



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Suelo Cohesivo estabilizado con Caucho Granulado para mejorar las propiedades físico-mecánicas de una subrasante en zonas rurales

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Casimiro Cocha, Victor Jesus
ORCID: 0000-0002-3968-8661

Melgarejo Saturio, Kevin Saul
ORCID: 0000-0003-2007-0957

ASESOR

Torres Chung, César Roberto
ORCID: 0000-0002-3212-2817

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Casimiro Cocha, Victor Jesus

DNI: 48135495

Melgarejo Saturio, Kevin Saul

DNI: 76176032

Datos de asesor

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

Datos del jurado

JURADO 1

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 2

Donayre Cordova, Oscar

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 3

Chavarria Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de investigación está dedicado para mi Familia, especialmente para mi madre que se esfuerza día a día para que yo pueda cumplir esta gran meta de titularme como Ingeniero.

(Casimiro Cocha, Victor Jesus)

A Dios, a mi familia que están apoyándome continuamente en mis metas, a mi tío Juan y mi tío Máximo, que ya no están conmigo, pero todo el amor que tengo hacia ustedes nunca desaparecerá.

(Melgarejo Saturio, Kevin Saul)

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento se dirige a quiénes han forjado nuestro camino en la vida, que son nuestras familias, a los docentes por inculcarnos sus conocimientos y brindarnos siempre su apoyo.

(Casimiro Cocha, Victor Jesus)

(Melgarejo Saturio, Kevin Saul)

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA...1	
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.1.1. Problema e importancia.....	2
1.1.2. Árbol del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Delimitación de la Investigación.....	4
1.4.1. Geográfica.....	4
1.4.2. Temporal.....	4
1.4.3. Temática.....	4
1.4.4. Muestral.....	5
1.5. Justificación del estudio.....	5
1.5.1. Conveniencia.....	5
1.5.2. Relevancia social.....	5
1.5.3. Aplicaciones prácticas.....	6
1.5.4. Utilidad metodológica.....	6
1.5.5. Valor teórico.....	6
1.6. Importancia del estudio.....	7
1.7. Limitaciones del estudio.....	7
1.8. Alcance.....	7
1.9. Viabilidad del estudio.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Marco Histórico.....	8
2.2. Investigaciones Relacionadas con el Tema.....	8
2.2.1. Artículos.....	8

2.2.2. Investigaciones internacionales.....	16
2.2.3. Investigaciones nacionales.....	17
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	21
2.3.1. Suelos.....	21
2.3.2. Estabilización de Suelos.....	21
2.3.3. Plasticidad.....	22
2.3.4. Caucho reciclado.....	22
2.3.5. Capacidad de Soporte.....	22
2.3.6. Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.....	23
2.4. Definición de términos básicos.....	24
2.4.1. Suelo cohesivo.....	24
2.4.2. Subrasante.....	24
2.4.3. Estabilización de Suelo.....	24
2.4.4. Resistencia.....	24
2.4.5. Plasticidad.....	24
2.4.6. Imágenes TEM.....	24
2.4.7. Imágenes SEM.....	24
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	25
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	26
3.1. Formulación de Hipótesis.....	26
3.1.1. Hipótesis General.....	26
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	26
3.2. Variables.....	26
3.2.1. Variable Independiente.....	26
3.2.2. Variable Dependiente.....	26
3.3. Sistema de Variables.....	26
3.3.1. Definición Conceptual.....	26
3.3.2. Definición Operacional.....	27
3.3.3. Operacionalización de Variables.....	28
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....	29
4.1. Método de la Investigación.....	30
4.2. Tipo de Investigación.....	30
4.3. Nivel de la Investigación.....	31

4.4. Diseño de la Investigación.....	31
4.5. Población y muestra.....	32
4.5.1. Población.....	32
4.5.2. Muestra.....	32
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	36
4.7. Descripción de procesamientos de análisis.....	36
CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	38
5.1. Resultados de la investigación.....	38
5.2. Análisis e Interpretación de los resultados.....	60
5.3. Diagnóstico y situación actual.....	66
5.3.1. Propiedades Físicas en condición natural.....	67
5.3.2. Propiedades Mecánicas en condición natural.....	77
5.3.3. Propiedades Físicas del suelo cohesivo + Caucho Granulado.....	84
5.3.4. Propiedades Mecánicas del suelo cohesivo + Caucho Granulado.....	88
5.4. Contrastación de hipótesis.....	93
5.4.1. Hipótesis específica 1.....	93
5.4.2. Hipótesis específica 2.....	94
5.4.3. Hipótesis específica 3.....	96
5.4.4. Hipótesis general.....	97
DISCUSIONES.....	98
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
Anexos	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Categoría de Subrasante según el valor CBR.....	23
Tabla N°2: Operacionalización de las variables.....	28
Tabla N°3: Simbología de los Materiales.....	29
Tabla N°4: Cantidad de Ensayos a realizar.....	33
Tabla N°5: Cuadro comparativo de población, muestra y muestreo.....	34
Tabla N°6: Resumen de investigaciones Recopiladas.....	38
Tabla N°7: Resumen de resultados de ensayos de compactación con adición de caucho granulado.....	40
Tabla N°8: Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.....	42
Tabla N°9: Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.....	43
Tabla N°10: Resumen de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.....	45
Tabla N°11: Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.....	46
Tabla N°12: Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado Calicata 1.....	48
Tabla N°13: Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado Calicata 2.....	49
Tabla N°14: Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado Calicata 3.....	50
Tabla N°15: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	51
Tabla N°16: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	52
Tabla N°17: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	53
Tabla N°18: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	55

Tabla N°19: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	56
Tabla N°20: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	57
Tabla N°21: Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.....	59
Tabla N°22: Contenido de Humedad (%).....	68
Tabla N°23: Peso Específico Natural (γ).....	71
Tabla N°24: Peso Específico Relativo de Sólidos (Gs).....	73
Tabla N°25: Límite Líquido (%).....	74
Tabla N°26: Límite Plástico (%).....	75
Tabla N°27: Límite de Contracción (%).....	77
Tabla N°28: Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad.....	79
Tabla N°29: CBR del suelo natural.....	83
Tabla N°30: Resumen de las propiedades físico – mecánicas del suelo natural.....	84
Tabla N°31: Límite de Contracción del suelo cohesivo + % C.G.....	87
Tabla N°32: Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad.....	90
Tabla N°33: CBR del suelo natural + 5% de C.G.....	91
Tabla N°34: CBR del suelo natural + 10% de C.G.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Árbol del problema.....	3
Figura N°2: Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	25
Figura N°3: Estudio de diseño –cohorte (causa-efecto).....	32
Figura N°4: Carretera La Cruz - Mirador de San Luis de Shuaro.....	33
Figura N°5: Técnica e instrumentación de recolección de datos.....	37
Figura N°6: Resumen del tipo de suelo de las investigaciones recolectadas.....	39
Figura N°7: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado.....	41
Figura N°8: Comportamiento de M.D.S. según el porcentaje de caucho granulado. .	42
Figura N°9: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. seca según el porcentaje de caucho granulado.....	44
Figura N°10: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado.....	45
Figura N°11: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado.....	47
Figura N°12: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado en calicata 1.....	48
Figura N°13: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado en calicata 2.....	49
Figura N°14: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado en calicata 3.....	50
Figura N°15: Influencia del caucho triturado en las propiedades geotécnicas.....	52
Figura N°17: Resultados de %CBR para diferentes % de Caucho granulado de las 03 calicatas.....	54
Figura N°18: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado no remojado.....	55
Figura N°19: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado no remojado.....	56
Figura N°20: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado remojado.....	58
Figura N°21: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado remojado.....	59

Figura N°22: Comportamiento de Máxima densidad seca según el porcentaje de caucho granulado incorporado al suelo.....	61
Figura N°23: Comportamiento de Máxima densidad seca según el porcentaje de caucho granulado incorporado al suelo.....	62
Figura N°24: Resumen del comportamiento del CBR en estado no remojado.....	64
Figura N°25: Resumen del comportamiento del CBR en estado remojado.....	65
Figura N°26: Lugar de estudio para obtención de Calicata 1.....	66
Figura N°27: Muestras de suelo arcilloso.....	66
Figura N°28: Cuarteo de la muestra de suelo arcilloso.....	67
Figura N°29: Porción de suelo para hallar el contenido de humedad.....	67
Figura N°30: Lavado de la muestra de Suelo.....	68
Figura N°31: Secado de la muestra de Suelo lavada.....	69
Figura N°32: Muestras retenidas en las mallas.....	69
Figura N°33: Curva Granulométrica.....	70
Figura N°34: Muestras inalteradas.....	70
Figura N°35: Muestras inalteradas con parafina.....	71
Figura N°36: Muestras inalteradas con parafina introducidas en la Probeta.....	71
Figura N°37: Suelo introducido en la Fiola.....	72
Figura N°38: Suelo dentro de la Fiola con agua en cocina eléctrica.....	72
Figura N°39: Contenido de las Fiolas secadas al Horno.....	73
Figura N°40: Ensayo de Limite Liquido.....	73
Figura N°41: Diagrama de Fluidez.....	74
Figura N°42: Moldeado de bastones.....	75
Figura N°43: Espesor de los bastones.....	75
Figura N°44: Muestra combinado con % de agua.....	76
Figura N°45: Muestra en reposo.....	76
Figura N°46: Moldes para Límite de Contracción.....	77
Figura N°47: Ensayo Proctor Modificado.....	78
Figura N°48: Compactación del suelo natural.....	78
Figura N°49: Ensayo de Proctor Modificado, Método A del suelo natural.....	78
Figura N°50: Curva de Compactación.....	79
Figura N°51: Compactación a 56, 25 y 12 Golpes.....	80
Figura N°52: Colocación de discos como sobrecarga.....	81

Figura N°53: Colocación de deformímetro.....	81
Figura N°54: Moldes en condición remojada.....	81
Figura N°55: Ensayo de Penetración.....	82
Figura N°56: Grafica Esfuerzo-Deformación del Suelo Natural.....	82
Figura N°57: MDS vs CBR para suelo Natural.....	83
Figura N°58: Caucho Granulado retenido en Malla #10.....	84
Figura N°59: Equipo para ensayo de Límite de Contracción + 2.5% de C.G.....	85
Figura N°60: Muestras secadas al horno con 2.5% de C.G.....	85
Figura N°61: Equipo para ensayo de Límite de Contracción +5% de C.G.....	86
Figura N°62: Muestras secadas al horno con 5% de C.G.....	86
Figura N°63: Equipo para ensayo de Límite de Contracción +10% de C.G.....	86
Figura N°64: Muestras secadas al horno con 10% de C.G.....	87
Figura N°65: Muestras de suelo secas con 0, 2.5, 5 y 10% de C.G.....	87
Figura N°66: Ensayo de Proctor Modificado + % de C.G.....	88
Figura N°67: Resultado de las 04 muestras + 5% de C.G.....	88
Figura N°68: Curva de Compactación + 5% C.G.....	89
Figura N°69: Resultado de las 04 muestras + 10% de C.G.....	89
Figura N°70: Curva de Compactación + 10% C.G.....	89
Figura N°71: Grafica Esfuerzo-Deformación del Suelo Natural + 5% C.G.....	90
Figura N°72: MDS vs CBR para suelo Natural + 5% de C.G.....	91
Figura N°73: Grafica Esfuerzo-Deformación del Suelo Natural + 10% de C.G.....	92
Figura N°74: MDS vs CBR para suelo Natural + 10% de C.G.....	92
Figura N°75: Variación del Límite de Contracción con % de C.G.....	93
Figura N°76: Variación de la MDS con % de C.G.....	95
Figura N°77: Resumen del comportamiento del CBR en estado remojado.....	96

RESUMEN

En esta investigación se estudió al caucho granulado como agente estabilizante de suelos cohesivos, en las propiedades físico-mecánicas: como la plasticidad, densidad, humedad, capacidad de soporte, etc. Teniendo una metodología deductiva, retrolectivo y proyectivo, ya que se realizó una revisión de más de 30 trabajos de investigación siendo esta una cantidad considerable de estudios acerca de la utilización de este derivado de neumáticos fuera de uso como agente estabilizante en suelos cohesivos con el fin de reducir problemas futuros a las obras de infraestructura vial.

Además, con esta recopilación se estudió el comportamiento del caucho granulado en cada una de las propiedades del suelo cohesivo y cómo estos se relacionan entre sí. Por lo anterior se buscó demostrar el comportamiento de las propiedades mencionadas, por lo que se obtuvo muestras de suelo en el distrito de San Luis de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Junín, teniendo características similares a la recopilación de datos de distintos autores, en la presente investigación se determina el comportamiento del suelo cohesivo con caucho granulado como agente estabilizante, se obtuvieron los resultados experimentales en el Límite de Contracción, donde este valor aumenta a razón de la incorporación de C.G. La Máxima Densidad Seca llega a tener su mayor valor cuando el suelo se encuentra en estado Natural, ya que a razón de la incorporación de C.G. esta disminuye y con respecto al CBR en estado remojado (condiciones críticas), disminuye la resistencia tras la incorporación de caucho granulado, lo cual no optimiza sus propiedades físico-mecánicas ya que no alcanzan los criterios mínimos que se requiere para ser una buena subrasante según el manual de carreteras (MC-05-14).

Palabras Clave: Caucho granulado, Suelo Cohesivo, Subrasante, Límite de Contracción, Densidad, Humedad y Capacidad de soporte.

ABSTRACT

In this research, granulated rubber was studied as a stabilizing agent for cohesive soils, in its physical-mechanical properties: such as plasticity, density, humidity, support capacity, etc. Having a deductive, retrolective and prolective methodology, since a review of more than 30 research papers was carried out, this being a considerable number of studies about the use of this derivative of end-of-life tires as a stabilizing agent in cohesive soils in order to to reduce future problems for road infrastructure works.

In addition, with this compilation, the behavior of granulated rubber was studied in each of the properties of the cohesive soil and how they are related to each other. Due to the above, it was sought to demonstrate the behavior of the mentioned properties, for which soil samples were obtained in the district of San Luis de Shuaro, province of Chanchamayo, Junín, having similar characteristics to the collection of data from different authors, in the In this investigation, the behavior of the cohesive soil with granulated rubber as a stabilizing agent is determined, the experimental results were obtained in the Limit of Contraction, where this value increases the ratio of the incorporation of C.G. The Maximum Dry Density reaches its highest value when the soil is in a Natural state, since due to the incorporation of C.G. is decreasing and with respect to the CBR in the soaked state (critical conditions), the resistance decreases after the incorporation of granulated rubber, which does not optimize its physical-mechanical properties since they do not reach the minimum criteria required to be a good substrate according to the road manual (MC-05-14).

Keywords: Granulated rubber, Cohesive Soil, Subgrade, Contraction Limit, Density, Humidity and Support capacity.

INTRODUCCIÓN

La inestabilidad de los suelos cohesivos es uno de los principales problemas que se presentan en un proyecto de pavimentación debido a que estos suelos no poseen una calidad adecuada para conformar una subrasante, debido a que presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción debidos a su elevada plasticidad, expansividad y su baja resistencia por lo que deben ser optimizados con alguna técnica, para poder brindar estabilidad a los pavimentos durante su vida útil.

Actualmente en el mundo se desechan millones de neumáticos al año, lo cual con una mala gestión acaban siendo quemados, etc., contaminando al medio ambiente, por ello se debe cambiar a una mentalidad más sostenible, reutilizando los neumáticos fuera de uso en subproductos o derivados los cuales serían alternativas como agentes estabilizantes capaces de optimizar las propiedades geotécnicas de los suelos.

Muchos estudios acerca de la estabilización de los suelos cohesivos por medio de la adicción de derivados de neumáticos fuera de uso (caucho granulado, fibras de caucho, caucho en polvo, fibras textiles, etc.) no logran mejorar los suelos inestables en materiales que puedan cumplir con los requerimientos para un proyecto de pavimentación, etc. La estabilización del suelo cohesivo no logra un cambio considerable de las características físico-mecánicas, produciendo una menor resistencia y baja estabilidad a largo plazo. Por lo anterior se buscó demostrar el comportamiento de las propiedades mencionadas, por lo que se obtuvo muestras de suelo en el distrito de San Luis de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Junín con características similares a la recopilación de datos de distintos autores. El presente trabajo estará compuesto por el Capítulo I: Planteamiento y delimitación del problema; Capítulo II: Marco Teórico; Capítulo III: Sistema de hipótesis; Capítulo IV: Marco Metodológico; Capítulo V: Presentación y Análisis de resultados; Conclusiones; Recomendaciones; Referencias Bibliográficas y Anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Actualmente, la infraestructura vial es imprescindible para el desarrollo de un país, ya que permite accesibilidad a las necesidades indispensables tales como la educación, trabajo, alimentación, salud, beneficios económicos y sociales que esta genera. Por ello, es necesario desarrollar sistemas viales en zonas que carecen de esta infraestructura, debido a que es la única forma con la que se logra satisfacer las necesidades básicas de las poblaciones. Muchas zonas rurales cuentan con un sistema vial poco desarrollado, inclusive no cuentan con alguna, lo que interfiere en el desarrollo de la población, por ello se necesita desarrollar proyectos de pavimentación, para ello sabemos que todos los suelos no cumplen con las características necesarias para un proyecto de pavimentación, por su baja capacidad de soporte y propiedades físico-mecánicas debido a su naturaleza.

En la zona de estudio predominan suelos cohesivos, estas están presentes en la mayor parte del país y no poseen una calidad adecuada para conformar una subrasante por lo que deben ser optimizados con alguna técnica, para poder brindar estabilidad a los pavimentos durante su vida útil.

Para solucionar este problema se emplean alternativas de estabilización para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo, por ello estudiaremos la estabilización con el uso de caucho granulado determinando las características físico-mecánicas mediante investigaciones anteriores realizadas, para poder conocer cómo mejora el comportamiento del suelo con este agente estabilizante ya mencionado.

1.1.1. Problema e importancia

En el Perú muchas zonas rurales cuentan con un sistema vial poco desarrollado, los suelos no cumplen con las características necesarias para un proyecto de pavimentación, por su elevada plasticidad, elevada expansividad, baja capacidad de soporte, baja permeabilidad y propiedades físico-mecánicas debido a su naturaleza.

La importancia del presente estudio es analizar el caucho granulado como agente estabilizante de suelos cohesivos en sus propiedades físico-mecánicas, por medio de una revisión bibliográfica, donde se realizaron muchos estudios acerca de la utilización de este agente, con el fin de optimizar y obtener una mejor calidad de subrasante para proyectos de pavimentación.

1.1.2. Árbol del problema

Para poder entender el tema con una mayor profundidad se elabora el árbol del problema que se muestra en la Figura N°1 donde se pueden apreciar las causas que originan el problema de inestabilidad de suelos cohesivos como subrasantes y las consecuencias que conllevan de tal forma podremos entender mejor el problema y poder plantear mejores objetivos.

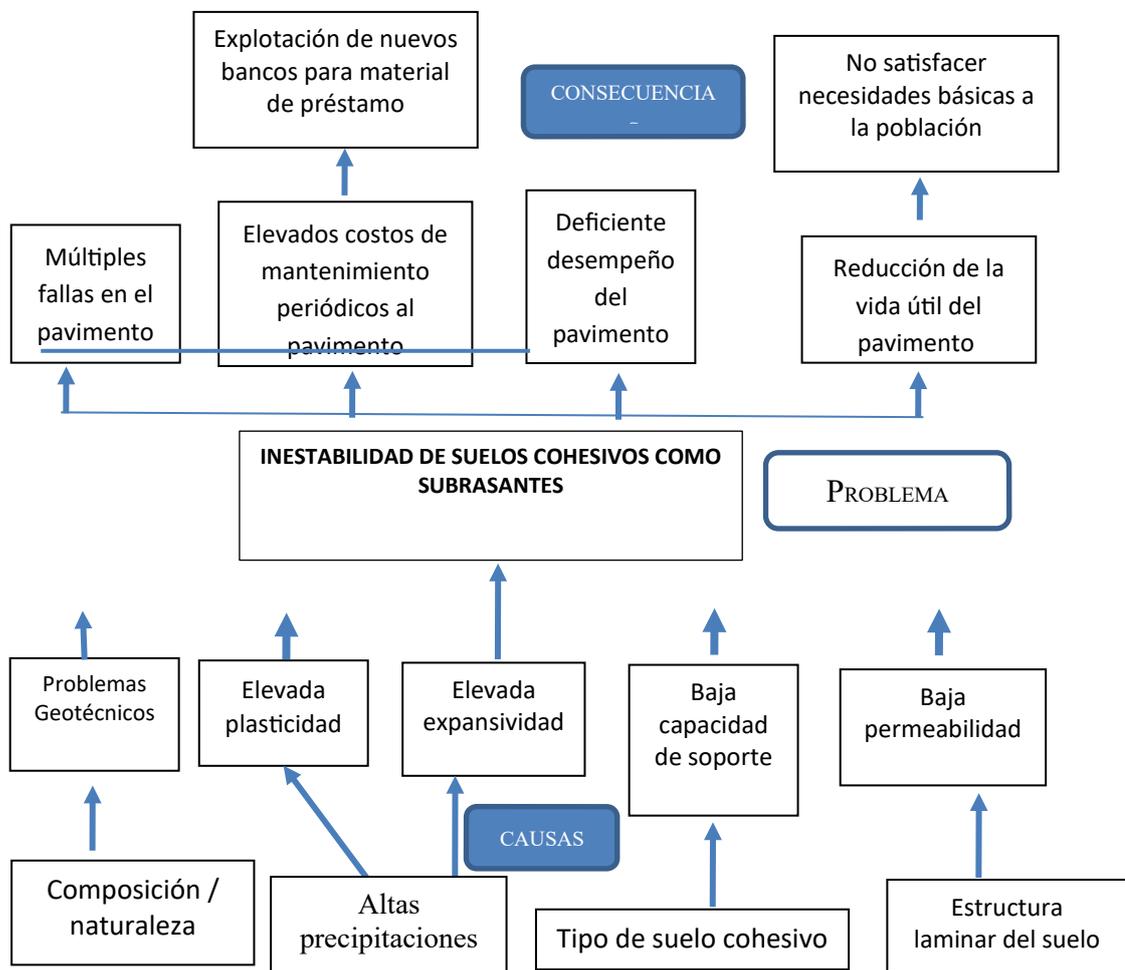


Figura N°1: Árbol del problema

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida el comportamiento de suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante optimiza las propiedades físico-mecánicas de una subrasante en zonas rurales?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el Limite de Contracción del suelo cohesivo se comporta a razón de la incorporación de Caucho Granulado?

- b) ¿De qué manera el mayor porcentaje de Caucho Granulado como agente estabilizante aumenta la máxima densidad seca?
- c) ¿De qué manera el mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la capacidad de soporte (CBR) del suelo cohesivo para evitar un deficiente desempeño del pavimento?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento del suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante, a fin de optimizar las propiedades físico-mecánicas de una subrasante usando el manual de carreteras (MC-05-14) en zonas rurales año 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el comportamiento del Límite de Contracción del suelo cohesivo, a razón de la incorporación de Caucho Granulado.
- b) Determinar el mayor porcentaje de Caucho Granulado para aumentar la máxima densidad seca y tener un mayor control de calidad al compactar.
- c) Determinar el mayor porcentaje de Caucho Granulado para aumentar la capacidad de soporte (CBR) en el suelo y evitar un deficiente desempeño del pavimento.

1.4. Delimitación de la Investigación

1.4.1. Geográfica

El presente estudio se desarrollará en una zona rural en el distrito de San Luis de Shuaro, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín.

1.4.2. Temporal

El presente estudio se desarrollará durante los meses de mayo del 2022 al mes de noviembre del 2022.

1.4.3. Temática

La tipología del estudio es documental, descriptiva, bibliográfica y experimental donde estudiaremos los porcentajes de caucho granulado,

estos derivados de Neumáticos a Final de su vida Útil como agente estabilizante en suelos cohesivos.

1.4.4. Muestral

En este estudio recopilaremos Trabajos de Investigación, Artículos Internacionales donde obtendremos diferentes resultados en ensayos de laboratorio, elaborados por distintos autores, para poder evaluar las propiedades físico-mecánicas haciendo uso del manual de carreteras (MC-05-14). Lo cual además será comprobado y demostrado mediante la obtención de muestras de un suelo con las características estudiadas.

1.5. Justificación del estudio

Con el presente estudio damos a conocer los resultados obtenidos de investigaciones anteriores realizadas, de las propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo al ser estabilizados con caucho granulado (derivados de Neumáticos a Final de su vida Útil), brindando información como material de consulta, que podrá ser utilizada para investigaciones de pavimentación.

