

**Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para
la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia**

Angie Lorena García Restrepo

Asesor:

Lizeth Alejandra Munévar Castellanos

Mg (C) en Manejo y Sostenibilidad Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios

Programa de Tecnología de Gestión de Obras Civiles y Construcciones

2022

Lizeth Alejandra Munévar Castellanos

Directora Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

2022

Dedicatoria

A mi familia por el apoyo incondicional durante todo el proceso académico.

A Marcos Urquina por su apoyo y colaboración durante la ejecución de mi formación académica.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y todo su cuerpo de docentes y colaboradores.

Resumen

Este documento tiene su enfoque en el estudio de las ventajas técnicas, económicas, ambientales y sociales que trae consigo la estabilización de suelos naturales en sitio con cal (como producto químico) en las vías terciarias y caminos rurales de Colombia, como técnica que permite el aprovechamiento de la subrasante existente, mediante la implementación de un tratamiento al suelo que mejora las características físicas, químicas y el comportamiento mecánico del mismo, lo cual garantiza una estructura con las condiciones técnicas requeridas para el uso de la vía en condiciones adecuadas de transitabilidad y vida útil estimada, además del beneficio que se evidencia en la reducción del trasiego de material en la zona y la explotación de fuentes aluviales para extracción de material pétreo.

Mediante la revisión bibliográfica y la interpretación desde el punto de vista técnico basada en la información de tipo documental con la que cuenta el país, considerando además los estudios de aplicación en distintos países que entregan elementos a tener en cuenta en dicha práctica, posteriormente se consideran las principales ventajas de tipo estructural, económico y ambiental al poner en práctica la aplicación de este método constructivo en las vías terciarias de Colombia.

Palabras clave: cal, suelo, estabilización, vía, capacidad.

Abstract

This document has its focus on the study of the technical, economic, environmental and social advantages that the gravel of natural soils in situ with lime (as a chemical product) brings in the tertiary roads and rural roads of Colombia, as a technique that allows the use of the existing subgrade, through the implementation of a soil treatment that improves its physical, chemical and mechanical behavior, which guarantees a structure with the technical conditions required for the use of the road in adequate conditions of passability and estimated useful life, in addition to the benefit that is evidenced in the reduction of the transfer of material in the area and the exploitation of alluvial sources for the extraction of stone material.

Through the bibliographic review and the interpretation from the technical point of view based on the documentary information that the country has, also considering the application studies in different countries that provide elements to be taken into account in said practice, later it is considered the main structural, economic and environmental advantages when putting into practice the application of this construction method in the tertiary roads of Colombia.

Keywords: lime, soil, stabilization, road, capacity.

Contenido

Lista de Tablas.....	12
Lista de Figuras	13
Introducción.....	16
Marco Conceptual.....	18
Problema	22
Justificación.....	26
Objetivos	28
Objetivo General	28
Objetivos Específicos	28
Marco Legal	29
Marco Espacial	33
Ubicación	33
Límites del municipio.....	34
Población	35
Número de viviendas.....	35
Geografía	35
Economía	35
Sector Pecuario.....	36
Sector Agrícola.....	36

Geología Económica	37
Vías de comunicación.....	38
Red Nacional Primaria	38
Red Nacional Secundaria	38
Red Nacional Terciaria.....	39
Tramo a estabilizar	40
Estado Actual de las Vías Terciarias Departamento de Huila	43
Concesión Neiva – Espinal – con destino a Girardot.....	44
Transversal del Libertador (Popayán – La Plata).....	45
Corredor del Paletará (Popayán– Paletará– Isnos).....	46
Transversal de La Macarena	46
Proyecto Neiva Girardot.....	47
Proyecto Santana-Mocoa-Neiva.....	48
Red Terciaria.....	49
Inversión Económica del Estado.....	55
Estabilización de Suelos.....	63
Antecedentes de la Estabilización de Suelos con Cal	63
Uso de la Cal	65
Características Físicas	66
Características Químicas	67

Tipos de Cal	67
Cales Aéreas	67
Parámetros Normativos de la Estabilización con Cal en Colombia.....	69
¿Cómo Trabaja la Cal al Entrar en un Proceso de Estabilización?	71
Diseño del Material a Estabilizar	72
Aplicación de la Cal	74
Preparación del Suelo	74
Distribución y Humectación de la Cal.....	75
Equipos Distribución de Cal Vía Seca	77
Equipos Distribución de Cal Vía Húmeda	77
Compactación de la Superficie	78
Beneficios del Proceso de Estabilización con Cal.....	81
Beneficios Constructivos	81
Granulométrico	81
Plasticidad.....	83
Estabilidad Volumétrica	84
Beneficios Estructurales	86
Capacidad de Soporte.....	86
Resistencia a la Compresión.....	92
Características Mecánicas	95

Beneficios de Durabilidad	96
Resistencia	96
Pérdida de Masa Acumulada	97
Esfuerzo vs Deformación	99
Beneficios Ambientales	100
Componente Geosférico	101
Paisaje	101
Geoformas	101
Aguas Subsuperficiales	102
Componente Atmosférico	102
Componente Biótico	102
Costos Asociados a la Construcción de Vías Terciarias	104
Inversión Económica Previa	104
Diagnóstico Técnico	104
Estudio Topográfico	105
Estudio de Suelos	106
Estudio de Tránsito	107
Diseño Geométrico de la Vía	108
Estudio Hidrológico	109
Diseño Hidráulico	109

Gestión Predial.....	110
Manejo Ambiental.....	110
Costos de Ejecución	110
Presupuesto del Proyecto.....	111
Costos de Operación y Mantenimiento	116
Mantenimiento de Tipo Preventivo.....	116
Mantenimiento de Tipo Periódico	116
Mantenimiento de Tipo Correctivo.....	117
Beneficios Económicos Estabilización con Cal.....	118
Conclusiones	128
Recomendaciones	130
Referencias	131

Lista de Tablas

Tabla 1. Vías Secundarias Palermo Huila	38
Tabla 2. Vías Terciarias Municipio Palermo.....	39
Tabla 3. Tiempos de Traslado hacia Municipios Aledaños	40
Tabla 4. Red Vial de Tercer Orden Departamento Huila.....	50
Tabla 5. Convenios Solidarios Mantenimiento Rutinario 2021	55
Tabla 6. Convenios INVIAS – Municipios 2021	60
Tabla 7. Ventajas e Inconvenientes Tipos de Cal	68
Tabla 8. Requisitos de Suelos de Subrasante	69
Tabla 9. Características Cal Hidratada.....	70
Tabla 10. Requisitos del Agua no Potable	71
Tabla 11. Costos por Maquinaria y Equipos Utilizados.....	118
Tabla 12. Costos Totales de Intervención	119
Tabla 13. Maquinaria Empleada.....	120
Tabla 14. Costo (€/m ²).....	121
Tabla 15. Costo de Suelos Procedentes de Áreas de Préstamo	122

Lista de Figuras

Figura 1. Red Vial Terciaria en Buenas Condiciones 2016-2017	22
Figura 2. Red Vial Terciaria en Malas Condiciones 2016-2017	23
Figura 3. Sección Típica de Vía Mejorada	24
Figura 4. Ubicación Municipio de Palermo.....	33
Figura 5. Municipio de Palermo	34
Figura 6. Vías de Comunicación Palermo Huila.....	37
Figura 7. Tramo de Vía Guasimos – Chapinero	41
Figura 8. Proyectos Viales Departamento Huila	47
Figura 9. Proyecto Santana-Moca-Neiva.....	49
Figura 10. Mantenimiento Rutinario 2021	56
Figura 11. Mantenimiento Rutinario Vías Terciarias.....	56
Figura 12. Mantenimiento Vía Vereda La Cumbre	57
Figura 13. Mantenimiento Vía Arrayanes - Bordones	57
Figura 14. Mantenimiento Vía Vereda San Isidro	59
Figura 15. Mantenimiento Vía San Adolfo	59
Figura 16. Mantenimiento Puente Tramo Vía Ruta 45 – Guacamayas.....	61
Figura 17. Procedimiento de Diseño del Material con Cal	73
Figura 18. Distribución de Cal Manual Vía Seca	75
Figura 19. Extendido de Cal Vía Seca con Motoniveladora	76
Figura 20. Dosificadores de Conglomerante	77
Figura 21. Equipos de Dosificación Vía Húmeda.....	78
Figura 22. Compactador Neumático	79

Figura 23. Disminución del Contenido de Finos	81
Figura 24. Cambios en las Fracciones Granulométricas de Distintos Suelos.....	82
Figura 25. Variación de la Plasticidad.....	83
Figura 26. Índice de Plasticidad Calicatas 1 y 2	84
Figura 27. Hinchamiento Libre.....	85
Figura 28. Curva de Esponjamiento Suelo Estabilizado	86
Figura 29. Calicata 01 CBR Cal Viva.....	87
Figura 30. Calicata 02 CBR Cal Viva	88
Figura 31. Curva de Compactación de Suelo Natural	89
Figura 32. Curva de Compactación 2% Cal	89
Figura 33. Curva de Compactación 4% Cal	90
Figura 34. Curva de Compactación 6% Cal	91
Figura 35. Resistencia a Compresión	92
Figura 36. Comportamiento del Esfuerzo Compresivo	93
Figura 37. Resistencia a la Compresión Suelo Estabilizado.....	94
Figura 38. Densidad vs Porcentaje de Cal	95
Figura 39. Absorción vs Porcentaje de Cal	96
Figura 40. Cociente de Resistencia	97
Figura 41. Pérdida de Masa Acumulada 17KN/m ³	98
Figura 42. Pérdida de Masa Acumulada 18KN/m ³	98
Figura 43. Esfuerzo vs Deformación.....	99
Figura 44. Tipología Vehicular en Aforos.....	107
Figura 45. Proceso Constructivo Vías Terciarias.....	112

Figura 46. Pavimento Rígido	114
Figura 47. Estructura Pavimento Rígido	114
Figura 48. Porcentajes Estimados AIU	115
Figura 49. Costos Estimados Mantenimiento de Vías Terciarias	117
Figura 50. Precios Unitarios Subbase Granular	123
Figura 51. Precios Unitarios Base Granular	124
Figura 52. Precios Unitarios Carpeta Asfáltica.....	124
Figura 53. Presupuesto Suelo Natural	125
Figura 54. Presupuesto Suelo Estabilizado con Cal.....	125
Figura 55. Costos Anuales de Usuarios (Valores Millones de Pesos)	126
Figura 56. VPN Alternativas de Estabilización	127

Introducción

El presente documento relaciona los beneficios que presenta la estabilización de un suelo con una dosificación específica de cal (suelo-cal) como un método innovador y de mejora en los procesos de intervención, mejoramiento y construcción de vías de tercer orden o terciarias ubicadas en el departamento del Huila a través de la descripción de beneficios estructurales, de durabilidad, ambientales y económicos que repercuten en el desarrollo de proyectos e inversión de carácter nacional.

La característica principal del análisis plasmado en el informe corresponde a la obtención de información documental a través de proyectos y estudios realizados en diferentes países que permitan generar conceptos claros de beneficio que tiene la cal como conglomerante en la mejora de las capacidades estructurales del suelo que lo hacen ser más competente como estructura de subrasante repercutiendo esto en vías con mayor serviciabilidad y vida útil.

“La cal más usada en las estabilizaciones es la hidratada, su efecto básico es la constitución de silicatos de calcio que se forman por acción química de la cal sobre las arcillas, para ser compuestos cementadores” (Juan de Dios Salazar, 2018, pág. 16).

Jian et al (2019) argumentan que la cal hidratada se debe usar ampliamente como un aditivo en las carpetas debido a sus efectos beneficiosos en términos de resistencia al daño por humedad (pág. 302).

Con el fin de analizar los beneficios de tipo estructural se observaron estudios realizados y se llegaron a conclusiones a partir de los efectos y hallazgos encontrados, desde la relación costo-beneficio, se analizó los casos de estudio aplicados en el país, con el fin de obtener valores

símiles a los actuales y el análisis ambiental a partir de estudios de impacto ambiental desarrollados en centros de investigación.

Marco Conceptual

El suelo como material corresponde a la unión de partículas sólidas, material líquido (agua) y componente gaseoso (aire). Las propiedades mecánicas y las condiciones propias de cada suelo permiten al profesional encargado del diseño de las estructuras a soportar en el mismo, considerar tres grandes problemas: el primero es el estado de ruptura o falla (relacionado con las condiciones de soporte de la estructura), el segundo, es el estado límite de servicio (relacionado con los hundimientos totales y diferenciales a los que se verá sometida la estructura a considerar) y el flujo o circulación de agua que influye en el comportamiento ante cargas (Pacheco & Pérez, 2017).

Las arcillas están definidas como un grupo de minerales consideradas como caolinita, illita y montmorillonita, formadas en estructuras octaédricas y tetraédricas. La arcilla al igual que el humus poseen características de tipo coloidal con diámetros menores a 2 micras. Mineralógicamente las arcillas corresponden a cristales que tienen sus átomos dispuestos en planos (Escobar & Escobar, 2002).

Se consideran los suelos arcillosos como adecuados para hacer estabilizaciones con cal porque las arcillas poseen gran capacidad de intercambio entre los iones que las conforman, de igual manera facilitan el intercambio de iones, lo que posibilita el equilibrio de cargas eléctricas libres en su estructura (Escobar & Escobar, 2002).

La cal corresponde a una sustancia alcalina constituida por óxido de calcio, de color blanco o blanco grisáceo, que al contacto del agua se hidrata o se apaga, con desprendimiento de calor, y mezclada con arena forma la argamasa o mortero (RAE, 2021).

“La estabilización de suelos arcillosos con cal es un proceso permanente, no reversible, mediante el cual se transforman químicamente las partículas de arcilla, creando una estructura relativamente impermeable con mayor capacidad de carga” (Caltek, 2021).

“La proporción de los componentes presentes en el suelo determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia” (Pacheco & Pérez, 2017, pág. 17).

La estabilización de suelos con cal mejora la capacidad de carga del suelo, definida como la resistencia que ofrece el suelo a deformarse, debido a la fuerza de fricción y cohesión entre sus partículas, así como la capacidad portante del mismo, la cual permite soportar las cargas aplicadas sobre él (Universidad Nacional Francisco de Miranda, 2015, pág.3).

“La capacidad portante se puede definir como la máxima presión que es capaz de resistir el suelo en el nivel de fundación sobre el cual se construirá” (Universidad de la Salle, 2020, pág. 45).

“Las vías terciarias se definen como aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como terciarias deben funcionar en afirmado” (INVIAS, 2018, pág. 5).

Actualmente las vías clasificadas como de tercer orden o terciarias están en muy mal estado a lo largo del territorio nacional, estabilizar los suelos con cal permite mejorar las condiciones de estos, sin embargo, deben construirse estructuras que permitan el drenaje, las cuales deben redirigir el exceso de agua superficial presente en la carretera y redistribuir la red de drenaje natural que circula en la zona de la construcción de la vía, a fin de drenar el flujo de agua (INVIAS, 2018).

El pavimento se define como el conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos (INVIAS, 2018, pág.6).

“Pavimento flexible es el tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado” (INVIAS, 2018, pág.7).

“El pavimento rígido es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido” (INVIAS, 2018, pág. 7).

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de un árido. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de árido se separan estos mediante cedazos o tamices. La fracción granulométrica es la cantidad de árido que pasa por un tamiz y queda retenido en otro, los ajustes granulométricos consisten en ajustar la granulometría de un árido a un huso granulométrico (Universidad de Alicante, 2009, pág. 1).

La plasticidad del suelo se expresa con el porcentaje del peso en seco de la muestra de suelo, e indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico. En general, el índice de plasticidad depende sólo de la cantidad de arcilla existente e indica la finura del suelo y su capacidad para cambiar de configuración sin alterar su volumen (FAO, 2022, pág. 3).

La capacidad de carga de un suelo está en función de su comportamiento ante fuerzas de corte ejercidas sobre él, la resistencia interna que presenta el suelo ante fuerzas de corte externas está relacionada con la presencia de cargas de tipo normal ejercidas sobre el mismo y las propiedades con las que este cuenta, una presión ejercida de manera directa sobre una masa de suelo en un área específica tiende a generar una falla debido a la baja cohesión de las partículas que conforman el mismo (Nij Patzán, 2009).

La resistencia al corte del suelo puede definirse como la resistencia a los esfuerzos de corte y una tendencia consecuente a la deformación por corte. El suelo deriva su resistencia al corte de la resistencia debido al enclavamiento de partículas, resistencia a la fricción entre los granos individuales del suelo y la adhesión entre partículas del suelo o cohesión (Geología web, 2022, pág. 1).

La compactación del suelo es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y, en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. Su objetivo es el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo (UNAM, 2019, pág. 2).

La estabilización volumétrica de suelos se logra mediante distintos métodos: aplicando cargas que equilibren la expansión del suelo, utilizando geomembranas que impiden el paso del agua y finos, así como apoyando la estructura de la vía a niveles de profundidad que impidan el contacto directo con el nivel freático del suelo y modificando las características de la arcilla través de métodos químicos como la dosificación de cal con el fin de lograr una masa rígida y granular (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2009).

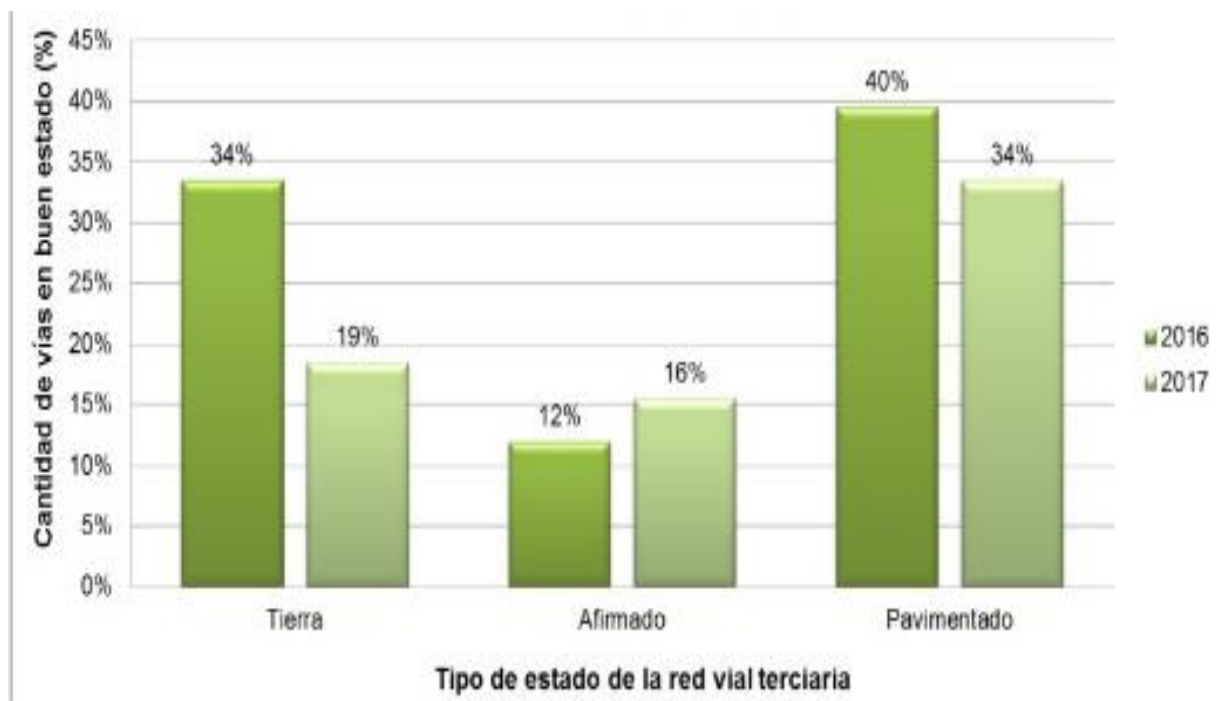
Problema

La carencia de malla vial en Colombia en vías de tercer nivel o terciarias, corresponde alrededor del 94%, para agosto del año 2020 se contaba con 17.000km de vías primarias, 44.000km de vías secundarias y aproximadamente 142.000km de vías de tercer orden, de estas últimas solo el 6% se encontraban en condiciones de transitabilidad adecuadas (INVIAS, 2018).

