



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

“Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento.”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Mejía Gallegos Marco Antonio

Tutor:

MgSc. Carlos Sebastián Saldaña García.

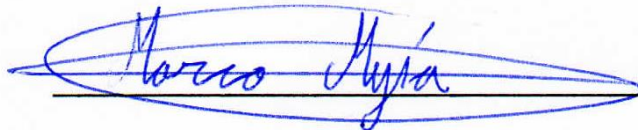
Riobamba, Ecuador. 2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Marco Antonio Mejía Gallegos, con cédula de ciudadanía 060380989-8, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: “Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento.”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 11 de abril de 2024.



Marco Antonio Mejía Gallegos

C.I: 060380989-8

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento.”, con cédula de identidad número 060380989-8, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 11 de abril de 2024.

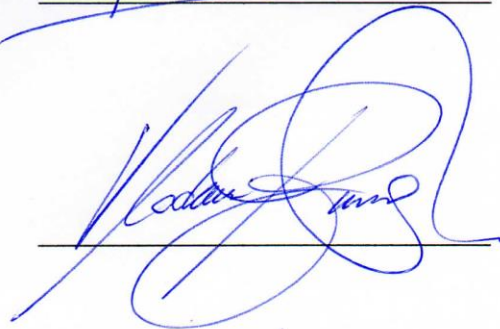
Ing. Alexis Andrade Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Ángel Paredes, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Vladimir Pazmiño, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Carlos Saldaña, Mgs.
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento.”, presentado por Marco Antonio Mejía Gallegos, con cédula de identidad número 060380989-8, bajo la tutoría de Ing. Carlos Sebastián Saldaña García Mgs.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 11 de abril de 2024.

Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. Alexis Iván, Andrade Valle



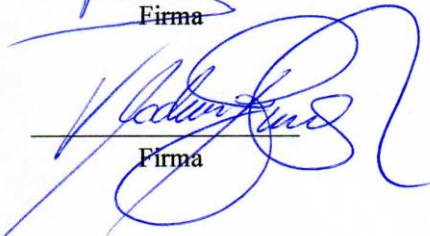
Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Ángel Edmundo, Paredes García



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Hernán Vladimir, Pazmiño Chiluiza,



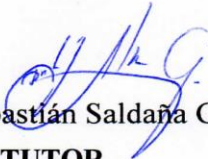
Firma



CERTIFICACIÓN ANTIPLAGIO

Que, **Mejia Gallegos Marco Antonio** con CC: **0603809898**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Civil**, NO VIGENTE, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento”**, cumple con el 3%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 08 de abril de 2024.


Ing. Carlos Sebastián Saldaña García.
TUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres Marco Mejia y Guadalupe Gallegos quienes sin su apoyo sus consejos y sus palabras de aliento nunca hubiera podido llegar hasta donde estoy, a mi cuñado Vinicio Bravo quien ha sido como un hermano mayor y quien siempre estuvo cuando lo necesitaba, a mi hermana quien siempre me recordaba a donde debía llegar, a mis sobrinos Jorge Bravo quien desde pequeño me imitaba y quería ser como yo y María Paz Bravo quien me lleno siempre de alegría con sus locuras, a mi novia Belén Chiriboga quien estuvo en las buenas y en las malas pero nunca dudo que llegaría a ser la mejor versión de mí mismo aun cuando ni yo creía en mí por ultimo a mi abuela a quien la llevo siempre en mi corazón y a Dios quien nunca me dejo ni en los momentos más oscuros y solamente me amo por quien soy.

“Y vino a mi palabra de Jehová diciendo: Antes que te formara en el vientre te conocí y antes que salieras de la matriz te consagre, te di por profeta a las naciones”
Jeremías 1:4-5

AGRADECIMIENTO

Gracias primero a Dios por haberme dado el amor y sabiduría para poder llegar al final de esta etapa de la vida, gracias a mis padres por los valores e instrucciones que me guiaron durante toda mi vida, doy gracias a mi hermana y cuñado los cuales siempre estuvieron presentes y pendientes de mí, doy gracias a mis sobrinos los cuales iluminaron mi vida con sus risas y sus locuras que siempre me sacaron una sonrisa, gracias a mi novia la cual siempre me trato de ayudar dentro de sus posibilidades y gracias a todas las personas que de una manera u otra estuvieron ahí para apoyarme en este camino.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS.	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	16
1.1. Antecedentes.....	16
1.2. Planteamiento del Problema.....	17
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos	19
1.4.1. General.....	19
1.4.2. Específicos	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Estado del Arte.	19

2.2.	Suelo.....	21
2.2.1.	Definición.....	21
2.2.2.	Clasificación de Suelos.	21
2.2.3.	Clasificación AASHTO.	21
2.2.4.	Clasificación SUCS.	22
2.3.	Propiedades a obtener	23
2.3.1.	Granulometría.....	23
2.3.2.	Límites de Atterberg	23
2.3.3.	Contenido de Humedad.....	23
2.3.4.	Densidad.....	23
2.3.5.	Densidad Máxima y Humedad Óptima.....	24
2.3.6.	Capacidad Portante	24
2.4.	Infraestructura Vial.	24
2.5.	Estructura de la Vía.....	26
2.6.	Requisitos básicos granulares para capas de rodadura.	26
2.7.	Propiedades de la cal.....	28
2.8.	Propiedades del cemento.....	29
2.9.	Ensayo de medición de rigidez por el método GEOGAUGE.	29
2.10.	Ensayo de laboratorio California Bearing Ratio (CBR).....	30
2.11.	Estabilización de subrasante con cal.	30
2.12.	Estabilización de subrasante con cemento.....	32

2.13.	Fórmulas para el cálculo del MR en base al CBR.	33
2.14.	Comportamiento del CBR en suelos	33
2.15.	Relación Costo Beneficio del Mantenimiento de una vía de Segundo Orden...	34
2.16.	Costos de Mantenimiento Vial.....	35
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.		37
3.1.	Tipo de Investigación.....	37
3.2.	Diseño de Investigación	37
3.3.	Técnicas de recolección de Datos.....	38
3.4.	Población de estudio y tamaño de muestra	39
3.4.1.	Población de estudio	39
3.4.2.	Muestra.....	39
3.5.	Hipótesis.....	39
3.6.	Métodos de análisis, y procesamiento de datos.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
4.1.	Resultados	41
4.1.1.	Datos del MR de la vía.....	41
4.1.2.	Tramos de la vía	43
4.1.3.	Granulometría de los suelos	43
4.1.4.	Límites de Atterberg	45
4.1.5.	Contenido de humedad	46
4.1.6.	Densidad de finos	46

4.1.7. Densidad de gruesos	47
4.1.8. Proctor modificado	47
4.1.9. Ensayo de CBR.....	47
4.1.10. Relación entre CBR y MR.....	49
4.1.11. Relación costo beneficio de la estabilización de la subrasante con cal o cemento 50	
4.1.11.1. Análisis de precios del mejoramiento con cal y cemento	51
4.2. DISCUSIÓN.....	53
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	58
5.1. CONCLUSIONES.....	58
5.2. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Sistema de Clasificación AASHTO	21
Tabla 2 Clasificación de suelos SUCS.....	22
Tabla 3 Estado de superficie de rodadura por cantón (km).....	25
Tabla 4 Clasificación funcional de las vías en base al TPDA.	26
Tabla 5 Granulometría de la base a ser modificada.	27
Tabla 6 CBR de subrasantes por categorías.	28
Tabla 7 Contenidos de cemento recomendados para la estabilización.	32
Tabla 8 Costo de las intervenciones consideradas de conservación.	35
Tabla 9 Datos obtenidos del GeoGauge.....	41
Tabla 10 Coeficientes de la Sección 0-000	44
Tabla 11 Coeficientes de la Sección 9-000	44
Tabla 12 Coeficientes de la Sección 15-000	44
Tabla 13 Coeficientes del Lastre	44
Tabla 14 Tabla de resultados de los límites Atterberg.....	45
Tabla 15 Tabla de contenido de humedad de cada Sección	46
Tabla 16 Tabla de densidad de finos.....	46
Tabla 17 Tabla de densidad de gruesos.....	47
Tabla 18 Tabla de Proctor modificado.....	47
Tabla 19 Tabla de CBR del suelo.	48
Tabla 20 Tabla de MR en base del CBR del suelo (MN/m)	49
Tabla 21 Aumento porcentual del MR con suelo natural y con estabilizante	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de la metodología.....	37
Figura 2 Módulos de Young y Módulos de Rigidez de la vía cascada de Puelazo - Bocatoma.....	42
Figura 3 Vía cascada de Puelazo – Bocatoma.....	43
Figura 4 Gráfica del CBR.....	48
Figura 5 Gráfica del MR en base al CBR	50
Figura 6 Presupuesto de estabilización de la subrasante con cal al 2%	51
Figura 7 Presupuesto de estabilización de la subrasante con cal al 4%	51
Figura 8 Presupuesto de estabilización de la subrasante con cal al 6%	52
Figura 9 Presupuesto de estabilización de la subrasante con cemento al 2%	52
Figura 10 Presupuesto de estabilización de la subrasante con cemento al 4%	53
Figura 11 Presupuesto de estabilización de la subrasante con cemento al 6%	53
Figura 12 Aumento porcentual del MR con suelo natural y con estabilizante.....	55
Figura 13 Comparación de precios de estabilización de subrasante de la vía de estudio ..	56
Figura 14 Comparación de precios de estabilización de subrasante de la vía de estudio y presupuesto de lastrado de la Vía Cascada Puelazo-Bocatoma	57

RESUMEN

Las vías de segundo orden llevan a vías de primer orden por eso son vitales para las zonas pobladas que no están cerca de las vías principales. Por ello, es importante buscar alternativas económicas y que brinden beneficios a los usuarios, una de estas alternativas es la estabilización de subrasantes por medio de la adición de cal o cemento en el caso de la vía Cascada de Puelazo – Bocatoma. Obteniendo mediante ensayos que en la vía de estudio se encuentran tipos de suelo como arcilla y lastre.

Para las muestras de arcilla el uso del 4% de cal es la opción óptima, mientras que para la muestra de lastre el porcentaje de adición óptimo es de 6% cemento. El coste de mantenimiento decenal de una subrasante mejorada con cal corresponde a \$ 0,31 por metro lineal en los primeros 10 años. Mientras que el coste de mantenimiento decenal de una subrasante mejorada con cemento corresponde a \$ 0,34 por metro lineal en los primeros 10 años. Los beneficios que proporciona la estabilización de la subrasante desde el punto de vista técnico fueron demostrados en esta investigación obteniendo un módulo de rigidez de mejorado más del doble de la inicial, pero también considerando que el valor de mantenimiento es aplicable a los sectores rurales como en nuestro caso de estudio.

Palabras claves: subrasante, estabilización, cal, cemento, módulo de rigidez.

ABSTRACT

Second-order roads lead to first-order roads, which is why they are vital for populated areas that are not close to main roads. Therefore, it is important to look for economic alternatives that provide benefits to users. One of these alternatives is the stabilization of subgrades through the addition of lime or cement in the case of the Cascada de Puelazo – Bocatoma road. Obtaining through tests that soil types such as clay and ballast are found on the study route.

For the clay samples, the use of 4% lime is the optimal option, while for the ballast sample, the optimal addition percentage is 6% cement. The ten-year maintenance cost of a lime-improved in the subgrade corresponds to \$0.31 per meter in the first 10 years. The ten-year maintenance cost of an improvement in the subgrade corresponds to \$0.34 per meter in the first 10 years. The benefits provided by subgrade stabilization from a technical point of view were demonstrated in this research, obtaining an improved rigidity modulus of more than double the initial one, but also considering that the maintenance value applies to rural sectors such as in our case study.