1.5.1. Conveniencia

Los suelos cohesivos están presentes en la mayor parte del país, por lo que son un problema al evaluar sus características para proyectos de pavimentación, ya que por su naturaleza son suelos de baja resistencia, teniendo una calidad inadecuada para conformar una subrasante, por lo que es conveniente mejorar con alguna técnica, en este caso los derivados de Neumáticos a Final de su vida Útil, usando al caucho granulado como agente estabilizante, ayudarían a estabilizar la subrasante, ya que estos agentes otorgan buenos resultados en investigaciones anteriores, mejorando las propiedades de los suelos cohesivos, brindando una buena estabilidad y desempeño del pavimento durante su vida útil.

1.5.2. Relevancia social

En muchas zonas donde presentan suelos cohesivos, carecen de vías pavimentadas debido a que estos suelos no son aptos para usarse como subrasantes para un proyecto de pavimentación, dichas zonas en su

mayoría no cuentan con antecedentes de vías afirmadas que hayan sido mejoradas, por ello, se realiza la estabilización del suelo usando como agentes estabilizantes a los derivados de Neumáticos a Final de su vida Útil, en este caso el caucho granulado para brindar estabilidad a las estructuras del pavimento durante su vida útil. De tal manera la población sería beneficiada al uso de la vía, la cual ayudará en su desarrollo y crecimiento. Usando estos agentes estabilizantes aumentan la vida útil del pavimento, generando así una reducción de los elevados costos de mantenimiento, etc.

Además, el uso de los derivados de Neumáticos a Final de su vida Útil ayuda a disminuir la contaminación ambiental, evita la explotación de nuevos bancos para material de préstamo y contribuye con los objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

El Análisis de Resultados que obtendremos se logrará mediante la comparación de diferentes ensayos de laboratorio, elaborados por distintos autores, para poder evaluar las propiedades físico – mecánicas del suelo cohesivo, al adicionar porcentajes de caucho granulado como agente estabilizante. Generando así un nuevo diseño que ayude a optimizar las propiedades físico-mecánicas de una subrasante para proyectos futuros de pavimentación.

1.5.4. Utilidad metodológica

En este estudio recopilaremos Trabajos de Investigación, Artículos Internacionales, Normas Técnicas Peruanas (NTP), normas internacionales de ASTM y manuales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, donde rigen especificaciones y requerimientos de Calidad para cumplir de manera eficiente los procesos, de tal forma que puedan ser utilizadas en zonas del país con similitud de suelos.

1.5.5. Valor teórico

La información obtenida, posteriormente analizada y comparada con otros estudios, servirá como base bibliográfica para futuras investigaciones relacionadas a la geotecnia e infraestructura vial, debido a que enriquecen más el marco teórico y/o cuerpo de conocimiento existente referente al tema en estudio.

1.6. Importancia del estudio

La importancia del presente estudio es analizar nuevas alternativas, donde el Caucho Granulado como agente estabilizante de suelos cohesivos en sus propiedades físico-mecánicas, por medio de una revisión bibliográfica, donde se realizaron muchos estudios acerca de la utilización de este agente estabilizante, con el fin de mejorar la subrasante para proyectos de pavimentación en zonas rurales.

1.7. Limitaciones del estudio

En el presente estudio se obtendrá una recolección de datos de distintos Artículos científicos, que nos ayudará a poder llegar a nuestros objetivos. Siendo la limitación la obtención de datos en Artículos Nacionales para esta investigación, ya que hubiese sido información muy relevante en el estudio que llevamos a cabo.

1.8. Alcance

Este estudio abarcará la estabilización de suelos cohesivos con Caucho granulado para mejorar sus propiedades físico-mecánicas, siendo este estudio de carácter descriptivo y experimental, mediante una recopilación de datos de ensayos de laboratorio realizados por distintos autores, para poder analizar y determinar los beneficios de usar al Caucho reciclado como agente estabilizante en un suelo cohesivo.

1.9. Viabilidad del estudio

El presente estudio es viable ya que se cuenta con información a través de referencias bibliográficas como artículos y tesis tanto nacionales como internacionales ya que este estudio es de carácter descriptivo. Por otra parte, es importante realizar este estudio ya que las diferentes fuentes bibliográficas nos

van ayudar a analizar y discutir los datos obtenidos por distintos autores, sobre los resultados de una mejora de subrasante para proyectos de pavimentación y la cual podría servir como una guía para este tipo de proyectos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Histórico

Años atrás se han realizado diversos estudios donde se han aplicado distintos tipos de caucho, ya sea en polvo, triturado, granular, en tiras e incluso en forma ovoidal. Los cuales fueron aplicados a ensayos experimentales con el fin de optimizar las propiedades físico-mecánicas de un suelo, donde algunos de esos estudios mostraron una ligera mejoría, (Gutiérrez, F. & Rojas, H., 2015).

Por otra parte, el aumento de residuos de caucho se ha convertido en un problema global, debido a que intensifican los problemas ambientales y de salud. La solución ambiental sobre este tipo de residuos ha acelerado la búsqueda de alternativas sostenibles para el aprovechamiento de los residuos de caucho. En las últimas décadas, se han realizado gran cantidad de investigaciones para poder comprobar el potencial de los desechos de NFU (neumáticos fuera de uso) teniendo como derivados fibras textiles, caucho en fibras, caucho en granulado, caucho en polvo, entre otros, para ser empleados en el ámbito de la ingeniería civil.

2.2. Investigaciones Relacionadas con el Tema

2.2.1. Artículos

Firat, A., Karabash, Z., & Sulaiman, W., (2014), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de un suelo arcilloso al incorporarle pulidores de neumáticos (provenientes de ELT) y cal para optimizar sus propiedades geotécnicas. El suelo utilizado en esta investigación fue una

arcilla obtenida del campus de la Universidad de Gaziantep-Turquía, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en CL (arcilla de baja plasticidad). En cuanto a los pulidores de caucho, este se obtuvo de recauchutado de neumáticos con tamaños aproximados de 0.60 a 4.75 mm; además la cal utilizada fue cal viva. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Resistencia a la compresión no confinada y Pruebas de relación de carga de California (CBR) donde se prepararon muestras con incorporación de pulidores de caucho en 0, 5, 10 y 15% y para cal en 0, 2, 4 y 6% del peso seco del suelo. Los autores concluyen en esta investigación que, tras la incorporación de pulidores de caucho en el suelo sin estabilizar con cal, la Máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad disminuye a razón de la incorporación de pulidores de caucho debido a la diferencia de gravedades específicas y a la no absorción de agua en el caucho; en cuanto a la resistencia a la compresión no confinada y CBR, estos disminuyen a medida de aumentar el contenido de pulidores de caucho. Finalmente se demostró que usar pulidores de caucho en la arcilla sin cal no mostró una mejora en sus propiedades geotécnicas.

Soltani, A., Deng, A., Taheri, A & Sridharan, A. (2017), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de un suelo expansivo al incorporarle caucho en polvo (provenientes de ELT) y polímeros para disminuir problemas de hinchazón. El suelo utilizado en esta investigación fue una arcilla altamente expansiva obtenida de Adelaida-Australia, según clasificación SUCS se clasificó en CH (arcilla de alta plasticidad). En cuanto al caucho en polvo, este se obtuvo de triturado de neumáticos en desusos con tamaños aproximados de 75 μ m a 1.18 mm de diámetro. En cuanto al polímero, este fue sintético. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Pruebas de compactación, Prueba de hinchamiento, Prueba de reactividad del suelo, índice de contracción e hinchamiento, pruebas SEM, Prueba cíclica de humectación y secado, donde se prepararon muestras con incorporación de caucho en polvo en 10, 20 y 30% en relación al peso seco del suelo y polímero en 0,2 g/l, 0,4 g/l y 0,6 g/l. Los autores concluyen en esta investigación que, tras la

incorporación de 20% de caucho en polvo en el suelo, existe una gran disminución en el potencial de hinchamiento y finalmente en cuanto a los agrietamientos producidos por desecación, cuanto mayor es el contenido de caucho, este disminuye el área de grietas. Lo cual 20% de caucho en polvo sería el porcentaje óptimo para reducir los problemas de expansividad.

Narani et al., (2019), tienen por objetivo mejorar las características geotécnicas de un suelo expansivo utilizando WTTF como material de refuerzo. El suelo utilizado en esta investigación fue bentonita de sodio, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en una arcilla de alta plasticidad (CH). En cuanto a los WTTF, este se obtuvo de un centro de tratamiento de neumáticos en desuso en Irán en forma de hilado con diámetros de 0.030-1.5 mm y longitudes de 0-70 mm. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Prueba de compactación estándar, Prueba de compactación estándar, Prueba de resistencia a la tracción dividida (STS), Prueba de hinchamiento-consolidación, Prueba de contracción volumétrica y Prueba de agrietamiento por desecación, donde se prepararon muestras con incorporación de WTTF en 0, 1, 2, 3 y 4% del peso seco del suelo. Teniendo como resultados en la prueba de compactación. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de WTTF en el suelo, la Máxima densidad seca disminuye un 0,55 %, 1,025 %, 1,42 % y 1,97 % y el óptimo contenido de humedad aumenta en 0,26%, 0,26 %, 0,52 % y 0,79 % con WTTF en 1 %, 2 %, 3 % y 4 % respectivamente; la resistencia a la tracción dividida se incrementa con 3% de WTTF donde la resistencia a la tracción se incrementa en 94% y la última tensión aumenta en 222%; el potencial de hinchamiento se redujo significativamente con 3% de WTTF; la conductividad hidráulica aumenta con un mayor contenido de WTTF; en cuanto a la contracción volumétrica, esta disminuye llegando a un máximo con 4% de WTTF, disminuyendo el área de grietas.

Rajib J., (2017), tiene por objetivo mejorar las características geotécnicas de un suelo arcilloso usando tres fibras de caucho de

diferentes medidas 4cm x 1cm, 2cm x 1cm y 1cm x 1cm con un grosor que varía entre 0.1cm a 0.9cm. El suelo utilizado en esta investigación según su clasificación SUCS el suelo se clasificó en una arcilla de baja compresibilidad (CL). Los autores realizaron los siguientes ensayos: Prueba de compactación estándar y Ensayo de CBR, donde se prepararon muestras con incorporación de fibras de caucho en 0, 1, 3, 5,7 y 9% del peso seco del suelo. Teniendo como resultados en la prueba de compactación. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de fibras de caucho con fibras de 1cm x 4 cm, la Máxima densidad seca disminuye un 1.71 %, 1,69 %, 1,65 %, 1.63 y 1,61 % y el óptimo contenido de humedad aumenta en 16.41%, 15.8 %, 16.2 %, 16.4% y 16.5 % con con fibras de caucho en 1 %, 3 %, 5 % , 7% y 9 % respectivamente; con respecto al ensayo de CBR, obtuvo un mayor % de CBR con las fibras de 1cm x 2cm a un 3% respectivamente.

Jitendra Y., (2019), tiene por objetivo estudiar el comportamiento de un suelo arcilloso usando fibras de caucho siendo estas de 0.3cm a 1.5cm con un ancho de 0.2cm a 0.3cm y gránulos de caucho entre 0.08cm a 0.2cm. El suelo utilizado en esta investigación según su clasificación SUCS el suelo se clasificó en una arcilla de baja plasticidad (CL). El autor realizo los siguientes ensayos: Prueba de compactación estándar y Ensayo de CBR, donde se prepararon muestras con incorporación de fibras de caucho en 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% del peso seco del suelo. Teniendo como conclusión que con las Fibras de caucho se observa una disminución de la densidad seca a medida que se le añade Porcentajes de Fibras, lo mismo sucede con el Optimo Contenido de Humedad. Por otro lado, el CBR% aumenta de manera favorable al añadir 2.5% de Fibras, al agregar más % de Fibras esta disminuye. Con respecto a los granos de caucho se observa una mayor disminución de la densidad seca con respecto a las fibras de caucho, lo mismo sucede con el Optimo Contenido de Humedad, pero no disminuye tanto como con las fibras de caucho. Por otro lado, el CBR% aumenta de manera favorable al añadir 5% de caucho granular con respecto a las fibras de caucho.

Yaday, J. y Tiwari, S., (2019), tienen por objetivo estudiar los efectos de la incorporación de ELT en suelos finos para mejorar sus características geotécnicas, para ello recopilaron trabajos de investigación de distintos autores donde se hizo análisis de todos los resultados respecto a sus propiedades, concluyendo que en cuanto a los límites de consistencia pocos autores concluyen que la incorporación de ELT aumenta los límites de consistencia; en cuanto al peso unitario y el contenido de humedad, estos disminuyeron con el aumento de ELT pero con la mezcla óptima se mejora el factor de cizallamiento; para la resistencia a la tracción esta disminuye con la incorporación de ELT mientras que las propiedades de consolidación mejoran; en cuanto a la presión e hinchamiento se redujeron con la incorporación de ELT; existe mejora en la permeabilidad con incorporación de ELT; en cuanto al CBR, la incorporación de ELT hasta ciertos valores mejoraron la capacidad del suelo. Finalmente se puede concluir que los ELT incorporándolos en un suelo fino optimizan sus propiedades físico-mecánicas y a su vez al utilizar los ELT, esto ayuda a evitar su mala gestión de residuos y se evita la contaminación ambiental.

Shah A., Anuj K., Ansh A., Rachana V., Laxmi S. Nirala J., (2020), tienen por objetivo estudiar los cambios en las propiedades geotécnicas con la adición de caucho reciclado. Los autores emplearon caucho granulado de 2 diferentes tamaños, estos retenidos en la Malla N° 40 y la Malla N° 50 según la norma ASTM siendo este último empleado para los ensayos de laboratorio por tener un mejor resultado. Teniendo como adición de caucho reciclado en porcentajes de 0, 5, 10, 15 y 20%. La muestra de suelo a usar es un CL (suelo arcilloso de baja plasticidad). Los autores realizaron los siguientes ensayos: Prueba de compactación estándar y Ensayo de CBR, Teniendo como resultados en la prueba de compactación. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de polvo de caucho, en la máxima densidad seca se observa una disminución de 15.3, 14.7, 14.2, 13.6 y 13.1KN/m³ y para el óptimo contenido de humedad también sucede lo mismo de 25, 23.2,

21.19, 18.8 y 17 % con adición de caucho en 0 %, 5 %, 10% , 15% y 20 % respectivamente; con respecto al ensayo de CBR, obtuvo un mayor % de CBR con una adición de caucho en polvo a un 10% respectivamente.

Soltani, A., Taheri, A., Deng, A. & O'Kelly, B., (2022), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de un suelo arcilloso al incorporarle derivados de neumático (provenientes de ELT) y cal para optimizar sus propiedades geotécnicas. El suelo utilizado en esta investigación fue una arcilla obtenida de Downer Street-Australia, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en CI (arcilla de plasticidad media). En cuanto a los derivados de caucho, estos se obtuvieron de la trituración mecánica donde se tuvieron 2 tipos denominados TDA-C y TDA-M las cuales presentan tamaños aproximados de 2 a 4.75 mm y 0.425 a 2 mm respectivamente; además la cal utilizada fue cal hidratada. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Pruebas de compactación, Resistencia a la compresión no confinada y Pruebas de hinchamiento con edómetro donde se prepararon muestras con incorporación de derivados de caucho en 0, 5, 10 y 20% y para cal en 0, 3 y 6% del peso seco del suelo. Los autores concluyen en esta investigación que, tras la incorporación de derivados de caucho en el suelo sin estabilizar con cal, la Máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad disminuyeron a razón de la incorporación de derivados de caucho debido a la diferencia de gravedades específicas, mayor absorción de energía y a la no absorción de agua en el caucho; en cuanto a la resistencia a la compresión no confinada ambos tipos de derivados de caucho lograron su pico más alto con la incorporación de 5% de derivado, finalmente el potencial de hinchamiento disminuyó con la incorporación de derivado de caucho con un cambio no tan significativo.

Yadav, J. y Tiwari S., (2017), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de una arcilla al incorporarle fibras de caucho (provenientes de ELT) y cemento para optimizar sus propiedades físico-mecánicas. El suelo utilizado en esta investigación fue una arcilla

obtenida cerca de Jaipur-India, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en CI (arcilla de plasticidad intermedia). En cuanto a las fibras de caucho, este se obtuvo de triturado de neumáticos en desusos con tamaños aproximados de 2 a 3mm de ancho y 15mm de largo; además el cemento utilizado fue Portland tipo I. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Pruebas de compactación, Ensayos de resistencia a la compresión no confinada, Pruebas de resistencia a la tracción dividida, Pruebas de relación de carga de California (CBR), Pruebas de presión de hinchamiento, Pruebas de durabilidad y Pruebas de microscopía electrónica de barrido (SEM), donde se prepararon muestras con incorporación de fibras de caucho en 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% y para cemento en 0, 3 y 6% del peso seco del suelo. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de fibras de caucho en el suelo sin cementar, la Máxima densidad seca y el contenido de humedad disminuían a razón de la incorporación de fibra de caucho; la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción dividida aumentó con 2.5% de fibras; la tensión-deformación axial aumenta de 60.59 a 62.69 Kpa con incorporación de 2.5% de fibras de caucho; en cuanto al CBR sin sumergirla aumenta con el contenido de 2.5% de fibra con una mejora de 38.56%.

Silva, G., Suarez, J. y Zornberg, J., (2021), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de un suelo fino tropical al incorporarle trozos de llantas. El suelo utilizado en esta investigación fue uno laterítico fino, según clasificación AASHTO el suelo se clasificó en A6 (suelo arcilloso). En cuanto a los pedazos de llantas, este se obtuvo de triturado de neumáticos en desuso en Brasil con tamaño de partículas de 20 mm de diámetros promedio además de desechar todo lo que pasara la malla 3/8". Los autores realizaron los siguientes ensayos: Pruebas de compactación (estándar y modificado) y Pruebas de corte directo, donde se prepararon muestras con incorporación de pedazos de llantas en 0, 2.5, 3.75, 5 y 7.5% del peso seco del suelo. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de pedazos de llantas en el suelo, en el Proctor modificado: la Máxima densidad seca disminuye en

17 kN/m³, 16.8 kN/m³, 16.6 kN/m³, 16.5 kN/m³ y 16.3 kN/m³ y en el Proctor estándar 15.0 kN/m³, 14.9 kN/m³, 14.6 kN/m³, 14.4 kN/m³ and 14.3 kN/m³ con incorporación de 0, 2.5, 3.75, 5 y 7.5% respectivamente. Con estos resultados la muestra con 5% de pedazos de llantas presentó los mejores resultados en el próctor modificado mejorando en 14 % el peso unitario; en cuanto al ensayo de corte directo la muestra con 5% de pedazos de llantas teniendo un desplazamiento admisible de 5mm fue la más óptima para ser usada en carreteras, etc.

Akbar, A., Fallah, M., Narani, S. y Abbaaspour (2021), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de 2 tipos de arcilla al incorporarle WTTF (provenientes de ELT) y cal para optimizar sus propiedades geotécnicas. Los suelos utilizados en esta investigación fueron arcillas obtenidas cerca de Yazdr-Irán, según clasificación SUCS los suelos se clasificaron en CL (arcilla de baja plasticidad). En cuanto a los WTTF, este se obtuvo de triturado de neumáticos en desusos de Faravraisatis Company con tamaños aproximados de 0.030 a 0.9 mm de diámetro y 0 a 70 mm de longitud; además la cal utilizada fue cal viva. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Pruebas de compactación, Corte directo, Ensayos de resistencia a la compresión no confinada, Pruebas de resistencia a la tracción dividida y Pruebas de relación de carga de California (CBR) donde se prepararon muestras con incorporación de WTTF en 0, 0.5, 1, 1.5, 2 y 3% y para cal en 0, 2, 4 y 6% del peso seco del suelo. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de WTTF en el suelo sin estabilizar con cal, la Máxima densidad seca disminuye y el contenido de humedad aumenta a razón de la incorporación de WTTF debido a la absorción de agua en las fibras; en cuanto a la resistencia al corte, se mejoró la cohesión de 30 a 40 % con el aumento de 1.5% de WTTF; en cuanto a la resistencia a la compresión no confinada se mejoró con 1.5% de WTTF; en cuanto al CBR aumenta con el contenido de 1.5% de WTTF con una mejora de 4.9 y 3% en los suelos A y B respectivamente; Finalmente en la resistencia a la tracción aumentó con 1.5% de WTTF lo cual es un

indicativo a la mejora en sus propiedades geotécnicas y además ayudar a disminuir el impacto ambiental.

Yadav, J. y Tiwari, S. (2017), tienen por objetivo estudiar el comportamiento de un suelo arcilloso al incorporarle caucho granulado (provenientes de ELT) para optimizar sus propiedades físico-mecánicas. El suelo utilizado en esta investigación fue arcillas obtenidas de Kanota-India, según clasificación SUCS se clasificó en CI (arcilla de plasticidad media). En cuanto al caucho granulado, este se obtuvo de triturado de neumáticos en desusos con tamaños aproximados de 0.8 a 2 mm de diámetro. Los autores realizaron los siguientes ensayos: Pruebas de Proctor modificado, Ensayos de resistencia a la compresión no confinada, Pruebas de resistencia a la tracción dividida, Pruebas de relación de carga de California (CBR), consolidación unidimensional y pruebas de presión de expansión, donde se prepararon muestras con incorporación de caucho granulado en 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% en relación al peso seco del suelo. Los autores concluyen en esta investigación que tras la incorporación de caucho granulado en el suelo, la Máxima densidad seca y el contenido de humedad disminuye a razón de la incorporación de caucho debido a que el caucho no absorbe agua; en cuanto a la resistencia a la compresión no confinada y la resistencia a la tracción dividida no hubo una mejora significativa con un máximo de 5% de caucho; en cuanto al CBR aumenta con el contenido de 5% de caucho con una mejora de 10.51 a 14.99%; Finalmente en cuanto a la presión de hinchamiento esta disminuye a razón de la incorporación de caucho lo cual es un indicativo a la mejora en sus propiedades geotécnicas.

2.2.2. Investigaciones internacionales

Patiño, J., (2017), En su investigación de tesis tiene como objetivo presentar un método de estabilización de suelos mediante adiciones de caucho reciclado para estudiar la influencia en las propiedades de CBR y densidad. Se realiza ensayos de dos tipos de probetas, suelo y suelo-

caucho para determinar su resistencia por medio del ensayo del CBR y su densidad por el ensayo de Proctor modificado siguiendo la norma de la ASTM que serán las pruebas que rigen esta investigación. Se estabilizó, en diferentes porcentajes de Caucho reciclado en un 5, 10 y 15 por ciento del peso del material para obtener diferentes resistencias y poder comparar los resultados con la del suelo natural. El autor concluye de este trabajo que el suelo (GC) escogido para la primera parte del estudio resultó ser un material bien resistente, lo cual pensar en estabilizarlo es un objetivo difícil de mejorar ya que sus propiedades por sí mismas cumplen casi todos los parámetros necesarios para considerar muy buena la calidad del suelo. El material escogido para la segunda parte presentaba una resistencia baja, lo cual dio la oportunidad de apreciar las ventajas de mezcla en un material que realmente necesita aumentar su resistencia. El peso específico del material igual fue decreciendo a razón del aumento del caucho en la mezcla. Esto quiere decir que se aliviano el peso del material. Se puede considerar que la adición del caucho reciclado a la arcilla (CH) tiene una ventaja superlativa. Con respecto a la resistencia la mejoró en un 123 % de su resistencia original y sin dejar a lado el peso del material logro alivianarlo. Esto quiero decir que la mezcla no solo puede ser usada para mejorar un material que no rinda en su resistencia, también puede lograr alivianar el peso que este segmento de material este aplicado en alguna obra.

2.2.3. Investigaciones nacionales

Díaz, K. & Torres, R., (2019), el presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar el mejoramiento de las propiedades geotécnicas, siendo la densidad y capacidad de soporte de un suelo arcilloso con la adición de caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso. En la investigación se presentó un suelo arcilloso, según clasificación SUCS un CH (arcilla de alta plasticidad), en cuanto a los

porcentajes de caucho usados fueron de 1 %, 3 %, 5 %, 7 % y 9 %. Las partículas de caucho que fueron utilizadas en esta investigación se obtuvieron de un proceso que se usa en las reencauchadoras, el cual consta de un sistema eléctrico que contiene un esmeril; las partículas de caucho obtenidas de este proceso aún estaban contaminadas con fibras de tela y alambre por lo que tuvo que pasar por la malla #10. El autor tiene como conclusión en esta investigación que después de analizar y comparar las propiedades mecánicas de todas las muestras estudiadas se concluye que con la incorporación de caucho la máxima densidad seca disminuye con relación a la de la muestra patrón, además la capacidad de soporte del suelo natural presenta un incremento de 1.31 veces de su CBR cuando se le incorpora 1 % de caucho, 1.75 veces de su CBR con la incorporación del 3 % de caucho, 1.69 veces de su CBR al adicionar el 5 % de caucho, 1.66 veces de su CBR cuando se le añade 7 % de caucho y con el 9 % de caucho no se obtiene ningún incremento.

