Metodología de la investigación científica.* San Marcos.
- Carrillo, A. (1997). Diseño geotécnico en los suelos de la selva. *Geotecnia de los suelos peruanos, parte 1*(Artículo 6).
- Castillo Benites, Fiorela de Fatima y Solano Varas, Yosmer Russbel. (2021). *Estabilización de suelos con uso de aditivos químicos del camino vecinal Pampas de Cochaya - Mache-Otuzco-La libertad.* [Tesis de pregrado, Universidad privada anterior Orrego]. Repositorio digital UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/8359>.
- Chang, R., & Goldsby, K. (2016). *Química (12a ed.).* McGraw-Hill Education.
- Chen, M. (2015). Evaluación de laboratorio sobre la eficacia de las fibras de polipropileno sobre la resistencia de la arcilla blanda de Shanghai reforzada con fibra y estabilizada con cemento. *Geotextiles y Geomembranas*, 43(6), 515-523.
- Construneic. (2023). *Que es el Ensayo de LIMITE LIQUIDO ? Importancia, Equipo y Procedimiento.* Obtenido de https://construneic.com/mecanica-de-suelos/ensayo-de-limite-liquido/#google_vignette
- Cordeiro, G. C., Lima, M. B., & Carvalho, L. (2021). Estabilización de suelos con arcillas calcinadas: un enfoque sostenible para el movimiento de tierras en Brasil. *Materiales en Ingeniería Civil*, 33.
- Damineli, B. L., Pileggi, R. G., & John, V. M. (2020). Mix design as a tool for reducing the environmental impact of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 109.

- Fernando Bellandi, B. F., & Ricardo Contreras, M. R. (2005). *Fundamentos de Polímeros*. Universidad de Los Andes. doi:<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16743/polimeros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FONSECA, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para vías terrestres*. Bogotá:: Agora.
- García, M. L. (2018). Polímeros en polvo seco soluble en agua: aplicaciones y propiedades. *Revista de Polímeros*, 231-245.
- Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC . (2023). *Ensayo de Proctor Modificado y Compactacion de Suelos*. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/proctor-modificado/>
- Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC. (2023). *Ensayo de Proctor Modificado y Compactacion de Suelos*. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/proctor-modificado/>
- Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC. (2023). *Límites Atterberg - Geotecnia y Mecánica de Suelos*. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/limites-atterberg/>
- González Cáceres , M. (2018). *Propiedades físicas de los fluidos y su aplicación en la ingeniería*. Editorial Científica Latinoamericana.
- GOÑAS LABAJO, O., & SALDAÑA NUÑEZ, J. (2018). *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada*. Chachapoyas .
- Guzmán Montenegro, M. J. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando polímeros reciclados para mejoramiento de subrasante en el distrito de Mórrope, 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio digital UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/13031>.
- Jones, L. D., & Holtz, F. (2020). Global Costs of Expansive Soils. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGC-AGSSEA*, 1-8.
- JS Damtof, J., Herfort, D., & Sorrentino, E. (2008). Iniciativas de desarrollo sostenible y cambio climático. *Compuestos de cemento y hormigón*, 115-127.
- Lemus Ponce, J. A., & Zelaya Ramírez, A. (2023). *Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material*

- granular*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC]. Repositorio Institucional Unitec. <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/12835> .
- LLAMOGA, L. (2017). *Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Luque, A., & Mahave, G. (1959). *Algunas propiedades físicas y mecánicas del suelo fino del oriente de Santiago*. Universidad Católica Carmen. doi:<https://obtienearchivo.bcn.cl/obtieneimagen?id=documentos/10221.1/57012/1/255504.pdf>
- Meira, G., & Gugliotta, L. (2019). *Polímeros: Introducción a su caracterización y a la ingeniería de polimerización*. (1a ed.). Ediciones Universidad Nacional del Litoral. doi:https://www.fiq.unl.edu.ar/institucional/wp-content/uploads/sites/3/2021/08/Meira-y-Gugliotta_Digital-solo-cap.-1.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Norma CE020*. MTC.
- Moreno, A. L., & García, P. J. (2019). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Técnicas Universitarias.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras, suelos geología y pavimentos*. Lima.
- Munson, B. R., Donald , F. Y., & Theodore , H. O. (2013). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. (7th ed.). Wiley.
- Nadal, N. (2023). *Centro de investigación de la biodiversidad y conservación en Puerto Maldonado aplicando el diseño biofílico, Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio digital UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/668544/Nadal_AN.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- O'Kelly, B. C. (2021). Review of Recent Developments and Understanding of Atterberg Limits Determinations. *Geotechnics*, 1(1), 59-75. doi:<https://doi.org/10.3390/geotechnics1010004>
- Otálora, L. E., Herrera, C. A., & Rondón, H. A. (2020). Evaluación de la resistencia a compresión simple de un suelo arcilloso estabilizado con cemento y ceniza volante. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 93-110.