Keywords: subgrade, stabilization, lime, cement, rigidity modulus.



firmado electrónicamente por:
DANILO RENEE YEPEZ
OVIEDO

Reviewed by:
Danilo Danilo Yépez Oviedo
Docente UNACH
0601574692

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1. Antecedentes

En un país el desarrollo social y económico siempre aumenta, por eso la movilidad es un derecho vital de los ciudadanos. Las vías y caminos que enlazan las ciudades, parroquias y comunidades ayudan al desarrollo de diversas áreas, esto implica que sin rutas viales en buen estado la comunicación y desarrollo de las poblaciones no es factible. La agricultura, ganadería y turismo dependen del estado de las vías, ya que estas promueven la movilidad y comercio de estas zonas productoras.

Por eso, las vías de segundo orden son vitales para los poblados que no se encuentran cerca de las vías de primer orden, permitiendo un mejor enlace mejorando así, su comunicación y creando un mayor crecimiento de asentamientos. Las vías de segundo orden son vías cuya función es recoger el tráfico de una zona rural o urbana para conducirlo a vías primarias.

El mantenimiento de las vías de segundo orden se efectúa de forma ineficiente o nula. Con lo cual el planteamiento de una mejora de la capacidad portante de la subrasante mediante alternativas optimizará su vida útil, de una manera económica y efectiva.

Según (Asphalt, 2020), en nuestro país existe un bajo porcentaje de satisfacción vial, esto se debe a que solo el 12% de las vías de comunicación terrestres cuentan con un pavimento flexible o rígido. Por otro lado, las vías que se encuentran con una superficie de rodadura afirmada constan en un 57% y solo la cuarta parte son caminos en tierra. Estas características exteriorizan menos seguridad para el usuario al momento de circular.

El sistema vial de la Provincia de Chimborazo posee una superficie de rodadura de lastre de 47.70%, mientras que, la superficie del resto de vías son 27.49% de suelo natural,

16.32% pavimento flexible, 5.43% de empedrado, 1.45% de adoquín, 1.32% de doble tratamiento bituminoso, y 0.29% de superficie mixta (CONGOPE, 2019).

Ahí radica la importancia del estudio de las vías de segundo orden especialmente lastradas; como es el caso de la Vía Cascada de Puelazo - Bocatoma cantón Riobamba, parroquia rural de Quimiag.

1.2.Planteamiento del Problema

En las carreteras de segundo orden del Ecuador se podría generar un deterioro excesivo de los elementos viales si no se implementa un sistema de control, inventario, monitoreo y de provisión de datos para futuros planes y programas de intervención, aplicable a la realidad física, económica y social de las provincias, cantones y ciudades del país, con graves consecuencias: elevados costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos (Mariño Rodríguez & Salazar Noboa, 2008).

En Chimborazo, las vías de segundo orden son sobre todo vías lastradas y de tierra, que en invierno por fuertes lluvias se deterioran afectando la movilidad de los usuarios. En este caso de estudio nos enfocaremos en la parroquia Quimiag, misma que depende económicamente de la ganadería, agricultura y turismo. Estas actividades aumentan el tráfico de transportes de un eje, buses y automóviles, y por ende el deterioro de las vías de segundo orden.

La adición de materiales que mejoren la capacidad portante de la subrasante implicaría mejoras en el funcionamiento y comportamiento del pavimento ante las cargas vehiculares aplicadas, así como la reducción de los espesores que conforma la estructura de este (Yunga Silva, 2023).

Es por ello, que en la presente investigación se plantea comparar la relación costo beneficio en el mantenimiento de la Vía Cascada de Puelazo - Bocatoma cantón Riobamba,

parroquia rural de Quimiag, estabilizando la subrasante con cal o cemento, para así determinar el medio estabilizador más adecuado para la carretera de segundo orden.

1.3. Justificación

Desde Riobamba, capital de la provincia se puede acercarse a diversas zonas turísticas y turismo comunitario. A tan solo 30 minutos de la capital se encuentra la parroquia de Quimiag con una población de 5.257 personas y una superficie de 139.51 km² (*Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Quimiag*, n.d.).

En este poblado se enfatiza sus festividades con representaciones culturales propias de la zona y se desea potenciar puntos de excelente interés turístico como, por ejemplo, a tan solo 5 km podemos encontrarnos con la cascada de Puelazo que es un gran atractivo turístico y a 17 km podemos llegar a la bocatoma de Quimiag el cual es el punto de partida de muchos turistas para llegar al Altar.

Riobamba capital de la provincia, es productor y distribuidor importante de derivados de calizas para diferentes industrias. Dentro de los productos más conocidos tenemos el cemento y la cal. El cemento es mayormente de uso para la construcción y se distribuye a la mayor parte del país. La cal es un insumo para usos agrícolas, acuícolas, avícolas y metalúrgicos, en sus diferentes concentraciones.

La presente investigación se realiza con el propósito de investigar la relación costo beneficio de la estabilización de la subrasante tanto con cal como con cemento para el mantenimiento de la vía en estudio, esto para optimizar el costo de transporte reduciendo el costo de las intervenciones, así como también mejorando la capacidad estructural de la vía de segundo orden y maximizando los beneficios de la misma.

1.4.Objetivos

1.4.1. General

- Establecer la mejor alternativa de mantenimiento de carreteras de segundo orden evaluando el costo beneficio de estabilización de subrasante con cal o cemento.

1.4.2. Específicos

- Cuantificar el módulo de rigidez (MR) y módulo de Young, mediante un levantamiento vial de 15Km en la Vía Cascada de Puelazo - Bocatoma con el equipo Geo Gauge.
- Establecer las características mecánicas de la subrasante mediante ensayos de laboratorio.
- Determinar las dosificaciones de cal o cemento que generan mayor capacidad portante de la subrasante.
- Definir la relación costo beneficio de la estabilización de la subrasante con cal o cemento.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1.Estado del Arte.

Las metodologías empleadas en la mejora de las vías secundarias y terciarias van desde la construcción de placa huella hasta la estabilización y compactación del terreno a través de la adición de cal, cemento o diferentes aglomerantes (García, 2019).

En varios países se ha utilizado la estabilización y mejora de suelo con aditivos cementantes y da resultados positivos, para mejorar la subrasante y disminuir el espesor de las capas de subbase y/o base; investigaciones que sirven para conocer mejor el uso de estos materiales para estabilizar subrasante en una vía secundaria (Gavilanes, 2015).

En Ecuador, según el ingeniero (Gavilanes, en 2015) al adicionar cal o cemento a los diferentes estratos de suelo concluyó que se logró alterar sus propiedades físicas y así mejorar las condiciones de plasticidad e incrementar su resistencia y durabilidad y a su vez disminuye los costos de construcción.

Según el ingeniero Jonatan García en su investigación “Estudio de la Técnica de Suelo-Cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín” se concluyó que la variación del índice de plasticidad el cual inicia con un 15.1% teniendo 0% de cemento y disminuye hasta 12.75% con un 12% de cemento es una razón válida para decir que el caolín ante la presencia de cemento pasa de un estado plástico a un estado sólido con mayor rapidez aún sin haber dejado fraguar la mezcla. Así, el cemento actúa como agente que controla el índice de plasticidad del suelo del estudio, provocando un aumento en el límite plástico y una disminución del límite líquido (García, 2019). Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

En Costa Rica los ingenieros Gustavo Badilla y Fabian Elizondo en su investigación “Mejoramiento y estabilización de subrasantes con cal” obtuvieron que el incremento en el contenido de cal está asociado con un incremento en la capacidad de soporte y la resistencia del suelo estabilizado. Es decir que se establece que existe una fuerte correlación entre el porcentaje de compactación y el valor de la resistencia a la compresión inconfiada, e indica que un incremento en un 5% de compactación puede incrementar en más de un 60% la resistencia a la compresión inconfiada (Badilla & Elizondo, 2018).

Generalmente aquellos materiales granulares bien graduados que posean suficientes finos que produzcan o permitan una matriz de agregado homogénea, son los más deseados para la estabilización con cemento Pórtland (Elizondo & Sibaja, 2015).

2.2.Suelo.

2.2.1. Definición.

El suelo se puede definir como un material trifásico compuesto por una fase sólida, una líquida y otra gaseosa. La fase sólida la constituyen minerales variables formando una estructura que depende de los tipos, el tamaño de sus diferentes partículas y la rigidez de su organización. La estructura del suelo en la naturaleza tiene un elevado volumen de vacíos en forma de poros que pueden encontrarse total o parcialmente llenos de agua o agua y gas (Toirac Corral, 2012).

2.2.2. Clasificación de Suelos.

Al existir muchos suelos hace que se dificulte su tipo solo con la observación. Es por ello que se los puede clasificar por sus características y a su vez se usan dos sistemas de clasificación de suelos.

2.2.3. Clasificación AASHTO.

Este sistema fue creado en 1929 y se modificó en 1945 por el departamento público de camino de los EUA, en el cual clasifica los suelos en siete grupos basándose en su granulometría, límite líquido y límite plástico (Arizaga, 2014).

Tabla 1

Sistema de Clasificación AASHTO. (Arizaga, 2014)

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasificación General	Suelos Granulares (< 35% pasa 0,08 mm)						Suelos Finos (> 35% Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1			A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	< 50										
0,5 mm	< 30	< 50	< 51								
0,08 mm	< 15	< 25	< 10	< 35				< 36			
WL				< 40	< 41	< 40	< 41	< 40	< 41	< 40	< 41
IP	<			< 10	< 10	< 11	< 11	< 10	< 10	< 11	< 11

Descripción							Suelos Arcillosos
	** A-7-5: IP<(W-30)			A-7-6: IP>(WL-30)			
	$IG = (F-35) [0,2 + 0,005(WL - 40)] + 0,01 (F-15) (IP-10)$ * Para A-2-6 y A-2-7: IG= 0,01 (F-15) (IP-10) Si el suelo es NP IG= 0: Si IG<0 - >IG=0						

2.2.4. Clasificación SUCS.

Tabla 2

Clasificación de suelos SUCS. (Arizaga, 2014)

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
ASTM D 2487(94)**

MUESTRO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABOR	
Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios		GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		Coeficiente de uniformidad Cu: mayor de 4 Coef. de curvatura Cc: D60/D10 < 5	
Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		No satisfacen todos los requisitos	
Fración fino poco o nada plástica (para identificarse vease grupo MI)		GM U	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Debajo de "X" I.P. menor que 4 Arriba de "X" I.P. mayor que 7	
Fración fina plástica (para identificarse vease grupo CL)		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Arriba de "X" I.P. mayor que 7	
Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios		SW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		Coeficiente de uniformidad Cu: mayor de 6 Coef. de curvatura Cc: D60/D10 < 5	
Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.		SP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		No satisfacen todos los requisitos	
Fración fino poco o nada plástica (para identificarse vease grupo MI)		SM d U	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Debajo de "X" I.P. menor que 4 Arriba de "X" I.P. mayor que 7	
Fración fina plástica (para identificarse vease grupo CL)		SC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Arriba de "X" I.P. mayor que 7	

FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 200

Menos del 5%: GW, GP, SP, SW, SP. Más de 12%: GM, GC, SM, SC.
De 5% al 12%: Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.

FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 40

MUESTRO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N° 40		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	
Resistencia en estado seco (comparativa al comportamiento en compresión)		ML	Limos orgánicos, polvo de roca, limos arenosos o ligeramente plásticos.	
Movilidad del agua (reacción al agua)		CL	Arcillas orgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
Nula o ligera		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
Medio a alta		MH	Limos orgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.	
Ligera a media		CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
Medio a alta		OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente, por su textura fibrosa.		PT	Turberas y otros suelos altamente orgánicos.	

G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien graduadas, S = arenosa, C = compresibilidad, H = alta compresibilidad.

CARTA DE PLASTICIDAD

ÍNDICE PLÁSTICO

70
50
30
10
0

1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0

LÍMITE LÍQUIDO

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) fue planteado por Arthur Casagrande en 1942 para clasificar suelos, este se basa de acuerdo con su granulometría y límites en el cual tiene ciertos criterios para su uso (Arizaga, 2014).

2.3. Propiedades a obtener

2.3.1. Granulometría

Permite obtener de forma cuantitativa la distribución de tamaños de las partículas del suelo mediante tamizados y a su vez representado mediante tablas o gráficas (ASTM, 1998).