Rodríguez, D., (2021), el presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar el comportamiento de un suelo arcilloso con caucho granulado para optimizar sus propiedades físico-mecánicas. El suelo utilizado en esta investigación fue obtenido de la Av. América en la Provincia de San Román y en el Distrito de Juliaca, Ubicado en el Departamento de Puno. El suelo empleado en esta investigación según clasificación SUCS fue un CL (arcilla de baja plasticidad) donde se realizó un estudio de 03 calicatas, donde, se añadió al suelo cohesivo caucho granulado en porcentajes de 3 %, 5 %, 7 % y 9 % con respecto al peso seco del suelo. El autor tiene como conclusión en esta investigación que la gravedad específica las cuales se obtuvo como muestra patrón 2.386 gr/cm³ promedio a las tres calicatas de la presente investigación, al incorporarse los porcentajes de caucho este disminuye su densidad. Al realizarse los ensayos se analizó que el caucho granulado no tiene peso lo cual eso afecta en la densidad del suelo ya que disminuye el peso del mismo. En cuanto a las propiedades mecánicas se mejoran minuciosamente el suelo arcilloso de baja plasticidad, según los ensayos de Proctor realizados se obtuvo un valor en la M.D.S = 1.567 gr/cc y su

O.C.H = 18.94 % de la muestra patrón, en cambio cuando se incorporó los cauchos granulados en los porcentajes mencionados guiones arriba este disminuyó la M.D.S hasta un valor de 1.539 gr/cc utilizando el 9 % de caucho granulado y su O.C.H hasta un valor de 17.73 %, además el ensayo del CBR en la muestra patrón resulta un valor de 3.6 % y al incorporarse los cauchos granulados en porcentajes de 3 %, 5 %, 7 % y 9 % este aumento con la incorporación de 3 % hasta un CBR = 5.4 % como mínimo, con la incorporación del 5 % aumento hasta un CBR=4.7 % como mínimo y al incorporarse el 7 % de caucho granulado aumenta en CBR=3.8 % todo esto a comparación de la muestra patrón, sin embargo para el porcentaje del 9% bajo su valor de resistencia del suelo. Finalmente, el autor concluye que la incidencia del caucho granulado hacia la subrasante no mejora su categoría ya que se tenía un CBR en el 95 % (0.1") de la muestra patrón a 3.95 % cual categoría es insuficiente y al incorporarse los cauchos granulados en los porcentajes de 3 %, 5 %, 7 % y 9 % hubo un aumento en el porcentaje de 3 % incorporando caucho granulado las cuales dio un resultado del CBR a 5.4 % por ende este no aumenta su categoría, pero si aumenta su resistencia en lo mínimo.

Alvarez, N. & Gutiérrez, J., (2021), en su trabajo de investigación tienen por objetivo indicar la viabilidad del caucho reciclado en un suelo arcilloso para mejorar las propiedades física-mecánicas en la subrasante de una carretera. El suelo utilizado en esta investigación fue obtenido del caserío de Callampampa, Cajamarca, Perú. El suelo en estudio se clasificó en una arcilla de baja plasticidad (CL) según clasificación SUCS y A-6(8) según AASHTO. En cuanto al caucho reciclado, este se obtuvo de neumáticos de camiones en desuso y el tamaño de sus partículas varía entre 2mm a 0.075 mm con un promedio de 1.452 mm. Se prepararon muestras con incorporación de cauchos reciclado en 1.5 %, 2.5 % y 3.5 % del peso seco del suelo. La densidad máxima seca aumenta respecto a la incorporación de caucho reciclado, quiere decir que habrá un menor índice de poros entre las partículas a medida que el contenido de polvo de caucho se incrementa, logrando un suelo más

densificado. En cuanto al contenido OCH, este disminuye a medida que se incorpora caucho reciclado, esto sucede debido a que el caucho no absorbe agua por ello las mezclas tienen menos contenido de arcillas. En el ensayo de corte directo se demostraron que la incorporación de caucho reciclado incrementó la resistencia al esfuerzo de corte. Además, la cohesión del suelo de 0.25 kg/cm² se incrementa a medida que se incorpora caucho reciclado y por ende una mayor resistencia al esfuerzo de corte. La incorporación de caucho reciclado en el ángulo de fricción es opuesta al de la cohesión. El CBR respecto al suelo en estado natural es de 3.2 %, pero con la incorporación del caucho reciclado el CBR aumenta, debido a que los vacíos en las mezclas interactúan con el caucho reciclado lo que no permite el ingreso de agua evidenciando mayor resistencia. El autor concluye en esta investigación que la cohesión se incrementa con la incorporación de caucho reciclado, para la mezcla del suelo más caucho al 3.5 % el valor es de 0.41 kg/cm², que a diferencia en estado natural se incrementa en un 64 %. El ángulo de fricción tiene un comportamiento inverso al de la cohesión es decir disminuye a medida que la adición de caucho se incrementa. La mezcla del suelo más caucho al 3.5 % presenta un valor de 19°, que a diferencia del suelo natural disminuye en 9.1%. Finalmente, en los resultados del CBR se observa que las mezclas con incorporación de cauchos reciclado en 1.5 %, 2.5 % y 3.5 % mejoran en un 56 %, 172 % y 194 % respectivamente a comparación del suelo en estado natural, con ello de una subrasante inadecuada se clasifica a ser una regular.

Gutiérrez, F., y Rojas, H., (2021), en su trabajo de investigación tienen por objetivo determinar la influencia de la incorporación de caucho granular en las características mecánicas de la subrasante en suelos cohesivos. El suelo utilizado en esta investigación fue obtenido de la Av. Colectora en Ate ubicada en la provincia de Lima. El suelo en estudio se clasificó en una arcilla de baja plasticidad (CL) según clasificación SUCS y A-6(8) en AASHTO. En cuanto al caucho reciclado, este se obtuvo de neumáticos en desuso y el tamaño de sus partículas varía entre 2 mm a 4.5 mm. Se prepararon muestras con

incorporación de cauchos reciclado en 1.2 %, 2.4 %, 3.6 %, 4.8 %, 6.0 % y 7.2 % del peso seco del suelo. El autor obtuvo los siguientes resultados en sus ensayos de laboratorio para conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso y de las muestras con incorporación de caucho reciclado. Los valores del CBR tras la incorporación de caucho granular mediante la curva de relación Caucho – CBR (%), la cual nos permite interpretar que mediante aumenta el porcentaje del caucho también se logra aumentar el porcentaje del CBR hasta un máximo de 7.9 %. Sin embargo, este aumento solo ocurre hasta agregar un porcentaje del 4.8 % de caucho granular, ya que al agregar mayores porcentajes el CBR disminuye. El autor concluye en esta investigación que tras la incorporación de caucho granular en el suelo, el comportamiento del suelo mejora en sus características mecánicas y esto conlleva, a tener una mejor subrasante, otorgando una mayor resistencia al suelo frente a las cargas del tránsito vehicular.

Martínez, R., (2021), En su trabajo de investigación tienen por objetivo determinar el comportamiento de las propiedades de la subrasante con incorporación de cal y caucho en polvo en porcentajes de 3 %, 5 % y 7 %. El suelo utilizado en esta investigación fue obtenido de la Av. ChimpuOcllo, Carabayllo, ubicada en la provincia de Lima y este se clasificó en una arcilla de baja plasticidad (CL) según clasificación SUCS y A-4(06) en AASHTO. Finalmente, el autor concluye en esta investigación que, tras la incorporación de caucho en el suelo, pudo determinarse el porcentaje óptimo siendo este 7 %, ya que, se logra mejorar las propiedades del suelo arcilloso, la MDS para la muestra con 7 % de caucho es 2.026 g/cm³, el OCH es 9.20 %, por ende, el caucho a diferencia de la cal, aumenta el contenido de humedad del suelo arcilloso para uso como subrasante. Además, que el CBR aumenta de 7.10 % en estado natural hasta 12.10 % clasificándola como una subrasante buena.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Suelos

En el ámbito de la ingeniería civil el suelo es fundamental para cualquier tipo de proyecto, ya que sirve como base donde se transmitirán todos los esfuerzos. No todos los suelos son adecuados para estos fines, sus propiedades geotécnicas no son las adecuadas, por lo que se requiere modificarlo, haciéndolo más resistente y duradero, (Delgado, C. & Mormontoy, V., 2021).

2.3.2. Estabilización de Suelos

Básicamente es la optimización de las propiedades geotécnicas de un suelo mediante métodos físicos, mecánicos, etc. Suele emplearse estas técnicas en suelos pobres o inadecuados para proyectos, con el fin de optimizar la resistencia del suelo consiguiendo que las partículas trabajen de una forma más eficiente, alcanzando una estabilidad adecuada frente las cargas y una escasa variación volumétrica. Además, se origina un incremento en la durabilidad de dicha capa, (Delgado, C. & Mormontoy, V., 2021).

2.3.3. Plasticidad

La plasticidad nos indica cuan susceptible es el comportamiento de un suelo en relación al contenido de humedad, definiéndose los límites a tres estados de consistencia según su humedad, también llamados límites de Atterberg que son: el límite líquido (L.L., según ensayo MTC EM 110), el límite plástico (L.P., según ensayo MTC EM 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC EM 112). El Límite Líquido (L.L.), es cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede ser moldeable. El Límite Plástico (L.P.), es cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido llegando a la ruptura. (Mamani, R., 2019). El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un I.P. grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un I.P. pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. Se debe tener en cuenta que, en un suelo un

contenido donde predomina la arcilla, puede ser un elemento riesgoso en una subrasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC, 2014).

2.3.4. Caucho reciclado

Es un subproducto que se obtiene del triturado de llantas que ya cumplieron su vida útil y en el proceso de reciclaje se separan todos los elementos que componen los neumáticos, con el fin de obtener el caucho que los compone.

2.3.5. Capacidad de Soporte

La capacidad portante de un suelo se define como la carga que éste es capaz de resistir sin que se originen asentamientos desmedidos. El indicador más usado en carreteras para establecer la capacidad portante de un suelo es el índice CBR (California Bearing Ratio). La determinación de este parámetro se efectúa en laboratorio, por medio del ensayo normalizado MTC E 132, (Delgado, C. & Mormontoy, V., 2021).

2.3.6. Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante

Con la finalidad de determinar las características físicas y mecánicas de un suelo con fines constructivos de pavimentación será necesario realizar calicatas con una profundidad mínima de 1.5 m, determinando en el laboratorio las siguientes características: Contenido de humedad; que nos permitirá conocer la cantidad de humedad (agua) que contiene el suelo antes del secado de éste, Granulometría; cuya finalidad es determinar los porcentajes en peso de partículas de distinto tamaño que contiene un suelo, interesa que un suelo este bien graduado para cuando se realice la compactación de terrenos, las partículas más finas rellenen los huecos que dejan las de mayor tamaño, alcanzando así una mejor estabilidad y capacidad portante, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC, 2014).

A continuación, se muestra la Tabla N°1 la cual contiene diferentes categorías de la subrasante clasificados mediante el índice del CBR, para lo cual el Manual de Carreteras del MTC establece que para que un

suelo con fines de uso como subrasante debe tener como mínimo un CBR mayor o igual a 6%.

Tabla N°1

Categoría de Subrasante según el valor CBR.

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	$CBR < 3\%$
S1: Subrasante Insuficiente	$CBR \geq 3\% \text{ a } \leq 6\%$
S2: Subrasante Regular	$CBR \geq 6\% \text{ a } \leq 10\%$
S3: Subrasante Buena	$CBR \geq 10\% \text{ a } \leq 20\%$
S4: Subrasante Muy buena	$CBR \geq 20\% \text{ a } \leq 30\%$
S5: Subrasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), (2014).

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Suelo cohesivo

Es suelo cohesivo cuando presenta una cantidad predominante de limos y arcillas también son llamados suelos finos, los cuales presentan gran cohesión entre sus partículas.

2.4.2. Subrasante

Es la base donde descansa la estructura del pavimento, su función es transmitir las cargas que actúan sobre el pavimento hacia el suelo.

2.4.3. Estabilización de Suelo

La estabilización de suelos es una técnica de mejoramiento de suelos con la finalidad de mejorar sus propiedades geotécnicas: Estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad, durabilidad y plasticidad.

2.4.4. Resistencia

Es una propiedad mecánica del suelo necesaria para lograr un mejor comportamiento ante fuerzas externas.

2.4.5. Plasticidad

Es la propiedad física de un suelo donde se refleja el comportamiento en relación al contenido de humedad.

2.4.6. Imágenes TEM

Imágenes realizadas por un microscopio electrónico de transmisión.

2.4.7. Imágenes SEM

Imágenes realizadas por un microscopio electrónico de barrido.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

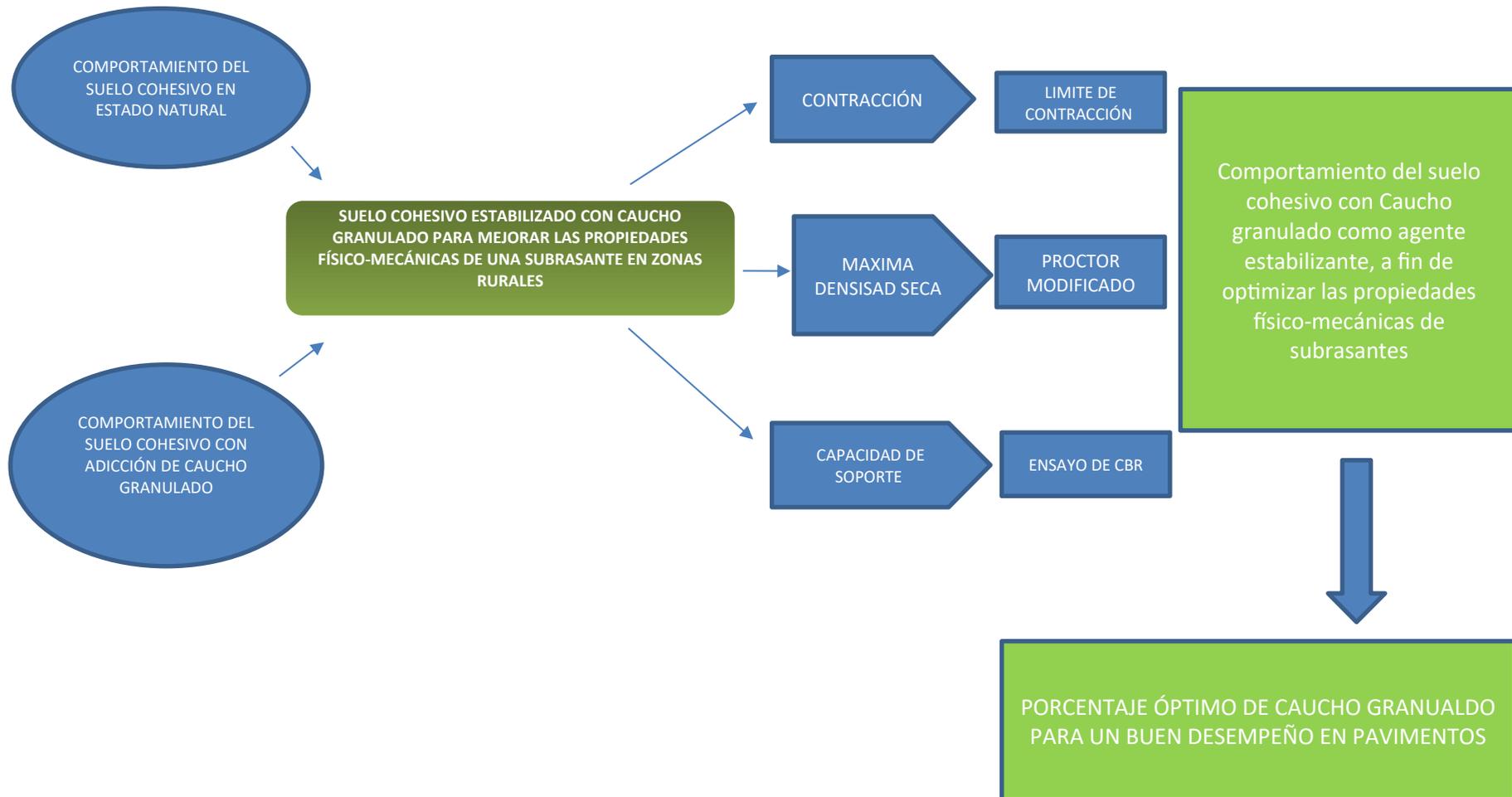


Figura N°2: Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Formulación de Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El comportamiento del suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante, optimizan las propiedades físico-mecánicas de una subrasante usando el manual de carreteras (MC-05-14) en zonas rurales año 2022.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- a) El comportamiento del Límite de Contracción del suelo cohesivo, se altera a razón de la incorporación de Caucho Granulado.
- b) Un mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la máxima densidad seca en el suelo.
- c) Un mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la capacidad de soporte (CBR) en el suelo y evita un deficiente desempeño del pavimento.

3.2. Variables

3.2.1. Variable Independiente

Caucho Granulado.

3.2.2. Variable Dependiente

Propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo.

3.3. Sistema de Variables

3.3.1. Definición Conceptual

Caucho granulado: Material proveniente del reciclado de neumáticos en desuso, y pueden encontrarse en distintas gradaciones.

Propiedades físico-mecánicas del suelo: Las propiedades principales para la estabilización del suelo cohesivo son la resistencia al corte, capacidad portante, permeabilidad, expansividad y plasticidad. Estas

están relacionadas por medio de la incorporación de caucho reciclado, estas propiedades cambian según el porcentaje de este agente estabilizante en el suelo.

3.3.2. Definición Operacional

En la Tabla N°2 se muestra la operacionalización de variables en donde podemos identificar de una manera más ordenada la variable independiente y dependiente, los indicadores e instrumentos que nos ayudan a tener una idea más clara para realizar el presente estudio.

3.3.3. Operacionalización de Variables

Tabla N°2

Operacionalización de las variables

Variables	Función	Indicadores	Unidad	Índices	Instrumentos
Caucho Granulado	Independiente	Porcentaje de Caucho granulado	%	Observar el comportamiento del caucho granulado con diferentes porcentajes en la mezcla Compilar la mayor información relacionada al tema de estabilización de suelos cohesivos	Tesis nacionales e internaciones, artículos, libros, manuales y motores de búsqueda científica.
Propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo	Dependiente	Límites de Contracción	%	Determinar el Límite de Contracción en un suelo cohesivo.	ASTM D427
		Máxima Densidad Seca	g/cm ³	Determinación de la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad	ASTM D1557 NTP 339.141
		Capacidad de soporte (CBR)	%	Ensayo de CBR para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante.	ASTM D 1883 MTC E 132

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación será documental, bibliográfica, descriptiva y experimental, debido a que se apoya en un marco teórico en la recolección de investigaciones anteriores, obteniendo una cantidad de información, que describen el comportamiento del caucho granulado en las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo, así mismo se obtuvo muestras para poder realizar los ensayos, siendo estos, la muestra del suelo cohesivo y el caucho granulado. Se realizó el reconocimiento del lugar de estudio y así mismo se continuó con la exploración geotécnica para realizar el muestreo de 01 Calicata a un nivel de -1.50m como indica la norma del M.T.C., luego se compró un total de 10 kg de caucho granulado. Se procedió a llevar los materiales al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Ricardo Palma para poder realizar los ensayos correspondientes para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo incorporando el caucho granulado como agente estabilizante.

Finalmente, con esta investigación se buscó demostrar el comportamiento del Caucho Granulado como agente estabilizante, bajo ciertos requerimientos, donde se hará síntesis de toda la información recolectada, las cuales serán prescindibles para el objetivo de la investigación.

Tabla N°3

Simbología de los Materiales

Material	Tipología	Simbología
Suelo Cohesivo	Muestra Patrón	C-1
Caucho Granulado	Agente Estabilizante	C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1. Método de la Investigación

El método de la investigación en relación a los autores consultados será deductivo ya que consiste en un análisis lógico del problema, con el propósito de demostrar las propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo al adicionar caucho granulado como agente estabilizante, tomando como referencia datos reales por medio de la observación de situaciones que incluyan el problema y expliquen los fenómenos del estudio contrastando la información.

La orientación de la investigación es aplicada porque pretende resolver los problemas planteados. Además de tener un enfoque cuantitativo debido a que se interpretará los resultados obtenidos de todos los trabajos de investigación donde el caucho granulado como agente estabilizante otorga un efecto positivo en las propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo obteniendo un porcentaje óptimo.

En cuanto a la forma de recolección de datos será ambilectivo: retrolectivo, ya que iniciaremos con recolección de información de distintos autores precedente al tema de estudio y además prolectivo debido a que se realizaran estudios de laboratorio para contrastar la información recolectada.

4.2. Tipo de Investigación

La investigación en relación a los autores consultados será descriptiva, explicativa ya que alcanza los objetivos de la investigación a partir de bases teóricas y el análisis del caucho granulado en el tipo de suelo de estudio. Explicativa porque se va a definir el origen del problema y sus consecuencias, por estar definida en el marco teórico y además correlacional porque los autores interpretan la relación que existe entre la variable independiente y la dependiente, donde a un mayor porcentaje de caucho granulado, estas modifican las propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo obtenida en el distrito de San Luis de Shuaro, Provincia de Chanchamayo, Junín, adicionando caucho granulado como agente estabilizante.

4.3. Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación en relación a los autores consultados será de nivel descriptivo donde se muestra la causa-efecto de las variables independiente e independiente, cuantificando a cada una mediante el estudio de sus propiedades físico-mecánicas.

4.4. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación en relación a los autores consultados según su propósito del estudio será experimental, porque se hará síntesis de datos, donde se buscará el porcentaje óptimo de caucho granulado para optimizar las propiedades físico-mecánicas del suelo cohesivo.

Según el número de mediciones será longitudinal porque se evaluarán diferentes mediciones en cuanto a los diferentes porcentajes del agente estabilizante. Y por la cronología de las observaciones será retrospectivo porque se contarán con datos ya obtenidos con anterioridad.

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque cuantitativo explicativo, ya que se analizó en laboratorio el mejoramiento de un suelo arcilloso obtenida en el distrito de San Luis de Shuaro, Provincia de Chanchamayo, Junín. Donde se recolectó y se obtuvo datos con el propósito de ser utilizado como base para la demostración de resultados con respecto a las investigaciones recolectadas de los diferentes autores. Por último, el estudio de diseño es de cohorte (causa-efecto).

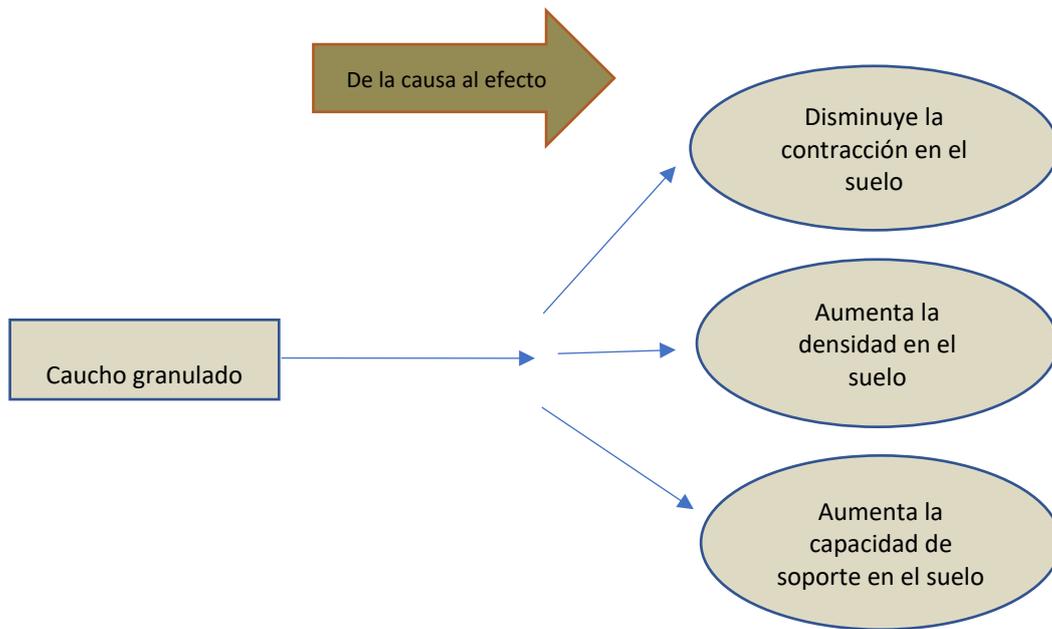


Figura N°3: Estudio de diseño –cohorte (causa-efecto).

Fuente:Elaboración propia.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

La población de estudio es la Carretera La Cruz - Mirador de San Luis de Shuaro, ubicada en el distrito de San Luis de Shuaro, Provincia de Chanchamayo, departamento de Junín.