Según la información suministrada a través del Ministerio de Transporte Nacional en el año 2016 y 2017, el estado de las vías terciarias corresponde a lo mostrado en la figura 1 y figura 2, respectivamente:

Figura 1

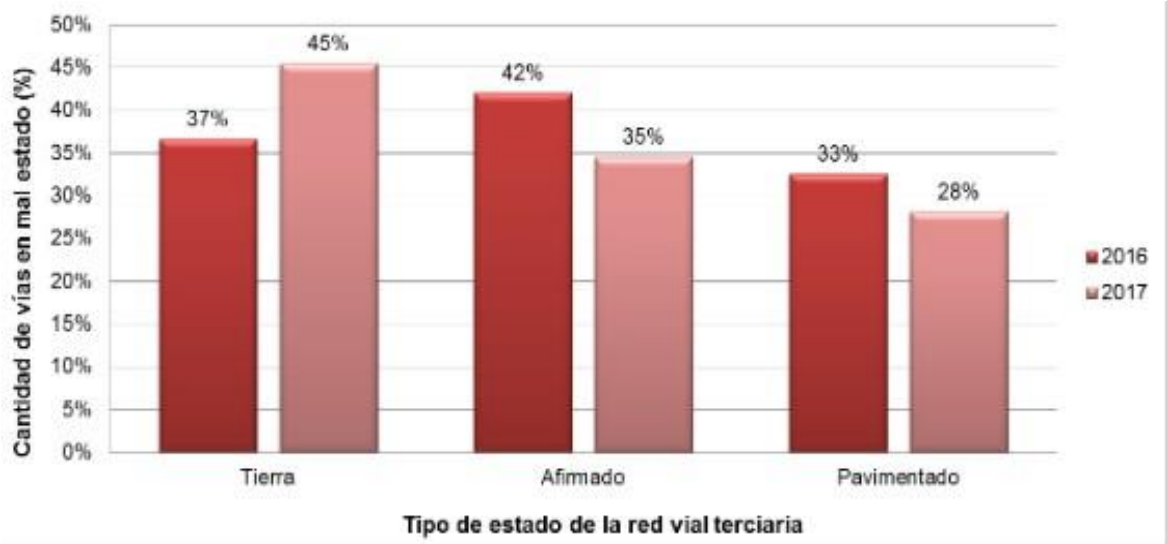
Red Vial Terciaria en Buenas Condiciones 2016-2017



Fuente: adaptada de Red Vial Terciaria en Buenas Condiciones, de Ministerio de Transporte, 2016, Documento CONPES 3857.

Figura 2

Red Vial Terciaria en Malas Condiciones 2016-2017



Fuente: adaptada de Red Vial Terciaria en Malas Condiciones, de Ministerio de Transporte, 2016, Documento CONPES 3857.

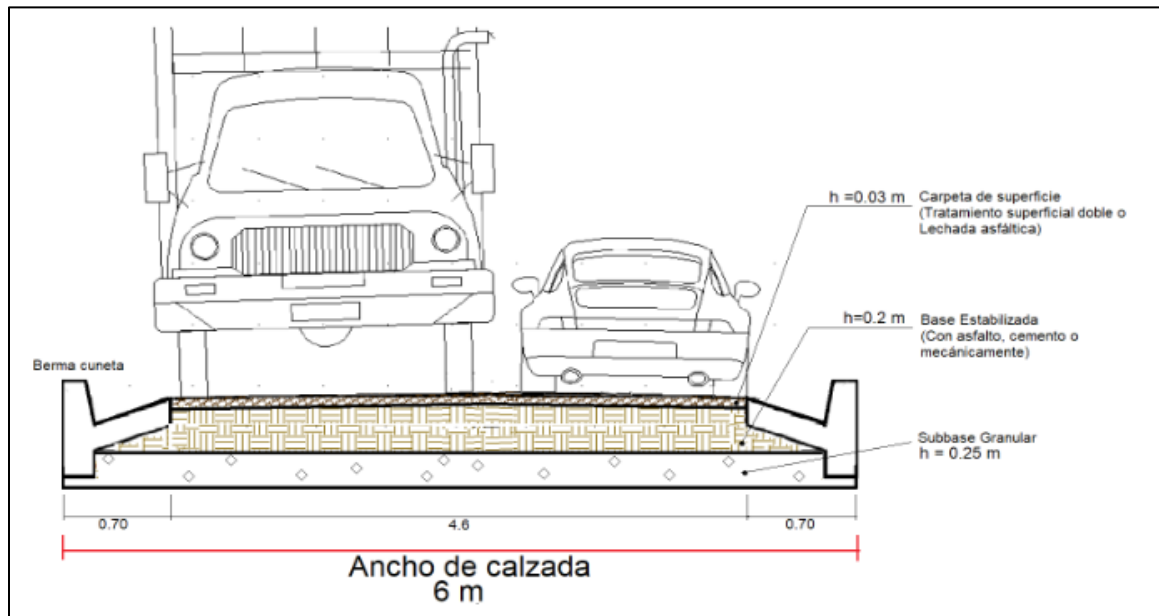
El Ministerio de Transporte (2021) establece que sólo el 34% de la malla vial terciaria del país construida en pavimento asfáltico se encuentra en buen estado, de igual manera, el porcentaje de vías construidas en afirmado que se encuentran en buen estado corresponde sólo al 16% y las vías de tercer nivel construidas en material o suelo natural sólo el 19% se encuentra en buen estado, esto demuestra la mala calidad de la malla vial terciaria en el país, la cual por falta de apoyo e inversión económica estatal refleja estos pésimos indicadores en calidad vial.

Los costos de ejecución asociados a la construcción de una vía terciaria de un (1) kilómetro de longitud con la implementación de diferentes alternativas (considerando una sección típica como se muestra en la figura 3) se estima en promedio un costo entre \$765.000.000 y \$845.000.000. Los costos de operación y mantenimiento de un (1) kilómetro de

vía terciaria mejorada corresponden aproximadamente a \$4.066.000 /anual (Departamento Nacional de Planeación, 2014, pág. 18).

Figura 3

Sección Típica de Vía Mejorada



Fuente: adaptada de Sección de Vía Mejorada del Departamento Nacional de Planeación, 2018, Proyectos Tipo Mejoramiento de Vías Terciarias.

Ante el estado actual que presenta las vías terciarias del país, se evalúa por parte de la entidad INVIAS y la Universidad del Cauca, alternativas constructivas de vías, que permitan realizar el proceso de construcción de manera eficiente y efectiva, que no demande de una elevada inversión económica, de tal modo, que permita la intervención óptima de un mayor tramo de kilómetros de vía en mal estado con la misma cantidad de recursos, entre las técnicas estudiadas, destaca la estabilización de los suelos en sitio mediante empleando cal de tipo industrial, dado que permite durante la ejecución del proceso constructivo y posterior a este,

mejorar las características estructurales y de durabilidad que posee el suelo existente a través del uso de un método químico.

Justificación

Colombia es un país que presenta deficiencias en su red vial, en la actualidad, sólo el 30% de su malla vial se encuentra pavimentada y en condiciones adecuadas de tránsito. La preocupación de los últimos gobiernos por esta situación, ha permitido reconocer las dificultades que tienen a diario los campesinos colombianos para sus desplazamientos y el transporte de los productos derivados de la agricultura por los corredores viales del territorio nacional, esta situación es una limitante al desarrollo del país, teniendo en cuenta que la carencia de vías rurales ha dificultado a pequeños y medianos productores la venta de sus cosechas lo cual ha desincentivado el crecimiento de tipo local, regional y nacional en este importante renglón económico (INVIAS, 2018).

El uso de cal al mezclarse con suelos arcillosos gracias a una reacción rápida permite reducir la plasticidad del suelo, mejorando la compactabilidad del mismo y aumentando su capacidad de soporte, la resistencia aumentará a medida que transcurre el tiempo y la temperatura a medida que los compuestos químicos crean adhesión entre las partículas del suelo, con esta condición se puede permitir el tráfico de obra de manera inmediata (IECA, 2008). (Palermo, 2017)

Teniendo en cuenta el estado de la malla vial del país, es necesario plantear metodologías que permitan solucionar este problema, se hace imprescindible la búsqueda de formas constructivas que logren mejorar el estado de las vías rurales ya existentes con técnicas o tecnologías que se enfoquen en la eficiencia, funcionalidad y seguridad de los usuarios, dentro de las posibles alternativas constructivas se plantea una que no está muy desarrollada en el país, pero que es una excelente apuesta para dar respuesta a esta dificultad; la estabilización de suelos existentes con cal (ARGOS, 2020). En esta monografía se darán a conocer las ventajas que se

tienen en cuanto a su proceso constructivo, funcionalidad, durabilidad, impacto ambiental, social y económico.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la estabilización de los suelos mediante el uso de cal como alternativa para mejorar el estado de las vías terciarias y rurales del país.

Objetivos Específicos

Identificar la situación que en la actualidad presentan las vías terciarias en el departamento del Huila según información suministrada por entidades estatales.

Describir las ventajas de hacer estabilización de suelo con cal a partir del terreno natural, teniendo en cuenta los aspectos constructivos, ambientales, estructurales y de durabilidad.

Definir los beneficios económicos que trae consigo la aplicación de la estabilización de suelos con uso de cal como mejora constructiva en las vías terciarias y caminos rurales del país.

Marco Legal

El marco legal en el cual se rige la construcción de vías terciarias en el país inicia con la constitución política de Colombia y se extiende hasta el año 2017:

20 de julio de 1991. El artículo 36 enmarcado en la Constitución Política de Colombia.

Ley 99 de 1993. La cual autoriza en predios de propiedad privada la construcción de vías y explanaciones.

Ley 105 de 1993. La cual define el perímetro que debe tener el transporte y el tránsito por las vías del territorio colombiano.

Decreto 1735 de 2001. Allí se fija la Red Nacional de Carreteras del país que estará a cargo de la entidad INVIAS y se adopta el plan de expansión que contempla esta red.

Resolución 9000 de 2001. Permite adoptar los formularios y manuales empleados en la evaluación de proyectos que se basan en metodologías que buscan viabilizar la construcción de vías.

Ley 769 de 2002. Permite crear y expedir el Código Nacional de Tránsito Terrestre.

Decreto 2053 de 2003. Permite modificar la estructura del actual Ministerio de Transporte Nacional.

Ley 1083 de 2006. Establece las normas sobre las cuales regirá la planeación urbana sostenible en los territorios nacionales.

Resolución 3288 de 15 de agosto del año 2017. En esta se actualiza de manera oficial las especificaciones generales usadas en la construcción de carreteras que deben ser de obligatorio cumplimiento y empleadas en los contratos de obra del INVIAS.

Ley 1228 de 2008. Establece esta ley las áreas conocidas como de exclusión que hacen parte de la red nacional de carreteras, además se origina con esta ley el sistema encargado de integrar toda la información que hacen parte de los proyectos de la red vial nacional.

Resolución 2944 del 13 de junio del año 2008. En esta se establecen las condiciones mínimas de obligatorio cumplimiento en la viabilización de aquellos proyectos objetos de inversión en infraestructura vial con los recursos dispuestos en el Sistema General de Regalías.

Resolución 744 creada el 04 de marzo del año 2009. Se adopta el Manual de Diseño Geométrico usado para carreteras elaborado por el INVIAS, como norma técnica de obligatorio cumplimiento en los proyectos ejecutados en la red vial nacional.

Decreto 798 de 2010. Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 1083 de 2006.

Decreto 2976 de 2010. Modificación de la Ley 1228 de 2008.

Ley 1682 de 2013. Por la cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos enmarcados en transporte e infraestructura vial.

Resolución 1049 del año 2013. Allí los proyectos de la red vial nacional que hacen parte del sistema de carreteras, adoptan el manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas creado por el INVIAS, como norma técnica de obligatorio cumplimiento.

Resolución 716 del año 2015. Allí se permite establecer el proceso creado con el fin de tramitar los permisos requeridos para uso, la ocupación y la intervención de tipo temporal de la red vial del país.

Resolución 4401 del 17 de octubre del año 2017. Se adopta a través del Ministerio del Transporte la guía que tiene como objeto el diseño de pavimentos de tipo placa huella para vías terciarias.

Resolución 10099 creada el 27 de diciembre del año 2017. El Ministerio del Transporte Nacional adopta las “especificaciones particulares de construcción como alternativa de pavimentación utilizando Asfalto Natural en vías con bajos volúmenes de tránsito, categoría NT1”, elaborado en el Instituto Nacional de Vías.

Las especificaciones técnicas elaboradas por el INVIAS en la construcción de vías terciarias, a considerar son:

El Artículo 236-13, que tiene como objeto determinar las especificaciones aplicables al mejoramiento de la subrasante del suelo mediante su mezcla con cal hidratada.

Art.311-13 Afirmado: determina las especificaciones relacionadas con el adecuado suministro, el transporte, la colocación y la debida compactación del material en la subrasante o puesto sobre otro material existente.

INV E-122-13 el cual establece las especificaciones en la determinación de la humedad del suelo, es decir, su contenido de agua.

I.N.V.E-123-07: Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

I.N.V. E-123-13: Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.

I.N.V.E-125-13: Determinación del límite líquido de los suelos.

I.N.V.E-126-13: Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

I.N.V.E-141-13: Relaciones de Humedad- Peso unitario seco en los suelos - Ensayo Normal para medición de la compactación.

I.N.V. E-148-13: Ensayo de CBR o relación de soporte de la masa de suelo.

I.N.V.E-218-13: Determina las especificaciones relacionadas con la resistencia que presentan los agregados ante condiciones de desgaste, de los agregados menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.

INV E-601-13: Especifica la tasa en la dosificación de la cal que debe emplearse en la estabilización de una masa de suelo mediante su medida de PH.

INV E-605-13: Especifica la medida de la resistencia que debe tener la masa de mezcla suelo-cal ante esfuerzos de compresión inconfiada.

Marco Espacial

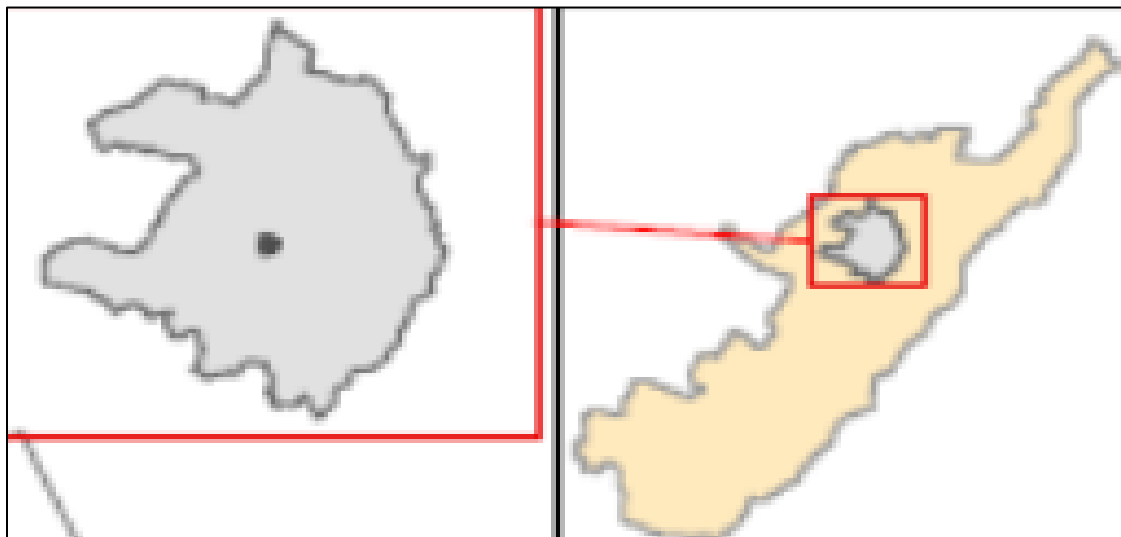
Esta monografía está orientada en el mejoramiento de las vías terciarias del municipio de Palermo Departamento del Huila, el cual presenta las siguientes características geográficas, económicas y de conectividad vial:

Ubicación

El municipio de Palermo está ubicado en el noroccidente del departamento de Huila, hace parte de la región Andina, localizado en el alto del Valle del Magdalena al oriente de la cordillera central. Hace parte de la región Subnorte del departamento, como se observa en la figura 4 y figura 5, respectivamente (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 5).

Figura 4

Ubicación Municipio de Palermo



Fuente: adaptada de Ubicación de los Hogares Municipio de Palermo, de Secretaría Local de Salud, 2017, Análisis de la Situación de Salud del Municipio de Palermo 2017.

Figura 5*Municipio de Palermo*

Fuente: adaptada de Mapas Municipio de Palermo, de Alcaldía Municipal Palermo Huila, 2022.

Límites del municipio

El Municipio de Palermo Huila, limita al norte con el municipio de Neiva y Planadas, al sur con Yaguará y Teruel, al oriente con Rivera, Campoalegre, Neiva y al occidente con Santa María y Neiva. Cuenta con una extensión total: 92.288510 km², comprendida entre extensión área urbana: 13.889 km² y extensión área rural: 78.400 km² (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 7).

El municipio presenta temperaturas que oscilan entre los 15 °C en las zonas de las cordilleras y 27 °C para las zonas bajas, la cual corresponde a los valles del río Magdalena, Baché. El casco urbano presenta una temperatura promedio de 26 °C (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 7).

Población

El municipio de Palermo cuenta con una población de 33.825 habitantes, de los cuales, 16.371 habitantes se encuentran en la cabecera municipal y 17.454 habitantes en el área rural del municipio, de igual manera, la población está dividida en 16.514 hombres y 17.311 mujeres que conforman la población total (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 8).

Número de viviendas

“El municipio de Palermo presenta un número 6.909 viviendas, 2.783 el 40.3% están ubicadas en el área urbana y 4126 (59.7%) están ubicadas en el área rural” (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 8).

Geografía

Topográficamente en el territorio se distinguen cuatro regiones diferentes que van de Sur a Norte: al Occidente una zona montañosa correspondiente a la vertiente oriental de la cordillera central, luego un valle en donde está la cabecera municipal, a continuación, un cordón de cerros graníticos y por último al Oriente una planicie perteneciente al Valle del Magdalena (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 9).

“Se destacan como accidentes orográficos las cuchillas Cebador y San Miguel y los Cerros Cajón, Hato Viejo e Indio Estancado. Sus suelos son regados por las aguas de los ríos Baché, Magdalena, Tune y Yaya” (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 9).

Economía

El sector primario del municipio de Palermo comprende la extracción de hidrocarburos, así como piedra caliza, minerales como el oro, extracción de materiales para la construcción,

además de la producción pecuaria y de tipo agrícola. En el renglón de tipo secundario lo componen los procesos de extracción de piedra dolomita, caliza y mármol; de igual se hallan empresas de hidrocarburos (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 10).

Al renglón terciario pertenecen actividades propias de establecimientos como tiendas de barrio y restaurantes ubicados en zona rural. En la zona urbana de las veredas del Juncal, Ospina y Betania se encuentran cafeterías, billares, panaderías y cantinas. En Ambroco la actividad económica se refleja en la ocupación hotelera y restaurantes, así como instituciones de servicios en la región (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 10).

Sector Pecuario

Palermo se encuentra localizado en una zona de clima cálido, la cual varía entre 460 m y 1.200m ubicado sobre el nivel de referencia del mar. Entre las actividades del sector se encuentran la ganadería de tipo bovina, la agricultura a gran escala, y los cultivos de peces, así como la porcicultura (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 11).