2.3.2. Límites de Atterberg

Permite caracterizar las partículas finas de una muestra de suelo en base a su contenido de agua, el cual está en 4 estados: líquido, plástico, semisólido y sólido. Donde se enfatizan en dos de estos: el líquido y el plástico.

Límite Líquido

Se define como el contenido de agua en un suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico, valiéndose de un dispositivo mecánico denominado Copa de Casagrande, en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas (INEN, 1982a).

Límite Plástico

Hace mención al contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua hasta que la muestra comienza a fisurarse o desagregarse (INEN, 1982b).

2.3.3. Contenido de Humedad

Se puede definir como la cantidad de agua retenida en una muestra respecto al peso seco del mismo.

2.3.4. Densidad

Se refiere a la relación del peso por el volumen del suelo.

2.3.5. Densidad Máxima y Humedad Óptima

Se refiere a la relación en la cual el suelo tiene una humedad que proporciona la densidad máxima seca, que se le atribuye el nombre de humedad óptima el cual se utiliza para la compactación del suelo. Estas características se determinan mediante el ensayo de Proctor modificado (Cárdenas & Donoso, 2018).

2.3.6. Capacidad Portante

Es la capacidad de carga/peso admisible que un terreno o suelo soporta debido al transporte que circula en la vía (Cárdenas & Donoso, 2018).

2.4. Infraestructura Vial.

La infraestructura vial es un eje importante de gran incidencia en el desarrollo económico de un país y de cada uno de sus cantones dado que contribuye a la mejora de aspectos relevantes como la seguridad y confort de los usuarios viales.

El sistema vial de la Provincia de Chimborazo posee en su mayoría una superficie de rodadura de lastre con 1,711.80 km, la superficie del resto de vías son 986.65 km de suelo natural, 585.68 km pavimento flexible, 194.81 km de empedrado, 52 km de adoquín, 47.22 km de doble tratamiento bituminoso, y 10.32 km de superficie mixta (CONGOPE, 2019).

La mayor cantidad de km que conducen a una vía alterna se localizan en los cantones: Alausí (661.50 km) y Riobamba (639.46 km), en este cantón la mayor cantidad de superficie de rodadura corresponde a lastre con 326.92 km, las parroquias que registran mayor cantidad de km son: Pungalá (91.04 km) y Quimiag (85.99 km) (CONGOPE, 2019).

En la Provincia de Chimborazo, la mayor cantidad de vías presentan una superficie de rodadura que se encuentran en estado regular con 1935.69 km, seguido de 915.84 km de vías en mal estado y finalmente 736.95 km de vías en buen estado, esta información se encuentra resumida en la Tabla 3.

Tabla 3

Estado de superficie de rodadura por cantón (km). (CONGOPE, 2019).

Cantón	Bueno	Malo	Regular	Total
Alausí	62,65	165,18	457,88	685,71
Chambo	6,33	26,76	45,19	78,28
Chunchi	17,06	15,06	146,25	178,37
Colta	143,19	100,34	345,74	589,27
Cumandá	35,71	15,74	52,66	104,11
Guamote	103,54	254,71	179,42	537,67
Guano	134,77	93,52	260,66	488,95
Pallatanga	54,27	30,37	89,01	173,65
Penipe	25,78	26,16	33,36	85,3
Riobamba	153,67	187,99	325,52	667,18

El deficiente o nulo mantenimiento de las vías de segundo orden hace que éstas se deterioren rápidamente, proporcionando un servicio vial insatisfactorio. Pero debido a falta de presupuesto no se ha realizado, con lo cual según el plan vial integral se tiene que el estado de la superficie de rodadura es malo en 187.99 km y regular en 325.52 km (CONGOPE, 2019).

2.5. Estructura de la Vía.

Una vía está conformada por: Capa de rodadura, capaz de reducir las tensiones verticales, superficie resistente al deslizamiento y encargada de impermeabilizar el resto de la estructura; Capa base, reduce las tensiones verticales hacia la subbase y suelo natural, permitiendo el drenaje del agua que se infiltra; Subbase, material que ejerce un soporte y reduce el espesor de la capa base (Instituto tecnológico de aeronáutica, 2018).

2.6. Requisitos básicos granulares para capas de rodadura.

Las capas de rodadura más comunes para las vías de segundo orden son de lastre o vía lastrada, una mezcla de áridos finos y gruesos con un porcentaje de agua que resiste a la carga vehicular de vías de bajo tránsito.

Para el diseño de la vía debemos tener en cuenta ciertas consideraciones, especificadas por (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013), como el TPDA como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación funcional de las vías en base al TPDA. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA_d			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico promedio Diario Anual (TPDA _d) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera	AV2	26000	50000

Multicarril	AV1	8000	26000
	C1	1000	8000
Carretera de 2 Carriles	C2	500	1000
	C3	0	500

Según el (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013) existen ciertos parámetros en los ensayos, como en granulometría el cual se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Granulometría de la base a ser modificada. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a)

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
		Agregado Grueso	Agregado Fino
2"	50 mm	100	
1 1/2"	37,5 mm	95 - 100	-
3/4"	19 mm	40 -100	-
Nº 4	4,75 mm	0 - 5	80 - 100
Nº 10	2 mm	-	50 - 85
Nº 40	0,425 mm	-	15 - 45
Nº 200	0,075 mm	-	0 - 10

También se toman en cuenta los límites de Atterberg los cuales nos indican que:

Suelos seleccionados:

-Limite líquido (LL<30).

-Índice de plasticidad (IP<10).

Suelos adecuados:

- Limite líquido (LL<40).
- Índice de plasticidad (IP>4) si (LL>30).

Suelos tolerables:

- Limite líquido (LL<65).
- Índice de plasticidad (IP>0.73) si (LL>20).

Para la capacidad portante de la subrasante se tiene como valor mínimo (CBR \geq 3) según lo estipula la normativa NEVI-12. También si el suelo es menor que 3 puede ocasionar problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra. Para la subbase se tiene que el valor del CBR debe ser igual o mayor a 30% (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a). Esto se puede resumir en la Tabla 6 realizada por (Quezada-Osoria, 2017).

Tabla 6

CBR de subrasantes por categorías. (Quezada-Osoria, 2017).

Categoría de Subrasante	CBR
Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
Subrasante Ineficiente	CBR \geq 3% a CBR <6%
Subrasante Regular	CBR \geq 6% a CBR <10%
Subrasante Buena	CBR \geq 10% a CBR <20%
Subrasante muy buena	CBR \geq 20% a CBR <30%
Subrasante Excelente	CBR \geq 30%

2.7.Propiedades de la cal.

Diversos estudios confirman una estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de cal o cemento para casos específicos. La Cal proporciona resistencia al

suelo, reducción de la plasticidad y el potencial de expansión del producto. Sus principales características son:

- Al mezclarse con mortero, tiene una mejor trabajabilidad y adherencia.
- Mejora y estabiliza suelos arcillosos con lo cual tiene una mejor compactación, mayor resistencia.
- Reduce las grietas, evita problemas de salitre.

En Querétaro se demostró que con 10% de cal y 6% de zeolita, se consideró una dosificación óptima, para posterior análisis estadísticos y económicos del uso de materiales. Esta relación concuerda con la sugerencia de (Dallas, 1999), en no exceder el 15% de cal que implica altos costos, alta probabilidad de generar etringita que provoca desintegración de la mezcla (Hernández Francisco et al., 2021).

2.8. Propiedades del cemento.

El cemento es un conglomerante formado por una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que pretende endurecerse al contacto con el agua.

El cemento, después de fraguar e hidratarse los silicatos y aluminatos cálcicos anhidros, produce uniones entre las partículas del suelo que logran disminuir la sensibilidad al agua y, dependiendo del contenido de conglomerante, pueden aumentar considerablemente la resistencia a la deformación y ofrecer cierta resistencia a la tracción (Gallardo, 2021)

2.9. Ensayo de medición de rigidez por el método GEOGAUGE.

Uno de los recursos más valiosos de la construcción es el tiempo. Es por ello que el cumplimiento de plazo en obras son compromisos que evitan sobrecostos y multas. Debido a esto mediante la tecnología se ha generado nuevos equipos que optimizan el tiempo. Uno de estos dispositivos es el GeoGauge, mismo que determina parámetros de la rigidez del

suelo, y su densidad. Consiste en un sistema de evaluación de emisión de cargas a través de un peso ligero, que por medio de sensores calcula la deflexión ocasionada y mediante una relación se obtiene el módulo de rigidez de un suelo. Estos dispositivos conforman una mejor alternativa a diferencia de equipos que usan materiales radioactivos, como el densímetro nuclear. (Perez & Paternina, 2012)

2.10. Ensayo de laboratorio California Bearing Ratio (CBR).

Este ensayo se usa para determinar la capacidad de soporte de bases, subbases y subrasantes de suelos mediante un índice de resistencia denominado valor de relación de soporte,

Previamente se debe conocer la humedad óptima y la máxima densidad seca del suelo (Gavilanes, 2015).

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) consiste en someter una probeta a la penetración de un pistón cilíndrico, esta mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante), la ASTM denomina lo denomina como “relación de soporte” y esta normado con el ASTM D 1883-73.

2.11. Estabilización de subrasante con cal.

Cuando la cal se mezcla con el suelo, húmedo, ocurren algunos tipos de reacciones, pero son tres las principales:

Cambio de iones y Floculación: Gracias a estas reacciones las partículas del suelo se atraen y podemos tener un suelo más viable porque disminuye la plasticidad (Gavilanes, 2015).

Acción Cementante: El grado de cementación es influenciado por el tipo de cal y por el tipo de arcilla que contiene el suelo y también por las condiciones climáticas. La mezcla

suelo-cal precisa ser rápidamente compactada, de otra manera la cementación deseada no se presentará (Gavilanes, 2015).

Carbonatación: Una de las reacciones más importantes de la cal es la absorción de dióxido de carbono al aire. El dióxido de carbono reacciona con el hidróxido de la cal formando el carbonato de calcio. (Gavilanes, 2015).

Según la NEVI-12 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a), Este proceso consiste en la incorporación de una determinada cantidad de cal al suelo de la subrasante con la finalidad de mejorar su capacidad de soporte y disminuir la plasticidad y sensibilidad a la presencia de agua.

Para la adicción los materiales deben tener ciertos parámetros los cuales son:

- El suelo que se usará para la subrasante debe provenir directamente de la excavación o suelos provenientes de préstamos, exentos de materiales orgánicos o perjudiciales. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a).

- Para la estabilización con cal el suelo no debe contener partículas mayores a 1 1/3 mm del espesor de la capa compactada, a su vez la cal debe ser cal viva o hidrata y cumplir los requisitos de la AASHTO M – 216 o AASHTO C-977. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a).

- La cal debe encontrarse suficientemente seca cuando se agregue al suelo con la finalidad de que fluya libremente, por esto se debe mantener protegida de la humedad al momento de usarla. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a).

- Los suelos altamente arcillosos son los más apropiados para el mejoramiento del suelo y la dosificación para usarlos como capa granular superficial debe oscilar entre el 5 a 10% de cal en peso o como capa inferior del 1 a 3% de cal en peso.

Se tomará en consideración ciertas tolerancias para controlar el contenido de cal y su homogeneidad el cual será determinando el PH de la cal. Donde el PH mínimo será 11. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013a).

2.12. Estabilización de subrasante con cemento.

La mezcla de suelo con cemento es considerada como una técnica de estabilización de suelos granulares que conlleva un proceso de hidratación en el cual se desarrolla una red de enlaces entre las partículas del suelo, esto acarrea un aumento en la capacidad portante y un notable incremento en la resistencia mecánica del terreno (García, 2019).

Dependiendo al tipo de suelo que vamos a estabilizar los porcentajes de cemento varían y normalmente son utilizados como en la Tabla 7.

Tabla 7

Contenidos de cemento recomendados para la estabilización. (HOLCIM, 2019).