4.5.2. Muestra

La muestra que se usó para la investigación es el suelo arcilloso de la Carretera La Cruz - Mirador de San Luis de Shuaro entre las progresivas (+0.000 y +1.000) km. La muestra del suelo arcilloso se obtuvo de las coordenadas geográficas 10°53'25.7"S 75°17'24.6"W tal como se muestra en la Figura 4. Realizándose 1 calicata donde se determinará el valor de Límite de contracción, Máxima Densidad Seca y CBR, de la muestra patrón y de las muestras con la incorporación de caucho granulado en 2.5%, 5% y 10%. Por otro lado, el caucho

granulado fue adquirido por una tienda en Lima donde se vendía este derivado de Neumáticos fuera de uso.

Tabla N°4

Cantidad de Ensayos a realizar.

	Muestra Patrón + % C.G.				Total
	0%	2.5%	5%	10%	
L.L.	3	-	-	-	3
L.P.	4	-	-	-	4
L.C.	2	2	2	2	8
MDS	1	-	1	1	3
CBR	1	-	1	1	3
				Total de Ensayos:	21

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°4: Carretera La Cruz - Mirador de San Luis de Shuaro.

Fuente: Google Maps (2022)

Tabla N°5

Cuadro comparativo de población, muestra y muestreo.

Autor	Román, B., Díaz K. y Torres R, (2019)	Rodríguez, D., (2021)	Alvarez, N., y Gutiérrez J., (2021)	Gutiérrez, F., y Rojas, H., (2021)	Martínez, R., (2021)
Título	"Incorporación de Partículas de Caucho de Neumáticos para Mejorar las Propiedades Mecánicas en Suelos Arcillosos"	"Incorporación de caucho granulado para mejorar el comportamiento físico y mecánico en la subrasante de suelos arcillosos, Puno 2021"	"Estudio experimental del efecto en el comportamiento mecánico al adicionar caucho triturado en un suelo arcilloso de baja plasticidad proveniente del caserío de Callampampa - Llama-Cajamarca."	"Influencia de la adición de caucho granular en las características mecánicas de la subrasante en suelos cohesivos, Lima – 2020."	"Estabilización de la subrasante incorporando caucho y cal, en la Av. Chimpu Oclo, Carabaylo, 2020"
Población	Seis muestras de suelo arcilloso de alta plasticidad con incorporación de partículas de caucho.	La subrasante de suelos arcillosos de la Av. América – Ciudad de Juliaca – Puno 2021.	Suelo proveniente del Caserío de Callampampa, Llama, Cajamarca	Características mecánicas de la subrasante en suelos cohesivos al adicionar caucho granular en porcentajes de 1.2%, 2.4%, 3.6%, 4.8%, 6.0% y 7.2%.	Subrasantes del distrito de Carabaylo, Lima.

Muestra	<p>1 muestra Patrón</p> <p>1 con 1% de fibras de caucho</p> <p>1 con 3% de fibras de caucho</p> <p>1 con 5% de fibras de caucho</p> <p>1 con 7% de fibras de caucho</p> <p>1 con 9% de fibras de caucho</p>	<p>3 calicatas donde se determina el valor del CBR, de la muestra patrón y de las muestras con la incorporación de caucho granulado en 3%, 5%, 7% y 9%, un total de 5 CBR por calicata</p>	<p>Muestras ensayadas del suelo natural y las mezclas con adición de caucho triturado en un 0.5%, 1.5%, 2.5% y 3.5%.</p>	<p>7 ensayos de CBR, donde 1 corresponde al suelo sin modificar y los otros 6 corresponden a los porcentajes de caucho adicionado al suelo.</p>	<p>Subrasantes de la Av. Chimpu Oclo cuadra 1 de la Urb. Corpac.</p>
Muestreo	<p>No probabilístico (muestra delimitada por los autores)</p>	<p>No probabilístico (el autor escoge la zona más afectada para obtención de las muestras)</p>	<p>No probabilístico (muestra delimitada por los autores)</p>	<p>No probabilístico (muestra delimitada por los autores)</p>	<p>No probabilístico (el autor escoge la zona más afectada para la obtención de las muestras)</p>

Fuente: Elaboración Propia

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

La recolección de datos se hará por medio de Tesis nacionales e internacionales, artículos internacionales, libros, manuales y motores de búsqueda científica (Scopus, Proquest, etc.) que nos permitirán una completa recopilación de información. La técnica será mediante una revisión documental, obteniendo así una gran cantidad de análisis bibliográficos, estudios geológicos, donde será relevante la aplicación de Caucho granulado al suelo en porcentajes.

Las herramientas que se usarán serán: Manual de Carreteras, sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, Normas Técnicas Peruanas y normas ASTM (American Society for Testing and Materials).

Los instrumentos serán en base a fichas de recolección de datos de ensayos realizados (formatos) y Hojas de cálculos de los distintos ensayos de laboratorio realizados por los autores. Además de la obtención de datos propios mediante los ensayos de laboratorios realizados en el Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Ricardo Palma. El Procesamiento de datos se desarrollará mediante el software Microsoft Excel para la generación de gráficos y tablas. En cuanto a la presentación de resultados se elaborarán gráficos de barras horizontales y verticales; gráficos tipo pastel y tablas personalizadas.

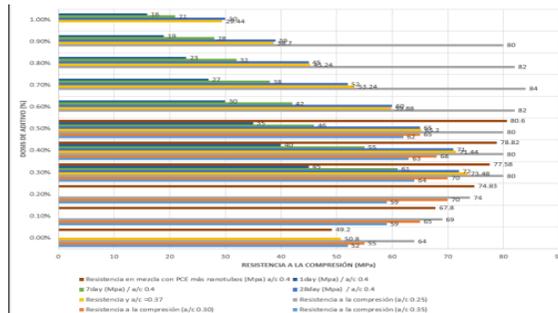
4.7. Descripción de procesamientos de análisis

En el presente trabajo de investigación se elabora un plan detallado de procedimientos que conduzcan a reunir datos con un propósito específico, por tener un enfoque cuantitativo se interpretará los resultados del suelo cohesivo con distintos porcentajes de Caucho granulado como agente estabilizante; para ello los ensayos desarrollados por todos los autores corresponderán a los estandarizados por las normas ASTM y NTP (Norma Técnica Peruana), estos ensayos son: Límites de consistencia, para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad; Ensayo de compactación Proctor, para determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, Además, el Ensayo de CBR, para evaluar la capacidad de soporte de los suelos. Obteniendo una serie de datos que procesaremos por medio del software Microsoft Excel para la generación de gráficos y tablas los cuales serán

plasmados en Microsoft Word, para la presentación de Análisis de Resultados y con ello llegar a nuestras conclusiones.

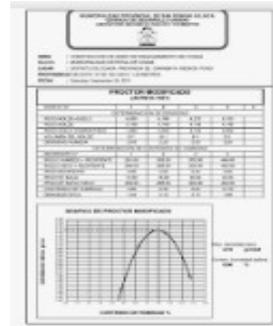
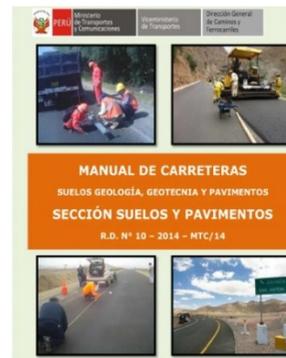
Técnica y/o método

Revisión documental
Análisis bibliográfico
Estudios geológicos
Experimental



Herramientas

Manual de Carreteras, sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.
Normas técnicas peruana
ASTM (American Society for Testing and Materials)



Instrumento

Ficha de recolección de datos de ensayos realizados por los autores. (Formatos)
Hoja de cálculos de ensayos de laboratorio

Suelo Cohesivo estabilizado con Caucho Granulado para mejorar las propiedades físico-mecánicas de una subrasante en zonas rurales

Procesamientos
Microsoft Excel

Presentación de resultados
Gráfico de barras horizontales y verticales.
Gráfico pastel.
Tablas personalizadas.

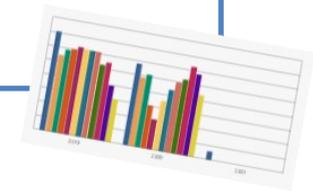


Figura N°5: Técnica e instrumentación de recolección de datos.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados de la investigación

El caucho granulado, derivado de los NFU (neumáticos fuera de uso), presenta distintos comportamientos dependiendo en sí, muchos factores: tamaño de partículas, tipo de suelo, humedad, entre otros, por ello en esta investigación se presenta una recopilación de datos de distintos artículos realizados donde se presentan los diferentes comportamientos del suelo cohesivo al ser mezclados con caucho granulado.

Cabe indicar que todos los datos recopilados en este estudio han sido seleccionados de distintos ensayos los cuales han seguido los procedimientos a normas internacionales estandarizadas, para mostrar resultados significativos.

Con respecto a la recopilación de datos de los ensayos de Limite de Contracción por diferentes autores, no se encontró información usando Caucho Granulado como agente estabilizante en dicha propiedad, por lo tanto, se realizó ensayos de Limite de Contracción para poder determinar su comportamiento en el suelo cohesivo.

Tabla N°6

Resumen de investigaciones Recopiladas.

Proyectos de Investigación	Ubicación	Tipo de Suelo
Investigación 01	India	CH
Investigación 02	India	CH
Investigación 03	India	CI
Investigación 04	Ecuador	CI
Investigación 05	India	CL
Investigación 06	Perú	CL
Investigación 07	India	CL
Investigación 08	Perú	CH
Proyectos de investigación		8

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°6: Resumen del tipo de suelo de las investigaciones recolectadas.

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados del porcentaje óptimo de caucho granulado para aumentar la máxima densidad seca.

Investigación 01: “Resistencia al corte interfacial de arcillas reforzadas con caucho: una perspectiva de análisis dimensional”

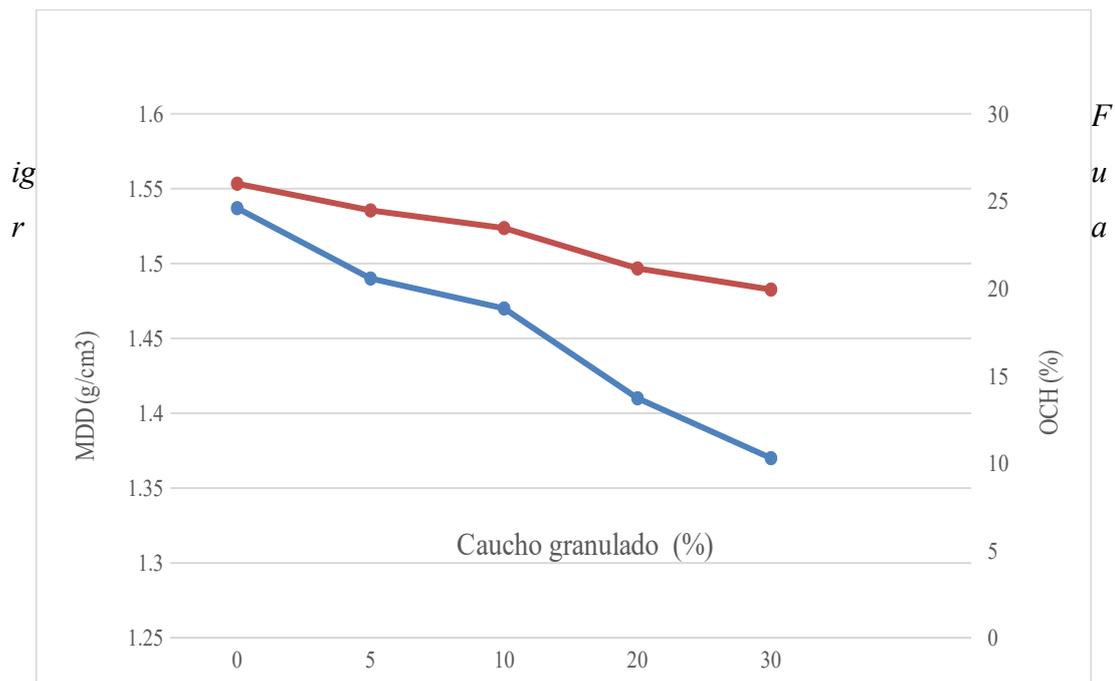
- Tipo de caucho: Caucho de neumáticos reciclados en presentación: fino y grueso (migas de caucho o caucho molido y pulidores), con un tamaño de partículas de 0.075 a 2 mm para la presentación fina y de 0.425 a 4.75 mm para la presentación gruesa.
- Tipo de suelo: 85 % de caolinita y 15 % de bentonita, según clasificación SUCS, se caracterizó como una arcilla de alta plasticidad (CH).
- Gravedad Especifica del suelo: 2.73
- Gravedad Especifica del caucho: 1.09
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 5 %, 10 %, 20 % y 30 % de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de compactación para determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D698 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°7

Resumen de resultados de ensayos de compactación con adición de caucho granulado.

OCH (%)	MDS (Kn/m ³)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
26	15.07	1.537	0
24.47	14.61	1.49	5
23.46	14.37	1.47	10
21.15	13.86	1.41	20
19.94	13.52	1.37	30

Fuente: Elaboración propia



N^o7: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado
Fuente: Elaboración propia.

Investigación 02: “Características de compactación, resistencias a la compresión no confinada y coeficientes de permeabilidad de suelos de grano fino mezclados con llanta de caucho triturado”

- Tipo de caucho: Caucho triturados de neumáticos reciclados en 5 diferentes tamaños: tamaño 1 (entre malla 6 y 14), tamaño 2 (entre malla 10 y 30), tamaño 3 (entre malla 30 y 50), tamaño 4 (entre malla 50 y 80) y tamaño 5 (entre malla 80 y 200), la cual se escogió el tamaño 2 con partículas de 0.5 a 1.68 mm.
- Tipo de suelo: 5 diferentes tipos de suelos con su clasificación SUCS: caolinita (MH), Montmorillonita (CH), Caolín granular (ML), 50% montmorillonita con 50% caolín granular (CH) y 50% montmorillonita con 50% de cuarzo (CH), la cual se escogió el suelo 50% montmorillonita con 50% caolín granular que se caracterizó como una arcilla de alta plasticidad (CH).
- Gravedad específica del suelo: 2.67
- Gravedad específica del caucho: 1.15

- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 % de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de compactación para determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad.
- Resultado experimental:

Tabla N°8

Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adición de caucho granulado.

MDS (Kn/m ³)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
9.9	1.01	0
11.18	1.14	2
11.7	1.19	4
11.6	1.18	6
11.2	1.14	8
10.95	1.12	10

Fuente: Elaboración propia.

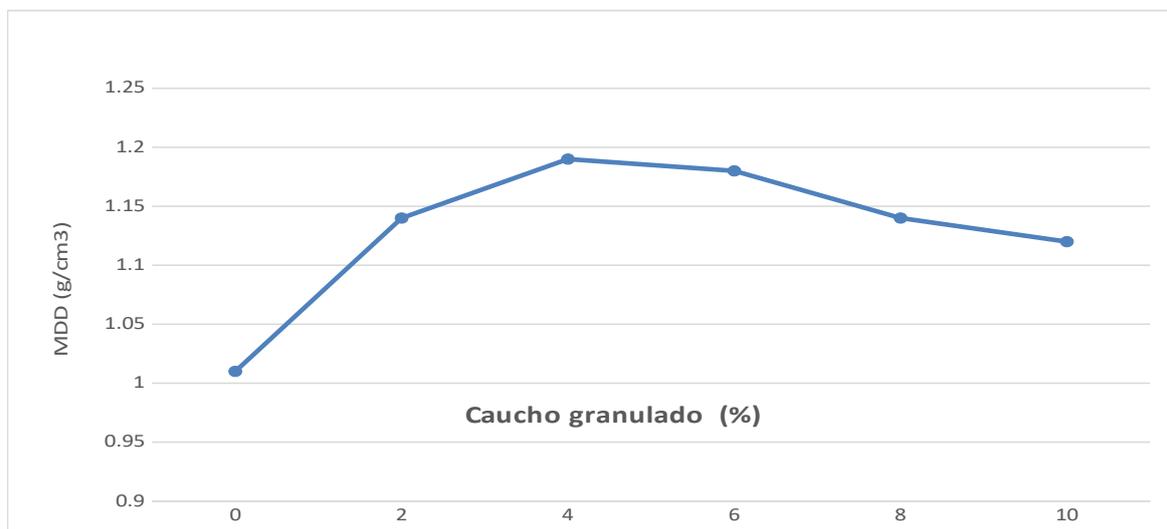


Figura N°8: Comportamiento de M.D.S. según el porcentaje de caucho granulado

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 03: “Influencia del caucho triturado en las propiedades geotécnicas de tierra arcillosa”

- Tipo de caucho: Caucho granulado que se obtuvo de triturado de neumáticos en desusos con tamaños aproximados de 0.8 a 2 mm de diámetro.
- Tipo de suelo: El suelo utilizado en esta investigación fue arcillas obtenidas de Kanota-India, según clasificación SUCS se clasificó en CI (arcilla de plasticidad media).
- Gravedad específica del suelo: 2.69
- Gravedad específica del caucho: 1.13
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con incorporación de caucho granulado en 0 %, 2.5 %, 5 %, 7.5 % y 10 % en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de compactación para determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad.
- Resultado experimental:

Tabla N°9

Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.

OCH (%)	MDS (Kn/m ³)	MDS gr/cm ³	C. Granulado (%)
20.89	16.35	1.67	0
20.33	16.13	1.64	2.5
19.38	15.63	1.59	5
18.99	15.17	1.55	7.5
18.4	14.77	1.51	10

Fuente: Elaboración propia

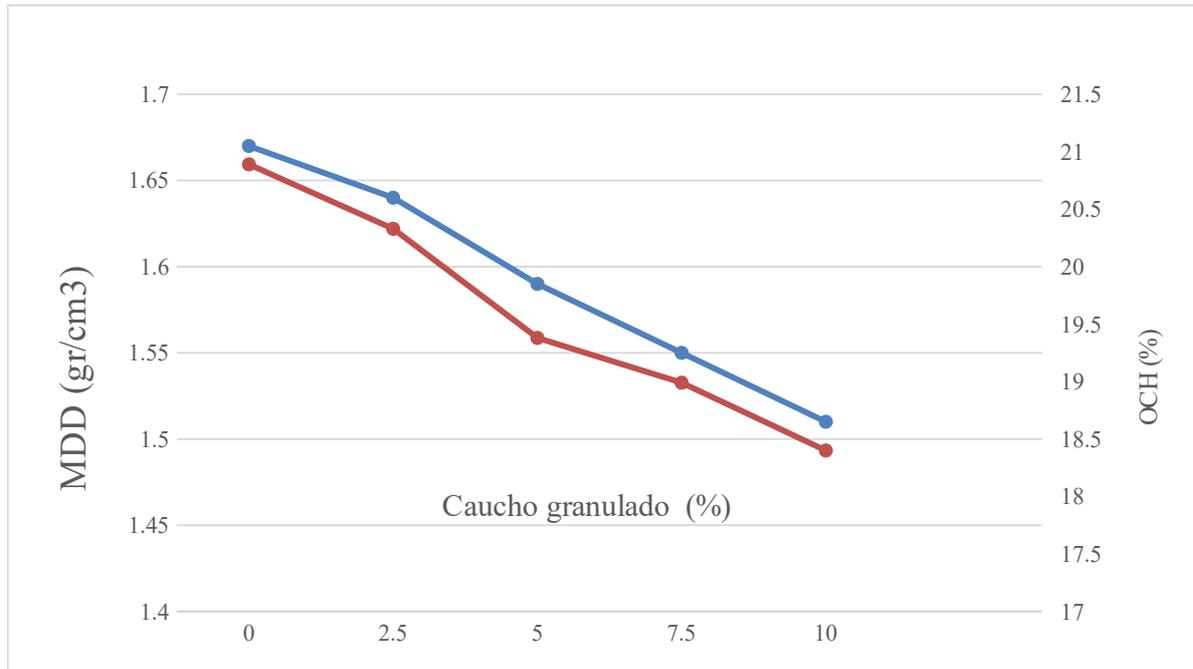


Figura N°9: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. seca según el porcentaje de caucho granulado

Fuente: Elaboración propia.

investigación 04: “Estabilización de un suelo altamente expansivo utilizando áridos derivados de neumáticos de desecho y tratamiento con cal”

- Tipo de caucho: Caucho granulado que se obtuvieron de la trituración mecánica donde se tuvieron 2 tipos denominados TDA-C y TDA-M las cuales presentan tamaños aproximados de 2 a 4.75 mm y 0.425 a 2 mm respectivamente, donde se usó el TDA-M.
- Tipo de suelo: El suelo utilizado fue una arcilla obtenida de Downer Street-Australia, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en CI (arcilla de plasticidad media).
- Gravedad específica del suelo: 2.77
- Gravedad específica del caucho: 1.10
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con incorporación de caucho granulado en 0 %, 5 %, 10 %, 20 % y para cal en 0, 3 y 6 % en función del peso seco del suelo.

- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de compactación para determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad.
- Resultado experimental:

Tabla N°10

Resumen de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.

OCH (%)	MDS (kn/m ³)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
19.5	17	1.73	0
18.2	16.25	1.66	5
17	15.95	1.63	10
15	15.25	1.56	20

Fuente: Elaboración propia.

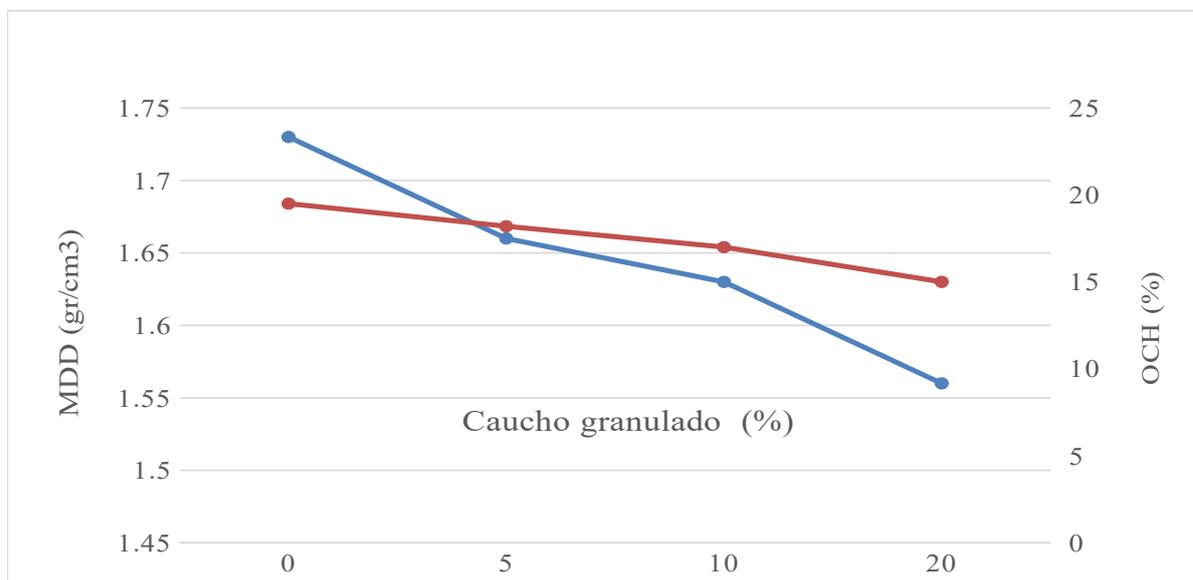


Figura N°10: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado

Fuente: Elaboración propia.

investigación 05: “Propiedades geotécnicas del suelo arcilloso cementado reforzado con caucho”

- Tipo de caucho: Caucho granulado y caucho en fibra que se obtuvieron de neumáticos de desecho donde el caucho granulado tuvo tamaños de sus partículas entre 0.8 y 2 mm y en cuanto al caucho en fibra tuvo dimensiones de 3 a 15 mm de longitud y un ancho de 2 a 3 mm.
- Tipo de suelo: El suelo utilizado fue una arcilla obtenida de Jaipur-India, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en CL (arcilla de baja plasticidad).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con incorporación de caucho granulado en 0 %, 2.5 %, 5 %, 7.5 % y 10 % y para cemento en 0, 3 y 6 % en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de compactación para determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad.
- Resultado experimental:

Tabla N°11

Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adicción de caucho granulado.

OCH (%)	MDS (Kn/m ³)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
20.84	16.35	1.67	0
20.34	16.13	1.64	2.5
19.75	15.67	1.6	5
19.1	15.15	1.54	7.5
18.7	14.47	1.48	10

Fuente: Elaboración propia.

