



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA RESISTENCIA AL CORTE EN TRES TIPOS DE
SUELOS BLANDOS DEL SUR DE QUITO, COMBINADOS CON PARTÍCULAS DE
CAUCHO EN TRES PROPORCIONES SOMETIDOS A COMPACTACIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Bryan Patricio Paredes Zapata
María Belén Pillajo Hidalgo
TUTOR: Juan Pablo Tarambís Rodríguez

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Patricio Paredes Zapata con documento de identificación N° 1718801358 y María Belén Pillajo Hidalgo con documento de identificación N° 1725241028; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Bryan Patricio Paredes Zapata

1718801358



María Belén Pillajo Hidalgo

1725241028

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Bryan Patricio Paredes Zapata con documento de identificación N° 1718801358 y María Belén Pillajo Hidalgo con documento de identificación N° 1725241028; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis de sensibilidad de la Resistencia al Corte en Tres tipos de Suelos blandos del Sur de Quito, combinados con Partículas de Caucho en tres proporciones sometidos a Compactación”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e Ingeniera Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Bryan Patricio Paredes Zapata

1718801358



María Belén Pillajo Hidalgo

1725241028

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tarambís Rodríguez con documento de identificación N° 1715336879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA RESISTENCIA AL CORTE EN TRES TIPOS DE SUELOS BLANDOS DEL SUR DE QUITO, COMBINADOS CON PARTÍCULAS DE CAUCHO EN TRES PROPORCIONES SOMETIDOS A COMPACTACIÓN, realizado por Bryan Patricio Paredes Zapata con documento de identificación N° 1718801358 y María Belén Pillajo Hidalgo con documento de identificación N° 1725241028, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Tarambís Rodríguez, MSc.

1715336879

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA RESISTENCIA AL CORTE EN TRES TIPOS DE SUELOS BLANDOS DEL SUR DE QUITO, COMBINADOS CON PARTÍCULAS DE CAUCHO EN TRES PROPORCIONES SOMETIDOS A COMPACTACIÓN

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE SHEAR STRENGTH OF THREE TYPES OF SOFT SOILS IN SOUTHERN QUITO, COMBINED WITH RUBBER PARTICLES IN THREE PROPORTIONS SUBJECTED TO COMPACTION

Bryan Paredes-Zapata¹, Belén Pillajo-Hidalgo²

Resumen

Este artículo presenta una investigación experimental detallada con el propósito de mejorar las propiedades de suelos blandos mediante la evaluación de la sensibilidad de la resistencia al corte.

Para el desarrollo del proyecto, inicialmente se adquirió partículas de caucho reciclado de diferente granulometría a través de una industria y se obtuvieron muestras de suelo de tres ubicaciones en el sur de Quito, tanto inalteradas como alteradas, para realizar análisis experimentales, que incluyeron la determinación del contenido de humedad, la granulometría, el límite líquido y el límite plástico. Además, se realizaron ensayos de proctor modificado, corte directo y triaxial no consolidado no drenado, con y sin la incorporación de partículas de caucho, para evaluar los parámetros mecánicos. Los resultados obtenidos fueron analizados minuciosamente para seleccionar las tres combinaciones suelo-caucho más favorables, las cuales se sometieron al ensayo triaxial. Estos últimos resultados permitieron calcular los módulos de elasticidad de los materiales estudiados.

Palabras Clave: suelo, resistencia, corte directo, Proctor modificado, triaxial, caucho, módulo de elasticidad.

Abstract

This paper presents a detailed experimental investigation with the purpose of improving the properties of soft soils by evaluating the sensitivity of shear strength.

For the development of the project, recycled rubber particles of different granulometry were initially acquired through an industry and soil samples were obtained from three locations in southern Quito, both undisturbed and disturbed, for experimental analysis, which included the determination of moisture content, granulometry, liquid limit and plastic limit. In addition, modified proctor, direct shear and unconsolidated undrained triaxial tests were performed, with and without the incorporation of rubber particles, in order to evaluate the mechanical parameters.

The results obtained were thoroughly analyzed to select the three most promising soil-rubber combinations, which were subjected to the triaxial test. These last results allowed to calculate the modulus of elasticity of the materials studied.