Sector Agrícola

En el municipio está representada la economía en los siguientes cultivos de mayor a menor importancia: sembradíos de arroz, y de gran importancia el café, en menor medida se siembra plátano, banano y variedad de frutales (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 11).

Los cultivos más importantes son el de café y arroz (principal renglón económico agrícola) facilitan involucrar al entorno agrícola formal y económico a pequeños y menores productores de la región y campesinos encargados de generar réditos económicos a la comunidad y empleo de tipo formal (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 11).

Geología Económica

Palermo, Huila cuenta con canteras donde se extraen materias primas como el mármol, y piedra caliza usada en la elaboración de variedad de productos químicos e industriales para el sector construcción y agrícola como la cal y el cemento. Las areniscas de la región provenientes de las formaciones cretácicas contienen yacimientos de petróleo, el cual es extraído de manera extensiva en la región, además se extraen yacimientos de oro y baritina (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 11).

Las vías de ingreso al municipio de Palermo se detallan en la figura 6.

Figura 6

Vías de Comunicación Palermo Huila



Fuente: adaptada de Imagen Satelital Municipio Palermo Huila, de Google Maps, 2022.

Vías de comunicación

Red Nacional Primaria

La vía principal comprende la zona urbana desde el sitio conocido como Amborco (2.48km) construida en pavimento flexible la cual se encuentra en buen estado, ofrece conexión directa con la capital del país y la región andina, así como la capital, Neiva (Gobernación del Huila, 2022).

Red Nacional Secundaria

La categoría 2: Departamental – Secundarias, se detallan en la tabla 1.

Tabla 1

Vías Secundarias Palermo Huila

Vía	Longitud (km)
Neiva (capital del departamento) – municipio de Palermo	19
vía a vereda Teruel	19
vía desde el sitio conocido como Juncal Betania hacia la vereda Yaguará	48
hacia Guácimos	15
desde Guácimos pasando por los sitios como Aleluya - La Lupa - El Dorado - Lindosa - Buenos Aires - El Carmen y Alto Pinares	50
hacia Betania en el punto conocido como Nazaret	27
vía desde Porvenir hacia la capital Neiva	25
desde el punto conocido como La Goleta hacia la capital Neiva	22
vereda Triunfo hacia Santa María	35
Ospina - Corozal – Guadualito- Sta. María	7,9
sitio conocido como Tres Esquinas hacia la vereda Sta. María	7,0

Fuente: adaptada de Tiempo de Traslado, de Secretaría Local de Salud, 2017, Análisis de Situación de Salud con el Modelo de Determinantes Sociales de Salud Municipio de Palermo 2017.

Red Nacional Terciaria

La Categoría 3 está compuesta por las vías terciarias, según se detalla en la tabla 2.

Tabla 2

Vías Terciarias Municipio Palermo

Vía	Longitud (km)
vía El Refugio hacia Santa Bárbara en Cuisinde	3
de Corozal al mirador	5,3
de Mirador al sitio conocido como Lindosa	4,0
vereda Aleluya hacia Piñuelo	9
desde El Vergel hacia Chaparral	7
Sito La Lupa a La Julia	7,7
desde Vergel hacia San Luis	5
de Paraíso a Bajo San Pedro	8
desde San Gerardo hacia Los Pinos	2,1
de San Gerardo al Alto de San Gerardo	2,4
vía Los Pinos al sitio El Cedral	1
vía Los Pinos hacia la vereda El Diamante	2
desde Partidero al sitio Farfán	6,8
desde El Carmen hacia El Roble	9,1
vía Las Juntas a La Julia	3
vía Alto Pinares a El Roble	4,5

Fuente: adaptada de Tiempo de Traslado, de Secretaría Local de Salud, 2017, Análisis de Situación de Salud con el Modelo de Determinantes Sociales de Salud Municipio de Palermo 2017.

La tabla 3 representa los desplazamientos y tiempos de traslado entre el municipio de Palermo y los municipios aledaños.

Tabla 3

Tiempos de Traslado hacia Municipios Aledaños

Ubicación	Límite	Distancia (km)	Transporte	Estimación tiempo de traslado	
				horas	minutos
Palermo	Rivera	47	terrestre	0	45
Palermo	Santa María	21	terrestre	0	36
Palermo	Teruel	21	terrestre	0	23

Fuente: adaptada de Tiempo de Traslado, de Secretaría Local de Salud, 2017, Análisis de Situación de Salud con el Modelo de Determinantes Sociales de Salud Municipio de Palermo 2017.

Tramo a estabilizar

La estabilización del tramo de la vía terciaria comprende desde el punto referido como los Guasimos del municipio de Palermo que conduce al corregimiento de Chapinero municipio de Neiva.

Esta vía tiene una longitud de 65km relacionada en la figura 7, está ubicada en el noroccidente del departamento del Huila, cuenta con vía existente en afirmado en mal estado, no

cuenta con capa de rodadura en asfalto, el desplazamiento actual puede tardar entre 6 y 10 horas debido a las malas condiciones en que se encuentra (Alcaldía Palermo Huila, 2022, pág. 15).

Figura 7

Tramo de Vía Guasimos – Chapinero



Fuente: adaptada de Imagen satelital (Ruta de acceso al corregimiento de Chapinero – Sector los Guasimos – Chapinero), de Google Maps, 2022.

El Departamento de Huila (2022) establece que la población beneficiaria directa del tramo de vía corresponde a: 118 habitantes de la vereda Los Guasimos y 287 habitantes del centro poblado de Chapinero, la población indirecta que se beneficia con el funcionamiento de esta vía: 18.600 habitantes del municipio de Palermo y 32.500 habitantes del municipio de Neiva.

Las características de los habitantes que circulan diariamente por la vía corresponden a caficultores del sector agrícola que requieren de condiciones óptimas de transitabilidad por las vías de la región, que les permitan comerciar sus productos de manera eficiente, y que benefician

a los grupos poblacionales circundantes que participan en este sector económico a nivel departamental y nacional (Departamento Nacional de Planeación, 2014).

En el tramo de vía se encuentran zonas de extracción de piedra caliza usadas en la generación de productos derivados de esta piedra, como la cal, empleada en el uso industrial y en el sector constructivo (Gobernación del Huila, 2022).

Estado Actual de las Vías Terciarias Departamento de Huila

A través del cumplimiento de la Resolución 1240 del año 2013, el gobierno nacional realizó y estableció bajo decreto de la asamblea departamental la categorización vial del departamento del Huila y estableció según la Resolución 4611 adoptada el día 25 de septiembre del año 2019, su ámbito de competencia basado en los criterios de tipo técnico de la funcionalidad de las vías departamentales, el tránsito promedio diario, la disposición geométrica de la vía y la cantidad de población beneficiaria. Debido a esto, la red vial departamental sufrió de cambios significativos, así: pasando de 1775.7 km que hacían parte de la red vial departamental, este valor se ajustó a 1332.40 km categorizados en primer, segundo y tercer nivel (Asamblea Departamental del Huila, 2020). (Planeación, 2018)

La Asamblea de Huila (2020) concluye que durante el período de año 2016 a 2019, el departamento elevó el índice de calidad vial, realizando inversiones económicas a través del mejoramiento, al proceso de rehabilitación y el debido mantenimiento de tipo periódico de la red vial dispuesta a lo largo del Huila, gracias a un índice de metas cumplidas cercano al 90%, sin embargo, el mantenimiento de tipo rutinario realizado a través de convenios con la comunidad huilense presentó un avance del 32% en el índice fijado de un total de 1335.7 km de red vial, generando alerta en el mantenimiento periódico que se debe realizar a las vías departamentales.

“Actualmente, la situación de la red vial de primer orden a cargo de la nación que hace parte del departamento del Huila, con 857.63 km, de los cuales 560.41 km (65.34%) se encuentran pavimentados y en regular estado” (Asamblea de Huila, 2020, pág. 98).

La red vial de primer orden a cargo del departamento: la constituyen 318.91 km, de los cuales 205.54 km se encuentran pavimentados, 90.07 km en buen estado, 115.47 km en mal

estado y 113.36 km en afirmado. La red vial de según orden a cargo del departamento la componen 323.51 km, de los cuales hay 156.20 km pavimentados 128.55 km están en buen estado, 52.14 km en regular estado y 113.48 km en afirmado en malas condiciones (Asamblea de Huila, 2020, pág. 88).

El Departamento Nacional de Planeación (2020) establece que el departamento del Huila tiene un estimado de red vial primaria de tipo concesionada de 58 km y no concesionada de 751 km, así como más de 1.600 km de red de segundo orden y 8.500 km de vías terciarias. Los proyectos viales más importantes del departamento, así como su inversión económica, se describen a continuación:

La ANI (Agencia Nacional de Infraestructura) está encargada de los siguientes tramos de vía:

Concesión Neiva – Espinal – con destino a Girardot

Concesión vial de primera generación (contrato suscrito el 19 de julio de 1995), cuyo objeto es: ejecutar por el sistema de concesión, según lo establecido por el artículo 32, numeral 4o. de la Ley 80 de 1993, los estudios, diseños definitivos, las obras de rehabilitación y de construcción, la operación y el mantenimiento de la carretera Neiva- Espinal- Girardot (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 28).

Su fecha de culminación establecida es mayo de 2016. La longitud concesionada es de 178 km, de los cuales están contratados 1,8 km en segunda calzada, los cuales están totalmente construidos y operando y; la rehabilitación de 168 km los cuales ya fueron realizados (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 29).

“Actualmente se adelanta proceso de consulta previa para construir la variante en el Guamo la cual lleva un 45% de avance y la variante de Espinal un 18%” (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 29).

A través del INVIAS se construyen distintos proyectos como:

Transversal del Libertador (Popayán – La Plata)

Enmarcado como proyecto macro del departamento a través del programa conocido como CACC (Corredores Arteriales Complementarios para la Competitividad), el documento Conpes 3536 de 2008 establece su importancia estratégica para la región. Inicialmente contó con una asignación presupuestal de \$132.000 millones para realizar labores de mejoramiento y mantenimiento en una longitud de 90 km, específicamente en el sector Totoró–Inzá– La Plata. No obstante, y una vez finalizados los estudios y diseños definitivos (que hacían parte del mismo contrato) se pudo definir que el alcance real con los recursos disponibles era de 35 km (INVIAS, 2018, pág. 58).

El INVIAS (2018) inició los procesos licitatorios para finalizar las intervenciones en aquellos tramos que se encontraban desfinanciados a partir del 12 de marzo de 2012, y la Transversal del Libertador fue adjudicado, como parte del programa Corredores Prioritarios para la Prosperidad, el día 19 de abril, por un valor de \$236.136 millones (valor de la oferta presentada), al Consorcio PCP (pág.60).

El consorcio está integrado por la empresa nacional CI GRODCO S.A. Ingenieros Civiles (50%) y por la empresa Brasileira Constructora OAS LTDA (50%). El objeto de esta nueva licitación es culminar la pavimentación de los 55 Km faltantes, con un plazo de ejecución esperado hasta el año 2016 (INVIAS, 2018, pág. 61).

Corredor del Paletará (Popayán– Paletará– Isnos)

“Hace parte de los corredores contemplados en el programa Corredores Arteriales Complementarios para la Competitividad– CACC, declarado de importancia estratégica mediante el documento Conpes 3536 de 2008” (INVIAS, 2018, pág. 44).

El INVIAS (2018) relaciona las siguientes características del contrato en mención: Contrato de Obra No. 0679 de 2009, que tiene como objeto los estudios y diseños, gestión social, predial, ambiental y mejoramiento del proyecto Corredor del Paletará cuenta con un valor: \$77.589 millones y plazo de 48 meses. Fecha de inicio: 17 de septiembre de 2009 y fecha de terminación: 16 de septiembre de 2013 (pág. 44).

Transversal de La Macarena

“Hace parte de los corredores contemplados en el programa Corredores Arteriales Complementarios para la Competitividad– CACC, declarado de importancia estratégica mediante el documento Conpes 3536 de 2008” (Departamento Nacional de Planeación, 2014, pág. 38).

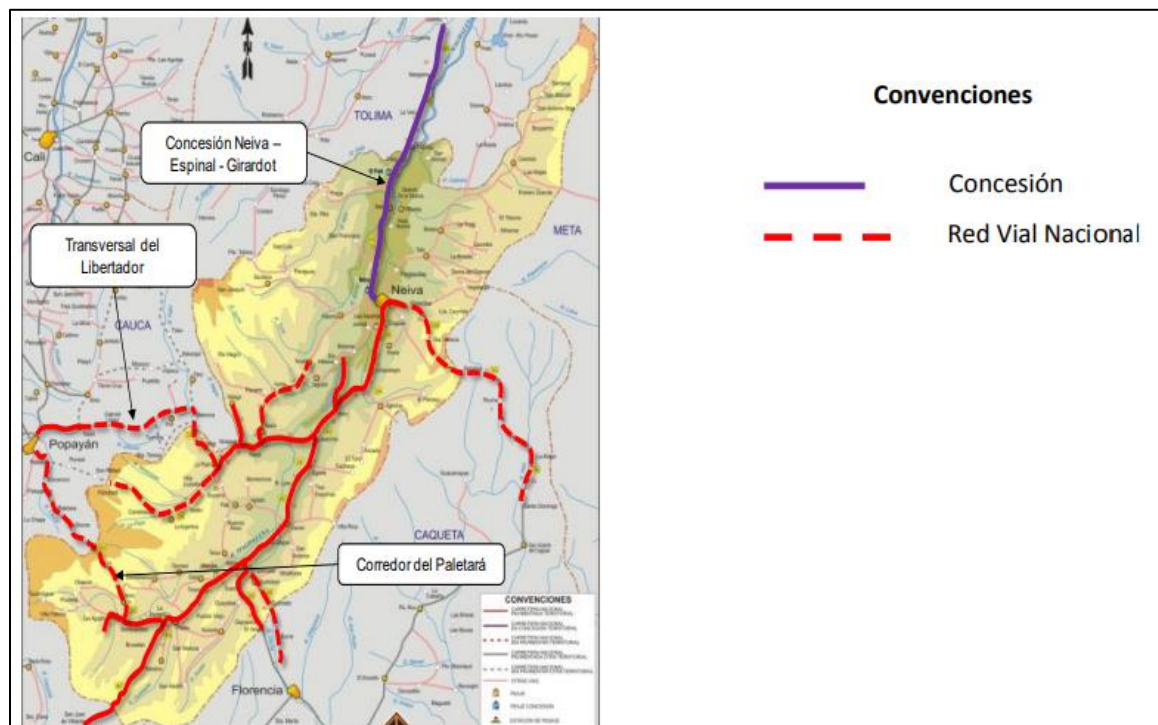
“El contrato tiene las siguientes características: un valor de \$277.328 millones, en un plazo de ejecución de 56 meses con fecha de inicio: 17 de junio de 2009 y terminación: 31 diciembre de 2013” (Departamento Nacional de Planeación, 2014, pág. 38).

Alcance físico contractual: estudios y diseños, gestión social, predial ambiental y mejoramiento, del proyecto "Carretera de La Soberanía" tramo Lejía - Saravena y los estudios y diseños, gestión social, predial, ambiental, mejoramiento y construcción del proyecto "Transversal de La Macarena" tramo San Juan de Arama - La Uribe - Colombia – Baraya (Departamento Nacional de Planeación, 2014, pág. 39).

Los proyectos anteriormente citados se relacionan en la figura 8.

Figura 8

Proyectos Viales Departamento Huila



Fuente: adaptada de Proyectos Viales Huila, de Inversión en Infraestructura, 2022, Departamento Nacional de Planeación.

Proyecto Neiva Girardot

Según el Ministerio de Transporte (2021) el proyecto Neiva- Girardot, tiene una longitud total de 198,35 kilómetros; inicia en la intersección en cercanías al Peaje los Cauchos (municipio de Rivera) en la Ruta 45, continúa por el corregimiento El Juncal hasta la ciudad de Neiva y luego hacia el municipio de Aipe en el departamento del Huila; continua hacia el municipio de

Natagaima, Castilla (corregimiento), Saldaña, el Guamo, Espinal y termina en el municipio de Flandes (pág. 63).

El proyecto está compuesto por siete (7) unidades funcionales de las cuales tres (3) ya fueron entregadas por el concesionario (1, 3 y 5) y 4 están en construcción (2A, 2B, 4A y 4B). Se estima su terminación de obras en el mes de febrero de 2022 (Ministerio de Transporte, 2021, pág. 64).

Se destaca la importancia de este corredor por ser un eje estratégico de comunicación del centro y norte del país, con los departamentos del sur y occidente de Colombia. A octubre 30 de 2021, el proyecto contó con un avance de 81,05% (Ministerio de Transporte, 2021, pág. 68).

Proyecto Santana-Mocoa-Neiva

“El proyecto Santana-Mocoa-Neiva cuenta con una longitud de 456 kilómetros, cuya inversión es de 3,9 billones de pesos y está compuesto por siete (7) unidades funcionales, como se muestra en la figura 9” (INVIAS, 2018, pág. 89).

Con la ejecución de este proyecto se prevé que se tendrá un ahorro de tiempo de desplazamiento de 2 horas entre Neiva y Santana; y en consecuencia los vehículos tendrán ahorros significativos en combustibles y mantenimientos. Todo ello hará que la región sea más competitiva y próspera. Adicionalmente, durante su etapa de construcción, se proyecta que genere cerca de 2.500 empleos. A octubre 30 de 2021, el proyecto tiene un avance de 2,2% (Ministerio de Transporte, 2021, pág. 70).

Figura 9*Proyecto Santana-Moca-Neiva*

Fuente: adaptada de Contrato de Concesión Santana-Mocoa-Neiva, de Gobernación del Huila, 2021, Rendición de Cuentas Año 2021.

Red Terciaria

Según la información del departamento de Huila (2020), durante el período 2016-2019, el mayor esfuerzo se realizó en apoyo a la red vial de tercer orden la cual tuvo un cumplimiento del 100%. Se destaca el mantenimiento realizado con la maquinaria de 1038.59 km de red vial a cargo del departamento y 3306.78 km de red vial terciaria en apoyo a los municipios, igualmente se destacan los proyectos de placa huella con 52.97 km ejecutados, equivalentes a un 94.1% de la meta establecida (pág. 89).

La tabla 4 relaciona los tramos de vía que conforma la red terciaria del departamento de Huila y sus condiciones actuales de estructura, el departamento cuenta a su cargo con 689.56 km de vías terciarias, de los cuales tiene 109.39 km que se encuentran en buen estado (pavimentados), 34.77 km de vía en regular estado (pavimentado), 28.92 km que se encuentran en buen estado (material de afirmado), 451.76 km construidos que se encuentran en regular estado (afirmado) y 61.54km construidos en afirmado en mal estado (Ministerio de Transporte, 2021, pág. 3).

Los datos poblacionales se obtienen del Sistema de Información Regional del departamento del Huila (2018).

Tabla 4

Red Vial de Tercer Orden Departamento Huila

Código	Nombre	Características	Población Beneficiaria
45HL15	Aguas Negras – Gigante	18,06 km longitud total construida en afirmado	25.000 hab.
45AHL04	Baraya – Polonia	21,54 km longitud total construida en afirmado en regular estado	7.300 hab.
45HL12	Campoalegre – Las Mercedes Ruta 45	10,63 km longitud total 3 km pavimentados. 7 km en afirmado	32.000 hab.
43HL02-1-1	Casa De Piedra – Betania	21, 40 km longitud total construida en afirmado en mal estado	27.000 hab.
45AHL05	Cedral – Vegalarga	5,99 km longitud total construida en afirmado en mal estado	10.500 hab.