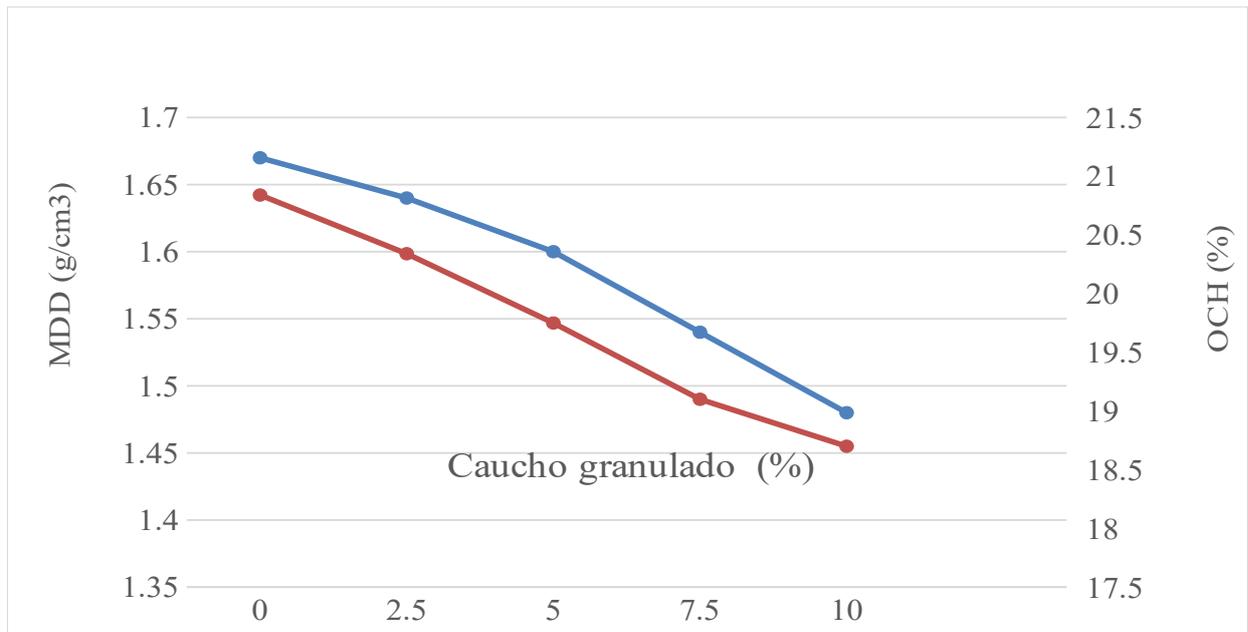


Figura N°11: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 06: “Incorporación de caucho granulado para mejorar el comportamiento físico y mecánico en la subrasante de suelos arcillosos, Puno 2021”

- Tipo de caucho: Caucho granulado
- Tipo de suelo: El suelo utilizado fue una arcilla obtenida del distrito de Juliaca, Ubicado en el Departamento de Puno, según clasificación SUCS el suelo se clasificó en CL (arcilla de baja plasticidad).
- Gravedad específico del suelo: 2.39
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con incorporación de caucho granulado en 0 %, 3 %, 5 %, 7 % y 9 % en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de compactación para determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D1557-12e1.
- Resultado experimental:

Tabla N°12

Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adición de caucho granulado Calicata 1.

OCH (%)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
18.9	1.626	0
17.38	1.613	3
18.24	1.566	5
18.43	1.552	7
18.5	1.537	9

Fuente: Elaboración propia

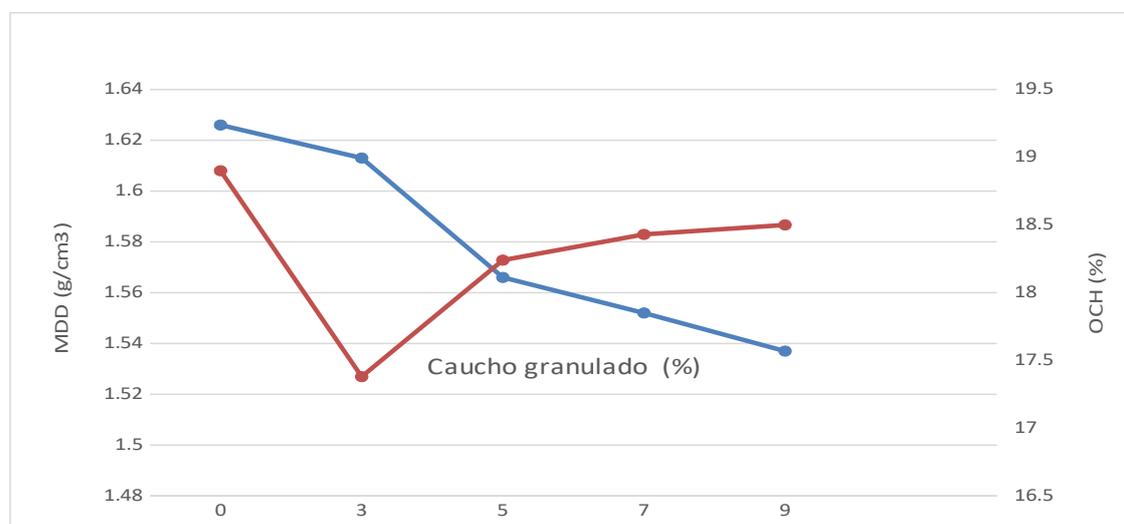


Figura N°12: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado en calicata 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°13

Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adición de caucho granulado Calicata 2.

OCH (%)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
18.87	1.614	0
17.65	1.605	3
18.23	1.568	5
18.62	1.538	7
18.28	1.539	9

Fuente: Elaboración propia

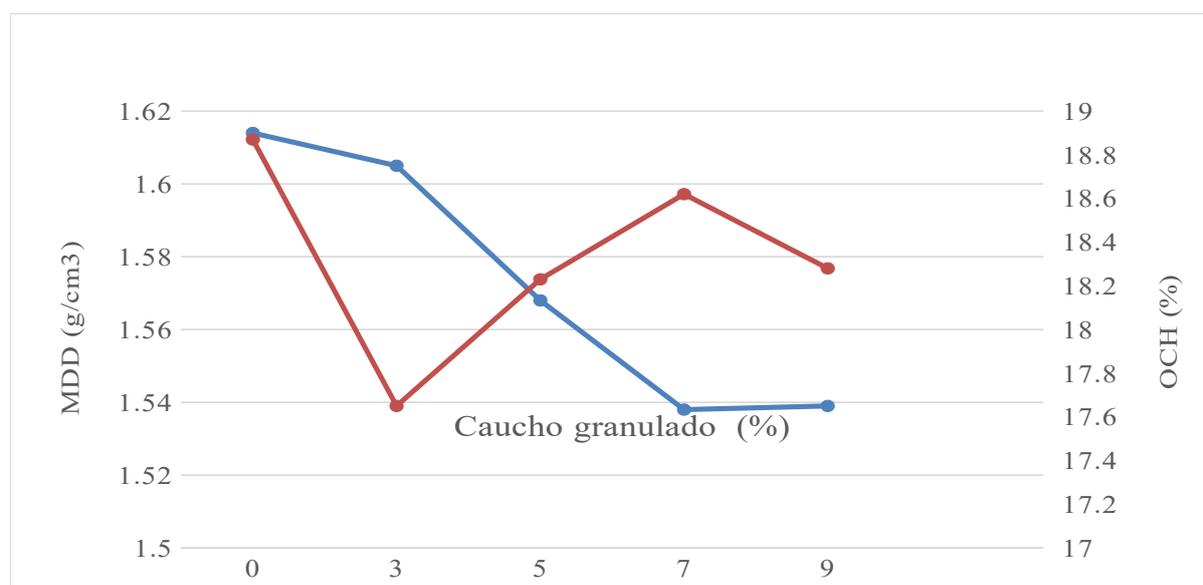


Figura N°13: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado en calicata 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°14

Resumen del resultado de ensayos de compactación de muestras de suelos con adición de caucho granulado Calicata 3.

OCH (%)	MDS (gr/cm ³)	C. Granulado (%)
19.05	1.603	0
18.16	1.598	3
18.55	1.569	5
18.8	1.547	7
18.59	1.54	9

Fuente: Elaboración propia.

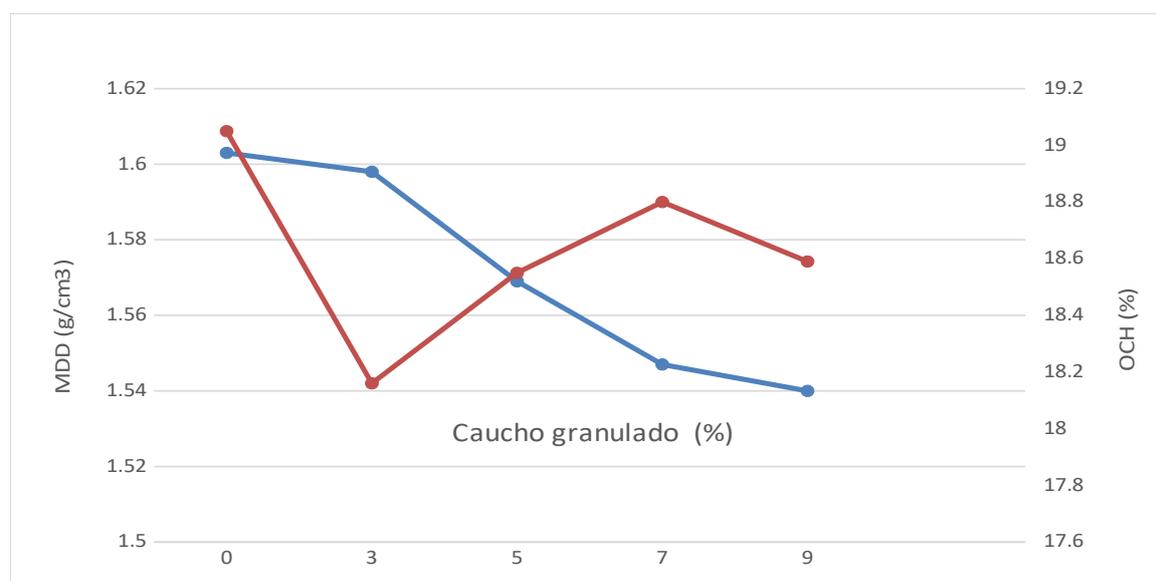


Figura N°14: Comportamiento de M.D.S. y O.C.H. según el porcentaje de caucho granulado en calicata 3.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando el porcentaje de caucho granulado para aumentar la Capacidad de Soporte CBR sin Remojar.

Investigación 03: “Influencia del caucho triturado en las propiedades geotécnicas”

- Tipo de caucho: Caucho granulado de neumático reciclado con medidas que van de 0.8mm a 2 mm.
- Tipo de suelo: Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°15

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

C. Granulado (%)	CBR – 95% (%)
0	10.8
2.5	12.4
5	15.3
7.5	12.2
10	8.75

Fuente: Elaboración propia.

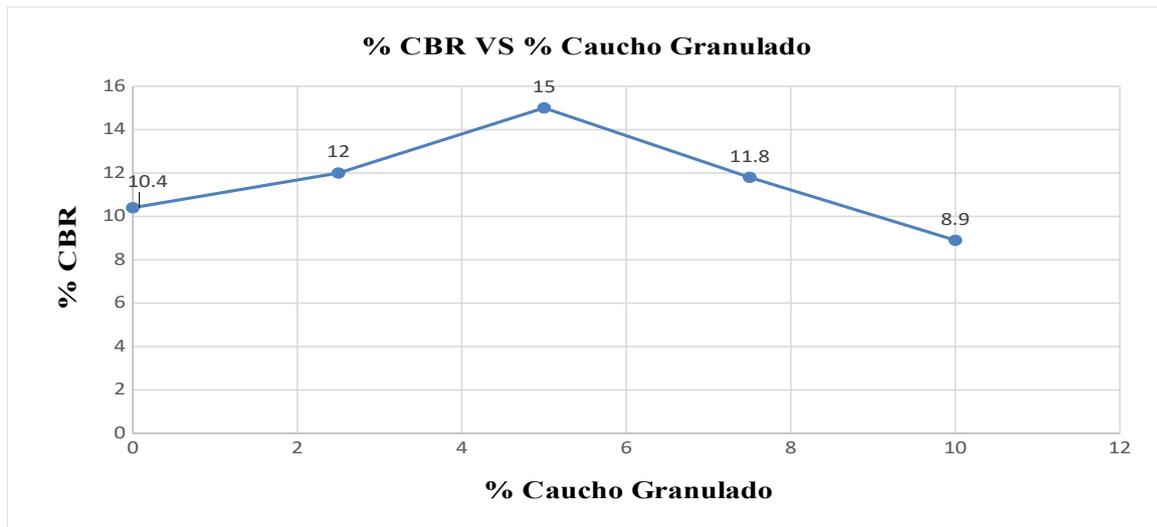


Figura N°15: Influencia del caucho triturado en las propiedades geotécnicas.

Fuente: Elaboración Propia.

Investigación 05: “Propiedades geotécnicas del suelo arcilloso cementado reforzado con caucho”

- Tipo de caucho: Caucho granulado de neumático reciclado con medidas que van de 0.8mm a 2 mm y caucho en fibras que van de 3mm a 5mm con un ancho de 2 a 3mm.
- Tipo de suelo: Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°16

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

Caucho Granulado (%)	CBR – 95% (%)
0	10.8
2.5	12.4
5	15.3
7.5	12.2
10	8.75

Fuente: Elaboración propia.

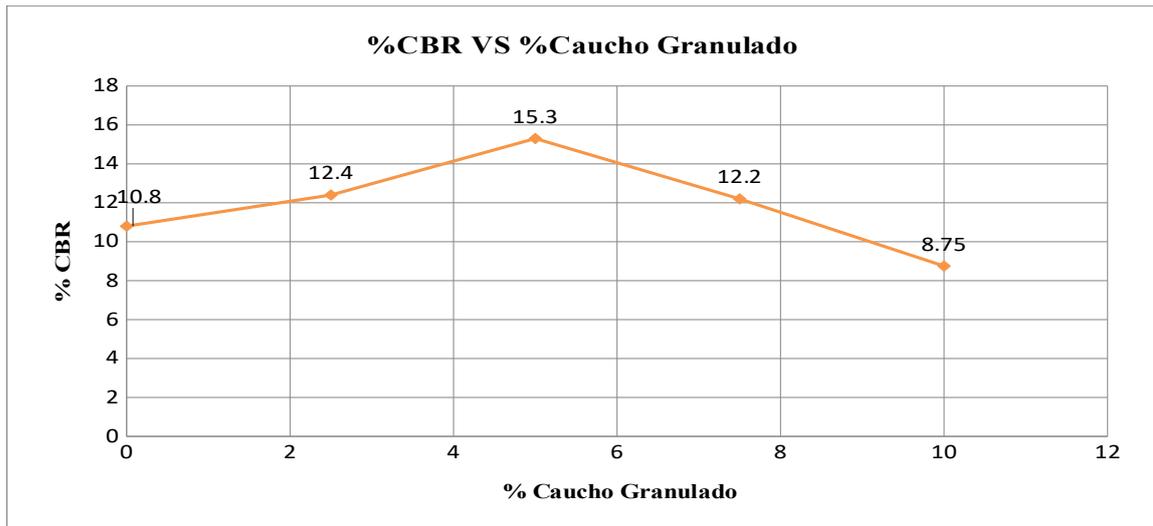


Figura N°16: Resultados de %CBR con respecto a diferentes % de Caucho granulado.
Fuente: Elaboración Propia.

Investigación 06: “Incorporación de caucho granulado para mejorar el comportamiento físico y mecánico en la subrasante de suelos arcillosos, Puno 2021”

- Tipo de caucho: Caucho granulado de neumático reciclado con medidas que van de 0.8mm a 2 mm.
- Tipo de suelo: Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 3%, 5%, 7% y 9% de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°17

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

Caucho Granulado (%)	CBR (%)		
	C-1	C-2	C-3
0	3.4	3.9	3.5
3	5.6	5.6	5
5	4.9	4.9	4.4
7	4	3.7	3.7
9	3.5	3.3	3.2

Fuente: Elaboración Propia.

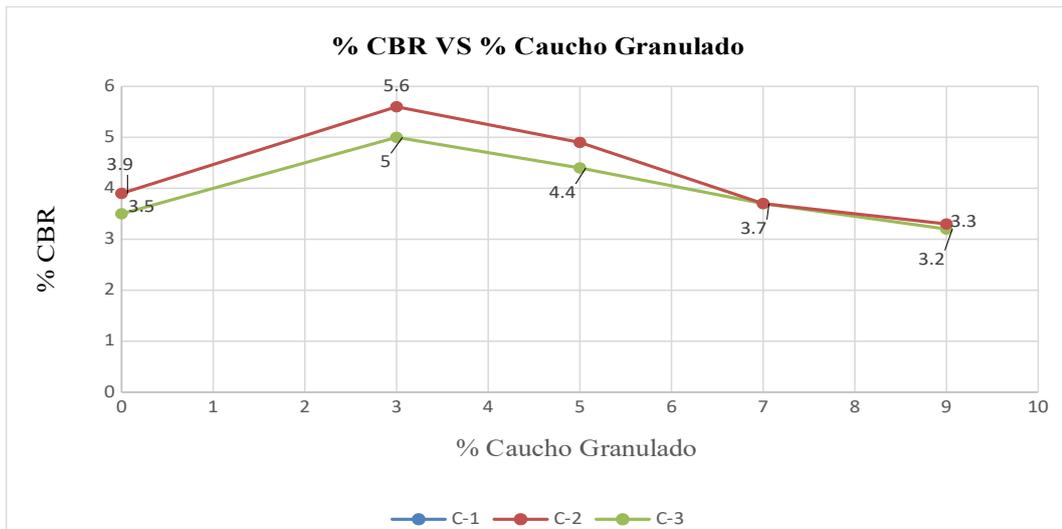


Figura N°17: Resultados de %CBR para diferentes % de Caucho granulado de las 03 calicatas.

Fuente: Elaboración Propia.

Investigación 07: “Alteración de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso mediante el uso de caucho de desecho”

- Tipo de caucho: Caucho granulado de 2 diferentes tamaños, retenidos en la Malla N° 40 (425 micras) y la Malla N° 50 (300 micras) según siendo este último empleado para los ensayos.
- Tipo de suelo: Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 5 %, 10 %, 20 % y 30 % de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°18

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

Caucho Granulado (%)	CBR – 95% (%)
0	3.1
5	5.2
10	8.1
15	5.7
20	4.2

Fuente: Elaboración propia.

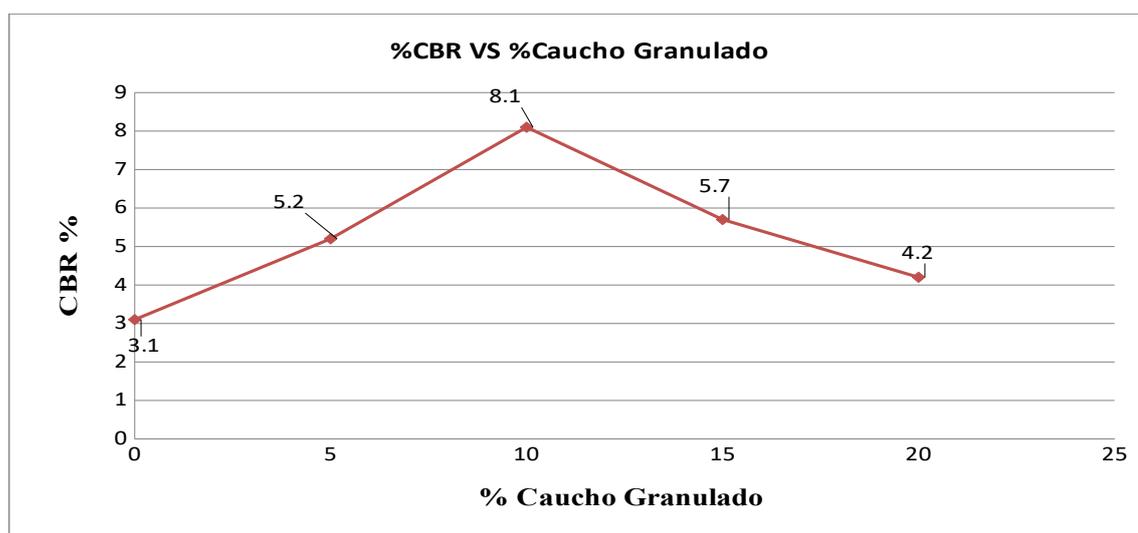


Figura N°18: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado no remojado.

Fuente: Elaboración Propia.

Investigación 08: “Incorporación de Partículas de caucho de neumáticos para mejorar las propiedades mecánicas en suelos arcillosos”

- Tipo de caucho: Caucho granulado de neumático reciclado con medidas que van de 0.8mm a 2 mm.
- Tipo de suelo: Arcilla inorgánica de plasticidad elevada (CH).

- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 1%, 3%, 5%, 7% y 9% de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°19

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

Caucho Granulado (%)	CBR – 95% (%)
0	2.94
1	3.85
3	5.15
5	4.97
7	4.88
9	2.92

Fuente: Elaboración Propia.

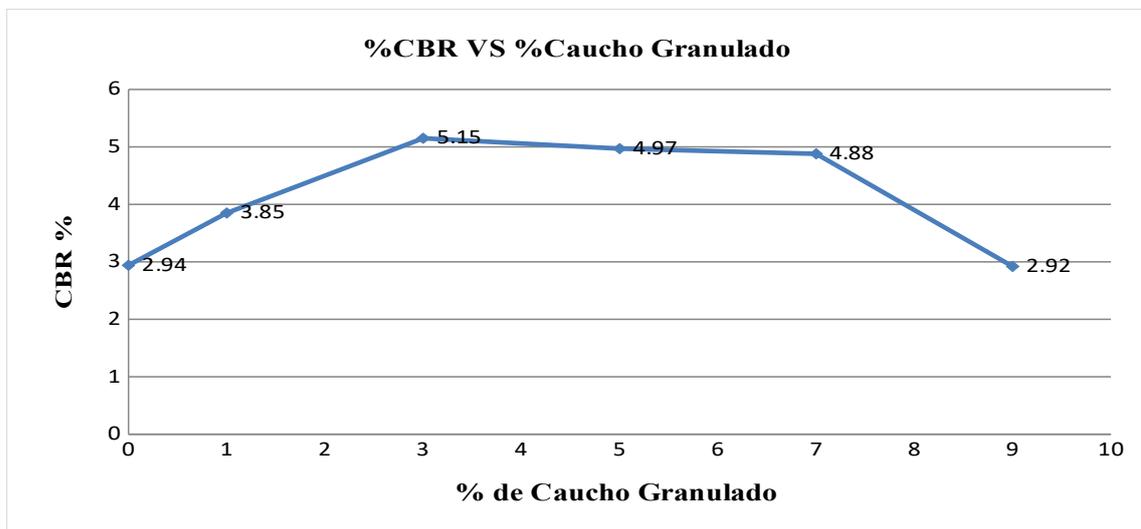


Figura N°19: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado no remojado.

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando el porcentaje de caucho granulado para aumentar la Capacidad de Soporte CBR Remojado.

Investigación 03: “Influencia del caucho triturado en las propiedades geotécnicas”

- Tipo de caucho: Caucho granulado de neumático reciclado con medidas que van de 0.8mm a 2 mm.
- Tipo de suelo: Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Resultado experimental:

Tabla N°20

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

Caucho Granulado (%)	CBR – 95% (%)
0	8.8
2.5	8.75
5	7.8
7.5	6.9
10	5.8

Fuente: Elaboración propia.

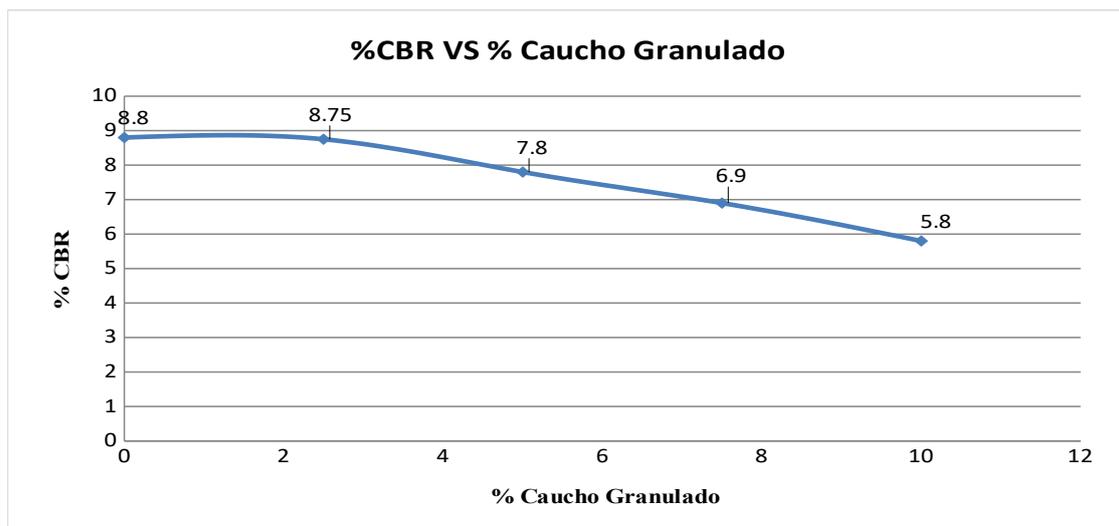


Figura N°20: Resultado de %CBR con diferentes % de Caucho granulado en estado remojado.