TIPO DE SUELO	CEMENTO POR VOLUMEN	CEMENTO POR PESO
A-1-A	5-7	3-5
A-1-B	7-9	5-8
A-2	7-10	5-9
A-3	8-12	7-11
A-4	8-12	8-13
A-5	8-12	8-13
A-6	10-14	9-15
A-7	10-14	10-16

Los pasos básicos para la estabilización de suelos con cemento, según (Gavilanes, 2015) son:

- Pulverización del suelo a ser tratado.
- Adición de la cantidad del cemento requerido y mezcla con el suelo.
- Adición de la cantidad de agua requerida e incorporación a la mezcla suelo - cemento.
- Compactación final con rodillo liso.

2.13. Fórmulas para el cálculo del MR en base al CBR.

Se tomó el análisis de regresión lineal propuesto por (Murad Y. Abu-Farsakh et al., 2004) el cual se aplicó a suelos finos y granulares junto con el equipo Geogauge y cuyo nivel de confianza alcanzo un 0.84 sobre 1 se propuso la siguiente ecuación:

$$CBR = (0.00392 * MR^2) - 5.75$$

2.14. Comportamiento del CBR en suelos

La capacidad de soporte es la propiedad más importante del suelo. Se obtiene mediante el método de prueba estándar para razón soporte de California de suelos compactados en el laboratorio, más conocido como ensayo de CBR (Quezada-Osoria, 2017).

Este ensayo nos permite evaluar la capacidad portante de los suelos de explanaciones, aunque también es aplicable a capas de base u subbases de firmes y se define como: el tanto por ciento de a presión ejercida por un pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón (Gavilanes, 2015).

2.15. Relación Costo Beneficio del Mantenimiento de una vía de Segundo Orden

Según (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013) los costos de las acciones de la rehabilitación y mantenimiento en términos financieros es el resultado de multiplicar las cantidades de obra por los precios unitarios de cada rubro.

Existe una diversidad de modelos de asignación de tráfico, cuyas diferencias radican en los supuestos sobre el criterio empleado por los usuarios en la elección de ruta. La premisa básica en todos estos métodos de asignación es el supuesto de racionalidad de los viajeros, según el cual los usuarios escogen aquella ruta que perciben que minimizará su costo generalizado de transporte o maximizará su beneficio (CONGOPE, 2019). Esto se encuentra ligado directamente con el estado de la vía, ya que la comodidad del usuario es fundamental en la elección de la ruta.

Una vía que no tiene contemplado un mantenimiento para su vida útil obligadamente sufre un deterioro post construcción, pasando por un deterioro lento y poco visible, para luego acoger un deterioro acelerado y finalmente su obsolescencia; en contraste, el deterioro deseado de una vía obedece a las intervenciones por mantenimiento rutinario o periódico post construcción, prolongando su vida útil o periodo de diseño (Granda, 2021).

Según (Porter & Valverde, 2017) en su investigación “Estudios y Diseños a nivel de Prefactibilidad de la carretera La Tira-La Lima Curtincapac Cantón Portovelo Provincia de El Oro”, la vida útil de una vía de segundo orden lastrada oscila entre los dos y tres años sin ningún mejoramiento en su subrasante y sin ningún tipo de mantenimiento.

En los caminos de segundo orden el deterioro se empieza a vislumbrar a partir del segundo o tercer año, con la inclusión de un programa de mantenimiento se logra incrementar la vida útil de la vía entre cuatro a cinco años (Porter & Valverde, 2017).

Una vía lastrada estabilizada con cemento tiene una durabilidad máxima de cuatro años, aun prescindiendo de su mantenimiento (Granda, 2021). Mientras que la vida útil de una vía de segundo orden estabilizada con cal aumenta entre cinco a seis años (Huezo & Orellana, 2009).

2.16. Costos de Mantenimiento Vial

Estos costos son los “realizados durante la vida útil del pavimento a través del tiempo para conservarla en óptimas condiciones y son asumidos directamente por los concesionarios viales, estos mantenimientos pueden ser periódicos y rutinarios.” (Navarro, 2016)

Para tener un plan de “mantenimiento es necesario conocer cómo es el proceso de deterioro de la vía o red vial de esta manera se tendrá un control y se programará el momento en que se debe aplicar los correctivos necesarios” (Mariño Rodríguez & Salazar Noboa, 2008).

Para las vías rurales o también denominados caminos vecinales, la Norma Ecuatoriana Vial en su capítulo de Conservación Vial (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013b) establece como mantenimientos habituales el rutinario y el periódico.

Los costos de las obras y el mantenimiento determinan el monto de la inversión que se hará, por tal motivo resulta un aspecto crítico. Los costos fueron proporcionados por (CONGOPE, 2019) en base a los costos referenciales del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas), los cuales se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8

Costo de las intervenciones consideradas de conservación. (CONGOPE, 2019).

COSTE DE ACTUACIONES REFERENCIALES

MTOP (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y

OBRAS PUBLICAS)

Tipo	Superficie	Detalle	ECONOMICO	FINANCIERO	UNIDAD
CONSERVACIÓN	CA (Concreto Asfáltico)	Mantenimiento Rutinario	\$ 319,35	\$ 319,84	Km*Año
		Recapeo 4cm	\$ 4,48	\$ 5,50	m2
		Fresado 3cm + reposición 3cm	\$ 3,74	\$ 4,60	m2
		Slurry (sello asfáltico)	\$ 1,12	\$ 1,37	m2
		Bacheo	\$ 117,12	\$ 143,70	m3
	TB (Tratamiento Bituminoso)	Mantenimiento Rutinario	\$ 530,16	\$ 650,50	Km*Año
		Doble tratamiento superficial	\$ 2,43	\$ 2,98	m2
		Tratamiento superficial	\$ 1,79	\$ 2,20	m2
		Bacheo	\$ 117,12	\$ 143,70	m3
	Superficie	Detalle	ECONOMICO	FINANCIERO	UNIDAD
MEJORAMIENTO	GR (Sin Pavimentar)	Mantenimiento Rutinario	\$ 1.544,63	\$ 1.895,26	Km*Año
		Recargo 10cm	\$ 6,29	\$ 7,72	m2
		Perfilado (regularización)	\$ 0,24	\$ 0,29	m2
		Bacheo	\$ 6,29	\$ 7,72	m3
		Doble tratamiento bituminoso superficial	\$ 3,24	\$ 3,98	m2
		Doble tratamiento bituminoso superficial sobre base estabilizada con emulsión	\$ 4,56	\$ 5,59	m2

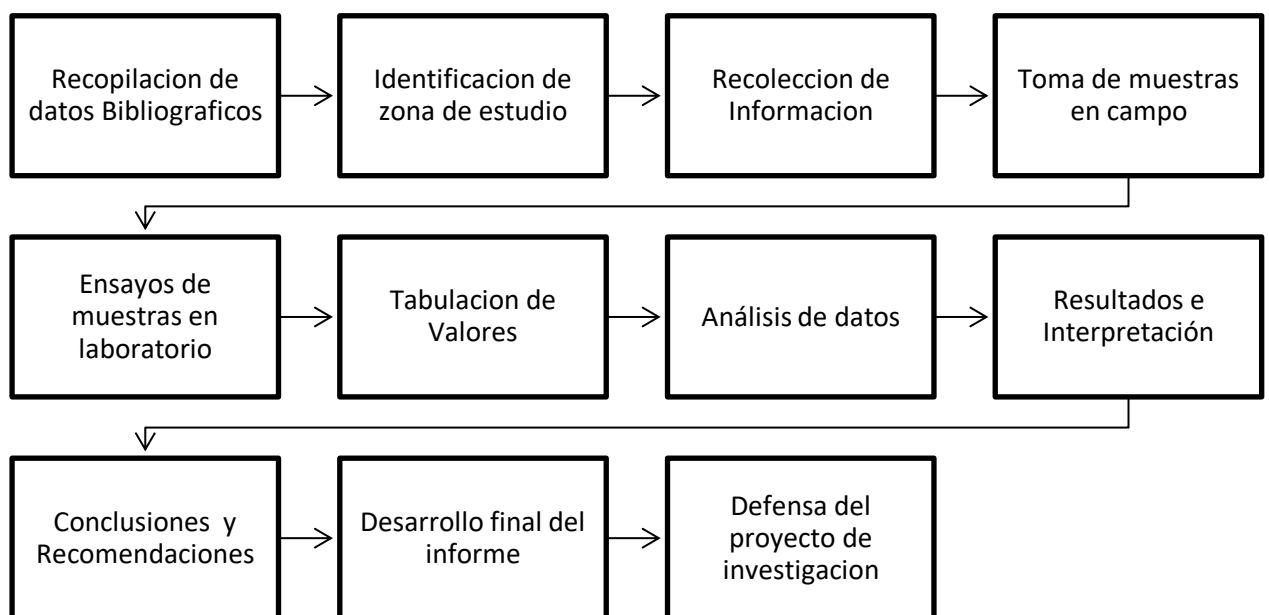
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1. Tipo de Investigación.

Para el desarrollo de esta investigación se definió la misma como cuantitativa ya que se recopila datos obtenidos mediante ensayos con los cuales se obtendrá un criterio para saber el porcentaje de cemento óptimo y a su vez el porcentaje óptimo de cal en las muestras obtenidas, para el cumplimiento de los objetivos planteados, evidenciado en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo de la metodología. (Mejía, 2023)



3.2. Diseño de Investigación

Esta investigación se basa en el diseño experimental en donde se trata de concretar variables que podemos controlar y definir con la finalidad de poder hacer una exploración y análisis (Gallardo, 2021), así haciendo referencia a determinar qué porcentaje de cemento y cal, respectivamente, permite el mejoramiento de la capacidad portante del suelo en

estudio; así como conocer cuál es la relación costo/beneficio de cada material estabilizante. En conclusión, se tiene un diseño experimental con un enfoque cuantitativo.

3.3. Técnicas de recolección de Datos

Para la recolección de la información utilizada en el desarrollo de la investigación, se partió de la revisión de fuentes bibliográficas que brindaran información primaria en lo relacionado a la toma de muestras y la realización de los ensayos de laboratorio. Mismos ensayos de laboratorio definidos por la NEVI-12 y a su vez mediante exploración de campo con el equipo GEOGAUGE.

Se ensayaron los diferentes estratos del suelo de la vía para obtener sus características, como también adicionando cal y cemento, respectivamente, al suelo para determinar su mejoramiento en su capacidad portante de cada estrato. Para la recolección se aplicaron estos ensayos:

a. Granulometría (basada en la norma ASTM D-422-63)

Este ensayo se realizó para los diferentes suelos sin añadir cal viva.

b. Límite líquido (basada en la norma AASHTO T 89)

Se realizó para el tipo de suelo que se puede ensayar.

c. Límite plástico (basada en la norma AASHTO T 90)

Se realizó para el tipo de suelo que se puede ensayar.

d. Contenido de humedad (basada en la norma INEN 690)

Este ensayo se realizó para los diferentes suelos sin añadir cal viva.

e. Densidad de finos (basada en la norma ASTM C128)

Este ensayo se realizó los dos tipos de suelo.

f. Densidad de gruesos (basada en la norma ASTM C188 -95)

Este ensayo se realizó para el tipo de suelo que contenía partículas necesarias para ensayar.

g. Proctor modificado (basada en la norma ASTM D-1557)

Este ensayo se realizó para los dos tipos de suelo.

h. CBR (capacidad de soporte) (basada en la norma ASTM D-1883)

Este ensayo se realizó para los dos tipos de suelo sin agregar cal. También se ensayó agregando 2, 4 y 6% de cal y de cemento con la finalidad de determinar la variación de la capacidad portante con cada porcentaje de cal viva agregada y a su vez el porcentaje de cemento agregado.

3.4. Población de estudio y tamaño de muestra

3.4.1. Población de estudio

La vía de segundo orden cascada de Puelazo - Bocatoma cantón Riobamba, parroquia rural de Quimiag. Las cuales tienen diferentes tipos de suelos que no se han analizado en investigaciones anteriores.