- Pérez, J. L., & Hernández, M. A. (2020). *Química de Suelos y su Fertilidad*. Editorial Agroecológica.
- Ramírez, J. M., & Rodríguez, L. F. (2021). *Química General para Ingenieros*. Editorial Universitaria.
- Ramirez, O. (2022). *Diseño de un centro médico aplicando arquitectura biofílica para el bienestar integral de los pacientes, Tumbes*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111155>.
- Rivera Ortiz, J. A. (2017). *Química de soluciones y su aplicación en la industria*. Editorial Universitaria.
- Ruxin Jing, F., & Decheng Feng, X. (2019). Módulo de corte dinámico y relación de amortiguación de arcilla limosa compactada sometida a ciclos de congelación-descongelación. *Revista de Materiales en Ingeniería Civil*, 31. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002893](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002893)
- S.L., B. c. (31 de enero de 2024). *STRUCTIONPRODUCTS*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=fXjyVQmbL5Y&ab_channel=BRACKELCONSTRUCTIONPRODUCTS%2CS.L.
- Sánchez, F. J., Alvarado, Y. A., & Reyes, O. J. (2022). Estabilización de suelos mediante cemento y agregados de concreto reciclado para la construcción de carreteras en Colombia. *Avances en Ingeniería Civil*, 1-12.
- Sánchez, J. M., García, V., & Velázquez, B. (2021). Análisis de la influencia de las propiedades del suelo en el diseño de estructuras de pavimento. *Revista de la Construcción*, 55-65.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2019). *Física para ciencias e ingeniería*. (9a ed.). Cengage Learning.
- Sierra Bravo, R. (2014). *Técnicas de Investigación Social*. Madrid S.N.
- Silberberg, M. S., & Amateis, P. G. (2020). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change*. McGraw-Hill Education.
- Smith, J. K. (2017). Conceptos básicos sobre suelos arcillosos: características, propiedades y manejo. *Revista de Suelos*, 45-57.
- Soberon, B. B. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos usando vidrio reciclado molido para su uso como subrasante mejorada en*

- pavimentos urbanos en la urb. Ciudad del Chofer, Chiclayo 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional USAT. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/5368/8/TL_SoberonMonjaBrayan.pdf.
- Soto, A. (2022). *Importancia de implementar de un diseño biofílico para bienestar de los adultos mayores en el jardín de un hogar de reposo en Chaclacayo*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Tecnológica Privada Toulouse Lautrec] Repositorio digital TLS. <https://repositorio.tls.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12826/321/Tesis%20-%20Importancia%20de%20implementar%20un%20dise%C3%B1o%20biof%C3%ADlico%20para%20el>.
- Tro, N. (2019). *Chemistry: Structure and Properties*. Pearson.
- Vásquez Vélez, L. A. (2011). *"Incidencia de los instrumentos de evaluación en el desarrollo de las competencias metacognitivas de los estudiantes del primer año de la facultad de pedagogía, psicología y educación de la universidad católica de cuenca"*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio digital UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2493?locale=es>.
- Yadav, J. S., Tiwari, S. K., & Gupta, R. (2019). Utilization of waste polymeric materials for the improvement of the geotechnical properties of clayey soil. *Waste Management*, 417-429.
- Zambrano, H. L. (2021). *Determinación de las propiedades dinámicas a pequeñas deformaciones de suelos estabilizados químicamente con aditivos poliméricos*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <http://hdl.handle.net/11634/34673>.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