Fuente: Elaboración Propia.

Investigación 05: “Propiedades geotécnicas del suelo arcilloso cementado reforzado con caucho”

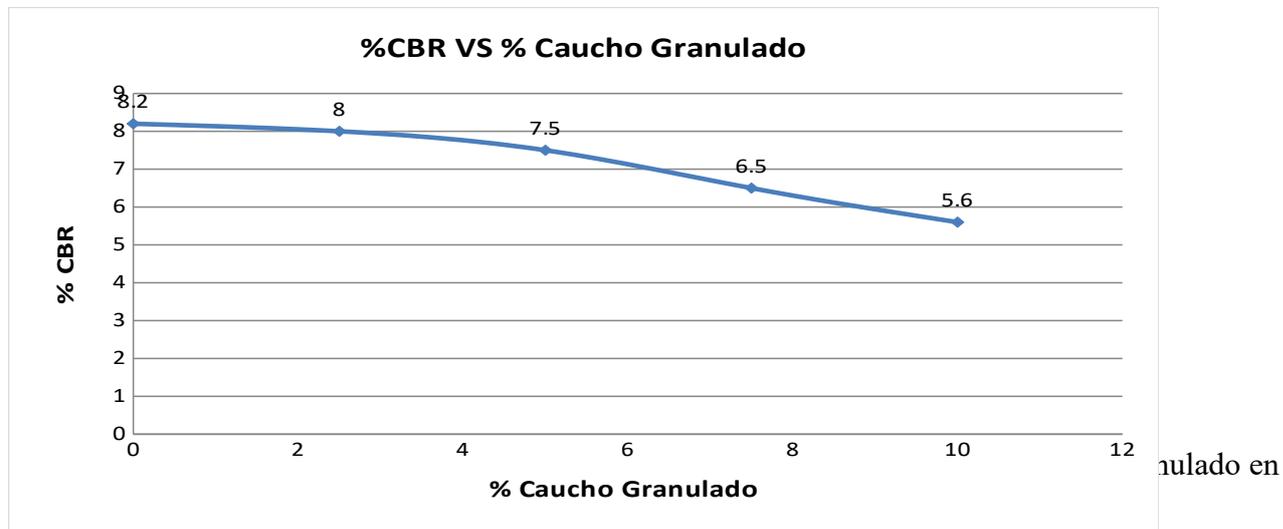
- Tipo de caucho: Caucho granulado de neumático reciclado con medidas que van de 0.8mm a 2 mm y caucho en fibras que van de 3mm a 5mm.
- Tipo de suelo: Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
- Contenido de la mezcla: Se elaboraron mezclas de suelo con 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de caucho granulado en función del peso seco del suelo.
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR, según la norma ASTM D1883 (2012).
- Método de ensayo: Se realizaron pruebas de capacidad de Soporte CBR.
- Resultado experimental:

Tabla N°21

Resultados de Capacidad de Soporte CBR al 95% en estado no remojado.

Caucho Granulado (%)	CBR – 95% (%)
0	8.2
2.5	8
5	7.5
7.5	6.5
10	5.6

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración Propia.

5.2. Análisis e Interpretación de los resultados

Analizando los resultados del porcentaje óptimo de caucho granulado para aumentar la máxima densidad seca.

En la Figura N°22 se puede observar el comportamiento que experimenta el suelo en su propiedad de Máxima densidad seca ante diferentes incorporaciones de caucho, está en porcentajes en función del peso seco del suelo, y es evidente que la Máxima densidad seca disminuye a razón de la incorporación de caucho granulado. En cuanto la Figura N°23 se puede observar el comportamiento que experimenta el suelo en su óptimo contenido de humedad a razón de la incorporación de caucho granulado, y es evidente que esta disminuye.

En los resultados obtenidos en las pruebas de compactación se encontró que independientemente del tamaño del caucho granulado usado por los autores se reflejó que sus valores máximos en la máxima densidad seca de todas las muestras, fueron con 0 % de caucho granulado (suelo en condición natural) y disminuía a razón de mayor porcentaje. En cuanto al óptimo contenido de humedad, esta tuvo sus valores máximos para todas las muestras con 0 % de caucho granulado (suelo en condición natural) y disminuía a razón de mayor porcentaje de caucho granulado, incluso cuando para un valor de 7 % de caucho granulado reflejaba un aumento en los valores, estos fueron insignificantes, posterior a ese porcentaje empezaba nuevamente en la disminución de los valores.

En base a lo descrito por todos los autores comentan que la disminución de la densidad puede deberse a la diferencia de gravedades específicas, siendo la gravedad específica de los suelos cohesivos estudiados entre 2.39 a 2.73 mientras que el caucho granulado presentaba una gravedad específica de 1.09 a 1.15, por lo que al sustituir un porcentaje del suelo por caucho granulado reflejaba esa disminución en la densidad. Además de ello el comportamiento elástico que presentaban las partículas de caucho granulado redujeron la eficiencia de la compactación ya que no pudo densificar más las muestras lo cual pudo haber llevado a una reducción en la densidad. En cuanto a la disminución del óptimo contenido de humedad del suelo a razón de la incorporación de caucho granulado se le puede atribuir debido a la baja capacidad de absorción de las partículas de caucho siendo este en promedio un 4% del peso de caucho.

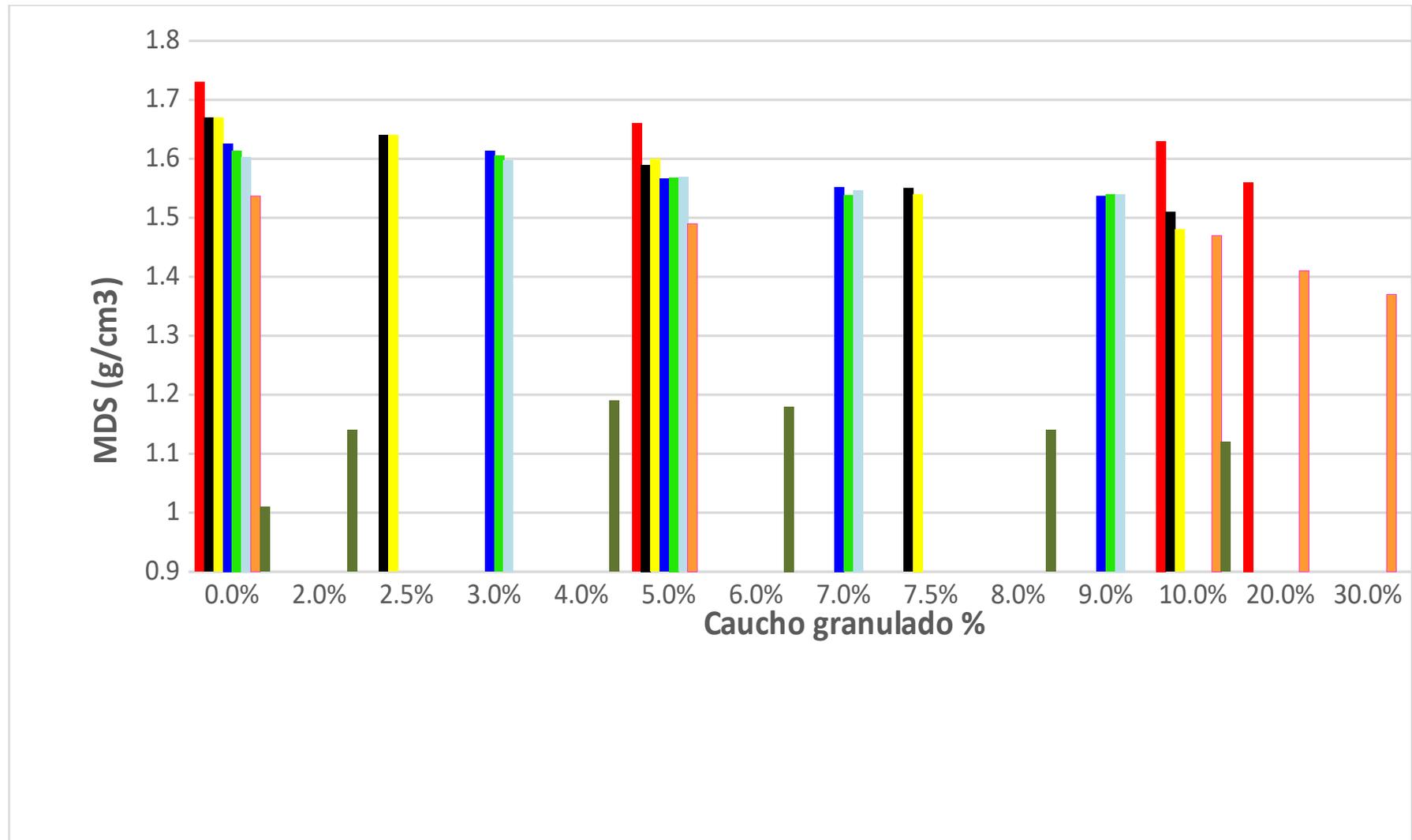


Figura N°22: Comportamiento de Máxima densidad seca según el porcentaje de caucho granulado incorporado al suelo

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los resultados del porcentaje óptimo de caucho granulado para aumentar la Capacidad de Soporte CBR.

En la Figura N°24 se puede observar el comportamiento que experimenta el suelo en su propiedad de Capacidad de soporte CBR al 95% de su máxima densidad seca en estado no Remojado ante diferentes incorporaciones de caucho granulado, estos porcentajes están en función del peso seco del suelo, se observa una mejora del CBR mientras se va adicionando un mayor % de caucho granulado, siendo estos 3%, 5% y 10% los porcentajes que tienen un óptimo mejoramiento. A medida que se le adiciona un mayor porcentaje de caucho granulado esta tiende a disminuir.

Por lo contrario, en la Figura N°25 se puede observar el comportamiento que experimenta el suelo en su propiedad de Capacidad de soporte CBR al 95% de su máxima densidad seca en estado Remojado (estado crítico) ante diferentes incorporaciones de caucho granulado, se observa que los valores de CBR disminuyen a medida que se le adiciona % de caucho granulado, disminuyendo para un 5% de C.G. entre 0.7% a 1% del CBR en estado natural y para un 10% de C.G. entre 2.6% a 3%, llegando a tener una baja calidad para ser usada como subrasante. Esto puede deberse a la resiliencia que tiene el caucho granulado al ser compactado con el suelo cohesivo, esta tiende a volver a su estado natural, por lo que no se combina con el suelo cohesivo, dejando vacíos, lo que genera una disminución de la resistencia de la subrasante.

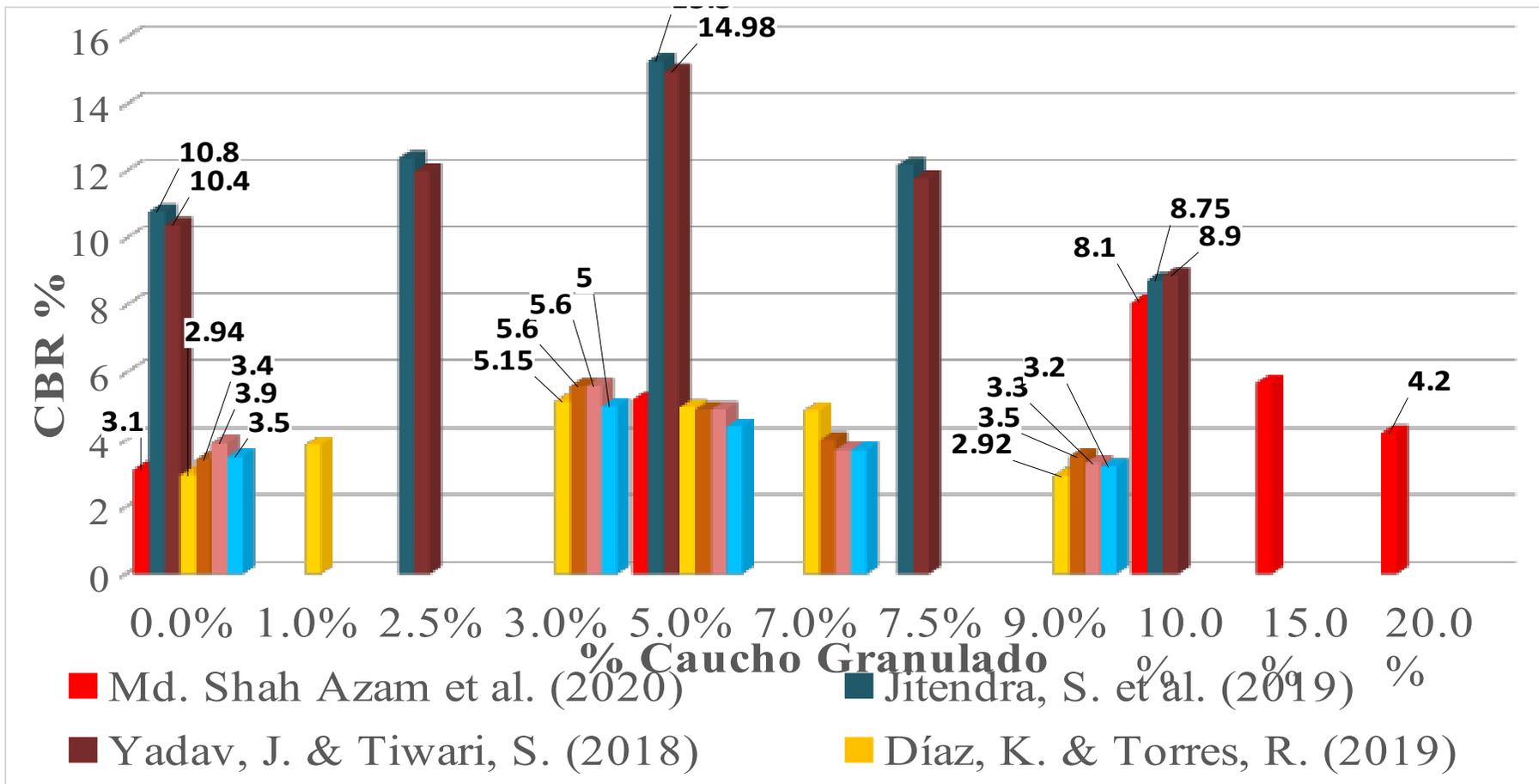


Figura N°24: Resumen del comportamiento del CBR en estado no remojado

Fuente: Elaboración propia.

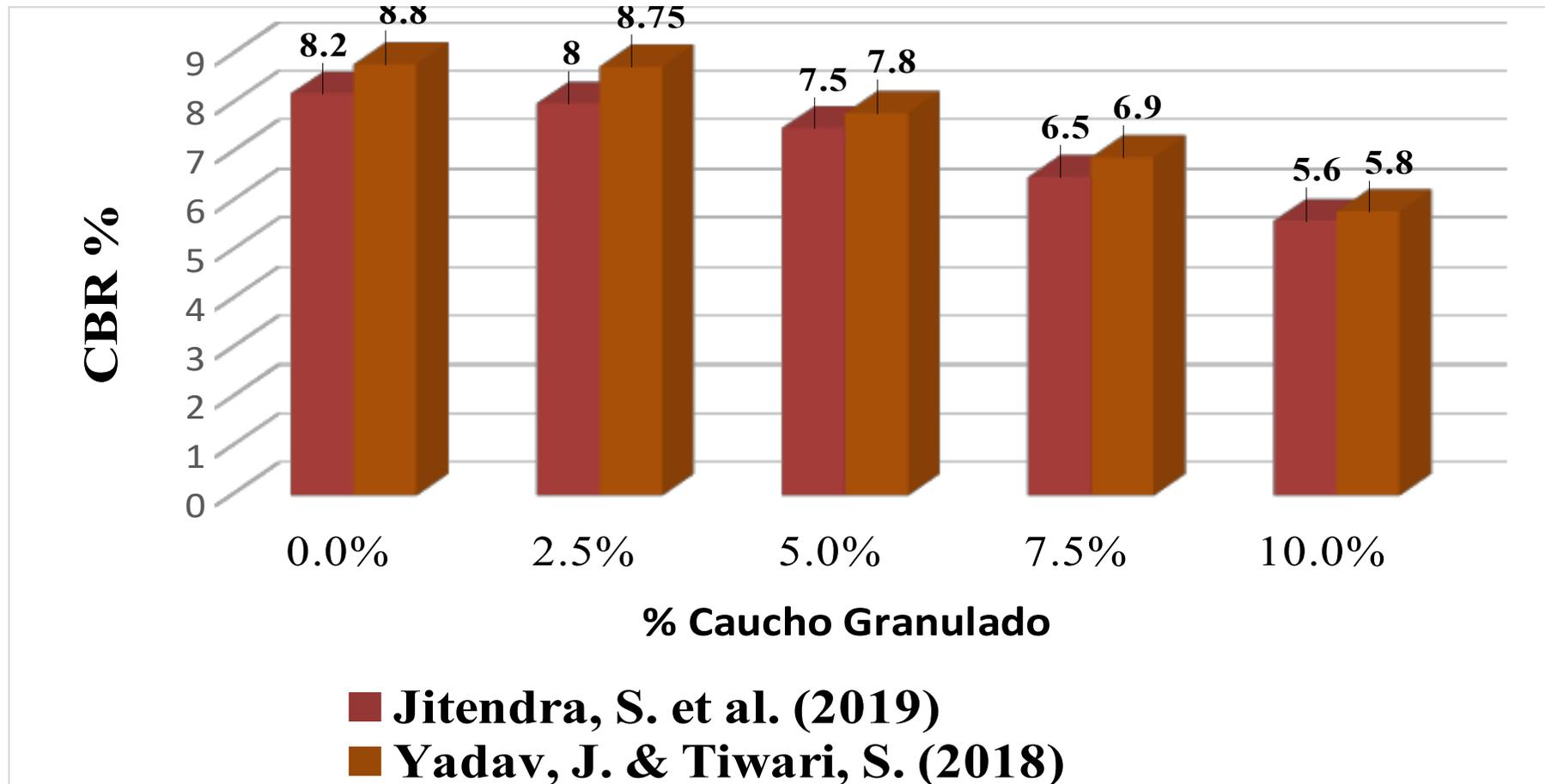


Figura N°25: Resumen del comportamiento del CBR en estado remojado

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Diagnóstico y situación actual

Para este trabajo de investigación se decidió realizar una serie de ensayos para poder comparar los resultados ya obtenidos de la recopilación de datos de los diferentes autores, teniendo como lugar de estudio la Carretera La Cruz ubicada en el distrito de San Luis de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Junín, realizándose una calicata de muestra del suelo arcilloso a una profundidad de 1.50m en las coordenadas geográficas $10^{\circ}53'25.7''S$ $75^{\circ}17'24.6''W$ como se muestra en la Figura N°26.



Figura N°26: Lugar de estudio para obtención de Calicata 1.

Fuente: Elaboración Propia

Las muestras de suelo arcilloso recolectados como se muestra en la Figura N°27 fueron llevados al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Asfalto de la Universidad Ricardo Palma, para realizar sus respectivos ensayos.



Figura N°27: Muestras de suelo arcilloso.

Fuente: Elaboración Propia

5.3.1. Propiedades Físicas en condición natural

Contenido de Humedad (%)

Se cuarteo el material de la calicata 01 como se muestra en la Figura N°28 para luego obtener una porción de suelo para poder determinar el contenido de humedad de la muestra de suelo en estado natural como se muestra en la Figura N°29.



Figura N°28: Cuarteo de la muestra de suelo arcilloso.

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°29: Porción de suelo para hallar el contenido de humedad.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°22

Contenido de Humedad (%).

Muestra	Profundidad (m)	W (%)
C-1	1.50	26.03

Fuente: Elaboración propia

Análisis Granulométrico

Para este ensayo se realizó el lavado como se muestra en la Figura N°30 para eliminar todos los finos o todos los pasantes a la malla #200, para luego ser llevado al horno para el secado como se muestra en la Figura N°31 de la muestra de suelo para poder realizar el tamizado correspondiente en las mallas 3/4", 3/8", #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200 obteniendo así el peso Retenido en cada malla como se muestra en la Figura N°32.

Figura N°30: Lavado de la muestra de Suelo.

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°31:
de Suelo lavada.

Secado de la muestra

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°32: Muestras retenidas en las mallas.

Fuente: Elaboración Propia

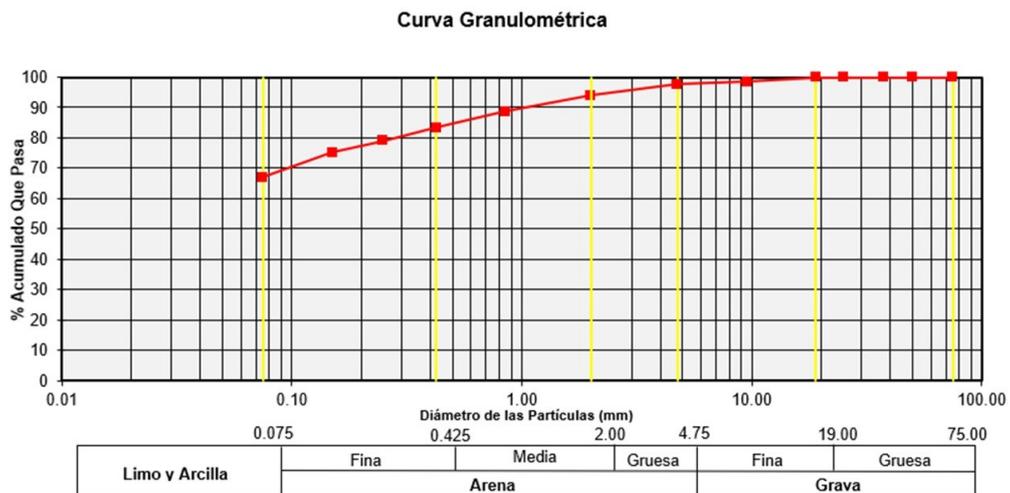


Figura N°33: Curva Granulométrica.

Fuente: Elaboración Propia

Peso Específico Natural

Para este ensayo se usaron 04 muestras de suelo inalterada como se muestra en la Figura N°34, siendo estas pesadas, para poder hallar su peso específico Natural se envolvió el suelo inalterado con parafina como se muestra en la Figura N°35, para luego ser introducidas en una probeta que contiene agua como se muestra en la Figura N°36, y así poder calcular el volumen del suelo, teniendo el Peso y el Volumen podemos calcular su densidad.

Figura N°34: Muestras inalteradas.

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°35:
con parafina.

Muestras inalteradas

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°36: Muestras inalteradas con parafina introducidas en la Probeta.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°23

Peso Específico Natural (γ).

Calicata	Muestra	Peso Específico Natural (gr/cm³)	Promedio
C-1	M-1	1.96	1.91
	M-2	1.84	
	M-3	1.92	
	M-4	1.90	

Fuente: Elaboración propia

Peso Específico Relativo de Sólidos

Para este ensayo se usaron 02 muestras de suelo las cuales pasaron por la malla #4, para luego ser introducido dentro de cada Fiola como se muestra en la Figura N°37, se introdujo agua hasta la marca de la Fiola para luego ser llevada a una cocina eléctrica para poder eliminar los vacíos con ayuda del calor como se muestra en la Figura N°38, luego se vació el contenido en un recipiente para luego ser llevado al horno como se muestra en la Figura N°39.

Figura N°37: Suelo introducido en la Fiola.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°38: Suelo dentro de la Fiola con agua en cocina eléctrica.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°39: Contenido de las Fiolas secadas al Horno.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°24

Peso Específico Relativo de Solidos (Gs).

Calicata	Muestra	Peso Específico Relativo de Solidos	Promedio
C-1	M-1	2.69	2.69
	M-2	2.69	

Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg

Primero se determinó el Limite líquido, empleando la copa de Casagrande con una muestra de suelo que pasa la malla #40 como se muestra en la Figura N°40.



Figura N°40: Ensayo de Limite Liquido.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°25

Limite Liquido (%).