3.4.2. Muestra

Los 15Km de la vía cascada de Puelazo - Bocatoma del cantón Riobamba tiene un tipo de suelo que es arcilla de baja plasticidad; pero en el tramo de vía en estudio se sitúa una mina de grava por lo tanto se consideró pertinente estudiar el comportamiento de este material con los estabilizadores propuestos en la presente investigación.

3.5. Hipótesis

Es de vital importancia estudiar las características del suelo y así, de ser necesario mejorar sus características para de esa manera mejorar la calidad de vida de la vía evitando un desgaste prematuro y reduciendo los espesores de la subbase y/o base.

Es por esto por lo que la adicción de medios estabilizantes como son el cemento y la cal en la subrasante en vías de segundo orden aumenta la capacidad portante, así como también reduce el costo en su diseño, mejorando así la relación de costo/beneficio del mantenimiento de la vía.

Con esta hipótesis plateada se va a realizar ensayos de los dos tipos de suelo recolectados en la vía de estudio y adicionando tanto cal y cemento para analizar el aumento de su capacidad portante, en ambos casos.

3.6.Métodos de análisis, y procesamiento de datos

Para la obtención de los datos necesarios de la vía cascada de Puelazo - Bocatoma se procedió como se enuncia:

a) Mediante una visita en campo a la vía cascada de Puelazo - Bocatoma y con el equipo de GEOGAUGE se realizó la toma los datos del módulo de elasticidad de diferentes tramos para obtener resultados parecidos para la estratificación del suelo.

b) Con los datos obtenidos se obtuvo el CBR de cada uno para establecer el estado de capacidad portante sin la adición del medio estabilizador.

c) Ya diferenciados los tipos de suelo se procede a realizar calicatas para la obtención de 200 kg de suelo para cada estrato para sus respectivos ensayos.

d) Se realiza los ensayos de granulometría de los dos tipos de suelo.

e) Se determina los límites de Atterberg de cada suelo para clasificar el tipo de suelo.

f) Se realiza ensayos de densidad de finos y gruesos para obtener las características de los suelos.

g) Se realiza el ensayo de contenido de humedad para obtener la cantidad de agua presente en el suelo natural.

h) Se realiza el ensayo de Proctor modificado con el fin de obtener los datos del suelo en su estado natural.

i) Se procede a hacer los ensayos de CBR de cada uno de los suelos tanto natural como adicionando 2, 4 y 6 % de cal y del suelo adicionando 2, 4 y 6 % de cemento.

j) Se obtiene el CBR y se hace una comparación para obtener cuanto aumentó su capacidad portante con cada medio estabilizador propuesto en esta investigación.

k) Se procede a estudiar cuál es la relación de costo/beneficio de cada medio estabilizador, como influye en el mantenimiento de la vía y cuál de las dos relaciones es la más favorable para la vía cascada de Puelazo – Bocatoma.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Datos del MR de la vía

Obtenidos los valores de MR (módulo de rigidez) mediante el uso del GeoGauge se obtienen los siguientes resultados como se muestra en la

Figura 2 y la Tabla 9:

Tabla 9

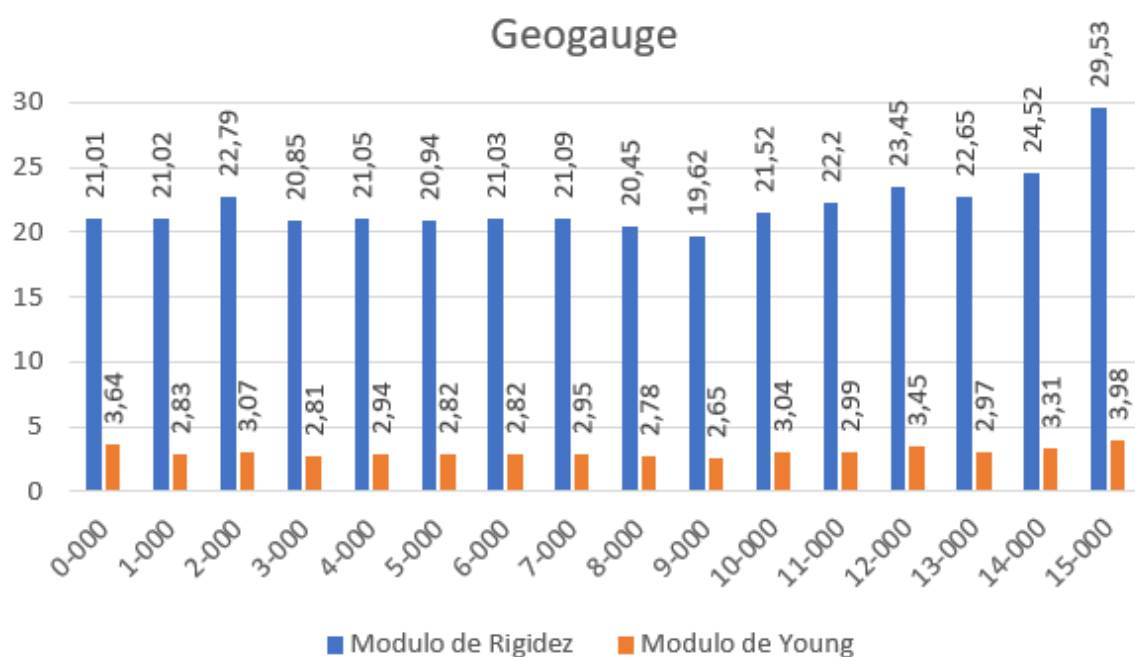
Datos obtenidos del GeoGauge

Cota	Módulo de Rigidez (Stiffness module) (MN/m)	Módulo de Young (Mpa)
0-000	21.01	3.64
1-000	21.02	2.83
2-000	22.79	3.07
3-000	20.85	2.81
4-000	21.05	2.94

5-000	20.94	2.82
6-000	21.03	2.82
7-000	21.09	2.95
8-000	20.45	2.78
9-000	19.62	2.65
10-000	21.52	3.04
11-000	22.2	2.99
12-000	23.45	3.45
13-000	22.65	2.97
14-000	24.52	3.31
15-000	29.53	3.98

Figura 2

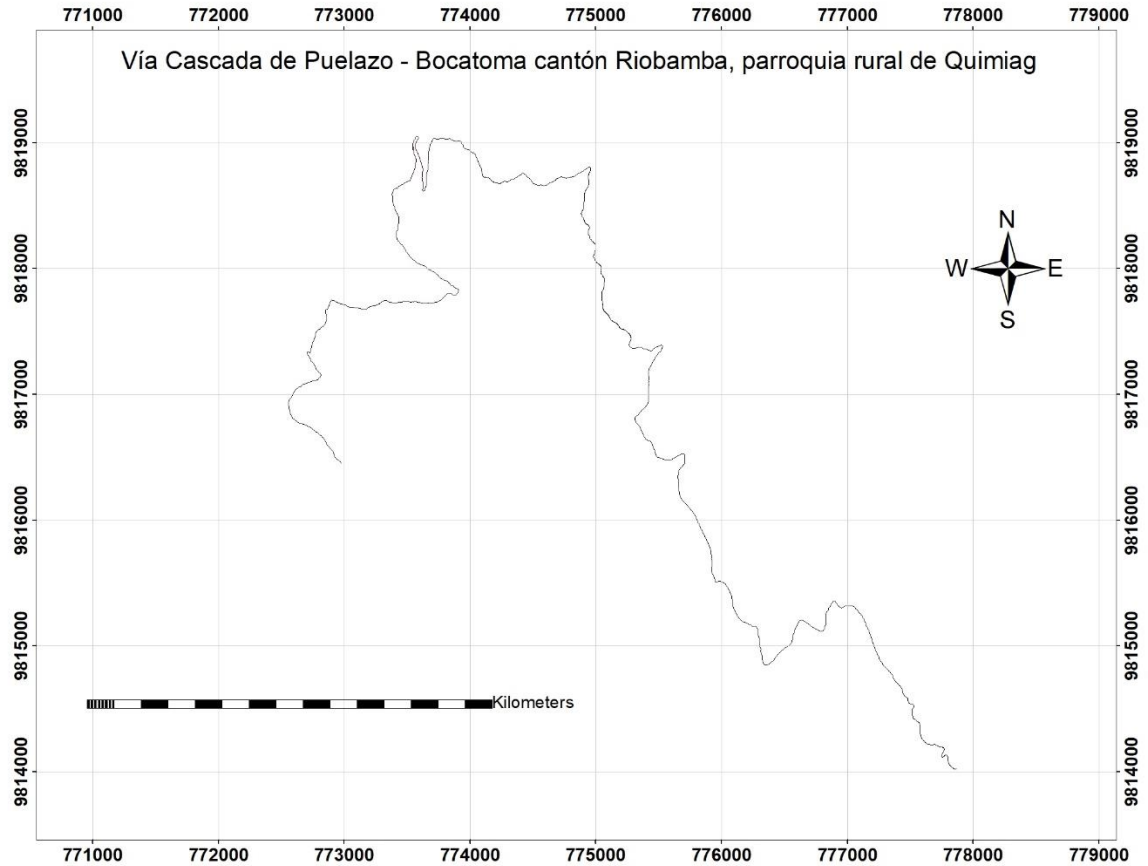
Módulos de Young y Módulos de Rigidez de la vía cascada de Puelazo - Bocatoma



4.1.2. Tramos de la vía

Figura 3

Vía cascada de Puelazo – Bocatoma



Con los valores de MR se procede a realizar un mapeo de la vía obteniendo así un tramo con una longitud de 15Km (Revisar Figura 3).

4.1.3. Granulometría de los suelos

Del análisis granulométrico de finos se obtuvo en el tramo 0-000, 9-000 y 15-000 corresponde a CL (arcilla bien graduada) mientras que en la muestra del Lastre es GW (Grava bien graduada). La granulometría se puede observar en los anexos. Se obtuvo los siguientes coeficientes:

Tabla 10*Coefficientes de la Sección 0-000*

SECCION 0-000	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	6.78
Coefficiente de curvatura, CC	0.88

Tabla 11*Coefficientes de la Sección 9-000*

SECCION 9-000	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	8.64
Coefficiente de curvatura, CC	1.05

Tabla 12*Coefficientes de la Sección 15-000*

SECCION 15-000	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	7.12
Coefficiente de curvatura, CC	0.90

Tabla 13*Coefficientes del Lastre*

LASTRE	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	8.63
Coefficiente de curvatura, CC	1.40

4.1.4. Límites de Atterberg

Como podemos ver en la Tabla 14, mediante el ensayo de Casagrande y el proceso de rolado se obtuvo que en las muestras de la sección 0-000, 9-000 y 15-000 mismas que corresponden a una arcilla de baja plasticidad mientras que en la muestra del Lastre corresponde a la grava o lastre se obtuvo que el índice plástico es negativo ya que el límite plástico es mayor que el límite líquido y por lo tanto es cero y esto debido a que el suelo tiene un contenido de agua natural mayor que el límite líquido.

Tabla 14

Tabla de resultados de los límites Atterberg

SECCION 0-000	
LL	38.57%
LP	29.17%
IP	9.40%
SECCION 9-000	
LL	38.89%
LP	36.67%
IP	2.22%
SECCION 15-000	
LL	34.08%
LP	30.30%
IP	3.78%
LASTRE	

LL	20.52%
LP	22.73%
IP	0.00%

4.1.5. Contenido de humedad

Las muestras de la sección 0-000 y 15-000 presentan un porcentaje de humedad promedio de 34.37% y 35.02% respectivamente. En cambio, las muestras de la sección 9-000 tiene un gran contenido de humedad el cual es de 53.44%, mientras que la muestra de lastre presenta un porcentaje de humedad extremadamente bajo siendo este de 5.41%, datos evidenciados en la Tabla 15:

Tabla 15

Tabla de contenido de humedad de cada Sección

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
SECCION 0-000	32.60%	34.52%	36.00%
SECCION 9-000	53.70%	53.87%	52.74%
SECCION 15-000	34.88%	35.12%	35.06%
LASTRE	5.38%	6.25%	4.59%

4.1.6. Densidad de finos

Se obtuvo la densidad de los suelos naturales, resultados que se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16

Tabla de densidad de finos.