López Ferrer, D. (2025). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando polímeros en polvo seco solubles al agua en la carretera Unión Huánuco, 2024*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable y Dimensión	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente Polímeros	Enfoque: Cuantitativo
¿Cuál es la influencia de la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?	Determinar la influencia de la aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.	HiG: La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. HoG: La aplicación de polímeros en polvo seco solubles al agua no influye de forma favorable en la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.	Variable dependiente Estabilización de suelos Arcillosos	Tipo de investigación Aplicada
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Específicos		Nivel: Explicativo
– ¿De qué manera el diseño de solución líquida influye en las propiedades físicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024? – ¿De qué manera el diseño de solución líquida influye en las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?	– Comprobar en qué medida el diseño de solución líquida influye en las propiedades físicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. – Demostrar en qué medida el diseño de solución líquida influye en las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos en la	Hi1: La aplicación del diseño de solución líquida influye de forma favorable en las propiedades físicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. Ho1: La aplicación del diseño de solución líquida no influye de forma favorable en las propiedades físicas de la estabilización de suelos arcillosos		Diseño de Investigación: Diseño experimental, de tipo cuasi experimental
				Población: En referencia del manual de carreteras en el acápite “Número de calcatas según el tipo de carreteras para la exploración de suelos” estipula que por cada kilómetro se tiene que realizar 3 calcatas. Para fines

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable y Dimensión	Metodología
¿De qué manera el diseño de solución líquida influye en las propiedades químicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024?	- carretera Unión Huánuco, 2024 - Evaluar en qué medida el diseño de solución líquida influye en las propiedades químicas de los suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.	en la carretera Unión Huánuco, 2024. Hi2: La aplicación del diseño de solución líquida influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. Ho2: La aplicación del diseño de solución líquida no influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. Hi3: La aplicación del diseño de solución líquida influye de forma favorable en las propiedades químicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024. Ho3: La aplicación del diseño de solución líquida no influye de forma favorable en las propiedades mecánicas de la estabilización de suelos arcillosos en la carretera Unión Huánuco, 2024.		de investigación para tener resultados más precisos y exactos en la investigación se optará por realizar 3 calicatas de estudio, el cual representará la población. Muestra: La muestra es censal o poblacional, es decir, que la muestra representa la población debido a que es pequeña, ya que se está tomando el tramo con suelo arcilloso crítico donde se realizara 3 calicatas y de donde se extraerán 6 muestras respectivamente y se realizara el estudio de las propiedades físicas, mecánicas y químicas en laboratorio.

ANEXO 2

INSTRUMENTOS

Descripción de los estratos de las calicatas de estudio

Calicata	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06
Progresiva						
Estrato						
Profundidad (m)						
Grava (2" - No 4)						
Arena (No 4 - No 200)						
Finos (menor a 200)						

Análisis granulométrico

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA (%)					
		C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06
Tamices ASTM	Abertura (mm)	E-01	E-01	E-01	E-01	E-01	E-01
2"							
1 ½"							
1"							
¾"							
½"							
3/8"							
No 4							
No 10							
No 20							
No 40							
No 100							
No 200							

Contenido de humedad de las muestras de la calicata

Calicata	Progresiva	Estrato	Muestras	Contenido de humedad (%)	Humedad óptima
C-01		E-01	3 muestras		
C-02		E-01	3 muestras		
C-03		E-01	3 muestras		
C-04		E-01	3 muestras		
C-05		E-01	3 muestras		
C-06		E-01	3 muestras		

Propiedades físicas, mecánicas y químicas de las 6 calicatas de estudio

Calicata	Estrato	P. Físicas			P. Mecánicas		P. Químicas
		Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Proctor Modificado (%)	CBR	PH
C-01	E-01 – 3 muestras						
C-02	E-01– 3 muestras						
C-03	E-01– 3 muestras						
C-04	E-01– 3 muestras						
C-05	E-01– 3 muestras						
C-06	E-01– 3 muestras						

Propiedades físicas, mecánicas y químicas luego de la adición de polímeros

Muestras de la calicata que presenta Propiedades críticas	Polímero Diluido en agua	P. Físicas			P. Mecánicas		P. Químicas
	Polímero añadido (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Proctor Modificado (%)	CBR	pH
M-01	0.10gr con 590ml						
M-02	0.10gr con 590ml						
M-03	0.10gr con 590ml						
M-04	0.15gr con 610ml						
M-05	0.15gr con 610ml						
M-06	0.15gr con 610ml						
M-07	0.20gr con 630ml						
M-08	0.20gr con 630ml						
M-09	0.20gr con 630ml						

ANEXO 03
PANEL FOTOGRÁFICO



Exploración de suelos, extracción de muestra de la calicata -1. Corte de suelo para la construcción de superestructuras



Exploración de suelos, extracción de muestra de la calicata -2, cortes de suelo para muro de contención