Calicata	# de Golpes	Contenido de Humedad %	L.L. (%)
	18	48.87	
C-1	28	47.72	48
	42	46.42	

Fuente: Elaboración propia

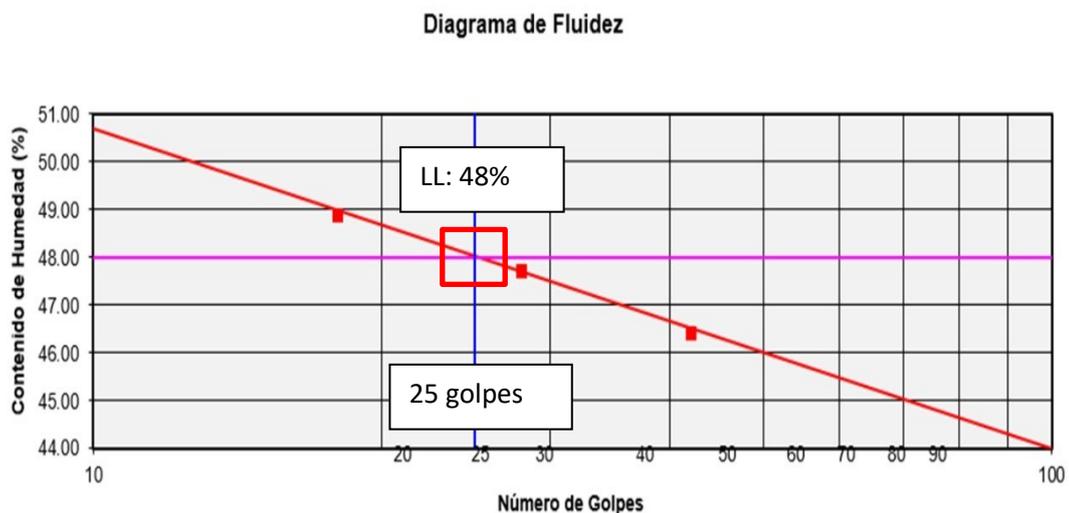


Figura N°41: Diagrama de Fluidez.

Fuente: Elaboración Propia.

Se determinó el Limite Plástico, usando una muestra de suelo pasante por la malla #40, añadiéndole agua y con ayuda de una espátula a homogenizar una

macilla, para luego formar pequeños bastones con la ayuda de la mano en una superficie porosa como se muestra en la Figura N°42, estos bastones deben tener un espesor no mayor a 3mm como se muestra en la Figura N°43, debe moldearse hasta que llegue a su punto de fisuramiento, una vez alcanzado este punto serán llevados al horno para obtener su contenido de humedad.



Figura N°42: Moldeado de bastones.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°43: Espesor de los bastones.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°26

Limite Plástico (%).

Calicata	Muestra	Limite Plástico %	L.P. (%)
-----------------	----------------	--------------------------	-----------------

	M-1	25.51	
C-1	M-2	26.79	25.86
	M-3	25.71	
	M-4	25.43	

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el Limite de contracción, usando una muestra de suelo pasante por la malla #40, a la cual se le agrego agua como se muestra en la Figura N°44 y estuvo en reposo por 24 horas como se muestra en la Figura N°45, para que la humedad penetre la estructura del suelo, luego se empieza a llenar las capsulas de contracción (previamente hallando el volumen de estas capsulas), estas lubricadas para evitar que el suelo se pegue en el molde, la cual se empiezan a llenar las capsulas de contracción en 3 capas, cada capa con sus respectivos golpes para eliminar los vacíos y con ayuda de una espátula se enrasa a nivel del molde para luego ser pesados y llevados al horno como se muestra en la Figura N°46.

Figura N°44: Muestra combinado con % de agua.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°45: Muestra en reposo.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°46: Moldes para Límite de Contracción.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°27

Límite de Contracción (%).

Calicata	Muestra	Límite de Contracción %	L.C. (%)
C-1	M-1	21.46	21.08
	M-2	20.71	

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Propiedades Mecánicas en condición natural

Ensayo Proctor Modificado

Se empleó el método A por la condición de tener el % retenido acumulado $N_{04} \leq 20\%$, se separó el suelo cohesivo en 3 bandejas pasando la malla $\frac{3}{4}$ ", luego se le añadió a cada bandeja con suelo un porcentaje de agua diferente a

cada bandeja para poder realizar el experimento, la cual se compacto en un molde (con una altura de 11.6 cm aprox. y un diámetro de 10.10 cm) en 5 capas con 25 Golpes cada una, con la ayuda de un martillo con un peso de 4.5 kg, desde una altura de 45cm aproximadamente, posterior a ello las muestras fueron sacadas del molde y pesadas para luego ser llevadas al horno.



Figura N°47: Ensayo Proctor Modificado.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°48:
natural.

Compactación del suelo

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°49: Ensayo de Proctor Modificado, Método A del suelo natural.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°50: Curva de Compactación.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°28

Máxima Densidad Seca y Optimo Contenido de Humedad.

Calicata	Muestra	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
C-1	M-1	1.701	20.4

Fuente: Elaboración propia

Ensayo CBR para Suelo Natural

Para este ensayo se usó el suelo que pasa por la malla ¾", tomado tres bandejas siendo un total de 7kg por bandeja, las cuales se emplearan para la compactación a 56, 25 y 12 golpes como se muestra en la Figura N°51, luego

se quita el collarín y se enrasa la superficie, para después colocar unos discos que servirán como sobrecarga como se muestra en la Figura N°52, luego se llevó los moldes en una tina sin agua, colocando un deformímetro en cada molde para calcular su hinchamiento como se muestra en la Figura N°53, seguido se añade agua hasta llegar a tapar todo el molde como se muestra en Figura N°54, para luego de 4 días en estado remojado se realiza el ensayo de penetración como se muestra en la Figura N°55.



Figura N°51: Compactación a 56, 25 y 12 Golpes.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°52: Colocación de discos como sobrecarga.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°53: Colocación de deformímetro.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°54: remojada.

Fuente: Elaboración



Moldes en condición

Propia.

Figura N°55: Ensayo de Penetración.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Figura N°56, se obtuvieron los esfuerzos que han sido necesarios para penetrar el pistón hasta 0.5", para los 03 moldes a 56, 25 y 12 golpes.

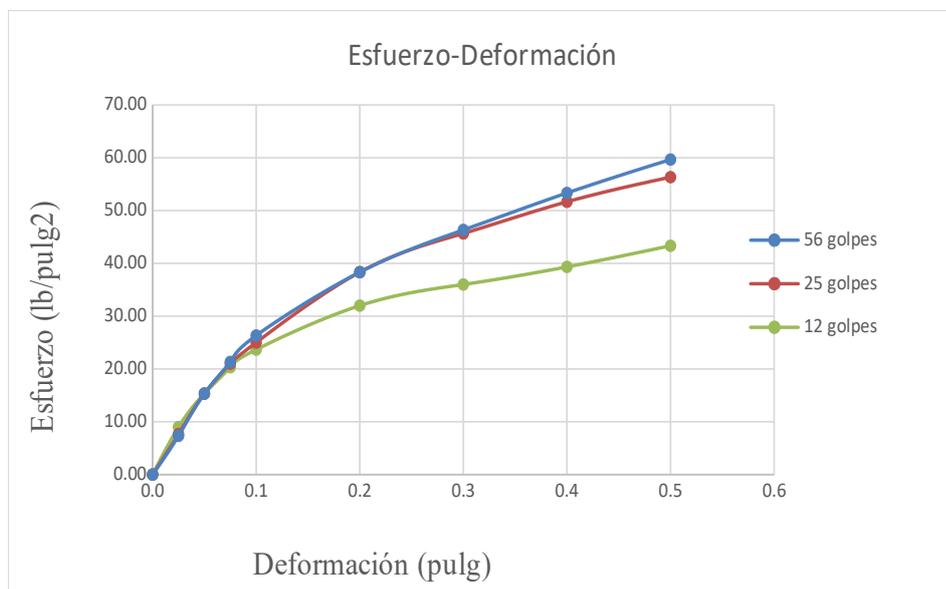


Figura N°56: Grafica Esfuerzo-Deformación del Suelo Natural.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la Figura N° 57, se obtuvo la gráfica MDS vs CBR, donde se presentaron los valores de CBR para 0.1” y 0.2” de penetración interceptándolas con la MDS al 95%.

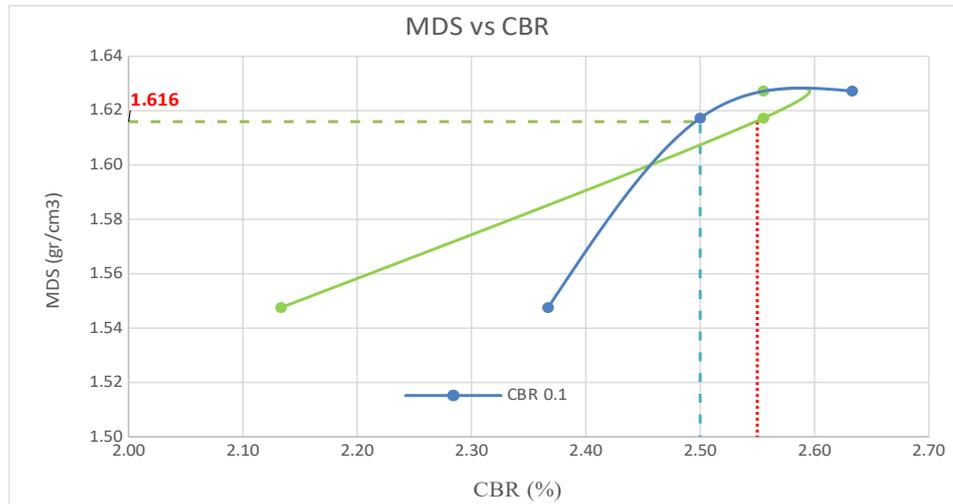


Figura N°57: MDS vs CBR para suelo Natural.

Fuente: Elaboración Propia.

Según la ASTM el valor que se reporta es el de 0.1”, mientras este sea menor que el de 0.2”.

Tabla N°29

CBR del suelo natural.

Calicata	Muestra	CBR al 95% de M.D.S.
C-1	M-1	2.50 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°30

Resumen de las propiedades físico – mecánicas del suelo natural.

Propiedades	Valor	Unidad
Contenido de humedad (W)	26.03	%
Peso específico natural (γ)	1.91	gr/cm ³
Peso específico relativo de sólidos (Gs)	2.69	Adimensional
Límite líquido (L.L.)	48	%
Límite plástico (L.P.)	25.86	%
Índice de plasticidad (I.P.)	22.14	%
Límite de contracción (L.C.)	21.08	%
Clasificación SUCS		CL
Máxima Densidad Seca (M.D.S.)	1.701	gr/cm ³
Óptimo Contenido de Humedad (O.C.H.)	20.4	%
CBR (95 %) M.D.S.	2.50	%

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.3. Propiedades Físicas del suelo cohesivo + Caucho Granulado

Se realizaron los ensayos del suelo cohesivo con Caucho Granulado, siendo las partículas de caucho granulado con un tamaño entre 2mm a 4.5mm estos pasantes por la malla #4 y retenido en la malla #10.

Figura N°58: Caucho Granulado retenido en Malla #10.

Fuente: Elaboración Propia.

Límite de Contracción

Se determinó el Límite de contracción, usando una muestra de suelo pasante por la malla #40, añadiéndole porcentajes de 2.5, 5 y 10% de Caucho Granulado en función del peso seco.

Figura N°59: Equipo para ensayo de Límite de Contracción + 2.5% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°60: Muestras secadas al horno con 2.5% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

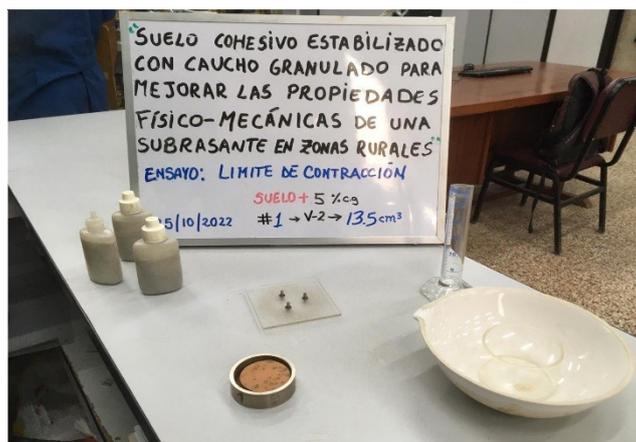


Figura N°61: Equipo para ensayo de Límite de Contracción +5% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°62: Muestras secadas al horno con 5% de C.G

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°63: Equipo para ensayo de Límite de Contracción +10% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°64: Muestras secadas al horno con 10% de C.G

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°65: Muestras de suelo secas con 0, 2.5, 5 y 10% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°31

Límite de Contracción del suelo cohesivo + % C.G.

Calicata	% C.G.	Muestra	Límite de Contracción (%)	L.C. (%)
C-1	0	M-1	21.46	21.08
		M-2	20.71	
	2.5	M-1	21.18	21.57
		M-2	21.97	
	5	M-1	21.25	21.74
		M-2	22.23	
	10	M-1	27.77	24.95
		M-2	22.14	

Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Propiedades Mecánicas del suelo cohesivo + Caucho Granulado

Ensayo Proctor Modificado

Para este ensayo se le añadió 5 y 10% de Caucho Granulado con respecto al Peso del suelo cohesivo a cada bandeja un porcentaje de agua diferente a cada bandeja para poder realizar el experimento, para cada adición de Caucho Granulado se realizaron 4 muestras con diferentes contenidos de humedad.

Figura N°66: Ensayo de Proctor Modificado + % de C.G.

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°67: Resultado de las 04 muestras + 5% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia

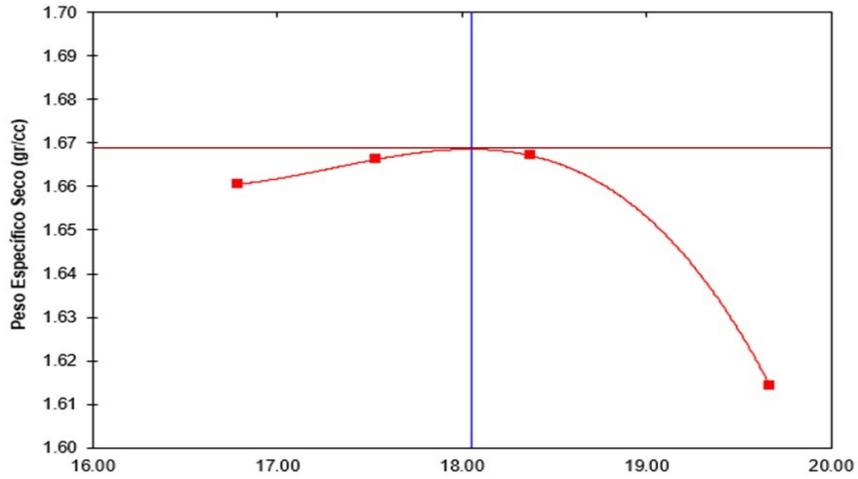


Figura N°68: Curva de Compactación + 5% C.G.

Fuente: Elaboración Propia



Figura

N°69: Resultado de

las 04 muestras + 10% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°70: Curva de Compactación + 10% C.G.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°32

Máxima Densidad Seca y Optimo Contenido de Humedad.

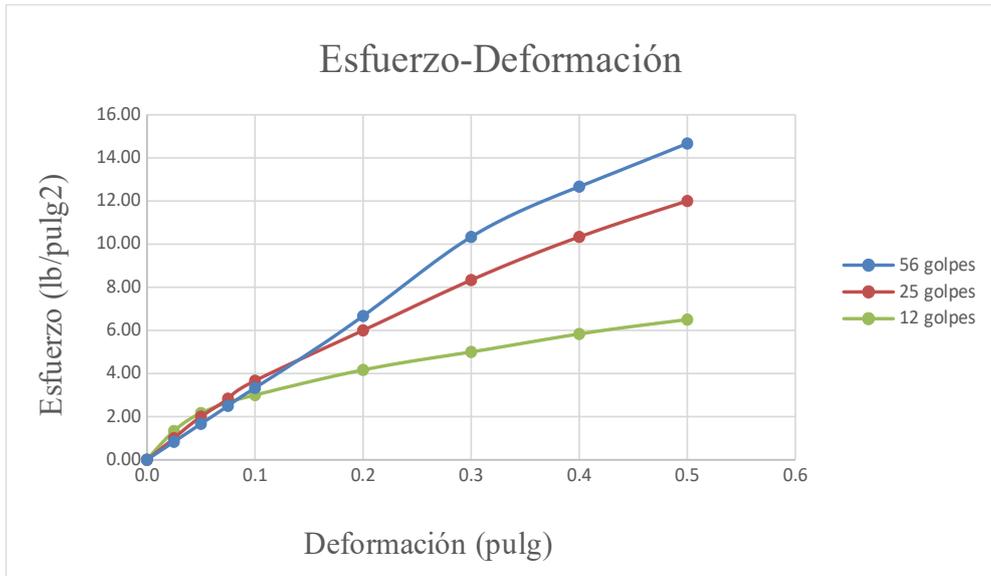
Calicata	% C. G.	Muestra	Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	O.C.H. (%)
	0	M-1	1.701	20.4
C-1	5	M-2	1.669	18.05
	10	M-3	1.576	21

Fuente: Elaboración propia

Ensayo CBR para Suelo Natural + 5% de Caucho Granulado

Se agrego 5% de Caucho Granulado al suelo natural en función del Peso Seco, obteniendo así los siguientes resultados.

a



Figur N°71:

Grafica Esfuerzo-Deformación del Suelo Natural + 5% C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la Figura N°72, se obtuvo la gráfica MDS vs CBR añadiéndole 5% de Caucho Granulado al Suelo Natural, donde se presentaron los valores de CBR para 0.1" y 0.2" de penetración interceptándolas con la MDS al 95%.

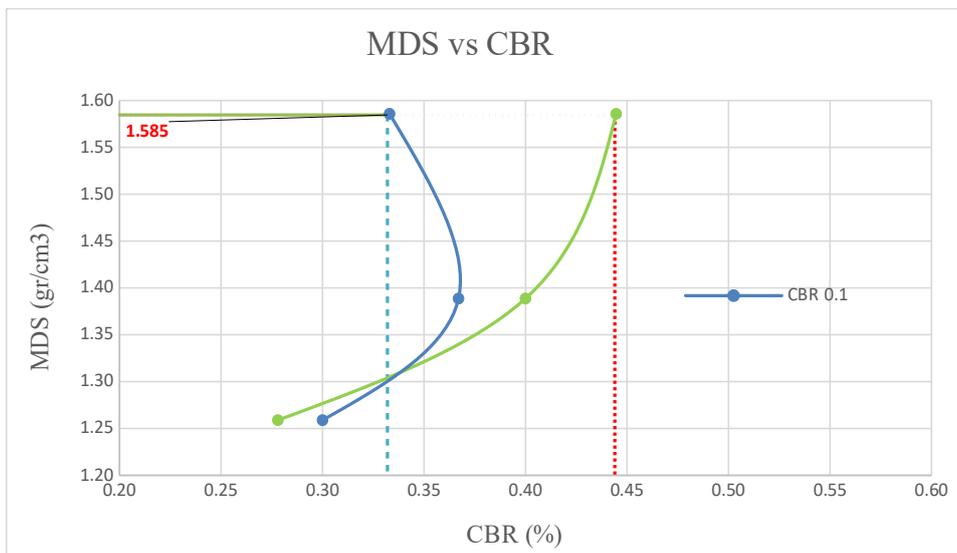


Figura N°72: MDS vs CBR para suelo Natural + 5% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°33

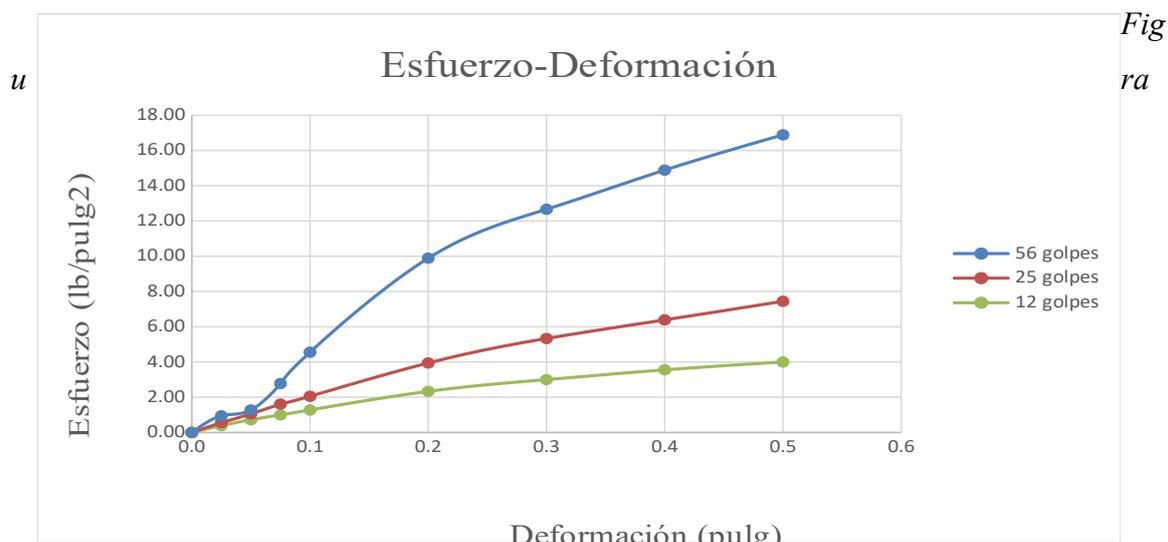
CBR del suelo natural + 5% de C.G.

Calicata	Muestra	CBR al 95% de M.D.S.
C-1	M-1	0.33 %

Fuente: Elaboración propia

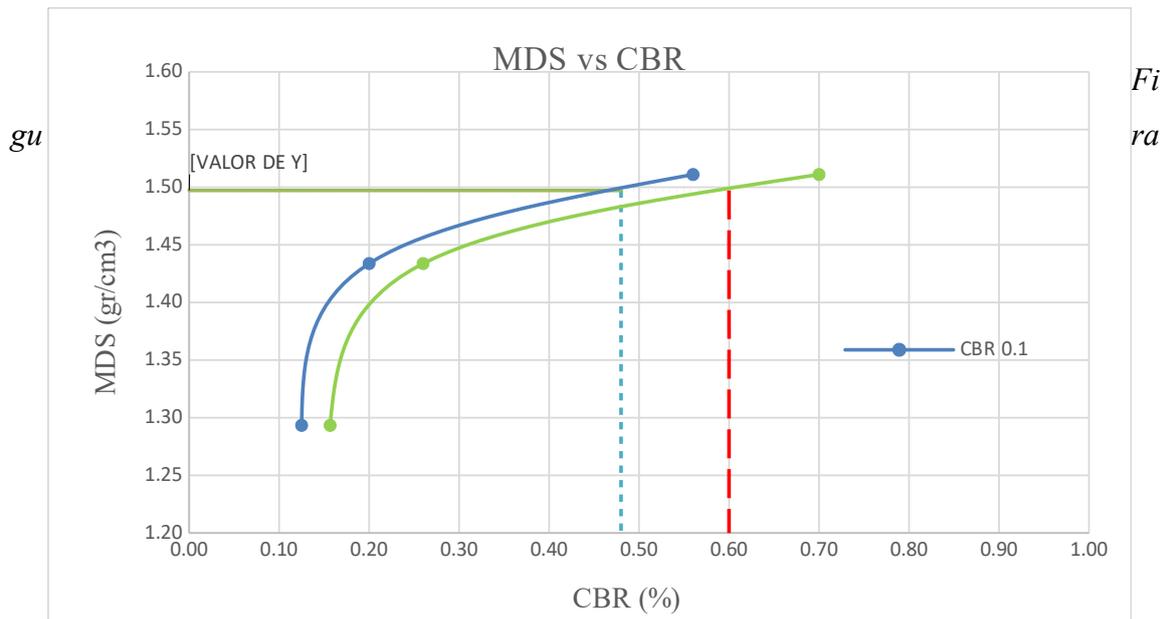
Ensayo CBR para Suelo Natural + 10% de Caucho Granulado

Se agrego 10% de Caucho Granulado al suelo natural en función del Peso Seco, obteniendo así los siguientes resultados.



N°73: Grafica Esfuerzo-Deformación del Suelo Natural + 10% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.



Nº74: MDS vs CBR para suelo Natural + 10% de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Nº34

CBR del suelo natural + 10% de C.G.