TRAMO	DENSIDAD g/cm ³
0-000	1.72
9-000	1.83

15-000	1.64
LASTRE	1.95

4.1.7. Densidad de gruesos

La densidad de las partículas gruesas solo pudo ser obtenida en la muestra de lastre, mismo que se evidencia en la Tabla 17:

Tabla 17

Tabla de densidad de gruesos

TRAMO	DENSIDAD g/cm ³
LASTRE	2.41

4.1.8. Proctor modificado

Se realizó el ensayo a los dos suelos en los cuales se obtuvo los resultados que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 18

Tabla de Proctor modificado.

	SECCION 0-000	SECCION 9-000	SECCION 15-000	LASTRE
Densidad (g/cm³)	7.27	7.70	6.05	10.73
% de Humedad	17.50%	18.00%	18.50%	9.00%

4.1.9. Ensayo de CBR

Se obtiene un aumento considerable del CBR con la adición de 4% de cal en los suelos de arcilla, mientras que en la muestra de lastre obtenemos un CBR de 7,32% con adición de cal de 2%. Pero el porcentaje óptimo para la muestra de Lastre es con la adición de cemento de 6% dándonos así un CBR de 16.79% como se puede observar en las Tabla 19 y Figura 4. Obteniendo así que para las muestras de arcilla el uso del 4% de cal es la opción

óptima, mientras que para la muestra de lastre el porcentaje de adición óptimo es de 6% cemento.

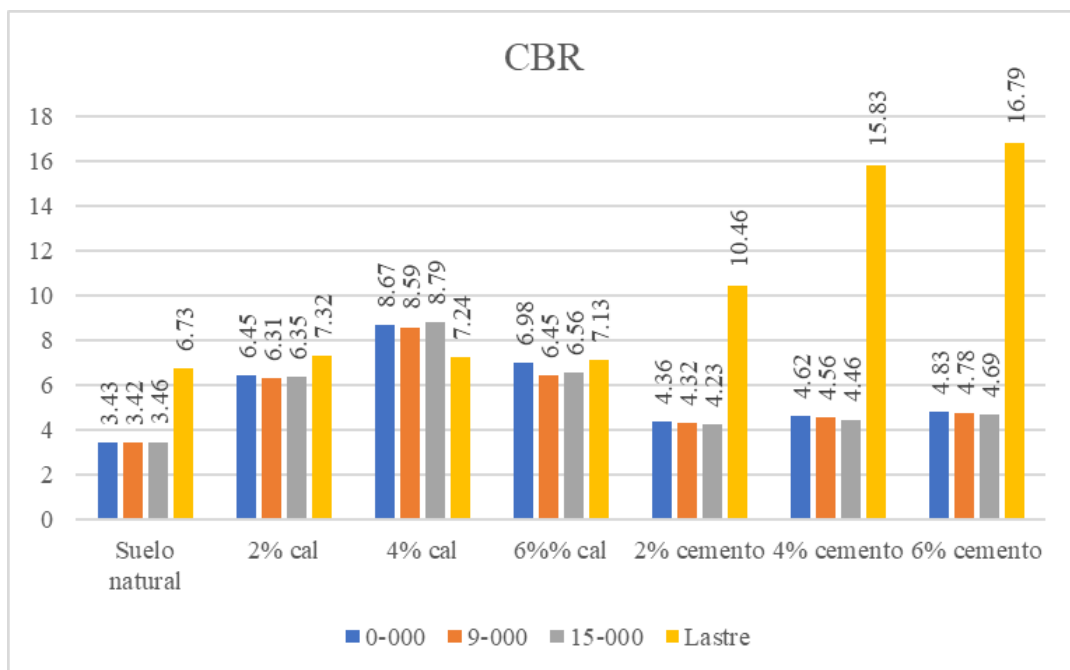
Tabla 19

Tabla de CBR del suelo.

CBR %				
	SECCION 0-000	SECCION 9-000	SECCION 15-000	LASTRE
Suelo natural	3.43	3.42	3.46	6.73
2% cal	6.45	6.31	6.35	7.32
4% cal	8.67	8.59	8.79	7.24
6%% cal	6.98	6.45	6.56	7.13
2% cemento	4.36	4.32	4.23	10.46
4% cemento	4.62	4.56	4.46	15.83
6% cemento	4.83	4.78	4.69	16.79

Figura 4

Gráfica del CBR.



4.1.10. Relación entre CBR y MR

Se aplicó la fórmula de regresión lineal propuesto por (Murad Y. Abu-Farsakh et al., 2004) aplicada junto con los resultados del equipo Geogauge y es la siguiente ecuación:

$CBR = (0.00392 * MR^2) - 5.75$ misma que despejando el Modulo de Rigidez nos da:

$$MR = \sqrt{\frac{CBR + 5.75}{0.00392}}$$

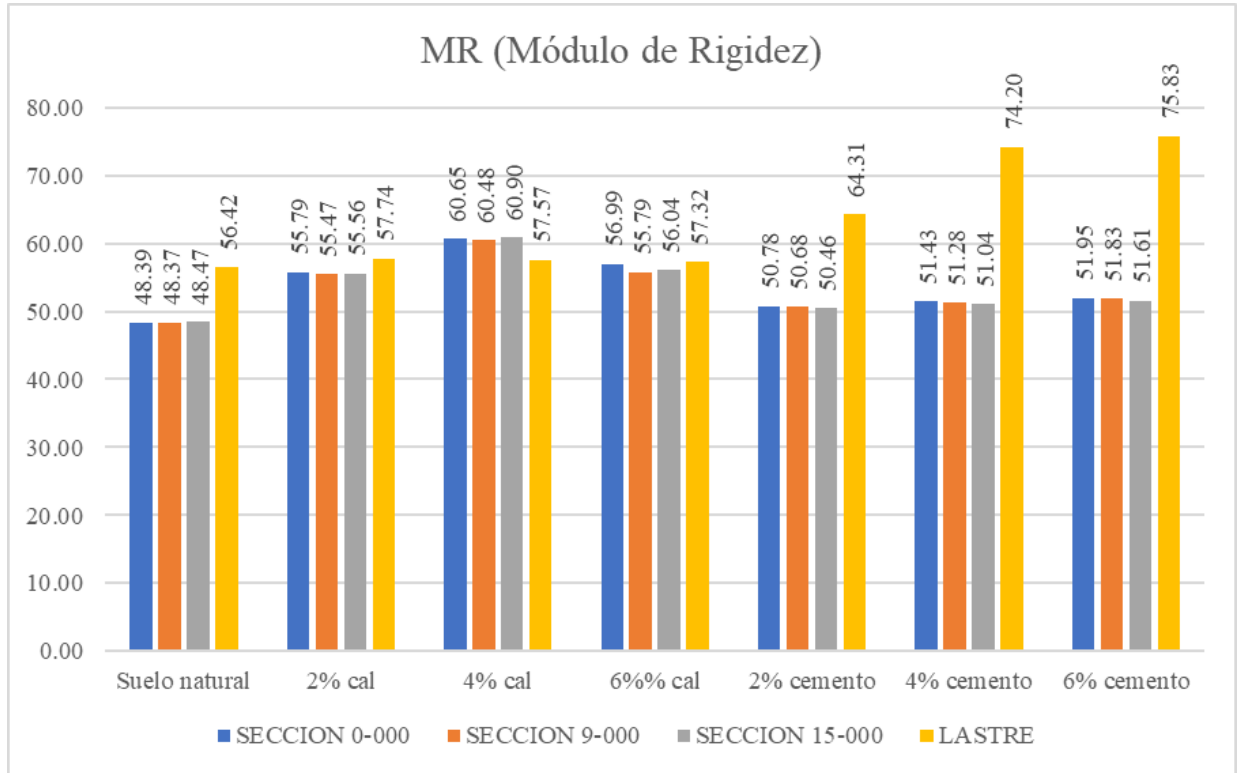
Tabla 20

Tabla de MR en base del CBR del suelo (MN/m)

	MR			
	SECCION 0-000	SECCION 9-000	SECCION 15-000	LASTRE
Suelo natural				
compactado	48.39	48.37	48.47	56.42
2% cal	55.79	55.47	55.56	57.74
4% cal	60.65	60.48	60.90	57.57
6% cal	56.99	55.79	56.04	57.32
2% cemento	50.78	50.68	50.46	64.31
4% cemento	51.43	51.28	51.04	74.20
6% cemento	51.95	51.83	51.61	75.83

Figura 5

Gráfica del MR en base al CBR.



4.1.11. Relación costo beneficio de la estabilización de la subrasante con cal o cemento

En este estudio se pudo obtener dos tipos de presupuestos para realizar la estabilización de la subrasante tanto con cal como con cemento dependiendo de la dosificación de cada aditivo de mejoramiento, tomando en cuenta la capacidad portante de la subrasante y así tendremos un ahorro muy alto en el mantenimiento de la misma, esto se puede evidenciar en la figura 6 y en la figura 7

4.1.11.1. Análisis de precios del mejoramiento con cal y cemento

Figura 6

Presupuesto de estabilización de la subrasante con cal al 2%.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
EJECUTOR	Marco Antonio Mejia Gallegos				
PROYECTO	Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento				
PRESUPUESTO CON CAL 2%					
N°	Descripcion	Cant.	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	ESCARIFICADO	90000	M2	0.22	19800
3	TENDIDO EL AGENTE ESTABILIZADOR	90000	M2	1.65	148500
3	MEZCLADO, TENDIDO, HIDRATADO Y COMPACTADO	90000	M2	0.52	46800
TOTAL					215100

Figura 7

Presupuesto de estabilización de la subrasante con cal al 4%.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
EJECUTOR	Marco Antonio Mejia Gallegos				
PROYECTO	Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento				
PRESUPUESTO CON CAL 4%					
N°	Descripcion	Cant.	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	ESCARIFICADO	90000	M2	0.22	19800
3	TENDIDO EL AGENTE ESTABILIZADOR	90000	M2	3.25	292500
3	MEZCLADO, TENDIDO, HIDRATADO Y COMPACTADO	90000	M2	0.52	46800
TOTAL					359100

Figura 8*Presupuesto de estabilización de la subrasante con cal al 6%.*


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
					
EJECUTOR	Marco Antonio Mejía Gallegos				
PROYECTO	Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento				
PRESUPUESTO CON CAL 6%					
N°	Descripcion	Cant.	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	ESCARIFICADO	90000	M2	0.22	19800
3	TENDIDO EL AGENTE ESTABILIZADOR	90000	M2	4.85	436500
3	MEZCLADO, TENDIDO, HIDRATADO Y COMPACTADO	90000	M2	0.52	46800
TOTAL					503100

Figura 9*Presupuesto de estabilización de la subrasante con cemento al 2%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
					
EJECUTOR	Marco Antonio Mejía Gallegos				
PROYECTO	Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento				
PRESUPUESTO CON CEMENTO 2%					
N°	Descripcion	Cant.	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	ESCARIFICADO	90000	M2	0.22	19800
3	TENDIDO EL AGENTE ESTABILIZADOR	90000	M2	2.17	195300
3	MEZCLADO, TENDIDO, HIDRATADO Y COMPACTADO	90000	M2	0.52	46800
TOTAL					261900

Figura 10*Presupuesto de estabilización de la subrasante con cemento al 4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
					
EJECUTOR	Marco Antonio Mejia Gallegos				
PROYECTO	Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento				
PRESUPUESTO CON CEMENTO 4%					
N°	Descripcion	Cant.	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	ESCARIFICADO	90000	M2	0.22	19800
3	TENDIDO EL AGENTE ESTABILIZADOR	90000	M2	4.30	387000
3	MEZCLADO, TENDIDO, HIDRATADO Y COMPACTADO	90000	M2	0.52	46800
TOTAL					453600

Figura 11*Presupuesto de estabilización de la subrasante con cemento al 6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
					
EJECUTOR	Marco Antonio Mejia Gallegos				
PROYECTO	Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento				
PRESUPUESTO CON CEMENTO 6%					
N°	Descripcion	Cant.	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	ESCARIFICADO	90000	M2	0.22	19800
3	TENDIDO EL AGENTE ESTABILIZADOR	90000	M2	6.42	577800
3	MEZCLADO, TENDIDO, HIDRATADO Y COMPACTADO	90000	M2	0.52	46800
TOTAL					644400

4.2.DISCUSIÓN

En la ejecución de los métodos tradicionales se emplearon los ensayos descritos en la presente investigación siguiendo los pasos recomendados en cada norma. Mediante las muestras tomadas en las Secciones 0-000, 9-000, 15-000 y la muestra de Lastre, se

obtuvieron resultados como la Granulometría, Límites líquido y plástico, Contenido de humedad, Densidad de finos, Densidad de gruesos, Proctor modificado y CBR.