Keywords: soil, strength, direct shear, modified Proctor, triaxial, rubber, modulus of elasticity.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito - Ecuador

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

Autor para correspondencia: bparedesz@est.ups.edu.ec, mpillajoh@est.ups.edu.ec

1. Introducción

En el contexto actual, donde la preocupación por el medioambiente ha adquirido relevancia a nivel mundial, se ha incrementado la necesidad de encontrar soluciones que permitan utilizar materiales reciclados en la fabricación de materias primas con características mejoradas. En este sentido, este proyecto de investigación se enfoca en analizar la viabilidad de combinar y compactar suelos blandos con partículas de caucho, con el objetivo de aumentar su resistencia al corte y tener una idea de los asentamientos que podría tener el suelo.

El objetivo principal de esta investigación es mejorar la resistencia de los suelos blandos mediante la mezcla suelo-caucho con diferentes tamaños de partículas de caucho y proporciones variables. El propósito es determinar la combinación óptima de suelo-caucho que pueda ser utilizada como método de mejoramiento, contribuyendo así a la estabilización del suelo y mejorando sus características mecánicas.

Es crucial tener en consideración los asentamientos, ya que estos tienen el potencial de alterar significativamente la apariencia de una estructura, generando grietas o fisuras, así como la inclinación de las mismas [1]. Por lo tanto, esta investigación también busca obtener el módulo de elasticidad, un dato importante que permitirá realizar un análisis posterior de los asentamientos.

Mediante la realización de este proyecto de investigación, se espera contribuir al desarrollo de técnicas innovadoras para mejorar la calidad de los suelos blandos, utilizando materiales reciclados de manera eficiente y sostenible. Los resultados obtenidos podrán ser aplicados en diversos ámbitos de la ingeniería civil, brindando soluciones más sólidas y respetuosas con el ambiente.

Los ensayos necesarios para esta investigación están descritos en la tabla 1.

Tabla 1 Ensayos de Laboratorio

	Ensayos	Norma
1	Contenido de agua (humedad)	ASTM D 2216
2	Límite líquido y Límite plástico	ASTM D 4318
3	Granulometría	ASTM D 421
4	Proctor Modificado	ASTM D 1557
5	Resistencia al Corte Directo	ASTM D 3080
6	Ensayo Triaxial	ASTM D 2850

2. Materiales y Métodos

Para la realización de este artículo se aplicará la investigación experimental debido a los diferentes ensayos que se analizan. La investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente [2].

En la interpretación de resultados se utiliza el método analítico, siendo este un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos [3].

2.1. Localización de suelo

Según Avilés los suelos de la zona IV y V presentan características de poca capacidad portante, humedad media a elevada, plasticidad baja a media, niveles freáticos superficiales. Por lo que se consideran materiales de mala competencia como soporte para cimentaciones [4]. Tomando en cuenta esta premisa se tomaron muestra de estos tres sitios: Guamaní, Santa Rita y Caupicho. Para realizar el análisis y clasificación del suelo.

2.1.1. Muestreo

Los suelos escogidos para el muestreo fueron Santa Rita, Guamaní y Caupicho. Las muestras alteradas e inalteradas fueron extraídas a una profundidad de 1.80m, 2.50m y 1.50m respectivamente. Se describe la inspección manual visual de cada sitio en la tabla 2.

Tabla 2 Descripción de las muestras

Sitio	Descripción manual-visual
Santa Rita	Arena, color café claro, moderadamente húmedo
Guamaní	Arena, color café negruzco, muy húmedo, poco material orgánico
Caupicho	Arena, color grisáceo, muy húmeda, sin material orgánico.

2.2. Caucho

Las partículas de caucho fueron obtenidas de la empresa procesadora de neumáticos PRONEUMACOSA, ubicada en la provincia de Cotopaxi, esta empresa se dedica a la recolección y disposición final de neumáticos.

La granulometría empleada en las mezclas de suelo-caucho fue categorizada en dos grupos: gruesas y finas. Las partículas clasificadas como gruesas se encontraron en el rango de tamaño de 2 a 1 mm, mientras que las partículas consideradas como finas se situaron en el rango de tamaño de 0.43 a 0.36 mm.