Tabla 4 (Continuación)

Código	Nombre	Características	Población Beneficiaria
4504B-2	El Viso – Maito	7,00 km longitud total 3,62 km pavimentados 3,38 km afirmado en buen estado	17.800 hab.
24HL05	Gallego – Bajo Pescador	10,23 km longitud total	62.900 hab.
45HL03-1	Garzón – Paraiso – El Recreo	16,25 km longitud total 7,13 km pavimentados 9,12 km afirmado en mal estado	75.000 hab.
43HL03	Guasimos – Santa María	16,03 km longitud total pavimentados en regular estado	16.700 hab.
45HL04	Hobo- Embalse – Betania	2,31 km longitud total pavimentada en buen estado	27.000 hab.
20HL03-3	La Laguana – Salado Blanco	10,26 km longitud total construida en afirmado en regular estado	22.900 hab.
45HL08-1	La Tocora – Galilea	12,80 km longitud total	25.00 hab.
45HL08-1	La Victoria -La Esperanza	14,01 km longitud total	7.300 hab.
45AHL02	Las Delicias - Alpujarra	0,59 km longitud total construida en afirmado en buen estado	4.300 hab.
4505A1	Las Vueltas – Potrerillos Estoracal	17,36 km longitud total construida en afirmado en buen estado	3.500 hab.
4504B-1	Oritoguaz- Salado Blanco La Cabaña – Morelia – El Palmar	22,70 km longitud total 9,46 km pavimentada en buen estado 13,25 km afirmado en regular estado	4.300 hab.
24HL04	Paicol – Alto San Miguel Caloto – San Andres	22,00 km longitud total construida en afirmado en regular estado	1.000 hab.
24HL07	Paraiso – El Silencio	25,17 km longitud total	11.400 hab.

Tabla 4 (Continuación)

Código	Nombre	Características	Población Beneficiaria
45HL05-1	Rivera – Termales	2,83 km longitud total pavimentada en buen estado	25.000 hab.
24HL06	Ruta 24 – La Argentina	7,65 km longitud total	1.200 hab.
37HL01	Ruta 37 – Minas	16,35 km longitud total construida en afirmado en regular estado	13.000 hab.
4504B	Ruta 45 – La Palma	36,40 km longitud total 24,71 km pavimentada en buen estado 11,69 km afirmado en regular estado	4.300 hab.
45HL14	Ruta 45 – Miraflores Ramada - Zuluaga	16,73 km longitud total construida en afirmado en regular estado	2.400 hab.
45HL17	Ruta 45 - Otas	2,58 km longitud total	30.000 hab.
45HL09	Ruta 45 – Paraíso - Acevedo	21,06 km longitud total construida en afirmado en regular estado	25.000 hab.
45HL22	Ruta 45 –Praga – Santa Rita	62,11 km longitud total. 45,80 km afirmado en regular estado	1.200 hab.
45HL16	Ruta 45 – Potrerillos	9,25 km longitud total construida en afirmado en regular estado	3.500 hab.

Tabla 4 (Continuación)

Código	Nombre	Características	Población Beneficiaria
45AHL01-1	Villa Vieja - La Victoria Cruce Paso De La Barca	18,10 km longitud total	7.300 hab.
45AHL01-2	Villa Vieja – Puerta De Oro	16,53 km longitud total 5,49 km pavimentada en buen estado 11,03 km afirmado en regular estado	7.300 hab.
45AHL01	Cucara – Villa Vieja	21,37 km longitud total	7.300 hab.
43HL05	El Moral – Nataga	6,70 km longitud total pavimentada en estado regular	27.000 hab.
45HL15	El Toro - Betania	2,74 km longitud total	22.700 hab.
43HL08	El Triunfo – Ospina Perez	9,47 km longitud total construida en afirmado en regular estado	27.000 hab.
3403	Colombia – El Totumo – Uribe	25,67 km longitud total construida en afirmado en regular estado	62.900 hab.
4504B-1-1	Cruce Oporapa – San Roque Hondina - Agrado	14,26 km longitud total construida en afirmado en regular estado	25.900 hab.
24HL04-1	Alto San Miguel – La Cumbre	26,50 km longitud total construida en afirmado en regular estado	6.800 hab.

Tabla 4 (Continuación)

Código	Nombre	Características	Población Beneficiaria
43HL07	Cruce Iquira – Cruce Yaguara	12,04 km longitud total	8.100 hab.
30HL01	Platanillal – San Antonio	20,35 km longitud total	1.000 hab.
45AHL05	Rio Negro – Yucales	12,90 km longitud total	1.100 hab.
20HL04	Cruce Ruta 20 – Marmato - Suaza	7,62 km longitud total construida en afirmado en regular estado	18.500 hab.
43HL08	Santa Teresa – Santa Maria	3,01 km longitud total	22.000 hab.
20HL02-1	Alto De Los Idolos	8,88 km longitud total	25.000 hab.
37HL02	Tarqui – La Jagua	18,24 km longitud total	2.600 hab.
45HL10	Timana – Gallardo - Cruce Ruta 20	27,16 km longitud total	1.000 hab.

Fuente: adaptada de Categorización Vías Terciarias Departamento de Huila, de Ministerio de Transporte, 2019, Resolución 46112 de 2019.

El departamento del Huila cuenta con 65,45% de la malla vial que conforma la red terciaria en regular estado sin pavimentar (esto es construida en material de afirmado) y 8,85% en mal estado sin presencia de pavimento y construidas en afirmado el cual se encuentra en mal estado, esto corresponde a un alto porcentaje de las vías del departamento que no se encuentran en condiciones adecuadas para el tránsito y el desplazamiento de habitantes y de los productos agrícolas propios de la región (Asamblea de Huila, 2020).

La categorización de estos tramos de vía terciaria obliga al departamento a realizar un nuevo plan vial que permita atender las necesidades viales actuales; el gobierno nacional a través

del documento CONPES 3857 establece el Plan Maestro Intermodal 2015-2035, además de los lineamientos que pretendan rehabilitar las vías existentes (Asamblea de Huila, 2020, pág. 89).

Inversión Económica del Estado

A través de los convenios solidarios realizados mediante la participación de la comunidad en el año 2021, se realizó el mantenimiento rutinario, en el cual se invirtió el siguiente presupuesto según lo relacionado en la tabla 5.

Tabla 5

Convenios Solidarios Mantenimiento Rutinario 2021

Vía	Presupuesto	Municipio	Longitud (km)
Cruce El Juncal - Yacuara	\$33 Millones	Yaguara	30,51
Yaguara -Iquira	\$18 Millones	Iquira	16,26
Cruce Ruta 45 – Guacamayas (Algeciras)	\$49,6 Millones	Algeciras	49,77
Ruta 45 – Tarqui - Pital	\$6,2 Millones	Tarqui - Pital	6,0
Guacacayo – Oritoguaz – Elias – La Palma	\$36,2 Millones	Pitalito - Elias	36,4
Oritoguaz – Saladoblanco – La Cabaña – Morelia – El Palmar	\$23 Millones	Saladoblanco	22,7
Total	\$166 Millones	-	161.64 km

Fuente: adaptada de Categorización Vías Terciarias Departamento de Huila, de Ministerio de Transporte, 2019, Resolución 46112 de 2019.

La figura 10 y figura 11, muestra los avances en los mantenimientos preventivos en vías terciarias del departamento.

Figura 10

Mantenimiento Rutinario 2021



Fuente: adaptada de Convenios de Mantenimiento Rutinario 2021, de Gobernación del Huila, 2021, Rendición de Cuentas Año 2021.

Figura 11

Mantenimiento Rutinario Vías Terciarias



Fuente: adaptada de Convenios de Mantenimiento Rutinario 2021, de Gobernación del Huila, 2021, Rendición de Cuentas Año 2021.

La inversión en maquinaria en el año 2021 a través de los mantenimientos periódicos corresponde a un valor de \$6.755 millones, en los cuales se transportó e instaló material adecuado para las intervenciones en un total de 222.193 m³. La gobernación del Huila invirtió un total de \$1.400 millones en el año 2021 en el mantenimiento de vías terciarias en 10 municipios, como se observa en la figura 12 a figura 15 (Gobernación del Huila, 2022, pág. 45).

Figura 12

Mantenimiento Vía Vereda La Cumbre



Fuente: adaptada de Municipio de Paicol: Vía Vereda La Cumbre, de Gobernación del Huila, 2021, Rendición de Cuentas Año 2021.

Figura 13

Mantenimiento Vía Arrayanes – Bordones



Fuente: adaptada de Municipio de Acevedo: Vía Arrayanes-Bordones, de Gobernación del Huila, 2021, Rendición de Cuentas Año 2021.

Municipio de Rivera: mejoramiento y conservación en los tramos de vía, así: Ruta 45 (la Cabañita) - los Medios (en longitud de 8,2 km); desde Termopilas – a la vereda Arrayanal (abarcando longitud de 3,78 km) y desde la vereda Arrayanal a la vereda Río Blanco (en longitud de 4,34 km), para un total de 8,12 km de longitud de vía intervenida; desde el sitio conocido como Los Medios - Arenoso - La Primavera (longitud de 4,75 km) y desde vereda La Honda a vereda Monserrate (L=4,45 km) con una inversión de \$137 millones y una longitud total de 25,52 km (Gobernación del Huila, 2022, pág. 42).

Municipio de El Hobo: mejoramiento y conservación que comprende el casco urbano a la vereda Agua Fría y vereda El Porvenir (longitud de 26 km); desde vereda El Batan al Sector Los Moreros (9 km de vía) con una inversión de \$286,2 millones y una longitud total de 53 km (Gobernación del Huila, 2022, pág. 42).

Municipio de San Agustín: Argentina- Lucitania, los Cauchos-el Paraíso y Cascajal-Eucaliptos, con una inversión de \$ 57 millones y una longitud total de 15 km” (Gobernación del Huila, 2022, pág. 43).

Municipio de Nataga: Patio Bonito - Yarumal 3,6 km, Yarumal - El Diamante 8,5 km Nataga - la Esmeralda 20,5 km - Esmeralda - La Mesa 3,8 km, con una inversión de \$ 235 millones y una longitud total de 36,4 km (Gobernación del Huila, 2022, pág. 43).

Municipio de Altamira: vías Altamira - El Grifo, con una inversión de \$ 41 millones y una longitud total de 7 km” (Gobernación del Huila, 2022, pág. 43).

Municipio de Guadalupe: Cruce Ruta 20-Marmato-Hato Viejo 5 km - Mortiñal - Miraflores en una longitud de 3 km; vía Miraflores - El Triunfo - La Miguela - La Esperanza en

una longitud de 5,82km, con una inversión de \$ 89 millones y una longitud total de 13,82 km (Gobernación del Huila, 2022, pág. 43).

Municipio de El Pital: Ruta 37-Minas (tramo Minas - Santa Rosa, L= 6 km), cruce vía Ruta 37-Minas- Campoalegre en una longitud de 1,5 km, cruce vía Ruta 37-Mina- Las Mercedes en una longitud de 2,1 km y vía Garzón-La Plata -Uvital-Cauchal-Los Olivos en una longitud de 7 km, con una inversión de \$ 98,5 millones y una longitud total de 16,6 km (Gobernación del Huila, 2022, pág. 44).

Figura 14

Mantenimiento Vía Vereda San Isidro



Fuente: adaptada de Municipio de Campoalegre: Vereda San Isidro, de Gobernación del Huila, 2022, Rendición de Cuentas Año 2022.

Figura 15

Mantenimiento Vía San Adolfo



Fuente: adaptada de municipio de Acevedo: vía San Adolfo, de Gobernación del Huila, 2022, Rendición de Cuentas Año 2022.

A través de los convenios realizados entre el INVIAS y los municipios que hacen parte del departamento, se realizaron las siguientes inversiones (para un total de \$7.852 millones) según lo plasmado en la tabla 6.

Tabla 6

Convenios INVIAS – Municipios 2021

Municipio	Objeto convenio
Altamira	Vía Altamira – Vereda Pajiji
Campoalegre	Construcción en placa huella vía vereda La Esperanza
Gigante	Vía Recreo – La Vueltas – Peñaloza – Potrerillos – Gigante
San Agustín	Corredor cafetero Sur Occidental
Santa María	Vía Ceiba Grande - Alto José Morerno – Puente Puerto Charco Largo
Suaza	Vía Calixto – El Vergel – Brasil – Toribio – Gallardo
Tello	Vía Casco Urbano – San Andrés – Alto Urraca – El Candado
Yaguará	Vía Vereda Letran

Fuente: adaptada de Convenios de Mantenimiento Rutinario 2021, de Gobernación del Huila, 2022, Rendición de Cuentas Año 2021.

Se realizó el mantenimiento y construcción de obras de arte en las vías terciarias del departamento:

“Vía Moral – Nataga: por un valor de 76 millones y una longitud 3,4 km” (Gobernación del Huila, 2022, pág. 46).

“Vía Oritoguaz-Saladoblanco-La Cabaña-Morelia-El Palmar: por un valor de 95 millones y una longitud 7,3 km” (Gobernación del Huila, 2022, pág. 46).

“Vía Ruta 45 - Potrerillos - El Mesón: por un valor de 121 millones y una longitud 8 km” (Gobernación del Huila, 2022, pág. 46).

“Cruce Ruta 45 – Guacamayas: mantenimiento y rehabilitación de los puentes (3) por un valor de 75 millones, como se observa en la figura 16” (Gobernación del Huila, 2022, pág. 47).

Figura 16

Mantenimiento Puente Tramo Vía Ruta 45 – Guacamayas



Fuente: adaptada de Ruta 45 – Guacamayas, de Gobernación del Huila, 2021, Programas y Proyectos de Inversión en Ejecución.

El Gobierno Nacional a través del INVIAS aportará \$596.000 millones de pesos y el departamento de Huila \$44.000 millones para un total de \$640.000 millones, de los cuales se destinarán: \$239.000 millones serán para la ejecución de la vía La Plata – Popayán; \$245.000

millones adicionales al proyecto vial Colombia – La Uribe; \$31.000 millones que aporta la nación al Circuito Turístico del Sur, a los que se suman \$28.000 millones que aporta el departamento (INVIAS, 2018, pág. 81)

De igual manera, \$26.000 millones del Gobierno Nacional para la vía La Plata – Gallego, \$35.000 millones para el proyecto “Vías Verdes”, que pretende reutilizar las vías férreas entre Neiva- Villavieja-Golondrinas; \$10.000 millones del programa “Colombia Rural” el cual pretende invertir dicho monto económico para el mantenimiento de vías terciarias en el departamento. (Gobernación del Huila, 2022 (López Sumarriva & Ortiz Pinares, 2018), pág. 3).

Estabilización de Suelos

La estabilización en suelos se define como la mejora en las condiciones naturales de las propiedades de tipo físicas, así como químicas del mismo usando procedimientos mecánicos enmarcados en especificaciones técnicas avaladas, así como mediante el uso de productos de origen químico, natural o sintético industrial, dichos procedimientos se emplean en suelos pobres de subrasante inadecuada para la construcción de pavimento flexible o rígido (López Sumarriva & Ortiz Pinares, 2018).

La estabilización de suelos permite controlar los cambios de volumen que sufren las arcillas y que son muy comunes, cuando estas entran en contacto permanente con el agua que está presente en el nivel freático, gracias a la transformación drástica de los procesos físicos y químicos del material (Guerrero Baca & Soria López, 2014).

Antecedentes de la Estabilización de Suelos con Cal

La Revista de la Junta de investigación de Transporte de Estados Unidos publicó posterior a la reunión anual al consejo de investigación en Washington D.C., el estudio llamado “Evaluación de la durabilidad a largo plazo del tratamiento con cal en estructuras hidráulicas: estudio de caso sobre el canal Friant-Kern”, este estudio logro demostrar que después de aproximadamente 50 años de haber terminado el tratamiento con una adición del 4% de cal en un suelos con una condición potencial de expansión e índice de plasticidad de 23, estas propiedades fueron reducidas drásticamente con el paso del tiempo pasando de tener una expansión volumétrica y erosión en suelos de moderadamente alto a muy bajo, y un índice de plasticidad de 23 a 6. (Pavan et al, 2020).

El hallazgo realizado con este estudio en tan largo tiempo permite determinar que los suelos estabilizados con cal continúan mejorando sus características físicas, químicas y comportamiento mecánico, a pesar del período de tiempo transcurrido, reconsiderando de esta manera la teoría que advierte el efecto reversible de las condiciones de los suelos que se tratan mediante el uso de cal. La importancia de la divulgación de estos estudios e investigaciones es la generación de confianza que se crea en los entes gubernamentales, las sociedades de construcción civil, las constructoras y los productores de materiales para la construcción que no ha implementado el uso de la cal como estabilizadora de suelos dado que desconocen su uso y los beneficios que esta genera.

A la fecha en el país, esta práctica no ha sido muy documentada, por lo tanto, no hay evidencia que permita establecer el comportamiento que podría llegar a tener un camino rural tratado bajo esta técnica, pero si podemos avalar los buenos resultados que esta alternativa de construcción de carreteras de tercer nivel ha mostrado a nivel internacional en países como Estados Unidos, España, México y Guatemala en donde se han realizado investigaciones, procesos y proyectos ingenieriles llevados a cabo y puestos en servicio usando esta alternativa de construcción sustentable; entre estos destacan: carreteras, canales, parques eólicos, autopistas, aeropuertos, zonas industriales, zonas residenciales, entre otros. Obteniendo hasta ahora excelentes resultados frente a las exigencias del uso y el clima. (ARGOS, 2020).

Actualmente en Colombia, la empresa constructora pionera en la construcción de vías usando la metodología de estabilizar el suelo con cal es Construcciones El Cóndor S.A, empresa que se ha encargado de diseñar y construir terraplenes usando materiales existentes, material de corte y mejorando los materiales de cantera con el fin de ajustarse de manera detallada a las

especificaciones de tipo técnicas exigidas por el INVIAS en su condición natural, esto ha permitido la mejora de tramos viales importantes en las principales arterias viales del país.

La constructora ha hecho tratamientos con cal en terraplenes en los siguientes proyectos: Chigorodó – Apartado, Tolú – Tolú viejo, Tolú viejo – Cruz del Viso, entre otros. (Construcciones El Cóndor S.A., 2021).

Uso de la Cal

La cal es comúnmente utilizada como agente estabilizador de suelos de tipo arcilloso y/o limoso, ya que se ha comprobado que modifica algunas de sus características físico-químicas mejorando su resistencia mecánica. En el caso de desear un efecto que involucre cementación el rango de porcentaje de aplicación de cal varía entre el 2% y 8% del peso del material que va a ser estabilizado (Rodríguez Moreno & Hidalgo Montoya, 2005, pág. 5).

Los factores que deben ser considerados en la selección de la cal como estabilizador idóneo en un suelo de determinadas características son: en primer lugar la composición del suelo que se encuentra en campo, luego establecer el objetivo para el cual será utilizada la subrasante del suelo, la mejora que se desea obtener en el suelo, la especificación normativa que debe cumplir en términos de resistencia exigida así como el tiempo de servicio que tendrá la capa tratada y mejorada, de igual manera se debe considerar las condiciones ambientales y el beneficio económico. Algunas consideraciones generales como la granulometría y la plasticidad del suelo, permiten seleccionar a la cal como el estabilizador más apto según la dosificación a considerar. Para la estabilización de suelos de muy baja resistencia y con poca capacidad portante, actualmente se usa la cal como agente estabilizador (Elizondo Arrieta et al, 2010).

Según la Universidad Industrial de Santander (2020) para considerar el uso de la cal en el proceso de construcción en obra se deberá considerar que no todos los suelos se pueden estabilizar mediante el uso de la cal, ésta se podrá hacer si las características del suelo así lo permiten y se deben evaluar aspectos como: porcentaje de contenido de humedad, el límite líquido (LL) contenido en el suelo, el porcentaje que pasa el tamiz identificado como No. 200, el valor del índice de plasticidad, el contenido de materia orgánica y su capacidad de soporte.