Para el desarrollo de los métodos alternativos se utilizó el Geogauge siguiendo las recomendaciones del manual. Mediante el uso de este dispositivo in-situ se adquirieron datos tomados en los 15Km de la vía de estudio obteniendo así los resultados mostrados en la Tabla 9.

Según Badilla & Elizondo en su investigación realizada en 2018, la incorporación de la cal permite aumentar el contenido de humedad óptimo de compactación a la vez que se reduce la densidad máxima seca del suelo compactado y el incremento en el contenido de cal está asociado con un aumento en la capacidad de soporte y la resistencia del suelo estabilizado, esto se puede evidenciar en los resultados obtenidos en la presente investigación.

Mientras que según Elizondo & Sibaja en su investigación del 2015 nos dice que el cemento es utilizado en una gran variedad de tipos de suelos; sin embargo, los materiales más plásticos deben ser evitados. Generalmente aquellos materiales granulares bien graduados que posean suficientes finos que produzcan o permitan una matriz de agregado homogénea, son los más deseados para la estabilización con cemento; esto se visualizó en los resultados cotejados en la estabilización de arcilla de alta plasticidad con cemento.

Mediante la obtención del CBR de las muestras de estudio y mediante la aplicación de la relación propuesta por Murad Y. Abu-Farsakh et al., en 2004 se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 20. Al cotejar los resultados del Módulo de Rigidez del suelo natural y el Módulo de Rigidez del suelo mejorado con cal y cemento se obtiene un mejoramiento considerable en este módulo, esto se puede observar en la Tabla 21 y la Figura 13 mostradas a continuación:

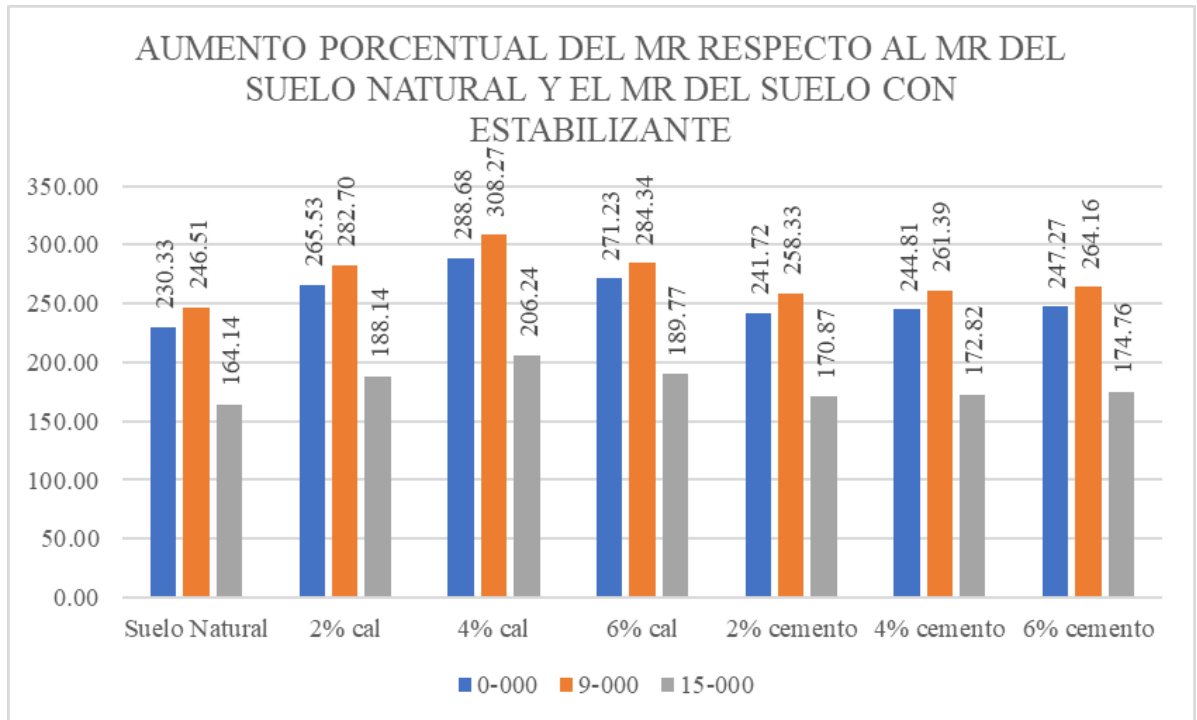
Tabla 21

Aumento porcentual del MR con suelo natural y con estabilizante

AUMENTO PORCENTUAL DEL MR RESPECTO AL MR DEL SUELO			
NATURAL Y EL MR DEL SUELO CON ESTABILIZANTE			
	0-000	9-000	15-000
Suelo Natural	230.33	246.51	164.14
2% cal	265.53	282.70	188.14
4% cal	288.68	308.27	206.24
6% cal	271.23	284.34	189.77
2% cemento	241.72	258.33	170.87
4% cemento	244.81	261.39	172.82
6% cemento	247.27	264.16	174.76

Figura 12

Aumento porcentual del MR con suelo natural y con estabilizante

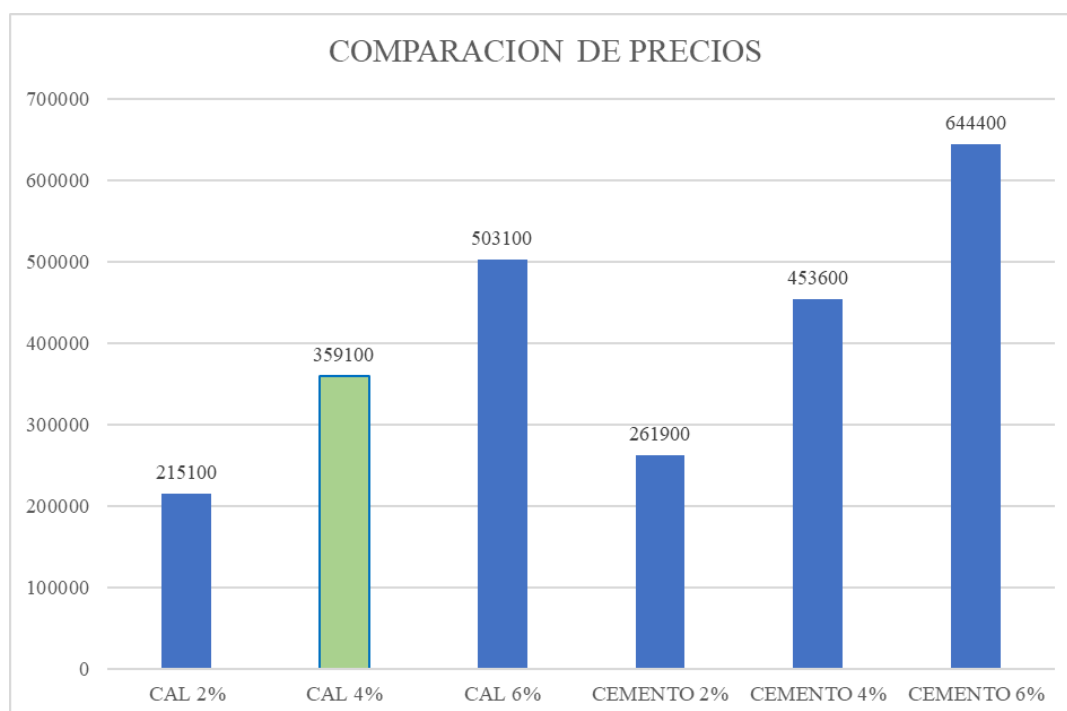


La comparación de los costos existentes en la estabilización de la subrasante con cal y cemento dependiendo de los porcentajes de adición del material estabilizante de la Vía Cascada de Puelazo - Bocatoma se representa en la Figura 13. En ella se evidencia que en la arcilla de alta plasticidad a pesar de que el costo de estabilización de cal en adición al 4% es de \$359 100 los beneficios en base al módulo de rigidez son los óptimos, pero en el 2% de adición de cal el costo es de \$215 100 y aunque el costo sea menor al de adición de 4% no es representativo en lo que al módulo de rigidez respecta.

Mientras que en la muestra de lastre se evidencia que en la adición de un 6% de cemento se tiene un costo de \$644 400 los beneficios en base al módulo de rigidez son los óptimos, pero en el 4% de adición de cal el costo es de \$453 600 y aunque el costo sea menor al de adición de 6% no es representativo en lo que al módulo de rigidez respecta.

Figura 13

Comparación de precios de estabilización de subrasante de la vía de estudio

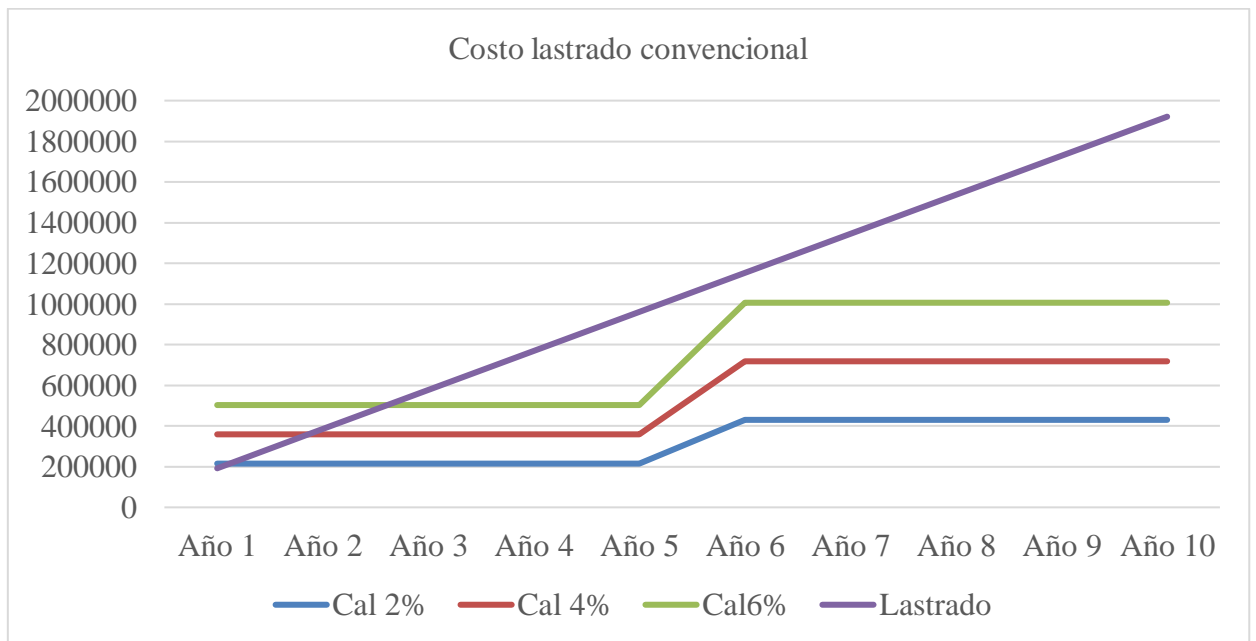


De forma comparativa se realizó un presupuesto del lastrado convencional de la Vía Cascada de Puelazo – Bocatoma, considerando que al año se tendrían que realizar al menos

dos lastrados, antes y después de la época invernal y el presupuesto de un lastrado es de \$192 100 como se evidencia en la Figura 14. Pero en 5 años, que es la vida útil del lastrado con el material estabilizante, se realizarían 10 trabajos de lastrado es decir \$ 960 500 y en 10 años este valor se incrementaría a \$ 1 921 000.