2.3. Ensayos de laboratorio

En el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, campus Sur, se llevaron a cabo una serie de ensayos que permitieron identificar y evaluar diversas propiedades físicas y mecánicas del suelo.

El manual de Aguirre y Yépez [5], fue utilizado como guía para la realización de los diferentes ensayos.

2.3.1. Propiedades físicas el suelo

Se realizaron ensayos de contenido de humedad [6], granulometría [7], límite líquido y límite plástico [8] para determinar el tipo de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

2.3.2. Propiedades mecánicas del suelo

Se realizaron ensayos de: Proctor modificado [9], Corte directo [10], triaxial no consolidado no drenado (UU) [11], utilizados para obtener el ángulo de fricción, la cohesión y el módulo de elasticidad.

Las proporciones de caucho utilizadas en esta investigación fue de 0.5, 1, 2% del peso de la muestra a ser remoldeada.

Los suelos compactados son suelos remoldeados que han perdido su estructura original. La compactación, como proceso mecánico, reduce los vacíos de ese suelo remoldeado, pero no restituye la estructura. [12]



Figura 1. Tipos de caucho

Para la obtención de la cantidad de caucho a utilizar se usó la ecuación (1), y para la cantidad de agua se utilizó la ecuación (2).

$$W_c = W_s \times \%c \quad (1)$$

Donde:

Wc: peso del caucho (g)

Ws: peso del suelo a ensayar (muestra) (g)

%c: proporción de caucho (%)

$$W_w = W_s \times \%w \quad (2)$$

Donde:

Ww: peso del agua (g)

Ws: peso del suelo a ensayar (muestra) (g)

%w: humedad óptima (%)

Para el ensayo de corte directo se remoldearon las muestras suelo-caucho utilizando el ensayo de Proctor modificado con el molde de 2112 cm³. Se puede observar el remoldeo de las muestras en la figura 2,

En el ensayo de corte directo, la fuerza de corte es aplicada en incrementos iguales hasta que la muestra falla y ésta ocurre a lo largo del plano de división de la caja de corte [13].

Se llevó a cabo la consolidación de las muestras a presiones de 100, 200 y 400 KPa durante un período de 5 minutos. El cálculo de la

velocidad, el tiempo final de falla y el desplazamiento aplicados en este ensayo dependen del tipo de suelo según los criterios establecidos en la tabla de la norma ASTM D3080 [14]. Esta norma proporciona las pautas necesarias para determinar los parámetros mencionados anteriormente con base en las características específicas del suelo ensayado.

Se realizaron un total de 63 ensayos de corte directo, la descripción de los ensayos realizados para cada tipo de suelo se puede observar en la tabla 3.



Figura 2. Remoldeo de muestras

Tabla 3. Número de Ensayos de Corte Directo para Santa Rita, Guamaní y Caupicho

	Caucho (%)	Consolidación		
		100 (KPa)	200 (KPa)	400 (KPa)
	0	1	1	1
Caucho grueso	0.5	1	1	1
	1	1	1	1
	2	1	1	1
Caucho fino	0.5	1	1	1
	1	1	1	1
	2	1	1	1
			Total	21

El ensayo triaxial (UU) se aplicó a la mejor combinación suelo-caucho de los sitios de Santa Rita, Guamaní y Caupicho. La prueba de ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de la resistencia al cortante [15].

El remoldeo para estas muestras fue realizado con el ensayo Proctor modificado con el molde de 944cm³ y posteriormente se talló, dando una forma cilíndrica al espécimen.

3. Resultados y Discusión

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados para esta investigación lo cual permitirá realizar un análisis comparativo.

3.1. Clasificación del suelo

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en cada muestra, que incluyeron el análisis granulométrico mediante lavado y tamizado hasta la malla No. 200, así como los límites de Atterberg y contenido de humedad se resumen en las Tablas 4, 5, 6 y 7.