En Colombia los suelos en su gran mayoría son arcillosos y limosos, plantear la estabilización de caminos rurales con cal es una alternativa razonable ya que las características físicas, químicas y mecánicas permiten que esta técnica sea eficiente y eficaz (ARGOS, 2020).

Características Físicas

Según la información suministrada por Altamirano Navarro & Díaz Sandino (2015), se consideran las siguientes características de la cal:

Finura. Esta característica de la cal tiene su importancia radicada en que interviene de manera directa en las condiciones de almacenamiento, de su transporte y posterior mezclado con el suelo a tratar. La finura interviene en la reactividad que tendrá la cal en su proceso de mezcla.

Color. Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris.

Densidad. Depende de la temperatura de calcinación, cuando es más alta mayor será la densidad de la cal catalogada como cal viva.

Dureza. Esta característica de la cal, hace que varíe entre el tipo conocido como muy blandas y una dureza similar a la piedra caliza de la cual se obtiene, la dureza de la cal viva está relacionada con temperatura en el proceso de calcinación y transformación.

Porosidad. Está relacionada con el origen que tiene la piedra caliza, así como las condiciones en las que se lleva a cabo la fase de calcinación en su producción.

Plasticidad. Esta característica depende de la capacidad que tiene la cal para variar su forma cuando esta se encuentra bajo esfuerzos de presión sin generar la ruptura de la misma.

Características Químicas

La información obtenida en Caltek (2021) determina las siguientes características:

Óxido de Calcio (CaO). Componente fundamental de la cal, puede estar en forma de óxido de calcio en las cales vivas, y en la cal hidratada presente en forma de hidróxido de calcio.

Óxido de Magnesio (MgO). Está presente en forma de óxido o también como el hidróxido de Magnesio, es análogo a lo que ocurre con el óxido de calcio ($Mg(OH)_2$).

Reactividad. Esta característica establece la velocidad a la cual se presenta la reacción de hidratación en la cal, está relacionada además con las características de tipo físicas y químicas que trae consigo el producto, depende de la porosidad con la que cuenta la piedra caliza de la cual se extrae.

Tipos de Cal

Tomando como base la información de Sánchez (2014) los tipos de cal usadas en la estabilización son:

Cales Aéreas

Son aquel tipo de cal que están compuestas principalmente por el óxido y el hidróxido de calcio y de magnesio, tienen la característica que entran en proceso de endurecimiento mediante

la acción del CO₂ presente en el aire, estas no presentan propiedades de tipo hidráulicas, no reaccionan al tener contacto con el agua.

Cales Aéreas Cálizas. Presentan contenido de óxido de magnesio menor a 5%. Dentro de estas se encuentran la cal viva, comercialmente se presenta granulada o molida en polvo; otro tipo es la cal apagada, que proviene de la cal viva combinada con agua, comercialmente tiene su presentación en pasta, en forma de lechada o suspensión en agua, algunas de sus ventajas y desventajas se relacionan en la tabla 7.

Tabla 7

Ventajas e Inconvenientes Tipos de Cal

Forma	Ventajas	Inconvenientes
Cal viva (polvo)	permite su uso en mayores épocas del año dado que la cal aumenta la temperatura del suelo	es un material inestable para su almacenamiento
	ahorra costos de transporte	su aplicación es insegura
	permite un almacenamiento más económico dada su mayor densidad	crea emisión de polvo en la extensión del área a aplicar
	su aplicación es más rápida que en lechada	demandas el uso de agua en su uso y posterior apagado
Cal apagada (polvo)	no se presentan riesgos en su aplicación	requiere mayor cantidad para proporcionar la misma actividad que la cal viva
	su aplicación es más rápida que en la lechada	genera polvo en la extensión de la aplicación
Cal apagada (lechada)	humecta el suelo mientras que esta se aplica	el costo del transporte es elevado debido a la inclusión de agua
	asegura una distribución homogénea de la lechada	requiere incorporación de medios adicionales de almacenamiento y extensión

Fuente: adaptada de Ventajas e Inconvenientes de la Cal, de Sánchez María, 2014, Estabilización de Suelos Expansivos con Cal y Cemento en el Sector Calcical del Cantón Tosagua.

Parámetros Normativos de la Estabilización con Cal en Colombia

Las normas técnicas INVIAS -INV establecen las condiciones y características que debe cumplir el suelo, la cal, el agua, los equipos y entrega los criterios y parámetros de aceptación para estabilización de subrasante, como ha sido mencionado anteriormente, las vías rurales de Colombia se encuentran en la mayoría de los casos construidas en subrasante, es decir, no se ha aplicado ningún tipo de material para conformar la estructura, por lo que se toma como punto de partida esta definición, para efectos de diseño, construcción y curado de estructuras estabilizadas con cal, cabe resaltar que la estabilización está reglamentada solo para terraplenes y por consiguiente se sobreentiende que esta llevará sobre ella una o varias capas más de materiales que pueden ir desde coronas, sub base, bases granulares, base estabilizadas con emulsiones asfálticas, cemento o cal y carpetas asfálticas, si el INVIAS llega a optar por esta alternativa para mejoramiento de los caminos rurales deberá crear una especificación que contenga los parámetros de diseño y construcción para tal fin. La tabla 8 especifica los requisitos de suelo que debe tener el material a estabilizar (INVIAS, 2021, pág. 25).

Tabla 8

Requisitos de Suelos de Subrasante

Característica	Norma de Ensayo INV	Requisito
Composición (F)		
Material que pasa el tamiz de No. 4, mínimo (%)	E -213	50
Material que pasa el tamiz de No. 200 mínimo (%)	E-214	25

Tabla 8 (Continuación)

Característica	Norma de Ensayo INV	Requisito
Limpieza (F)		
LL (Límite líquido), mínimo (%)	E-125	40
IP (Índice de plasticidad), mínimo (%)	E-125 y E-126	10
MO (Contenido de materia orgánica), máximo (%)	E-121	0.1
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos, SO ₄ , máximo (%)	E-233	0.3

Fuente: adaptada de Requisitos de Suelos de Subrasante para la Estabilización con Cal, de INVIAS, 2012, Estabilización de la Subrasante con Cal.

La tabla 9 especifica los requisitos que debe cumplir la cal hidratada, no se permitirá el empleo de cal que haya fraguado parcialmente o contenga terrones del producto endurecido. Tampoco se permitirá el empleo de cal extraída de bolsas usadas en jornadas anteriores (INVIAS, 2021, pág. 26).

Tabla 9*Características Cal Hidratada*

Propiedades	Parámetro	Requisito
Químicas	Óxido total (CaO + MgO), sobre base no volátil, mínimo (%)	90
	Dióxido de carbono, tomado en la planta de fabricación, máximo (%)	5
	Cal aprovechable según la ASTM C25, o la AASHTO T219, mínimo (%)	90 sobre una base no volátil 70 sobre una base volátil

Tabla 9 (Continuación)

Propiedades	Parámetro	Requisito
Físicas	Humedad libre en punto de fabricación, máximo (%)	2

Fuente: adaptada de Características de la Cal Hidratada para Estabilización de Subrasante, de INVIAS, 2012, Estabilización de la Subrasante con Cal.

La tabla 10 establece los requisitos del agua para el uso en la estabilización de suelos.

Tabla 10*Requisitos del Agua no Potable*

Característica	Norma de Ensayo ASTM	Requisito
pH	D-1293	5.5 – 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ , máximo (g/l)	D-516	1.0

Fuente: adaptada de Requisitos del Agua No Potable para la Estabilización de Subrasantes, de INVIAS, 2012, Estabilización de la Subrasante con Cal.

¿Cómo Trabaja la Cal al Entrar en un Proceso de Estabilización?

La estabilización de un suelo con cal se hace a través de reacción química, al entrar en contacto con la tierra hay un intercambio catiónico entre los componentes que posee el suelo de manera natural (sodio y potasio) y los cationes de capacidad multifuncional que tiene la cal (Ca²⁺), lo que establece una relación más fuerte entre el suelo y la cal adicionada, pues al ser más fuerte su carga eléctrica esta desplaza los iones de Na⁺ y K, esta reacción reduce las fuerzas de repulsión y al compensar estas cargas eléctricas también reduce la capa difusa del agua, es

decir ya no atrae tan fácil el agua hacia la superficie de la capa y fortalece la unión de las partículas, esta es una de las propiedades más notables, pues es esta reacción química la que garantiza la compactación del terreno y la estabilidad a largo plazo de la estructura (Calidra, 2020, pág. 6).

La cal reacciona con la arcilla formando silicato de calcio, esta reacción solo ocurre en presencia de agua, la estabilización con cal no es beneficiosa en los suelos que presentan un alto contenido de MO (materia orgánica), al igual que ocurre en la estabilización con cemento (Suarez Díaz, 2020).

Desde el momento en que se incorpora la cal a un suelo arcilloso, esta provoca un intercambio catiónico que estabiliza la estructura laminar de las arcillas, desde el punto de vista geotécnico, esto se traduce en una reducción importante del índice de plasticidad, dado que se eleva de manera importante el límite plástico, el suelo pasa a tener un aspecto granular, gracias a esto, resulta más fácil su puesta en servicio en la obra, para las actividades de extendido y compactación propias de la estabilización (IECA, 2008, pág. 31).

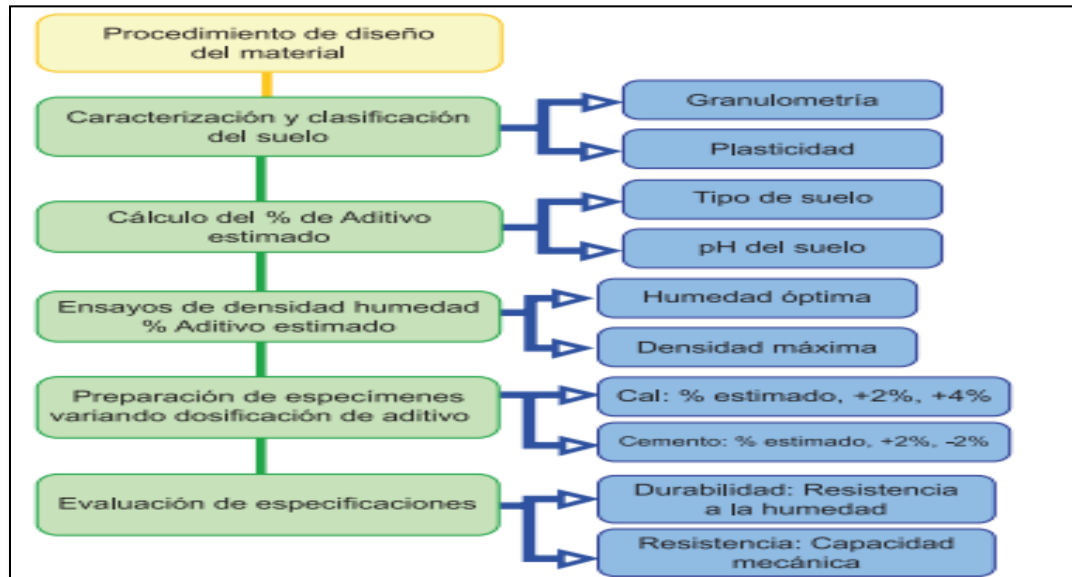
Diseño del Material a Estabilizar

Elizondo Arrieta (2010) establecen que, al realizar el análisis de suelos estabilizados con cal, lo primero a tener en cuenta es el objetivo de la estabilización, si lo que se busca es modificar a fondo las propiedades del material, con el fin de cumplir con requisitos de durabilidad y resistencia que definen las especificaciones técnicas o por el contrario se pretende mejorar el material a través de la modificación de las propiedades granulométricas y de plasticidad. La figura 17 establece el procedimiento a tener en cuenta en el análisis de laboratorio para el diseño del material a estabilizar, cuando se quiere modificar características de

granulometría o plasticidad, el procedimiento es iterativo de prueba y error, hasta que se logra la mejoría buscada.

Figura 17

Procedimiento de Diseño del Material con Cal



Fuente: adaptada de Procedimiento de Diseño del Material (Cal y Cemento), de Infraestructura Vial N° 21, 2009, Subrasantes: Estabilización y Mejoramiento de Rutas no Pavimentadas.

La determinación del contenido de cal óptima con el fin de estabilizar el suelo, tiene que corresponder a la menor dosificación requerida que está en capacidad de alterar las características del suelo de subrasante, que presenten beneficios de tipo técnico, de durabilidad y económicos en el desarrollo del proyecto, se contemplan dos casos a analizar: el primero corresponde al aumento de la resistencia ante la aparición de esfuerzos de tipo normal y tangencial, mediante el empleo de ensayos como el de compresión confinada, el ensayo de tipo triaxial, y CBR, entre otros, la estabilización que se mide a largo plazo en el tiempo, se evalúa

mediante la resistencia mecánica a compresión no confinada de las probetas suelo-cal y reducir el hinchamiento; el segundo es reducir el hinchamiento (López Sumarriva & Ortiz Pinares, 2018).

Aplicación de la Cal

Existen dos formas en que la cal viva seca puede ser aplicada. La primera, los camiones autodescargables o trailers pueden distribuir la cal viva neumática o mecánicamente a la anchura completa del camión. Debido a que el flujo de cal viva granular y sin triturar es más controlable que el de la cal hidratada, resulta una práctica común usar camiones con aplicadores incorporados; otro método para aplicar la cal viva, es por gravedad, dejándola caer formando un camellón. Es usual utilizar camiones graneleros con sistemas de compuertas inferiores neumáticas. Una motoniveladora se utiliza, ocasionalmente, para esparcir la cal viva. Se puede utilizar cal hasta un tamaño de $\frac{3}{4}$ ". Este método requiere que el área sea nivelada y esté suficientemente seca, para que el suelo no se ahuelle bajo las llantas del camión, lo que evitaría la extensión uniforme (LIME, 2004, pág. 17).

Preparación del Suelo

IECA (Huezo Maldonado, 2009) (2008) establece las siguientes recomendaciones previo a la dosificación de la cal y su posterior mezcla al suelo, entre ellas figuran:

Retiro de partículas que sobrepasen o excedan el tamaño máximo admisible.

Se deben disgregar aquellas muestras de suelo que sean cohesivas, con el fin de permitir la correcta mezcla con el conglomerante.

Se debe escarificar el suelo para facilitar su aireación y secado, facilitando la humectación del material.

Distribución y Humectación de la Cal

La distribución de la cal se realiza de dos formas posibles: por vía seca, en forma de polvo a granel mediante una extensión previa sobre la superficie de trabajo, anterior al mezclado con el suelo; por vía húmeda, en forma de lechada, elaborada previamente por equipos mecánicos (LIME, 2004, pág. 17).

Huezo Maldonado & Orellana Martínez (2009) recomienda realizar la extensión de tipo manual de la cal en dos etapas, la etapa 1 corresponde a la disposición de la cal comercial en el suelo dispuesta en filas y columnas según el análisis técnico previo con el fin de cumplir la dosificación que se requiere, como se relaciona en la figura 18.

Figura 18

Distribución de Cal Manual Vía Seca



Fuente: adaptada de Distribución de la Cal en Tramo a Estabilizar, de Universidad de El Salvador, 2009, Guía Básica para Estabilización de Suelos con Cal en Caminos de Baja Intensidad Vehicular en El Salvador.

La etapa 2 corresponde al extendido con motoniveladora cubriendo el área del tramo a estabilizar, se debe verificar el cubrimiento de los laterales del tramo de vía con el fin de garantizar la homogeneidad como se muestra en la figura 19. Huevo Maldonado & Orellana Martínez (2009).

Figura 19

Extendido de Cal Vía Seca con Motoniveladora



Fuente: adaptada de Distribución de la Cal en Tramo a Estabilizar, de Universidad de El Salvador, 2009, Guía Básica para Estabilización de Suelos con Cal en Caminos de Baja Intensidad Vehicular en El Salvador.

La asociación nacional de fabricantes de cales y derivados de España ANCADE (2008) recomienda los siguientes métodos mecánicos para la distribución de cal vía seca y húmeda:

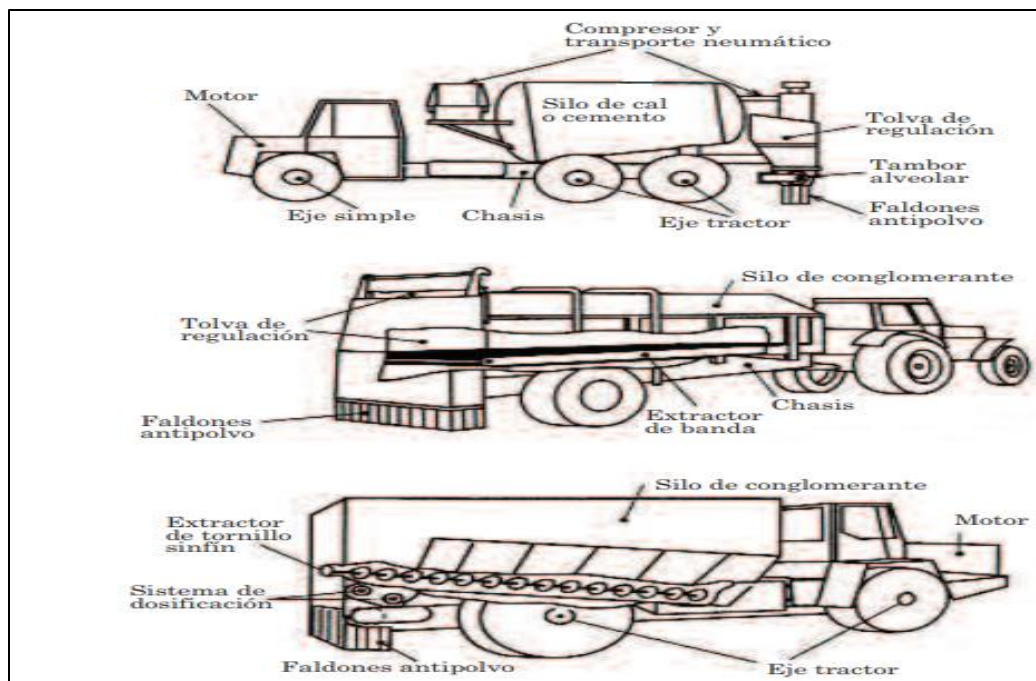
Equipos Distribución de Cal Vía Seca

Los dosificadores son equipos remolcados o automotores cuya función es la de distribuir sobre el área deseada del suelo una cantidad de conglomerante preestablecida.

El sistema de dosificación empleado por lo general, es el volumétrico, donde el dispositivo controla el caudal de la cal que se aplica y éste se encuentra controlado mediante la velocidad que tenga el equipo de riego dosificador. La figura 20 muestra los tipos de repartidores de conglomerante.

Figura 20

Dosificadores de Conglomerante



Fuente: adaptada de Repartidores de Conglomerante, de ANCADE, 2008, Manual de Estabilización de Suelos con Cal.

Equipos Distribución de Cal Vía Húmeda

Cuando el tratamiento a realizar admita el aporte de agua al suelo, se puede inyectar el ligante y el agua en forma de lechada directamente sobre el suelo con la previa escarificación del mismo. Para la fabricación de la lechada a partir de cal hidratada es posible disponer de mezcladores fijos o sobre camiones que realicen la agitación mecánica o sistemas de mezcla con agua a presión (IECA (Sakr, 2009) (Chura Mamani, 2017), 2008, pág. 34).

Los equipos de distribución y dosificación de lechada disponen de un depósito de agua y de un tanque de almacenamiento para la cal, la dosificación en el suelo se realiza por peso, como se plasma en la figura 21.

Figura 21

Equipos de Dosificación Vía Húmeda



Fuente: adaptada de Equipos de Estabilización por Vía Húmeda con Depósitos para Conglomerante de 25m³, de ANCADE, 2008, Manual de Estabilización de Suelos con Cal.