Calicata	Muestra	CBR al 95% de M.D.S.
C-1	M-1	0.48 %

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Contrastación de hipótesis

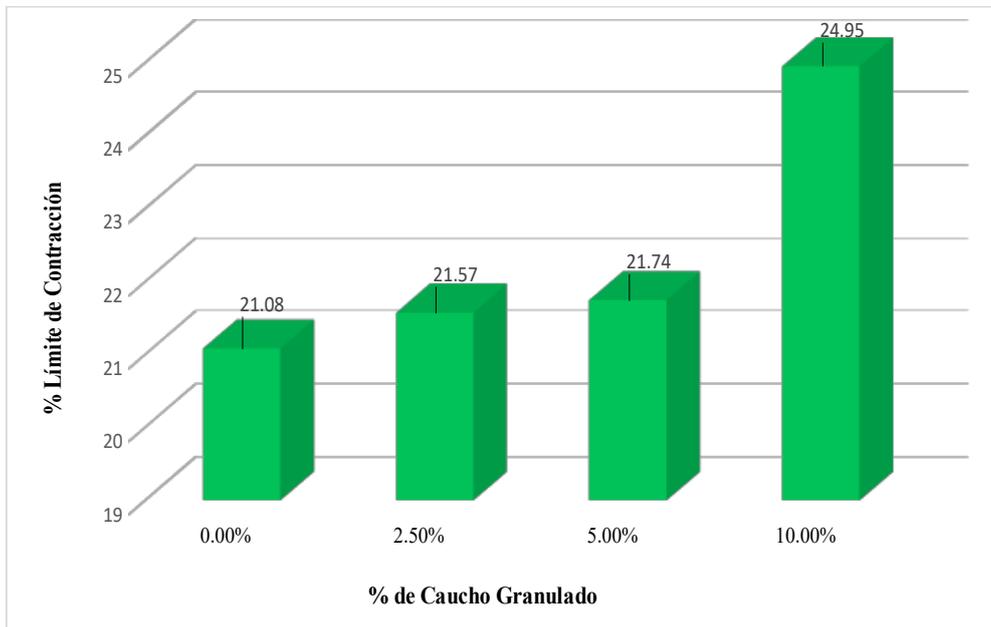
En la presente investigación se planteó una hipótesis general y dos hipótesis específicas, como respuestas anticipadas sobre los resultados de nuestra investigación.

5.4.1. Hipótesis específica 1

H11: El comportamiento del Límite de Contracción del suelo cohesivo, se altera a razón de la incorporación de Caucho Granulado.

H01: El comportamiento del Límite de Contracción del suelo cohesivo, no se altera a razón de la incorporación de Caucho Granulado.

a



Figur
N°75:

Variación del Límite de Contracción con % de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

Según lo observado en la Figura N°75, se pudo verificar que:

El suelo ensayado en el laboratorio para nuestra investigación cuya clasificación SUCS es CL (arcilla de baja plasticidad), al incorporarle caucho granulado se pudo observar que el comportamiento que experimenta el suelo cohesivo en su límite de contracción, esta va aumentando a razón de la incorporación de caucho granulado, en estado natural el suelo cohesivo presenta un Límite de Contracción de 21.08%, esto va aumentando a razón que se le incorpora Caucho Granulado, para 2.5%, 5% y 10% de C.G. alcanzando un Límite de Contracción de 21.57%, 21.74% y 24.95% respectivamente. Este Límite de contracción se debe a que se sustituye una parte del suelo cohesivo con Caucho Granulado, obteniendo una disminución en la gravedad específica de la mezcla.

En conclusión, el suelo cohesivo con caucho granulado como agente estabilizante altera su comportamiento, aumentando el Limite de Contracción, a razón de la incorporación de Caucho Granulado.

Por lo anteriormente expuesto, se acepta la hipótesis H11 y se rechaza la hipótesis H01.

5.4.2. Hipótesis específica 2

H12: Un mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la máxima densidad seca en el suelo.

H02: Un mayor porcentaje de Caucho Granulado disminuye la máxima densidad seca del suelo.

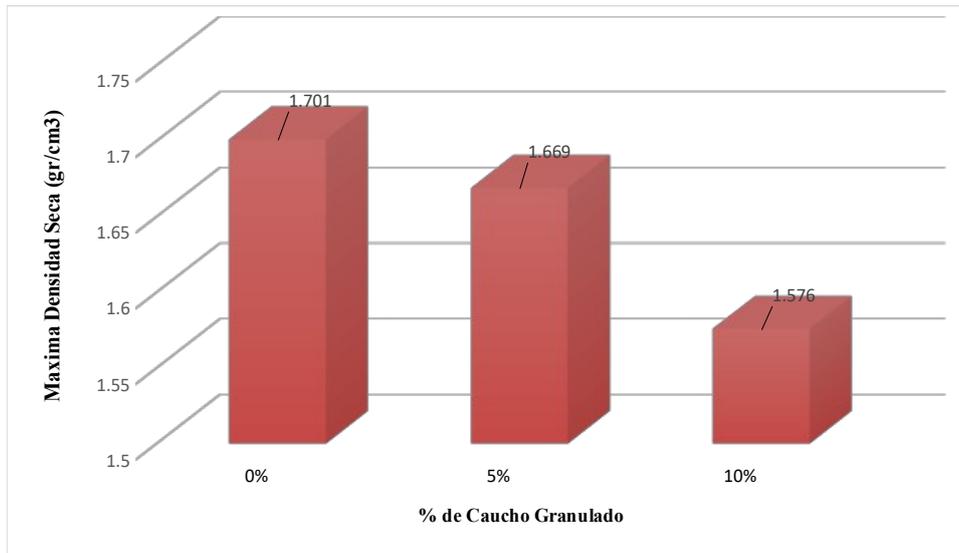


Figura N°76: Variación de la MDS con % de C.G.

Fuente: Elaboración Propia.

Según lo observado en la Figura N°76, se pudo verificar que:

Los suelos recopilados de las investigaciones cuya clasificación SUCS eran CL (arcilla de baja plasticidad), CI (arcilla de plasticidad intermedia) y CH (arcilla de alta plasticidad) al incorporarle caucho granulado se pudo observar que el comportamiento que experimenta el suelo en su propiedad de Máxima densidad seca ante diferentes porcentajes de caucho en función del peso seco del suelo, y es evidente que la Máxima densidad seca disminuye a razón de la incorporación de caucho granulado, donde todos los autores alcanzaron su Máxima Densidad Seca en el suelo natural sin incorporación de caucho granulado, para demostrar la información obtenida, se realizó ensayos propios de laboratorio, donde las muestras presentaron la máxima densidad seca con el 0% de caucho granulado (suelo en estado natural), debido a que la incorporación de caucho disminuía la máxima densidad seca en el suelo.

En conclusión, el suelo cohesivo con caucho granulado como agente estabilizante disminuye la máxima densidad seca a razón de su incorporación. Por lo anteriormente expuesto, se rechaza la hipótesis H12 y se acepta la hipótesis H02.

5.4.3. Hipótesis específica 3

H13: Un mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la capacidad de soporte (CBR) en el suelo y evita un deficiente desempeño del pavimento.

H03: Un mayor porcentaje de Caucho Granulado disminuye la capacidad de soporte (CBR) en el suelo y provoca un deficiente desempeño del pavimento.

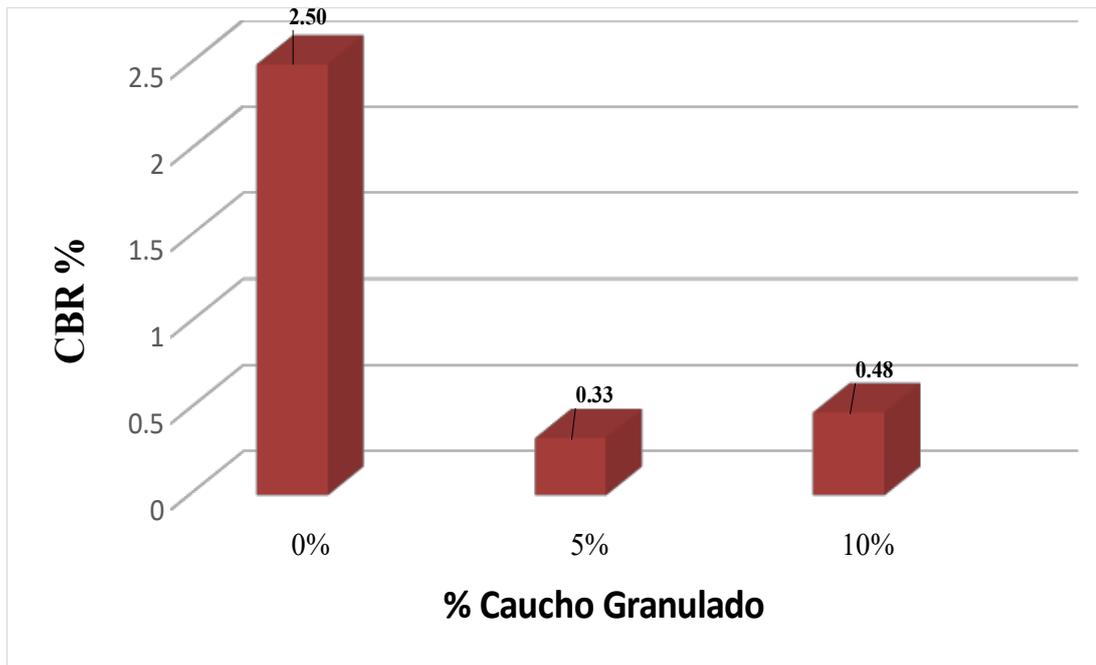


Figura N°77: Resumen del comportamiento del CBR en estado remojado.

Fuente: Elaboración propia.

Según lo observado en la Figura N°77, se pudo verificar que:

Los suelos recopilados de las investigaciones cuya clasificación SUCS eran CL (arcilla de baja plasticidad) y CH (arcilla de alta plasticidad) al incorporarle caucho granulado se pudo observar que el comportamiento que experimenta el suelo en su propiedad de capacidad de soporte en condición sumergida (condiciones críticas) ante diferentes porcentajes de caucho en función del peso seco del suelo, y es evidente que la capacidad de soporte disminuye a razón de la incorporación de caucho granulado. Para todas las muestras ensayadas por los autores, estas presentaron su máxima capacidad de soporte con el 0% de caucho granulado (suelo en estado natural), debido a que la incorporación de caucho disminuía la resistencia en el suelo, para demostrar la información obtenida, se realizó ensayos propios de laboratorio, donde las muestras presentaron su máxima capacidad de soporte con el 0% de caucho granulado (suelo en estado natural), debido a que la incorporación de caucho disminuía la capacidad de soporte en el suelo cohesivo.

En conclusión, el suelo cohesivo con caucho granulado como agente estabilizante disminuye la capacidad de soporte a razón de su incorporación. Por lo anteriormente expuesto, se rechaza la hipótesis H13 y se acepta la hipótesis H03.

5.4.4. Hipótesis general

Habiendo sido validadas las hipótesis H11, H02 y H03, entonces no se valida la hipótesis general: El comportamiento del suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante, optimizan las propiedades físico-mecánicas de una subrasante usando el manual de carreteras (MC-05-14) en zonas rurales año 2022.

DISCUSIONES

En la presente investigación se obtuvo una serie de datos de los resultados obtenidos por distintos autores, obteniendo una recopilación de un 50% de suelos con clasificación CL, un 25% de suelos con clasificación CH y un 25% de suelos con clasificación CI (Figura N°06), teniendo una información limitada en la cual se usa al Caucho Granulado como agente estabilizante en los ensayos de Proctor Modificado y

CBR para este tipo de suelos, en cuanto al ensayo de Limite de Contracción no se encontró información.

No contando con información bibliográfica con respecto al ensayo de Limite de contracción en suelos cohesivos con Caucho Granulado, al realizar los ensayos propios, se obtuvo que el Limite de Contracción a razón de la incorporación de caucho granulado, esta va aumentando, obteniendo así inicialmente un 21.08% en estado natural y un 24.95% con un suelo cohesivo con 10% de Caucho Granulado, aumentando un 18% su Límite de Contracción (Figura N°75). Con estos resultados según Braja M. Das podemos determinar el Grado de Expansión de un suelo cohesivo respecto al Límite de Contracción, siendo para este caso el Caucho Granulado como agente estabilizante, aumenta el Limite de Contracción del suelo cohesivo, disminuyendo así, su Grado de Expansión, por lo que es importante ya que nos da una idea sobre la idoneidad del suelo como material de construcción.

Con respecto a las propiedades físico-mecánicas de los resultados de los distintos autores como se observa en la Figura N°22 con respecto a la Máxima Densidad Seca, esta disminuye a razón de la incorporación de Caucho Granulado, por otro lado, en la Figura N°23 con respecto al comportamiento que experimenta el suelo en su optimo contenido de humedad esta también disminuye a razón de la incorporación de Caucho Granulado, siendo para estos casos los valores máximos con respecto a todas las muestras con un 0% de Caucho Granulado, es decir el suelo en condición natural. Según los autores esto puede deberse a la diferencia de gravedades específicas, siendo la gravedad específica de los suelos cohesivos estudiados entre 2.39 a 2.73 mientras que el caucho granulado presentaba una gravedad específica de 1.09 a 1.15, por lo que al sustituir un porcentaje del suelo por Caucho Granulado reflejaba esa disminución en la densidad, al realizar los ensayos propios se obtuvo un valor máximo de 1.701 gr/cm^3 con respecto a la M.D.S., obteniendo este máximo valor con el suelo + 0% de C.G. (suelo en estado natural), teniendo la misma tendencia a los resultados de los autores ya que al agregar 5% y 10% de C.G. se obtuvo los valores de 1.669 gr/cm^3 y 1.576 gr/cm^3 respectivamente, disminuyendo así la M.D.S. a razón de la incorporación de Caucho Granulado.

Finalmente respecto a la capacidad de soporte CBR en estado no remojado en la Figura N°24, el comportamiento que experimenta el suelo cohesivo, se observa una mejora con las incorporación de Caucho Granulado, siendo entre 3% y 5% los porcentajes que obtienen sus valores máximos en el suelo, por lo contrario el CBR en estado remojado (condiciones críticas) en la Figura N°25 se observa que disminuye a

razón de la incorporación de Caucho Granulado, siendo en este caso el máximo CBR cuando el suelo se encuentra en estado Natural, al realizar los ensayos propios se obtuvo un valor máximo de 2.5% , obteniendo este máximo valor con el suelo + 0% de C.G. (suelo en estado natural), en este caso al agregar 5% y 10% de C.G. se obtuvo los valores de 0.33% y 0.48% respectivamente, donde existe un pequeño aumento al agregar de 5% a 10% de C.G. siendo este aumento marginal, por lo que se demuestra la misma tendencia a los resultados de los autores. En este caso según la Tabla N°1 obtenida del manual de carreteras (MC-05-14), según la Categoría de Subrasantes, para este caso el valor de CBR al añadirle un 5% y 10% categorizo a nuestra subrasante inadecuada, no llegando al 6% que es el valor mínimo para ser un material apto como subrasante.

CONCLUSIONES

- 1- En la presente investigación se determina el comportamiento del suelo cohesivo con caucho granulado como agente estabilizante, se obtuvieron los resultados experimentales en el Límite de Contracción, donde este valor aumenta a razón de la incorporación de C.G. La Máxima Densidad Seca llega a tener su mayor valor cuando el suelo se encuentra en estado Natural, ya que a razón de la incorporación de C.G. esta disminuye y con respecto al CBR en estado remojado (condiciones críticas), disminuye la resistencia tras la incorporación de caucho granulado, lo

cual no optimiza sus propiedades físico-mecánicas ya que no alcanzan los criterios mínimos que se requiere para ser una buena subrasante según el manual de carreteras (MC-05-14).

- 2- Se determina el comportamiento que experimenta el suelo cohesivo en su límite de contracción, esta aumenta a razón de la incorporación de Caucho Granulado, el suelo en estado natural presenta un Límite de Contracción de 21.08%, esto va aumentando a razón que se le incorpora Caucho Granulado, en porcentajes de 2.5%, 5% y 10% de C.G. alcanzando un Límite de Contracción de 21.57%, 21.74% y 24.95% respectivamente.
- 3- No se determina el mayor porcentaje de Caucho Granulado para aumentar la máxima densidad seca en el suelo, ya que se observa lo contrario, a razón de la incorporación de Caucho Granulado, esta disminuye, siendo el máximo valor 1.701 gr/cm³ en el suelo con incorporación de 0% de C.G. (estado natural), y este valor disminuye hasta 1.576 gr/cm³ en el suelo con incorporación de 10% de C.G.
- 4- No se determina el mayor porcentaje de Caucho Granulado para aumentar el valor de CBR en el suelo, ya que se observa lo contrario, a razón de la incorporación de Caucho Granulado, esta disminuye, siendo el máximo valor 2.5% en el suelo con incorporación de 0% de C.G. (estado natural), y este valor disminuye hasta 0.33% con incorporación de 5% de C.G. pero aumenta hasta 0.48% con incorporación de 10% de C.G., siendo este un aumento marginal, categorizándose a una subrasante inadecuada, no llegando al 6% que es el valor mínimo para ser un material apto como subrasante.

RECOMENDACIONES

- 1- Se necesita más investigaciones exhaustivas que se centren en optimizar las propiedades físico-mecánicas de los suelos cohesivos con el uso de otros derivados de neumáticos fuera de uso incluso con otros desechos industriales o también en combinación con cantidades mínimas de aglomerantes u otro tipo de agente estabilizante, ya que no solo mitigaría la utilización de suelos débiles, sino que

sería una forma amigable con la eliminación de residuos, para poder obtener una mejora de la subrasante con el fin de ser usados para proyectos de ingeniería.

- 2- Es recomendable analizar más el Límite de Contracción en zonas donde los suelos experimentan cambios bruscos en el tiempo atmosférico, pasando de lluvias a sequías, ya que nos da una idea del comportamiento del suelo, en este caso el lugar de estudio presenta un régimen constante de lluvias y no hay grandes cambios en el contenido de humedad del suelo.
- 3- Es recomendable usar el caucho granulado en mezcla con el suelo cohesivo, ya que disminuye la densidad del suelo, la cual puede ser usada como material de relleno, empleándose en muros de contención, reduciendo así la presión lateral del suelo sobre el muro, etc.
- 4- Para el ensayo de CBR, en la compactación, se recomienda que en la incorporación de caucho granulado al suelo sea lo más homogénea posible, de no ser así se presentara una deficiente unión entre las partículas del suelo y el caucho, esto hará que altere los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akbar, A., Fallah, M., Narani, S. & Abbaaspour, M. (2021). *Effects of waste tire textile fibres on geotechnical properties of compacted lime-stabilized low plastic clays.* International Journal of Geotechnical Engineering, 15(9), 1118-1134.

Alvarez, N. & Gutiérrez, J. (2021). *Estudio experimental del efecto en el comportamiento mecánico al adicionar caucho triturado en un suelo arcilloso de baja plasticidad proveniente del caserío de Callampampa-Llama-Cajamarca.* (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

<http://doi.org/10.19083/tesis/652828>

Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas (2010). *La Plasticidad del Suelo - Límites de Atterberg.*

Recuperado de <https://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/plasticidad-del-suelo-limites-de.html>

Cuadros, C. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio.* (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de los Andes.

<https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/297/Cadros%20Surichaqui%20Claudia%20Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Delgado, C. & Mormontoy, V. (2021). *Estabilización de Suelos Arcillosos con adición de Ceniza de Mazorca de Maíz y Cal.* (Tesis de Pregrado). Universidad Andina del Cusco.

<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4587>

Díaz, K. & Torres, R. (2019). *Incorporación de partículas de caucho de Neumáticos para mejorar las propiedades mecánicas en suelos arcillosos.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Jaén.

<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/236>

Firat, A., Karabash, Z., & Sulaiman, W. (2014). Stabilising a clay using tyre buffings and Lime. *Road Materials and Pavement Design*, 15(4), 872-891.

García, A. (2015). *Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca.* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada del Norte.

<https://hdl.handle.net/11537/7327>

- Gutiérrez, F. & Rojas, H. (2020).** *Influencia de la adición de caucho granular en las características mecánicas de la subrasante en suelos cohesivos, Lima-2020.* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/76304>
- Juárez E. y Rico A., (2007),** *Mecánica de suelos /Floor Mechanics: Flujo de agua en suelos / Flow of Water on Ground.* v. 3. Editorial Limusa.
https://books.google.com.pe/books?id=WKcAZAZg_EEC
- Martínez, R., (2021).** *Estabilización de la subrasante incorporando caucho y cal, en la Av.Chimpu Ocllo, Carabayllo, 2020.* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/69294>
- Mamani, R., (2019).** *Límite de Plasticidad y Liquido.* (Monografía). Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería.
Recuperado de <https://www.coursehero.com/file/61630767/INFORME-SUELOSpdf/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC. (2014).** *Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos.* Lima, Perú.
- Narani et al. (2019).** *Sustainable Reuse of Waste Tire Textile Fibers (WTTFs) as Reinforcement Materials for Expansive Soils: With a Special Focus on Landfill Liners/Covers.* Journal Of Cleaner Production, 247.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119151>
- Patiño, J. (2017).** *Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado.* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9159>
- Peláez, G., Velásquez, S., & Giraldo, D., (2017).** *Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura.* Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 27, pp. 27-50.
<http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>

Rodríguez, D. (2021). *Incorporación de caucho granulado para mejorar el comportamiento físico y mecánico en la subrasante de suelos arcillosos, Puno 2021.* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73080>

Silva, G., Suarez, J. & Zornberg, J. (2021). *Shear behavior of mixtures involving tropical soils and tire shreds.* *Construction and Building Materials*, 246.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122061>

Soltani et al. (2019). *Interfacial Shear Strength of Rubber–Reinforced Clays: A Dimensional Analysis Perspective.* *Geosynthetics International*, 26(2), 164-183.

<https://doi.org/10.1680/jgein.18.00045>

Soltani, A., Deng, A., Taheri, A & Sridharan, A. (2017). *Rubber Powder–Polymer Combined Stabilization of South Australian Expansive Soils.* *Geosynthetics International*, 25(3), 304-321.

<https://doi.org/10.1680/jgein.18.00009>

Soltani, A., Taheri, A., Deng, A. & O'Kelly, B. (2022). *Stabilization of a highly expansive soil using waste-tire-derived aggregates and lime treatment.* *Case Studies in Construction Materials*, 16.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01133>

Yadav, J. & Tiwari S. (2017). *Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement.* *Applied Clay Science*, 149, 97-110.

<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.07.037>

Yadav, J. & Tiwari, S. (2018). *Influence of crumb rubber on the geotechnical properties of clayey soil.* *Environ Dev Sustain*, 20, 2565–2586.

<https://doi.org/10.1007/s10668-017-0005-y>

Yadav, J. & Tiwari, S. (2019). *The impact of end-of-life tires on the mechanical properties of fine-grained soil: A Review.* *Environ Dev Sustain* 21, 485–568.
<https://doi.org/10.1007/s10668-017-0054-2>

Anexos

Anexo 01: Matriz de Consistencia.....	
106	

Operacionalización de variables						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Indices	Instrumentos
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general				
¿En qué medida el comportamiento de suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante optimiza las propiedades físico-mecánicas de una subrasante en zonas rurales?	Determinar el comportamiento del suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante, a fin de optimizar las propiedades físico-mecánicas de una subrasante usando el manual de carreteras (MC-05-14) en zonas rurales año 2022.	El comportamiento del suelo cohesivo con Caucho Granulado como agente estabilizante, optimizan las propiedades físico-mecánicas de una subrasante usando el manual de carreteras (MC-05-14) en zonas rurales año 2022.	V.I. Caucho Granulado	Porcentaje de Caucho granulado	Realizar la estabilización con diferentes porcentajes de 5% y 10% del peso seco del suelo. Compilar la mayor información relacionada al tema de estabilizaciones de suelos cohesivos.	Equipos del laboratorio de Mecánica de Suelos. Fichas técnicas de agentes estabilizantes, tesis nacionales e internacionales, fuentes documentales, libros, manuales e internet.
Problema específico 1	Objetivo específico 1	Hipótesis específica 1				
¿De qué manera el Límite de Contracción del suelo cohesivo se comporta a razón de la incorporación de Caucho Granulado?	Determinar el comportamiento del Límite de Contracción del suelo cohesivo, a razón de la incorporación de Caucho Granulado.	El comportamiento del Límite de Contracción del suelo cohesivo, se altera a razón de la incorporación de Caucho Granulado.	V.D. Propiedades físico- mecánicas del suelo cohesivo	Límite de Contracción	Determinación del Límite de Contracción (L.C.).	ASTM D 427
Problema específico 2	Objetivo específico 2					

¿De qué manera el mayor porcentaje de Caucho Granulado como agente estabilizante aumenta la máxima densidad seca?	Determinar el mayor porcentaje de Caucho Granulado para aumentar la máxima densidad seca y tener un mayor control de calidad al compactar	Hipótesis específica 2 Un mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la máxima densidad seca en el suelo.	Máxima Densidad Seca	Determinación de la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad mediante el ensayo Proctor Modificado.	ASTM D1557 NTP 339.141
---	---	---	----------------------	---	---------------------------

Problema específico 3	Objetivo específico 3	Hipótesis específica 3	Capacidad de soporte (CBR)	Ensayo de CBR para evaluar la capacidad de soporte del suelo.	ASTM.D1883 MTC E 132
¿De qué manera el mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la capacidad de soporte (CBR) del suelo cohesivo para evitar un deficiente desempeño del pavimento?	Determinar el mayor porcentaje de Caucho Granulado para aumentar la capacidad de soporte (CBR) en el suelo y evitar un deficiente desempeño del pavimento.	Un mayor porcentaje de Caucho Granulado aumenta la capacidad de soporte (CBR) en el suelo y evita un deficiente desempeño del pavimento.			

Fuente: Elaboración Propia.