Tabla 4. Análisis Granulométrico de Santa Rita

Tamiz	M. retenida acumulada (g)	% que pasa	% retenido	
N 4	0.00	100.00	0.00	Grava
N 10	0.00	100.00	0.00	Arena
N 40	26.24	88.26	11.74	Arena
N200	135.43	39.42	48.84	Arena
tara	223.56	0.00	39.42	Finos

Tabla 5. Análisis Granulométrico de Guamaní

Tamiz	M. retenida acumulada (g)	% que pasa	% retenido	
N 4	0.00	100.00	0.00	Grava
N 10	0.00	100.00	0.00	Arena
N 40	40.16	82.29	17.71	Arena
N200	150.29	33.72	48.57	Arena
tara	226.75	0.00	33.72	Finos

Tabla 6. Análisis Granulométrico de Caupicho

Tamiz	M. retenida acumulada (g)	% que pasa	% retenido	
N 4	0.00	100.00	0.00	Grava
N 10	0.00	100.00	0.00	Arena
N 40	9.87	94.80	5.20	Arena
N200	121.82	35.87	58.93	Arena
tara	189.97	0.00	35.87	Finos

Tabla 7. Resultados de los Límites de Atterberg y Contenido de Humedad

Parámetro	Santa Rita	Guamaní	Caupicho
Límite Líquido	28.84	33.38	33.42
Límite Plástico	20.94	25.92	29.85
Índice Plasticidad	7.91	7.47	3.57
Contenido de Humedad (%)	20.88	33.57	37.27

Utilizando los resultados obtenidos y mediante el análisis del sistema de clasificación SUCS, fue posible identificar las características y propiedades de los suelos en las localidades mencionadas. Los resultados revelaron que el suelo de Santa Rita se clasifica como arena arcillosa (SC), mientras que los suelos de Guamaní y Caupicho se clasifican como arenas limosas (SM).

3.2. Resultados de los ensayos de proctor modificado

Se llevaron a cabo los ensayos de Proctor modificado con el fin de determinar la humedad óptima de las muestras de suelo con y sin la adición de caucho. Durante estos ensayos, se pudo constatar que la presencia del caucho no tuvo influencia significativa en la humedad óptima del suelo. Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en las muestras de suelo-caucho revelaron valores de humedad óptima similares a los obtenidos en las muestras de suelo natural. Este hallazgo indica que la adición de caucho no altera la cantidad de agua necesaria para alcanzar la máxima compactación del suelo, lo que sugiere que la mezcla suelo-caucho mantiene características similares al suelo natural en términos de humedad óptima.

La humedad óptima del suelo de Santa Rita, Guamaní y Caupicho es de 17.5%, 19%, 24.5% respectivamente, como se observa a continuación en la figura 3.

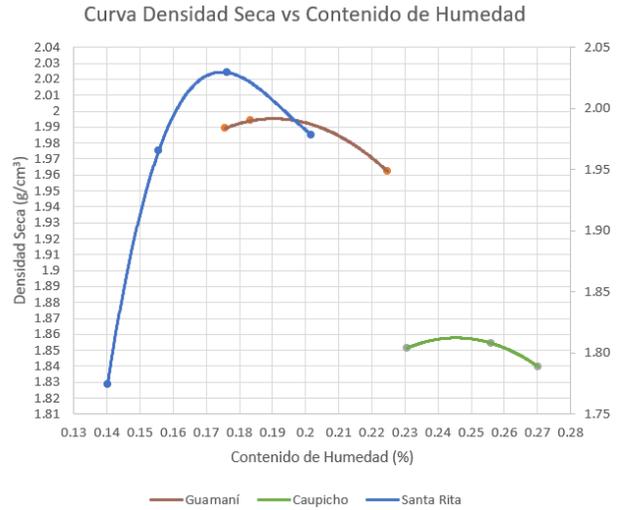


Figura 3. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad

3.3. Resultados de los ensayos de corte directo

Para la programación de la máquina de corte directo se tomó como referencia la norma ASTM D3080, en la que describe un tiempo mínimo de falla de acuerdo al tipo de suelo. Por lo tanto, el tiempo de falla escogido para Santa Rita fue de 230 minutos, mientras que para Guamaní y Caupicho fue de 90 minutos.

El desplazamiento utilizado fue de 15mm, por lo tanto, la velocidad de desplazamiento para Santa Rita fue de 0.065 mm/min, para Guamaní y Caupicho fue de 0.16 mm/min.

Se obtuvo el ángulo de fricción y cohesión de las muestras de suelo con y sin caucho, el resumen de estos resultados se detalla en las tablas 8, 9 y 10.