Compactación de la Superficie

La Gestión de Infraestructura de Andalucía (2010) recomienda respecto a la compactación de la mezcla de suelo estabilizada:

Los compactadores con rodillos metálicos no deben presentar irregularidades en la superficie de vibración. Los compactadores de tipo vibratorio deben contener dispositivos automáticos encargados de reducir de mane significativa la vibración cuando se invierta el sentido de marcha del equipo. El rodillo debe tener una carga estática no inferior a 300N/cm y debe tener una masa mínima de 15 toneladas.

Respecto a los compactadores neumáticos tendrán ruedas lisas, estos deben tenerla capacidad de alcanzar una masa mínima de 35 toneladas, como se refleja en la figura 22.

Figura 22

Compactador Neumático



Fuente: adaptada de Rodillos Neumáticos CW34, Caterpillar, 2022, Compactadores.

El proceso de compactación se dará como terminado cuando se alcance el grado de densidad igual o mayor al 95% en la capa estabilizada. Una vez terminada la compactación, la

superficie deberá mantenerse húmeda hasta que se aplique el riego de curado. (Gestión de Infraestructura de Andalucía, 2010, pág. 68).

El Instituto de Desarrollo Urbano IDU (2020) recomienda que respecto a la capa de suelo-cal compactada, esta deberá tener un tiempo de curación entre 3 a 7 días con el fin de permitir el endurecimiento previo a la extensión de la capa correspondiente a sub-base o base. El curado puede realizarse de dos maneras: manteniendo la superficie en condiciones húmedas mediante riego ligero y compactando cuando sea necesario; o mediante el uso de una membrana de curado formada por un sellado de superficie.

Beneficios del Proceso de Estabilización con Cal

Beneficios Constructivos

Relacionados con el desempeño y manipulación de las características del suelo en campo que favorezcan la construcción de una superficie adecuada de rodadura (vía).

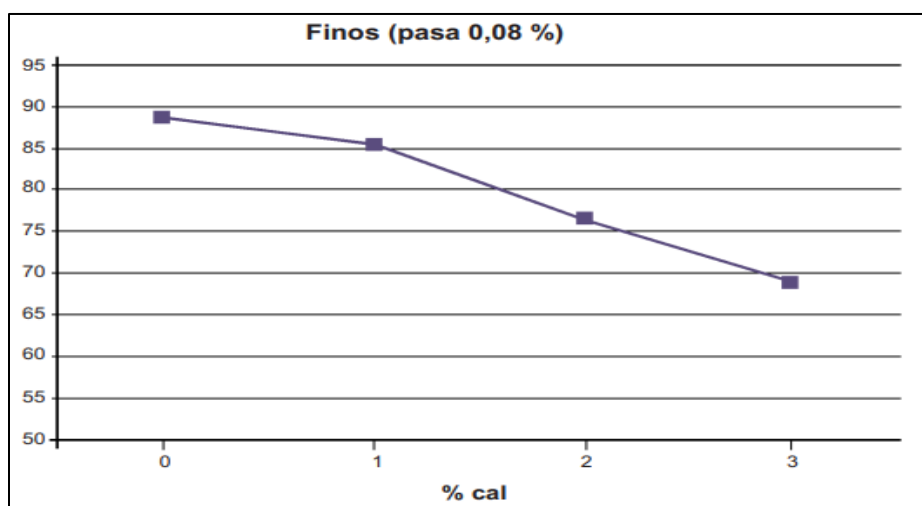
Granulométrico

Una ventaja inmediata que produce la aplicación de cal en el suelo de características arcillosas es el cambio de su composición de su franja de distribución granulométrica.

Una de las primeras acciones de la cal con los suelos es la floculación o aglomeración de las partículas de arcilla en otras más gruesas. Dicha transformación granulométrica de las fracciones de arcilla puede estimarse mediante la disminución del porcentaje de finos del suelo (IECA, 2008, pág. 37). En la figura 23 se observa la variación del porcentaje de finos respecto al porcentaje de cal (%) empleado.

Figura 23

Disminución del Contenido de Finos

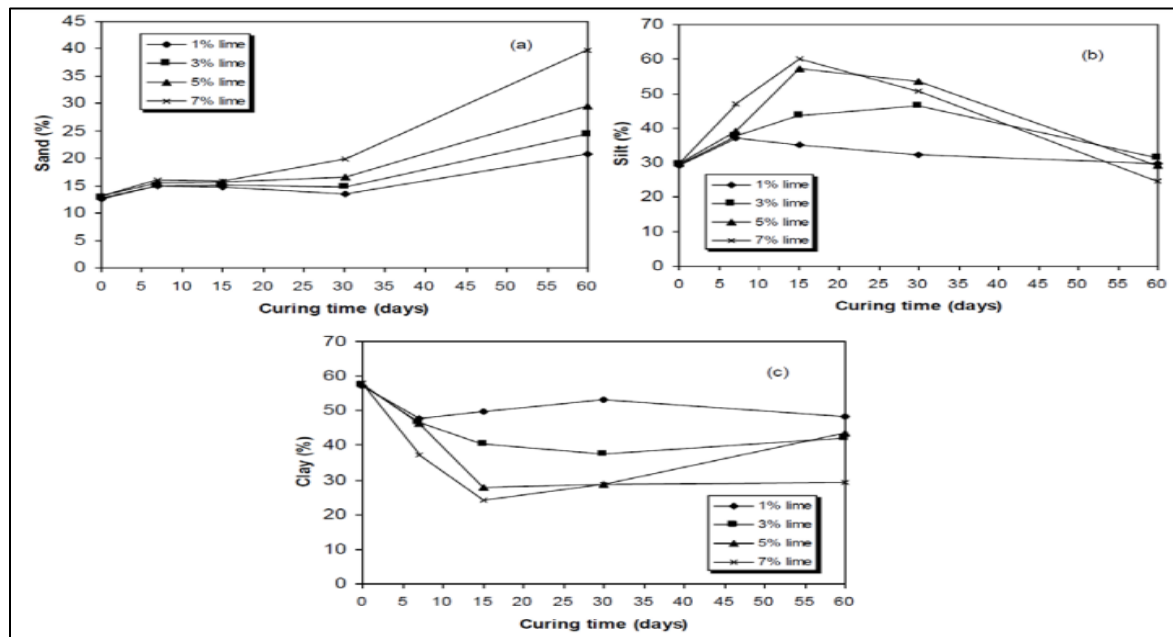


Fuente: adaptada de Disminución del Contenido de Finos, de IECA, 2008, Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal.

Sakr (2009) ilustra los cambios que ocurren y se generan en las fracciones granulométricas de un suelo mientras se aumenta el contenido de cal, según se plasma en la figura 24.

Figura 24

Cambios en las Fracciones Granulométricas de Distintos Suelos



Fuente: Adaptada de Modificación en las Fracciones Granulométricas Representativas de un Suelo por la Adición de Distintas Proporciones de Cal y Evolución con el Tiempo de Curado, de Sakr, 2009.

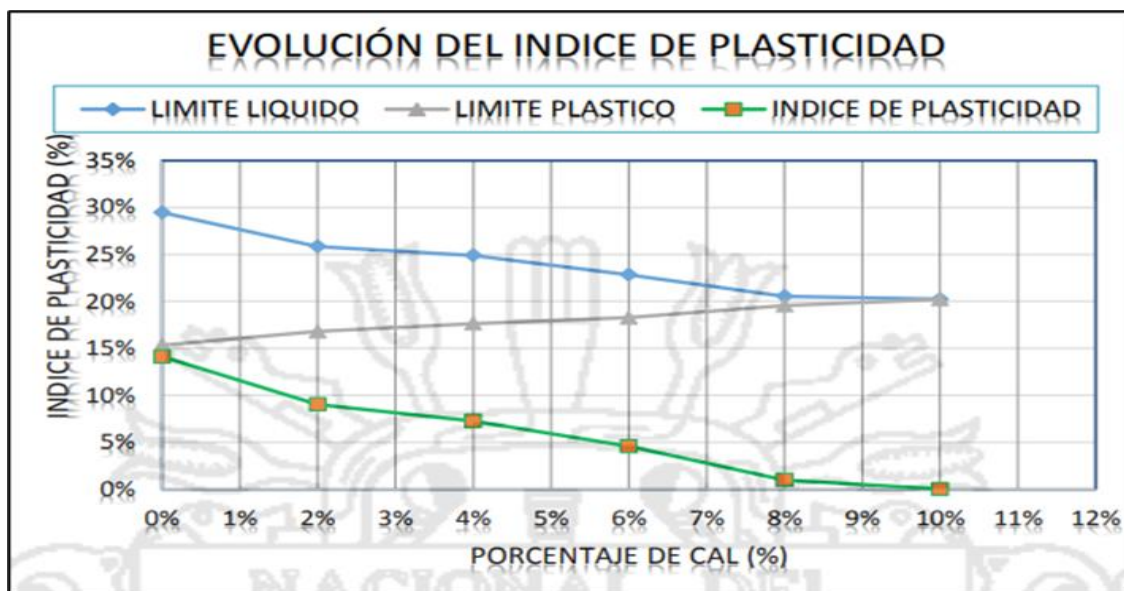
El aumento en los porcentajes de cal añadida en las arcillas y limos reduce de manera importante el porcentaje de finos en su composición estructural antes de los primeros diez días de curado del material estabilizado.

Plasticidad

Una de las principales manifestaciones de la cal en los suelos es la reducción de la plasticidad, esta provoca de manera generalizada un aumento del límite plástico sin afectar el límite líquido, a mayor presencia de cal, mayor es la reducción en la plasticidad, la cual no se evidencia de manera lineal (Bauzá Castello, 2003, pág. 9). En la figura 25 se observa el descenso progresivo en el índice de plasticidad de acuerdo al porcentaje de cal incorporado al suelo.

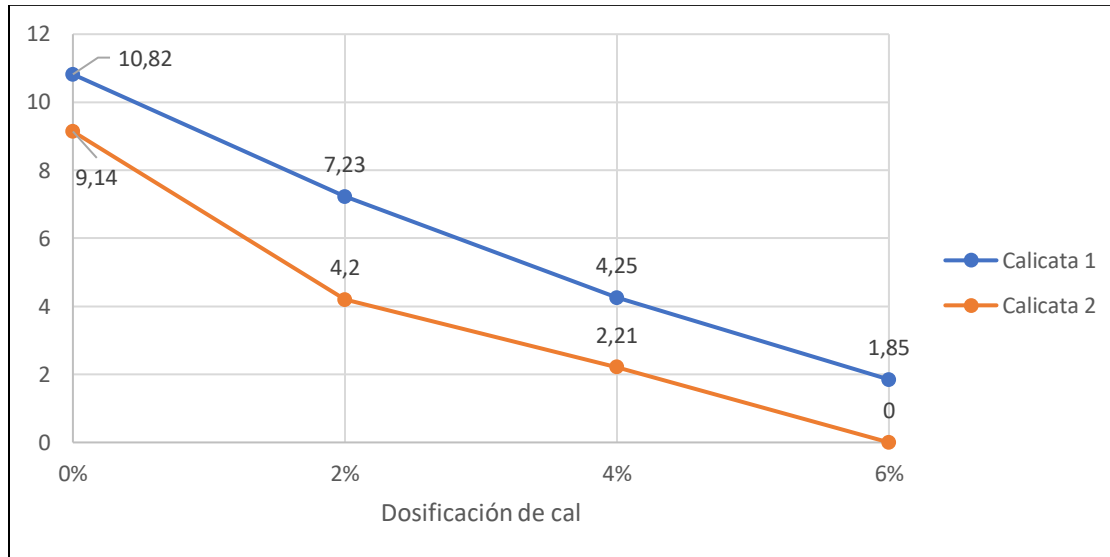
Figura 25

Variación de la Plasticidad



Fuente: adaptada de Porcentaje de Índice de Plasticidad, de Edwin Palli, 2015, Guía Básica para Estabilización de Suelos con Cal en Caminos de Baja Intensidad Vehicular en la Provincia de San Roman.

Chura Mamani & Yupanqui Romero (2017) establecen el comportamiento del índice de plasticidad de dos tipos de calicatas analizadas en un tramo de vía contenidas en la figura 26.

Figura 26*Índice de Plasticidad*

Fuente: Autor.

La dosificación de distintas cantidades de cal reduce significativamente el IP (índice de plasticidad), reduciendo los cambios en el suelo debido a la humedad evitando agrietamientos del mismo.

Estabilidad Volumétrica

Muchos suelos se expanden y contraen debido a los cambios en su contenido de humedad. Los problemas de expansión se desarrollan debido a incrementos en la humedad, los cuales deben ser controlados, porque esto genera que se fisure y se levante la estructura del pavimento (Huezo Maldonado & Orellana Martínez, 2009, pág. 23).

La figura 27 representa la evaluación del hinchamiento libre en un suelo a diferentes cantidades de dosificación de cal. Se observa reducción en el valor del porcentaje de hinchamiento, lo cual favorece la estabilidad de la estructura.

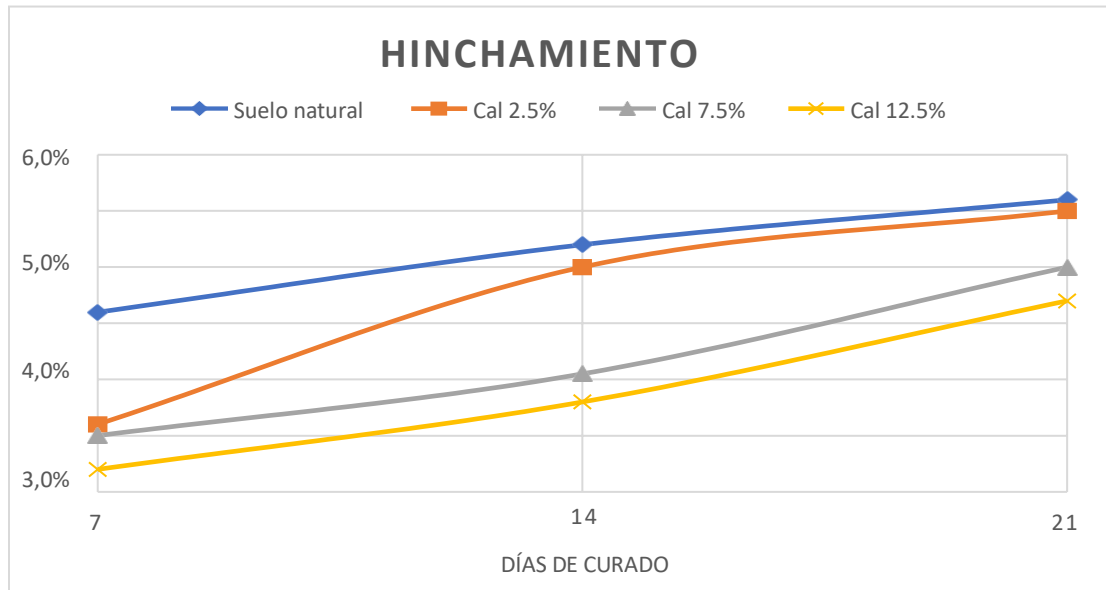
Figura 27

Hinchamiento Libre

PROFUNDIDAD (m)		1.00				
TIPO DE ESTABILIZANTE		CAL				
% ESTABILIZANTE	Pozo N°	W nat.	W inicial	Y d	%S inicial	% de expansión
3%	1	25.09	18.47	1.365	51.98	7.34
	2	31.93	18.14	1.345	50.12	6.99
	3	29.63	18.56	1.357	51.8	7.49
5%	1	25.09	18.52	1.331	49.51	5.76
	2	31.93	18.47	1.343	50.91	5.31
	3	29.63	18.7	1.346	51.32	6.09
7%	1	25.09	18.9	1.33	50.49	3.27
	2	31.93	18.64	1.324	49.92	4.24
	3	29.63	18.97	1.337	51.2	4.83

Fuente: adaptada de Hinchamiento Libre en Consolidómetro, de María Angélica Sánchez Albán, 2014, Estabilización de Suelos Expansivos con Cal y Cemento en el Sector Calcical del Cantón Tosagua Provincia de Manabí.

Guamán Iler (2016) a través del análisis de una calicata de un tramo de vía local, establece el comportamiento del esponjamiento o hinchamiento de un suelo arcilloso tratado con cal, reflejado en la figura 28.

Figura 28*Curva de Esponjamiento Suelo Estabilizado**Fuente: Autor.*

El suelo presenta menor hinchamiento (la cual es la condición ideal) cuando se agrega mayor dosificación de cal. El porcentaje de hinchamiento se eleva con el pasar de los días de curado.

Beneficios Estructurales

Relacionados con el desempeño del suelo estabilizado con material calcáreo durante su período de vida útil.

Capacidad de Soporte

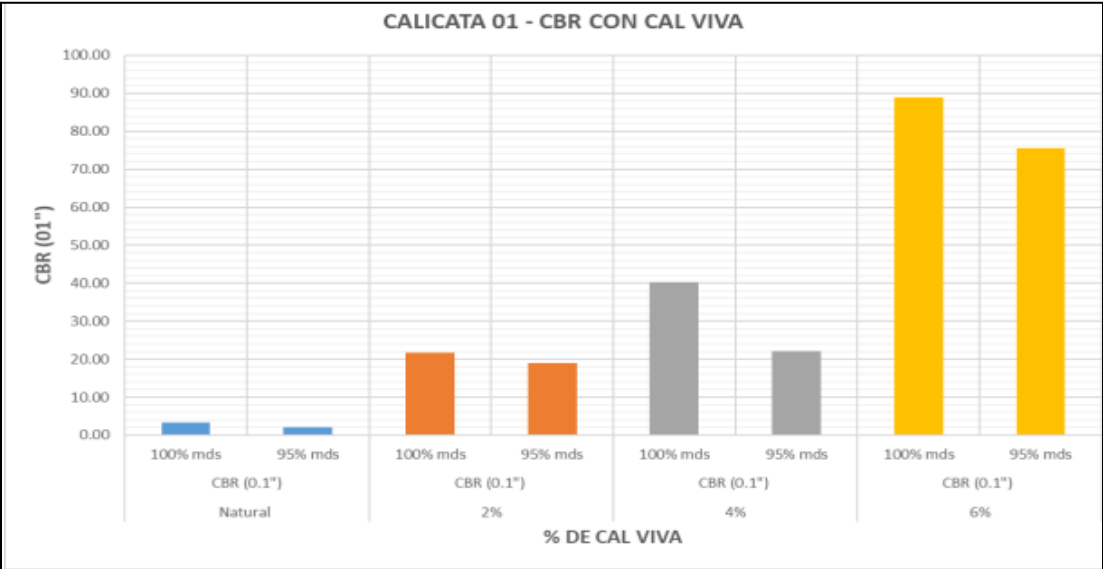
Los suelos arcillosos suelen tener una capacidad de soporte baja. Por el contrario, una vez estabilizados con cal obtienen un valor de CBR (Ensayo de relación de soporte de California, el

cual mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo) muy alto, el cual es un parámetro usado en los ensayos de control de materiales de obra (INVIAS, 2021, pág. 12).