Figura 14

Comparación de precios de estabilización de subrasante de la vía de estudio y presupuesto de lastrado de la Vía Cascada Puelazo-Bocatoma



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- a) El Módulo de Rigidez obtenido mediante la aplicación del Geogauge en la Vía Cascada de Puelazo - Bocatoma tiene un promedio de 22,11 MN/m en los 15Km de estudio; mientras que el Módulo de Young proporcionado por el Geogauge tiene un promedio de 3,07MPa.
- b) El análisis de la vía de estudio se realizó en un tramo de 15Km, pero se subdividió en tramos de 0-000, 9-000 y 15-000Km para la toma de muestras y adicionalmente se tomaron muestras de Lastre del sector ya que este tipo de suelo se podía encontrar en ciertos puntos cercanos a la vía y se obtuvo que en el tramo 0-000, 9-000 y 15-000 corresponde a CL (arcilla bien graduada), según la AASHTO un suelo fino A6, mientras que en la muestra del Lastre es GW (Grava bien graduada) según la AASHTO un suelo granular A-2-6. Obteniendo para los tramos con arcilla bien graduada un Coeficiente de Uniformidad promedio de 7.51 y un Coeficiente de Curvatura promedio de 0.94. Para la muestra de Lastre un Coeficiente de Uniformidad de 8,63 y un Coeficiente de Curvatura de 1,40.
- c) Mediante el ensayo de Casagrande y el proceso de rolado se obtuvo que en las muestras de la sección 0-000, 9-000 y 15-000 corresponden a una arcilla de baja plasticidad se obtuvo un promedio de limite líquido de 37,18%, un promedio de limite plástico de 32,05% y un índice de plasticidad promedio de 5,13%. Mientras que en la muestra del Lastre corresponde a la grava o lastre, se obtuvo que el límite líquido es de 20,52%, el límite plástico es 22,73% y el índice plástico es negativo ya que el límite plástico es mayor que el límite líquido y por lo tanto es cero y esto

debido a que el suelo tiene un contenido de agua natural mayor que el límite líquido.

- d) Las muestras de la sección 0-000 y 15-000 presentan un porcentaje de humedad promedio de 34.37% y 35.02% respectivamente. En cambio, las muestras de la sección 9-000 tiene un gran contenido de humedad el cual es de 53.44%, mientras que la muestra de lastre presenta un porcentaje de humedad extremadamente bajo siendo este de 5.41%.
- e) El ensayo para determinar la densidad de las partículas finas en las muestras de la sección 0-000 es de 1,72g/cm³, en la sección 9-000 es de 1,83g/cm³, en la sección 15-000 es de 1,64g/cm³ y en la muestra de Lastre es de 1,95g/cm³.
- f) Mientras que el ensayo para determinar la densidad de las partículas gruesas se pudo obtener únicamente de la muestra de Lastre, dándonos una densidad de 2.41g/cm³.
- g) Mediante el ensayo de Proctor Modificado se obtuvo para la Sección 0-000 una densidad de 7,27g/cm³ y un porcentaje de humedad de 17,50%, para la Sección 9-000 una densidad de 7,70g/cm³ y un porcentaje de humedad de 18,00%, la Sección 15-000 una densidad de 6,05g/cm³ y un porcentaje de humedad de 18,50% y la muestra de Lastre una densidad de 10,73g/cm³ y un porcentaje de humedad de 9,00%.
- h) Mediante el ensayo del CBR en laboratorio se obtuvo un aumento considerable del CBR con la adición de 4% de cal en los suelos de arcilla. Pero el porcentaje óptimo para la muestra de Lastre es con la adición de cemento de 6% dándonos así un CBR de 16.79%. Obteniendo así que para las muestras de arcilla el uso del 4% de cal es la opción óptima, mientras que para la muestra de lastre el porcentaje de adición óptimo es de 6% cemento. Esta elección se puede corroborar mediante el cotejo del

MR (Módulo de Rigidez) antes y después de la adición de cal, ya que el MR de la muestra de arcilla con el 4% de cal aumenta promedio de 174.31%.

- i) El porcentaje óptimo de cal es de 4% para la arcilla de baja plasticidad encontrada en la subrasante de la vía Cascada de Puelazo - Bocatoma, mientras que el porcentaje óptimo de cemento para grava bien graduada encontrada en la subrasante de la vía de estudio es de 6% obteniendo un costo de \$ 359 100 y \$ 644 400, respectivamente.
- j) El material a utilizar en el mejoramiento de una subrasante dependerá de tipo de suelo que nos presente la misma, pero los beneficios que proporciona la estabilización de la subrasante desde el punto de vista técnico fue demostrado en esta investigación obteniendo un MR mejorado más del doble del inicial, pero también motivo por el cual el valor de mantenimiento es aplicable a los sectores rurales, considerando también que promueve una mayor presencia en la infraestructura vial, los costos por ejecución y mantenimiento vial son menores y pueden ser gestionados por las autoridades locales.
- k) Mediante el análisis de costos entre el lastrado convencional y la estabilización de la subrasante se obtuvo que, en 5 años, que es el tiempo de vida útil de la estabilización de la subrasante; con la estabilización con cal se obtiene un ahorro del 90.92%, mientras que con la estabilización a 10 años se obtiene un ahorro de 167.47%, todo esto respecto al lastrado convencional.

5.2.RECOMENDACIONES

- a) Se sugiere generar una base de datos de los tipos de vehículos, velocidades y gastos, respecto a la condición actual de la calzada, para considerar el lapso en el que se realizará el mantenimiento antes de realizar estabilización de la vía.
- b) Realizar investigaciones sobre la viabilidad de la estabilización de suelos con cal y cemento desde el punto de vista de la durabilidad de la subrasante de la vía.
- c) Implementar materiales alternativos que puedan reducir el costo de la estabilización.
- d) Realizar el análisis de la relación costo/beneficio de la Vía Cascada de Puelazo - Bocatoma desde el punto de vista económico.

BIBLIOGRAFÍA

- Análisis Del Tamaño de Las Partículas de Suelo (1998).
- Arizaga, J. (2014). *ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LAS CAUSAS POR LAS CUALES OCURRIÓ EL COLAPSO DE LA LOSA DE PISO DE LA CANCHA DEL PABELLÓN DE COMUNIDAD TERAPÉUTICA DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN SOCIAL (CRS) CUENCA Y SOLUCIÓN TÉCNICA DE LA PROBLEMÁTICA* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3632/1/10312.pdf>
- Asphalt, E.-. (2020). *Red Vial de Ecuador*.
- Badilla, G., & Elizondo, F. (2018). *Mejoramiento y estabilización de subrasantes con cal*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/371/09.pdf?sequence=1>
- Cárdenas, A., & Donoso, A. (2018). *Proposición de una Metodología Particular para obtener la Capacidad de Soporte para Suelos Granulares sin Curva Proctor Definida* [Universidad de Magallanes]. http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/cardenas_piucol_2008.pdf
- CONGOPE. (2019). *Plan de Desarrollo Vial Integral de la Provincia de Chimborazo*. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Chimborazo-plan-vial-integral.pdf>
- Dallas, N. L. (1999). *EVALUATION OF STRUCTURAL PROPERTIES OF LIME STABILIZED SOILS AND AGGREGATES VOLUME 1 : SUMMARY OF FINDINGS PREPARED FOR THE NATIONAL LIME ASSOCIATION: Vol. Vol. 1.*
- Elizondo, F., & Sibaja, D. (2015). Estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas. *Infraestructura Vial*, 21(41), 49–58. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2018/1984>

- Gallardo, R. (2021). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS DE ALTA PLASTICIDAD ESTABILIZADOS CON CEMENTANTES*.
<https://www.researchgate.net/publication/350017889>
- García, J. (2019). *ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE SUELO-CEMENTO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE VÍAS TERCIARIAS EN COLOMBIA QUE POSEAN UN ALTO CONTENIDO DE CAOLÍN*.
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/140c5ce1-5c92-4735-a9fd-69ed64b95d9e/content>
- Gavilanes, E. (2015). *Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur*.
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2191>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Quimiag. (n.d.).
- Granda, V. (2021). *RELACIÓN COSTO - BENEFICIO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS RURALES EN RIOBAMBA, MEDIANTE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO*. [Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7491>
- Hernández Francisco, A., López Lara, T., Hernández Zaragoza, J. B., & Horta Rangel, J. M. (2021). *Zeolita natural proveniente de Puebla como tratamiento de suelos de la región de Querétaro en vías terrestres: Efectos en su comportamiento plástico*. .
- HOLCIM. (2019). *Soluciones en Pavimentos Estabilizaciones Base Vial Ecoplanet*.
https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-06/holcim_fuerte.pdf
- Huezo, H., & Orellana, A. (2009). *GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR [UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR]*.
https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2138/1/Gu%C3%ADa_b%C3%A1sica_para_estabilizaci

%C3%B3n_de_suelos_de_cal_en_caminos_de_baja_intensidad_vehicular_en_El_Salvador.pdf

INEN. (1982a). *NTE INEN 691*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/691.pdf>

INEN. (1982b). *NTE INEN 692*.
https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_692.pdf

Instituto tecnológico de aeronáutica. (2018). *Pavimento Flexible (Partes que componen su estructura)*.

Mariño Rodríguez, I. H., & Salazar Noboa, G. F. (2008). *Sistema institucional de gestión de las carreteras de segundo orden del Ecuador, para disminuir costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos*.
<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2164>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013a). *VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, NEVI-12* (Patent Vol. 3). https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013b). *VOLUMEN N° 6 CONSERVACION VIAL*. Volumen 6. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_6.pdf

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *VOLUMEN N° 2-LIBRO A, NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES, NEVI-12* (Patent Vol. 2).
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

- Murad Y. Abu-Farsakh, Khalid Alshibli, Munir Nazzal, & Ekrem Seyman. (2004, May). ASSESSMENT OF IN-SITU TEST TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION CONTROL OF BASE COURSES AND EMBANKMENTS. *Louisiana State University and Southern University*, 1–145. http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/2008/fr_389.pdf
- Navarro, W. (2016). *MODELO DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN VIAL PARA LA RED VIAL RURAL DEL CANTÓN SANTO DOMINGO* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12450/MODELO%20DE%20GESTION%20DE%20CONSERVACION%20VIAL%2C%20PARA%20LA%20RED%20VIAL%20RURAL%20DEL%20CANTON%20SANTO%20DOMINGO.pdf?sequence=1>
- Perez, E. E. S., & Paternina, M. A. V. (2012). Correlacion Entre El Metodo Geogauge Del Cono De Arena Para Determinar La Densidad Del Suelo En El Campo. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1–99.
- Porter, M., & Valverde, J. (2017). *ESTUDIOS Y DISEÑOS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD DE LA CARRETERA LA TIRA-LA LIMA CURTINCAPAC CANTÓN PORTOVELO PROVINCIA DE EL ORO*. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/99051/D-CD70206.pdf>
- Quezada-Osoria, S. (2017). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON VALVAS DE MOLUSCOS PARA PAVIMENTACIÓN* [Universidad De Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3207/ICI_242.pdf

Toirac Corral, J. (2012). EL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *Ciencia y Sociedad Ciencia y Sociedad* , XXXIII(Num. 4), 520–571. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87012672003>

Yunga Silva, A. S. (2023). *Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.*

ANEXOS



https://unachedu-my.sharepoint.com/personal/mamejia_fic_unach_edu_ec/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fmamejia%5Ffic%5Funach%5Fedu%5Fec%2FDocuments%2FAnexos&ga=1