Para la elección de la mezcla suelo-caucho más óptima se realizó un análisis comparativo en el que se denominó a las mezclas suelo-caucho con letras a, b, c, d, e y f. Se asignó un valor de esfuerzo normal cada 25 KPa para la obtención del esfuerzo cortante. La mezcla suelo-caucho(letra) que más se repitió fue la elegida. Como se observa en la tabla 11, 12 y 13.

Paredes & Pillajo / Análisis de la Sensibilidad de la Resistencia al Corte en Tres Tipos de Suelos Blandos del Sur de Quito, Combinados con Partículas de Caucho en Tres Proporciones Sometidos a Compactación

Tabla 8. Resultado del Ensayo de Corte Directo de Santa Rita

Tipo	Caucho	Cohesión	Ángulo Fricción
	(%)	(kPa)	(°)
	0.0%	61.14	20.64
Caucho Grueso	a 0.5%	79.39	19.51
	b 1.0%	48.92	30.09
	c 2.0%	46.81	29.69
Caucho Fino	d 0.5%	50.40	30.59
	e 1.0%	83.81	28.50
	f 2.0%	86.92	22.23

Tabla 9. Resultado del Ensayo de Corte Directo de Guamaní

Tipo	Caucho	Cohesión	Ángulo Fricción
	(%)	(kPa)	(°)
	0.0%	41.93	19.18
Caucho Grueso	a 0.5%	65.82	31.36
	b 1.0%	55.20	28.80
	c 2.0%	61.86	19.69
Caucho Fino	d 0.5%	47.21	29.10
	e 1.0%	83.00	23.37
	f 2.0%	32.67	35.34

Tabla 10. Resultado del Ensayo de Corte Directo de Caupicho

Tipo	Caucho	Cohesión	Ángulo Fricción
	(%)	(kPa)	(°)
	0.0%	34.45	17.81
Caucho Grueso	a 0.5%	58.21	20.23
	b 1.0%	72.25	24.63
	c 2.0%	49.13	25.60
Caucho Fino	d 0.5%	85.46	20.64
	e 1.0%	128.98	14.45
	f 2.0%	108.27	17.26

Tabla 11. Análisis para Elección de la Mezcla Suelo-Cacho de Santa Rita

Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante	Mezcla según tabla 8
(KPa)	(KPa)	
0	86.92	f
25	97.38	e
50	110.95	e
75	124.52	e
100	138.10	e
125	151.67	e
150	165.24	e
175	178.81	e
200	192.39	e
225	205.96	e
250	219.53	e
275	233.11	e
300	246.68	e
325	260.25	e
350	273.82	e
375	287.40	e
400	300.97	e

Tabla 12. Análisis para Elección de la Mezcla Suelo-Cacho de Guamaní

Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante	Mezcla según tabla 8
(KPa)	(KPa)	
0	83.00	e
25	93.81	e
50	104.61	e
75	115.41	e
100	126.77	a
125	142.01	a
150	157.24	a
175	172.48	a
200	187.72	a
225	202.95	a
250	218.19	a
275	233.43	a
300	248.66	a
325	263.90	a
350	280.84	f
375	298.57	f

Tabla 13. Análisis para Elección de la Mezcla Suelo-Cacho de Caupicho

Esfuerzo Normal (KPa)	Esfuerzo Cortante (KPa)	Mezcla según tabla 8
0	128.98	e
25	135.42	e
50	141.86	e
75	148.30	e
100	154.74	e
125	161.18	e
150	167.63	e
175	174.07	e
200	180.51	e
225	186.95	e
250	193.39	e
275	199.83	e
300	209.81	b
325	221.28	b
350	232.74	b
375	244.21	b
400	255.67	b

3.3.1. Resultados de la mejor mezcla suelo-caucho

En el análisis de la Tabla 11, la cual está asignada a la muestra de Santa Rita, se observa claramente que la letra "e" es la más frecuente. En consecuencia, este resultado se alinea con el contenido de la Tabla 8, donde se describe que el componente predominante es el caucho fino con una proporción del 1%.