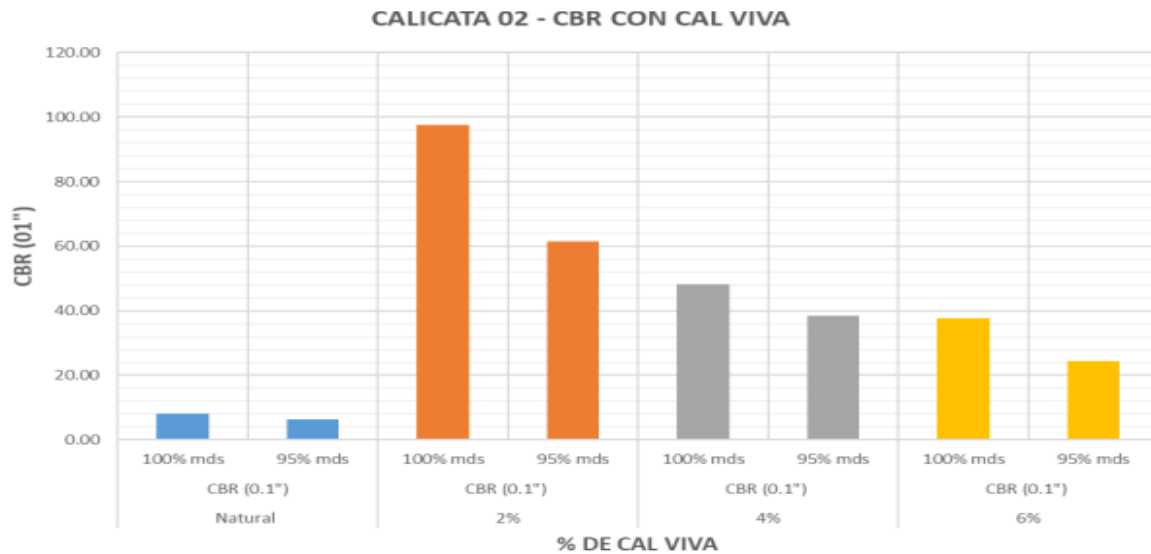
Angulo & Zabaleta (2019) realizaron el análisis comportamental empleando cal viva de muestras tomadas de dos calicatas en un tramo de vía de 560m, obteniendo la información recopilada en la figura 29 y figura 30, respectivamente.

Figura 29

Calicata 01 CBR Cal Viva



Fuente: adaptada de Resultados de CBR con (Velasquez Quispe, 2021) Cal Viva – Calicata 01, de Mariselva Angulo & Cintia Zabaleta, 2019, Estabilización de Suelos Arcillosos con Cal para el Mejoramiento de las Propiedades Físico – Mecánicas como Capa de Rodadura en la Prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan – Maynas – Iquitos.

Figura 30*Calicata 02 CBR con Cal Viva*

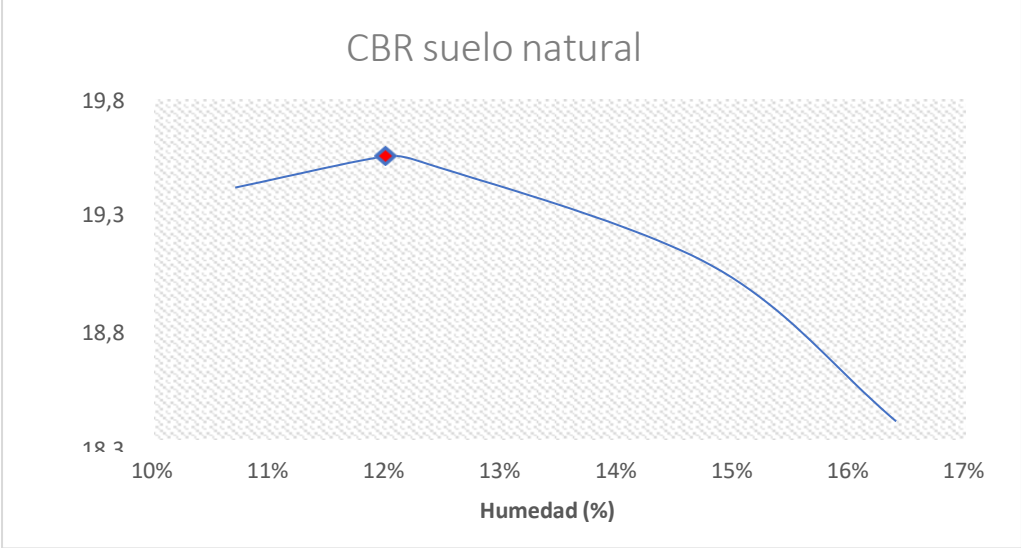
Fuente: adaptada de Resultados de CBR con Cal Viva – Calicata 02, de Mariselva Angulo & Cintia Zabaleta, 2019, Estabilización de Suelos Arcillosos con Cal para el Mejoramiento de las Propiedades Físico – Mecánicas como Capa de Rodadura en la Prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan – Maynas – Iquitos.

Los datos que se obtienen reflejan en el caso de la calicata 1, un aumento progresivo del valor de CBR mientras incrementa la dosificación de cal viva, respecto a la calicata 2, ésta obtiene el valor mayor de CBR al dosificarse el 2% de cal viva, al aumentar la cantidad de estabilizante se reduce el valor de CBR, lo cual no es óptimo.

Velásquez (2021) realizó el análisis comportamental de un suelo con características arcillosas en un tramo de 2km de vía, obteniendo los resultados plasmados en la figura 31 a figura 34.

Figura 31

CBR Suelo Natural

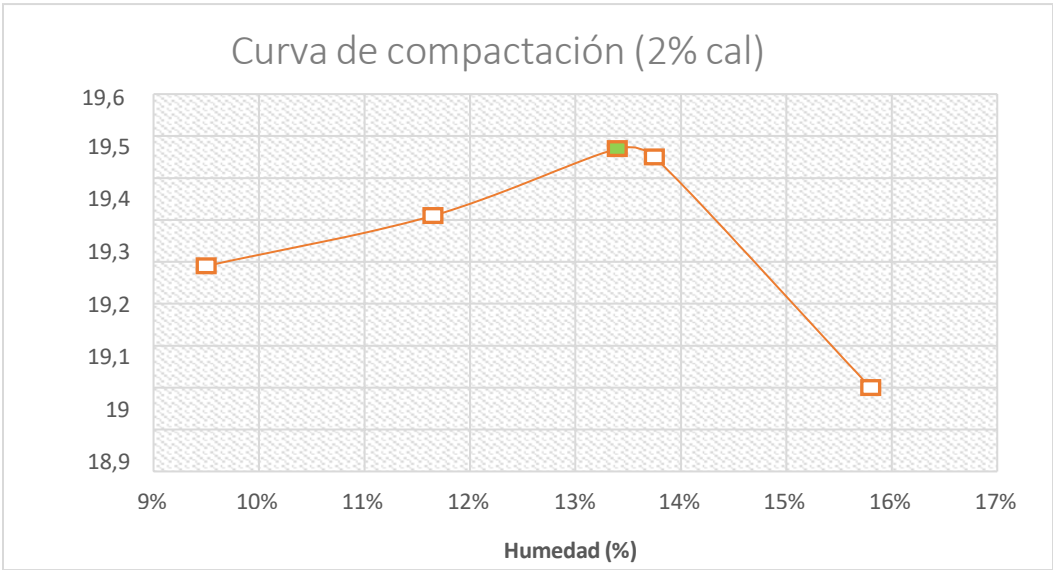


Fuente: Autor.

La curva de compactación de la subrasante del suelo sin estabilizar determina un valor de CBR de 19.38 KN/m3 y una humedad de compactación de 12%.

Figura 32

Curva de Compactación



Fuente: Autor.

La curva de compactación de la subrasante del suelo estabilizado con 2% de cal corresponde a un valor de CBR de 19.47 KN/m³ y una humedad óptima de 13.40%.

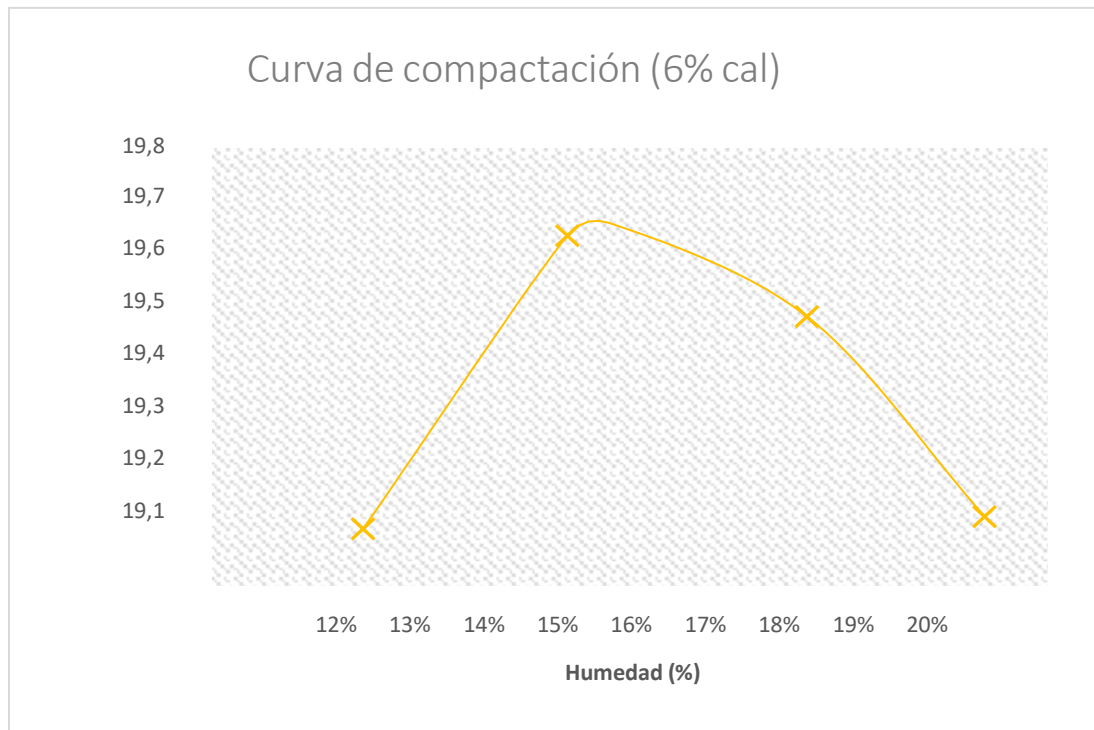
Figura 33

Curva de Compactación 4% Cal



Fuente: Autor.

La curva de compactación de la subrasante del suelo estabilizado con 4% de cal, corresponde a un valor de CBR de 19.56 KN/m³ y una humedad óptima de compactación de 15.10%.

Figura 34*Curva de Compactación 6% Cal*

Fuente: Autor.

La curva de compactación de la subrasante del suelo estabilizado con 6% de cal, corresponde a un valor de CBR de 19.68 KN/m³ y una humedad óptima de compactación de 15.80%.

El valor de CBR aumenta gradualmente mientras crece el porcentaje de cal usado en la estabilización, de esta manera, se mejora la capacidad de soporte de la estructura de suelo y aumenta la humedad óptima de compactación requerida para los trabajos posteriores sobre la base del suelo.

Resistencia a la Compresión

Elizondo et al (2010) a través del análisis de muestras de suelo y su posterior caracterización, determinaron el comportamiento del módulo resiliente ante distintas dosificaciones de cal de dos tipos diferentes (la cal categorizada en el informe como de primera que corresponde a un mayor contenido de óxido de calcio y óxido de magnesio, además de tener una granulometría mucho más fina), referirse a la figura 35.

Figura 35**Resistencia a Compresión**

Porcentaje de cal	Compresión inconfiada		Módulo resiliente		Módulo resiliente	
	7d y 40 °C		Cal de primera		Cal de segunda	
	(kPa)		(MPa)		(MPa)	
	Cal de primera	Cal de segunda	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4 %	206	-	75,71	36,34	-	-
	265	-	113,69	82,42	-	-
	275	-	72,47	39,20	-	-
Promedio	248	-	87,29	52,65	-	-
6 %	471	441	139,50	64,78	131,6	88,40
	422	481	123,30	82,85	78,91	49,11
	471	363	72,64	46,44	-	-
Promedio	454	428	111,81	64,69	105,26	68,75
8 %	755	785	80,98	47,50	111,32	74,10
	932	726	187,16	137,93	96,86	67,39
	991	676	82,28	55,05	-	-
Promedio	892	729	116,81	80,16	104,09	70,74
10 %	-	980	-	-	113,93	69,63
	-	941	-	-	211,22	124,14
	-	1 089	-	-	-	-
Promedio	-	1 004	-	-	162,58	96,88

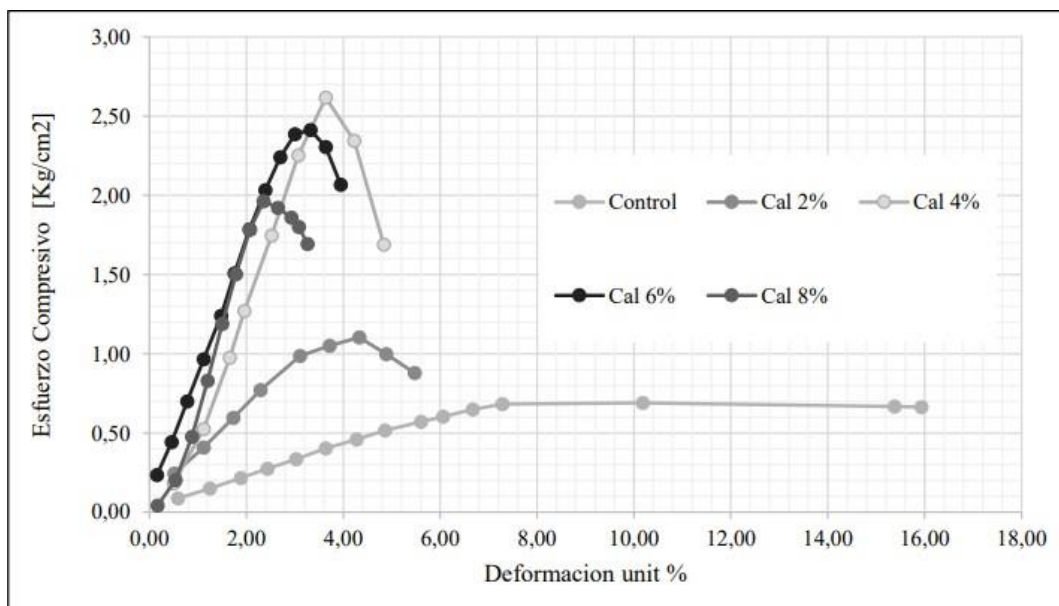
Fuente: adaptada de Ensayos de Desempeño Cal de Primera y Segunda, de Fabián Elizondo, Alejandro Navas & Denia Sibaja, 2010, Efecto de la Cal en la Estabilización de Subrasantes.

Se evidencia el aumento del valor de resistencia a la compresión de manera exponencial a medida que aumenta la dosificación empleada de cal (en este caso de análisis, de dos tipos diferentes de cal).

Parra Gómez (2018) a través de la estabilización de un suelo arcilloso con distintos porcentajes de cal determina el comportamiento de la resistencia a la compresión, detallado en la figura 36.

Figura 36

Comportamiento del Esfuerzo Compresivo



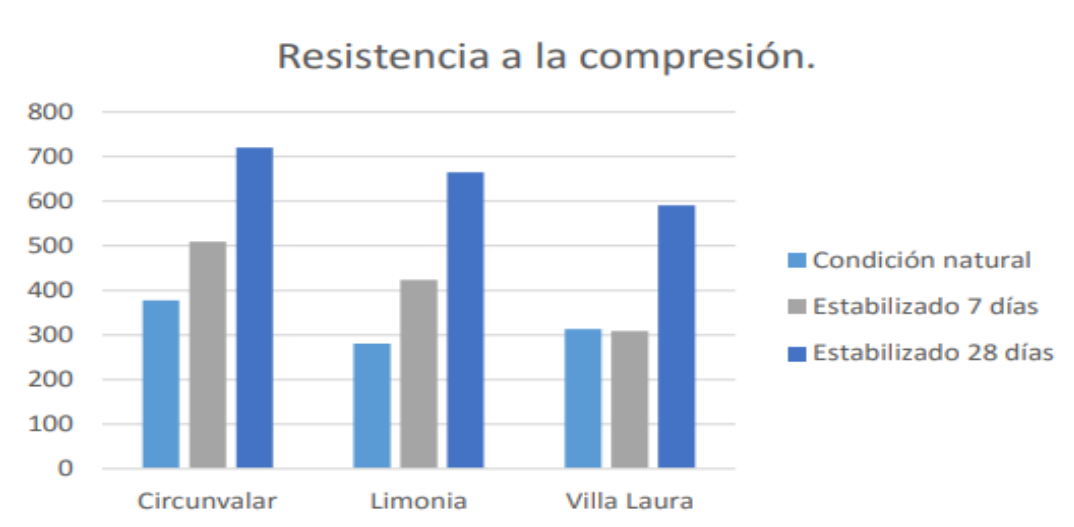
Fuente: adaptada de Comparación Muestra de Control vs Dosificaciones de Cal, de Parra Gómez, 2018, Estabilización de un Suelo con Cal y Ceniza Volante.

El mayor aumento en el esfuerzo compresivo se obtiene cuando se dosifica el suelo con 4% de cal, cuando se aumenta la dosificación de cal, este valor de resistencia a la compresión disminuye.

Sánchez Cáceres & Rincón Jaime (2019) establecen a través de la estabilización de un suelo arcilloso (obtenido de tres zonas distintas de extracción) mediante el uso de cal con dosificación de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% obteniendo el análisis comportamental reflejado en la figura 37 (valores de resistencia expresados en KPa).

Figura 37

Resistencia a la Compresión Suelo Estabilizado



Fuente: adaptada de Resistencia a la Compresión Simple, de Sánchez Cáceres & Rincón Jaime, 2019, Determinación de las Propiedades Mecánicas de Material Proveniente de Zonas de Extracción en el Municipio de Ocaña, para su Uso en Vías en Afirmado, Estabilizado con Cal Hidratada.

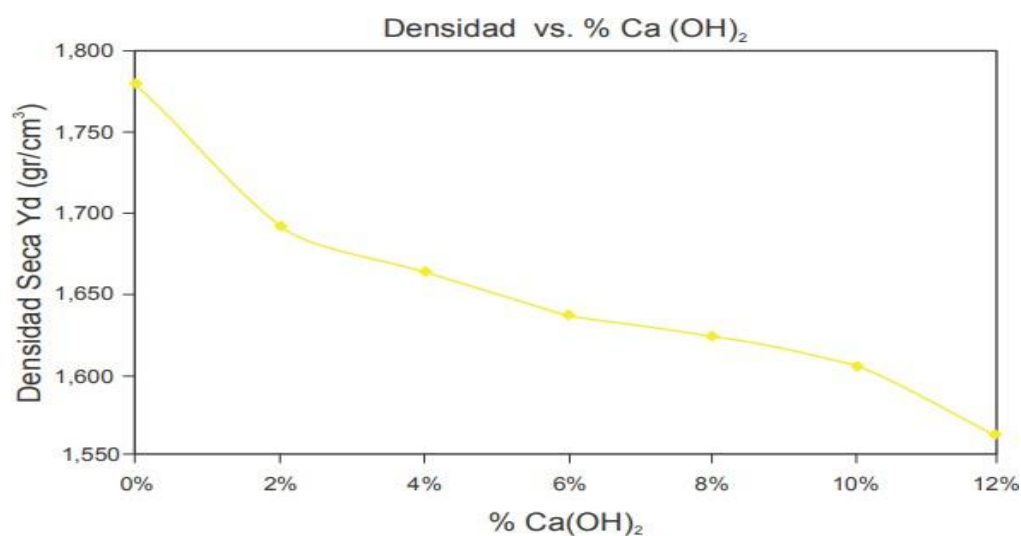
Se observa un aumento considerable (casi del 100%) en el valor obtenido de la resistencia a compresión de las tres muestras analizadas en el tiempo de 28 días de curado del suelo estabilizado con cal.

Características Mecánicas

Sandoval Higuera et al (2012) concluyeron a través del análisis de distintas muestras de suelo de tipo arcilloso estabilizado con distintas dosificaciones de cal, sujetos a ensayos mecánicos, la variación de algunas características que se observan en la figura 38 y figura 39, respectivamente.