En el análisis de la Tabla 12, referente a la muestra de Guamaní, se destaca de manera evidente que la letra "a" es la más frecuente. Por lo tanto, se especifica en la Tabla 9, que el principal componente presente es el caucho grueso con una proporción del 0.5%.

Asimismo, en el análisis de la Tabla 13, que corresponde a la muestra de Caupicho, se puede apreciar claramente que la letra "e" es la de mayor frecuencia. Esto concuerda con los datos presentados en la Tabla 10, donde se detalla que el componente predominante es el caucho fino, con una proporción del 1%.

3.4. Resultados de los ensayos triaxial (UU)

Se realizaron seis ensayos triaxiales, tres de las muestras inalteradas de cada sitio y tres con las mejores mezclas suelo-caucho de Santa Rita, Guamaní y Caupicho. Con los datos obtenidos se calculó el módulo de elasticidad como se especifica en la tabla 14.

Tabla 14. Resultado de Módulos de Elasticidad

Tipo de suelo	Natural E (MPa)	Suelo-Caucho E (MPa)	Reducción E %	Reducción w %
Santa Rita	25.95	15.05	42.00	16.19
Guamaní	7.77	2.86	63.23	43.40
Caupicho	21.70	10.84	50.03	34.26

En la tabla 14, también se especifica la reducción del módulo de elasticidad y la reducción de contenido de humedad para un mejor análisis de resultados.

El módulo de elasticidad de las mezclas suelo-caucho ensayadas experimenta una disminución, atribuida a la notable reducción en la humedad del suelo natural al alcanzar su punto óptimo. Esta reducción de contenido de humedad del suelo se ha constatado ejerce una influencia significativa en el módulo de elasticidad, hallazgo corroborado por Gonzales en la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias [16].

La Figura 4 exhibe claramente la relación lineal entre la disminución de humedad y la reducción del módulo de elasticidad, destacando un ajuste adecuado de los datos a la tendencia observada.

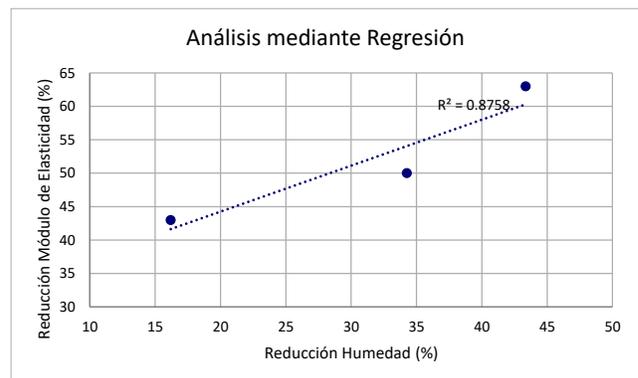


Figura 4. Correlación Lineal W vs E

4. Conclusiones

Realizados los análisis descritos en este artículo académico, en la realización de los ensayos Proctor modificado y obtener a través de este el contenido de humedad óptima en las muestras de suelo-caucho, se concluye que el caucho no ejerce ninguna influencia significativa en el contenido de humedad óptima, ya que al obtener los resultados de los contenidos de humedad de las mezclas suelo-caucho los valores son muy similares a los resultados de las muestras sin caucho es decir los suelos en su estado natural.

En relación a la compactación del suelo, se ha podido determinar que existe una relación inversa entre la proporción del contenido de caucho y el grado de compactación. Es decir, a medida que aumenta la proporción de caucho en la mezcla, la compactación del suelo tiende a disminuir. Este hallazgo sugiere que la incorporación de mayores cantidades de caucho en la mezcla de suelo puede influir negativamente en su densificación y resistencia a la compresión, lo que podría tener implicaciones en su rendimiento y comportamiento mecánico en aplicaciones prácticas y de ingeniería. Es importante tener en cuenta estos resultados al considerar la proporción óptima de caucho a emplear en proyectos que requieran una adecuada compactación y estabilidad del suelo.

En relación a las propiedades mecánicas, se ha comprobado que la incorporación de caucho conlleva una mejora significativa tanto en el ángulo de fricción como en la cohesión del suelo, en comparación con el suelo natural. Esto sugiere que el caucho podría utilizarse efectivamente como un agente de mejora para aquellos suelos que requieran un fortalecimiento en sus propiedades mecánicas.

No obstante, es relevante destacar que la proporción óptima de suelo y caucho debe ser cuidadosamente analizada, tomando en consideración las características particulares del suelo en cuestión. Diferentes suelos poseen atributos distintos, y por lo tanto, es necesario evaluar exhaustivamente la composición adecuada que garantice la optimización de las propiedades mecánicas y, en consecuencia, la mejora global del material resultante.

La implementación de caucho como enmienda en suelos es una práctica prometedora para alcanzar resultados favorables en términos de ingeniería geotécnica y construcción de infraestructura.

Con base en los ensayos realizados, se ha observado que el módulo de elasticidad tiende a disminuir. Esta tendencia se atribuye a la disminución de la humedad durante el proceso de remoldeo y ensayo de las muestras. Para realizar un análisis estadístico más riguroso de los módulos de elasticidad, se sugiere aumentar el número de ensayos realizados y considerar la humedad presente en las muestras sometidas a prueba.

La influencia significativa de la humedad en el módulo de elasticidad ha sido verificada experimentalmente y además se cuenta con sustento bibliográfico, lo que subraya la importancia de incluir este parámetro como una variable relevante en futuros ensayos y análisis. Dado que la humedad puede afectar de manera significativa las propiedades mecánicas de las mezclas suelo-caucho, su consideración meticulosa es fundamental para obtener resultados más precisos y comprender mejor el comportamiento del material en estudio.

Debido a que el módulo de elasticidad de los suelos de Santa Rita, Guamaní y Caupicho disminuyó, el material tendría una mayor capacidad de deformación, por lo tanto, los asentamientos aumentarían.

Para un mejor análisis de asentamientos se deberían considerar ensayos de consolidación ya que con este ensayo se puede analizar de mejor manera el comportamiento del suelo ante la aplicación de cargas verticales.

Referencias

- [1] P. Vasco y G. Moya, «Estudio y análisis del comportamiento estructural de cimentaciones superficiales por efectos de consolidación del suelo de fundación, según la metodología propuesta por la norma ecuatoriana de la construcción,» mayo 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11738>.
- [2] C. R. Galarza, «DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN,» *CienciAmérica*, vol. 10, n° 1, pp. 1-7, 2021.
- [3] Gómez, M. U. Zuluaga Aristazábal y J. Ortiz Vanegas, «EL MÉTODO ANALÍTICO COMO MÉTODO NATURAL,» *Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, vol. 25, n° 1, pp. 1-28, 2010
- [4] A. Ponce y L. Raquel, «Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito,» noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2752>.
- [5] V. Aguirre y S. Yépez, «MANUAL DE LABORATORIO PARA LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS.,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17839>.
- [6] ASTM International , «Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass,» vol. 4, n° D 2216 , pp. 1-5, 1998.
- [7] ASTM International , «Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants,» vol. 4, n° D 421 , pp. 1-2, 2004.
- [8] ASTM International , «Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils,» vol. 4, n° D 4318 , pp. 1-14, 2000.
- [9] ASTM International, «Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft),» vol. 4, n° D 1557 , pp. 1-10, 2002.
- [10] ASTM International , «Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions,» vol. 4, n° D 3080, pp. 1-7, 2003.
- [11] ASTM International, «Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on,» vol. 4, n° D 2850, pp. 1-6, 2003.
- [12] E. J. Benavente y M. Navarro, «Estudio experimental del comportamiento mecánico geotécnico de un suelo granular con adición de caucho reciclado proveniente de neumáticos inservibles,» Febrero 2020. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10757/650334>.
- [13] B. M.Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, Ciudad de Mexico: Cengage Learning Editores, S.A., 2005.
- [14] ASTM International, «Método de Prueba Estándar para Corte Directo de Suelo bajo Condiciones de Drenaje Consolidadas,» pp. 17-19, 2011.
- [15] O. Valerio S., «Ensayos triaxiales para suelos,» 2011. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.15517/mym.v1i1.8391>.
- [16] O. González C., C. E. Iglesias C., M. Herrera S., E. López B. y S. I., «Influencia de la humedad en parámetros elastoplásticos empleados para la modelación de la compactación del suelo,» *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 17, n° 3, pp. 26-30, 2008.