Figura 38

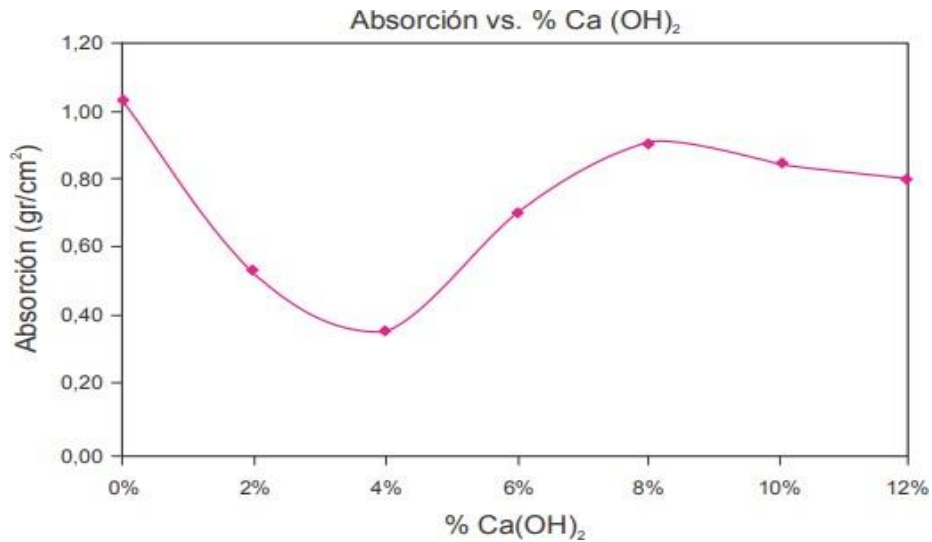
Densidad vs Porcentaje de Cal



Fuente: adaptada de Tendencia de la Característica Mecánica de Densidad vs Ca(OH)_2 , de Sandoval Higuera, Gómez Cristancho, & Pardo Naranjo, 2012, Caracterización de un Suelo Arcilloso Tratado con Hidróxido de Calcio.

La densidad seca es una condición preponderante en el comportamiento estructural del suelo en el ejercicio como fundación de estructuras viales, se evidencia que disminuye significativamente mientras aumenta la cantidad de cal dosificada.

Respecto al comportamiento de absorción del suelo:

Figura 39*Absorción vs Porcentaje de Cal*

Fuente: adaptada de Tendencia de la Característica Absorción vs Ca (OH)₂, de Sandoval Higuera, Gómez Cristancho, & Pardo Naranjo, 2012, Caracterización de un Suelo Arcilloso Tratado con Hidróxido de Calcio.

La absorción del suelo debe ser menor dado que una alta absorción permite el ingreso de agua a la estructura del mismo generando inestabilidad del mismo, se evidencia que la cal en dosificaciones bajas permite reducir esta condición, al contrario, cuando se elevan los valores de cal, esta absorción aumenta a valores cercanos a las condiciones del suelo natural.

Beneficios de Durabilidad

Resistencia

Behak & Nuñez Peres (2008) establecieron, a través de la caracterización de un suelo arenoso mediante el uso de cal y realización de ensayos de durabilidad mediante el empleo de probetas, teniendo en cuenta los ciclos de humedecimiento y posterior secado, los cocientes de

resistencia y su variabilidad según la dosificación de cal añadida, como se observa en la figura 40.

Figura 40

Cociente de Resistencia

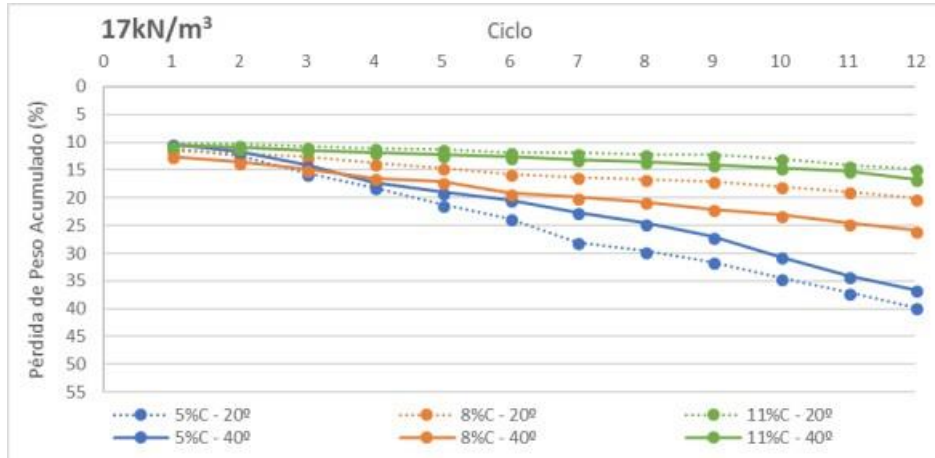
Contenidos (%CCA+%Cal)	RCI (kPA)		Cr (%)
	Sin Ciclos	Con Ciclos	
15+5	210	134	64
20+5	197	141	72
20+10	364	279	77

Fuente: adaptada de Cociente de resistencia (Cr) para diferentes mezclas de suelo con CCA y cal, de Behak & Nuñez Peres, 2008, Caracterización de un Material Compuesto por Suelo Arenoso, Ceniza de Cáscara de Arroz y Cal Potencialmente Útil para su Uso en Pavimentación.

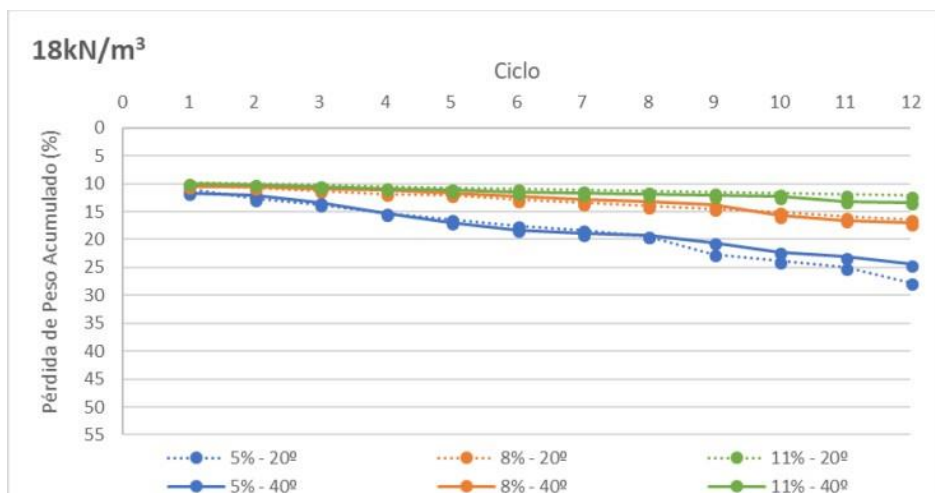
Se observa un aumento del Coeficiente de Resistencia en la caracterización del suelo cuando se aumenta la dosificación de cal, además, el valor de la resistencia a la compresión inconfiada (RCI) de la mezcla con 10% de cal sometida a ciclos es mayor que la RCI de las mezclas con 5% de cal.

Pérdida de Masa Acumulada

Duré et al (2018) establecen a través del análisis de suelos estabilizados con cal de 5%, 8% y 11%, y tiempos de curado de las muestras de 7 y 28 días, la pérdida de masa en función del contenido de cal empleado, obteniendo la información relacionada en la figura 41 y figura 42.

Figura 41*Pérdida de Masa Acumulada 17KN/m³*

Fuente: adaptada de *Pérdida de Masa Acumulada en Función del Número de Ciclos para Diferentes Porcentajes de Cal (5%,8%, 11%) del Suelo-Cal y Diferentes Temperaturas de Curado a 7 Días (Densidad 17 kN/m³), de Duré, y otros, 2018, Efecto de la Temperatura de Cura en Suelos Dispersivos Estabilizados con Cal y Reforzados con Fibra de Polipropileno en Términos de Resistencia y Durabilidad.*

Figura 42*Pérdida de Masa Acumulada 18KN/m³*

Fuente: adaptada de Pérdida de Masa Acumulada en Función del Número de Ciclos para Diferentes Porcentajes de Cal (5%,8%, 11%) del Suelo-Cal y Diferentes Temperaturas de Curado a 7 Días (Densidad 18 kN/m³), de Duré, y otros, 2018, Efecto de la Temperatura de Cura en Suelos Dispersivos Estabilizados con Cal y Reforzados con Fibra de Polipropileno en Términos de Resistencia y Durabilidad.

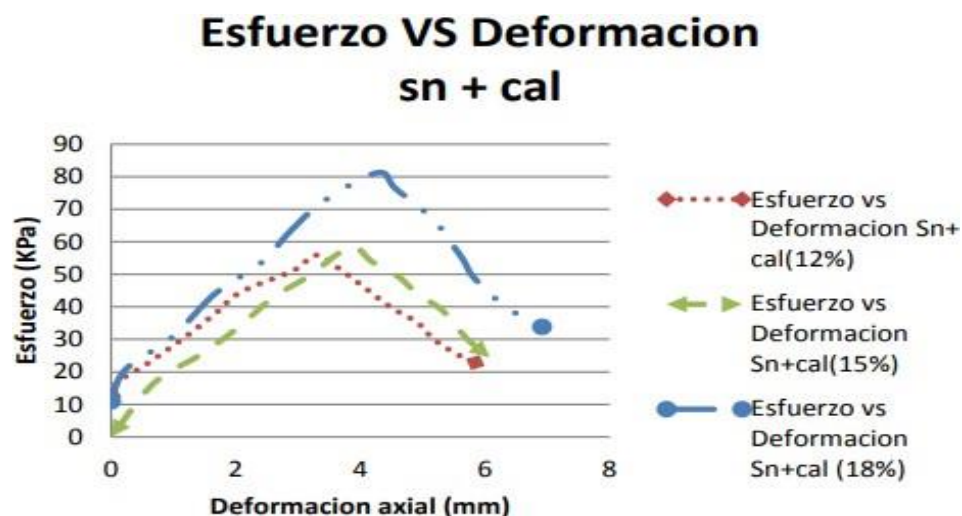
El porcentaje de cal (11%) aplicado en el suelo estabilizado disminuye la pérdida de peso acumulado del mismo y considerando el porcentaje de contenido óptimo de humedad, esto favorece la durabilidad del suelo frente a ciclos de humedad y sequedad en distintas épocas del año.

Esfuerzo vs Deformación

Calderón Ramírez & Velosa Hernández (2017) realizaron ensayos de durabilidad de una masa de suelo tratada con cal, mediante hundimiento y secado de muestras de suelo compactadas, evaluando el esfuerzo vs deformación axial, como se detalla en la figura 43.

Figura 43

Esfuerzo vs Deformación Suelo Natural más Cal



Fuente: adaptada de Gráfica Esfuerzo vs Deformación Suelo Natural + Cal, de Calderón Ramírez & Velosa Hernández, 2017, Análisis de Resistencia a la Compresión Inconfinada y Durabilidad de un Suelo Arcilloso Estabilizado con Cal Adicionando Fibras de Material no Biodegradable.

La resistencia a la compresión inconfinada que se observó en las probetas suelo-cal determinó que los resultados de mayor aceptación se presentaron en las muestras que contenían mayor contenido de cal, debido a que presentaron valores de resistencia altos a esfuerzos de tipo cortante en comparación a dosificaciones menores de cal.

Beneficios Ambientales

Estabilizar suelos mediante el uso de productos químicos como la cal permite la reducción en el impacto ambiental que generan la construcción de obras civiles, esto debido a que la disminución del pedido de materiales usados en la construcción de capas de tipo estructural en pavimentos, reutilizando el material en obra o reduciendo su espesor, se logra minimizar los impactos intensivos que trae consigo la explotación de canteras (Rodríguez Moreno & Hidalgo Montoya, 2005).

La estabilización del suelo ha sido un procedimiento funcional técnica y operativamente para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, debido a que estabilizan las condiciones del suelo, disminuyen de manera significativa los costos asociados al transporte y explotación de materiales de cantera proveniente de los ríos que abastecen a comunidades, evitando de esta manera alteraciones drásticas del paisaje minimizando su impacto ambiental negativo (Barajas Medrano & Campo Nadad, 2006).

El uso de la cal como agente estabilizador de suelos disminuye el uso de vertederos en las zonas próximas a entornos municipales, los cuales presentan cada vez mayores dificultades, esto

debido a los problemas de impacto ambiental negativo asociados en el uso de espacios al aire libre usados como vertederos, así como por la calificación urbanística de las distintas zonas aledañas a la obra (Arenas Pérez, 2006).

Componente Geosférico

Barrera Osorio (2010) establece a través del estudio del uso de materiales de cantera, la reducción del impacto ambiental que trae consigo la baja extracción de minerales y materiales propios de la zona, a través de la evaluación de los siguientes componentes:

Paisaje

Reducción del deterioro presente en las etapas de excavación, perforación y explotación de la piedra caliza (cal). Se evita además la disminución evidente de la vegetación nativa de la zona.

Se reduce la afectación directa sobre el suelo, que implica cambios en la matriz del mismo, en su color, su estabilidad, su forma y su textura, viéndose afectada de sobremanera.

Geoformas

Se presenta la reducción, debido a la baja extracción de material, de los fenómenos erosivos propios de las actividades de la cantera de extracción que impacta en las propiedades físicas del suelo causando su erosión.

Se reducen los fenómenos de inestabilidad en la zona, cuando se realiza extracción de material, excavaciones mediante uso de maquinaria o explosiones, evitando el daño en la estructura de soporte de los taludes.

Aguas Subsuperficiales

En los cuerpos de agua cercanos a las zonas de extracción se observa el fenómeno de disminución de caudal de los mismos, se reduce además la contaminación en las características físicas, biológicas y bacteriológicas de estos cuerpos de agua, que afecta el riego de cultivos, el consumo humano y animal (pág. 12).

Componente Atmosférico

Fuentes Sardiña & Hernández Álvarez (2014) relaciona las ventajas que se producen con la reducción del uso de canteras de extracción:

Calidad Atmosférica. Se reducen los altos niveles de ruido propios de las actividades de explotación a cielo abierto, lo cual puede afectar el sentido de la audición de las personas en cercanía a la cantera. Se reduce el impacto en la calidad del aire de la zona de extracción, evitando en las personas el padecimiento de enfermedades respiratorias que afectan la calidad de vida (pág. 16).

Granados Hurtado & Villota López (2008) establece que la reducción en la extracción de material de cantera permite el descenso en las emisiones de gases y partículas generados en las actividades de excavación mediante el uso de equipo minero, además reduce drásticamente el transporte mediante el uso de volquetas, las cuales generan polvo en las vías de acceso de las zonas habitables afectando las personas, la cobertura vegetal y los animales nativos (pág. 22).

Componente Biótico

Marchevsky et al (2018) definen los beneficios en el comportamiento biótico que presenta la reducción de la extracción de material en canteras:

Flora. Se reduce la disminución en la cobertura vegetal debido a la disposición inadecuada de residuos y el crecimiento de los bancos de tierra, se evitan los deslizamientos que cubren la cobertura vegetal circundante favoreciendo los procesos de fotosíntesis para su crecimiento, se reduce la remoción total de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas cuando se realizan las labores de preparación y mantenimiento del área a explotar, siendo éstas, las que mayor afectación presentan.

Fauna. Se reduce la afectación en la fauna debido a que las actividades de extracción alteran el medio ambiente en que se encuentran también debido al transporte del material usado en obra, se reduce el impacto en animales domésticos que habitan cerca de estas zonas de extracción cuando se usan explosivos (pág. 25).

Granados Hurtado & Villota López (2008) que se logra una reducción en la afectación sistemática de la fauna, la cual debido a las actividades de desbroce y descapote de la capa vegetal se remueven el hábitat y el alimento de las especies nativas del lugar.

Social. Se reducen las afectaciones de tipo social reflejadas en que las familias circundantes a las zonas de cantera, se ven afectadas en su propiedad privada debido al tránsito y vibración de los vehículos empleados en las actividades de extracción, además se reduce la afectación sobre las vías de acceso local que permiten y facilitan el comercio de productos de la región, dado que el tránsito de equipo minero y de transporte de material sobre las vías locales, genera daños en el soporte, estructura y estabilidad de la misma, dificultando la movilidad y el acceso a las personas y comerciantes del sector (pág. 45).

Costos Asociados a la Construcción de Vías Terciarias

El Departamento Nacional de Planeación (2018) establece el documento de proyectos tipo que enmarca las actividades encaminadas al mejoramiento de vías terciarias en el país, y relaciona los costos de inversión, el cual varía dependiendo la ubicación de la obra, las vías de comunicación de la zona a intervenir, la longitud de la vía, la variación anual de precios, entre otros factores.

Inversión Económica Previa

Diagnóstico Técnico

El Departamento Nacional de Planeación (2018) establece que previo a la implementación de un proyecto de construcción y/o mejoramiento de vías terciarias debe hacerse una visita de campo con el fin de lograr una descripción detallada de la vía a intervenir, además de establecer las dificultades en términos de comunicación terrestre asociada a tiempos de viaje, cierres y atención de puntos críticos durante el recorrido generados por tiempos de lluvia, remoción en masa, cruces de agua, accidentes geográficos y construcciones importantes, se deben identificar mediante registro fotográfico elementos y obras de arte en lo que será el trazado de vía.

En esta fase se determina además el nivel de deterioro de la vía a mejorar e intervenir con el fin de garantizar la sostenibilidad del proyecto de inversión, a través de parámetros específicos como la capacidad portante del suelo, manejo de caudales y comportamientos geotécnicos y geológicos de la zona (pág. 10).

La caracterización vial del tramo a intervenir se debe realizar considerando la metodología general que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras

(SINC), planteada por el Ministerio de Transporte mediante la resolución 1860 de 2013 (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 12)

Estudio Topográfico

El Departamento Nacional de Planeación (2018) establece la información levantada en el estudio topográfico deberá estar georreferenciada al sistema Magna-Sirgas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). El levantamiento topográfico debe contener todos los detalles de importancia existentes en la zona, tales como las cercas, construcciones aledañas, accesos, bordes de vía, ríos, quebradas, torres de energía, postes de energía o alumbrado, redes, bancas, cunetas, alcantarillas, señales de tránsito y demás detalles que se encuentren dentro de la zona de influencia y tengan relevancia para el desarrollo del proyecto. Igualmente es importante que, previamente a la toma de detalles, se materialicen puntos de referencia (mojones de concreto) preferiblemente fuera del área de construcción, consistentes con el proceso de categorización de las vías a intervenir.

El resultado se debe plasmar en planos de planta con los detalles existentes a una escala de 1:500 o 1:1.000, con las elevaciones representadas con curvas de nivel por cada metro y acotadas cada 5 metros, debe contener además los linderos, la identificación de los terrenos, predios y construcciones, la ubicación de las vías, caminos de acceso, el drenaje natural, la localización de fuentes de material y otras características especiales. De igual forma se debe presentar los perfiles longitudinales y transversales que muestren las pendientes reales del terreno, las obras de drenaje existentes, los elementos de contención y demás obras encontradas (pág. 15).

Estudio de Suelos

Tiene como objetivo verificar la capacidad de soporte del suelo que la estructura que servirá como subrasante y soporte de la vía a construir, evaluada en términos de resistencia.

Según el INVIAS (2021) el manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito establece que, para resultados menores al 3% de CBR, en el ensayo de Relación Suelo Soporte según la norma INVIAS I.N.V E-148, estos se consideran suelos blandos de baja calidad para una subrasante. En el caso que se presente esta condición es necesario considerar procedimientos de mejoramiento o estabilización para el suelo analizado (pág. 20).

El INVIAS (2021) establece como parte del estudio de suelos, se deberán ejecutar como mínimo los siguientes ensayos de laboratorio para la caracterización de la subrasante del proyecto vial a estructurar:

Límites de Atterberg.

Análisis granulométrico de suelos por tamizado INV E – 123 – 13.

Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR “in situ”) INV E – 169 – 13 o CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada INV E – 148 – 13.

Relación humedad-densidad (Proctor).

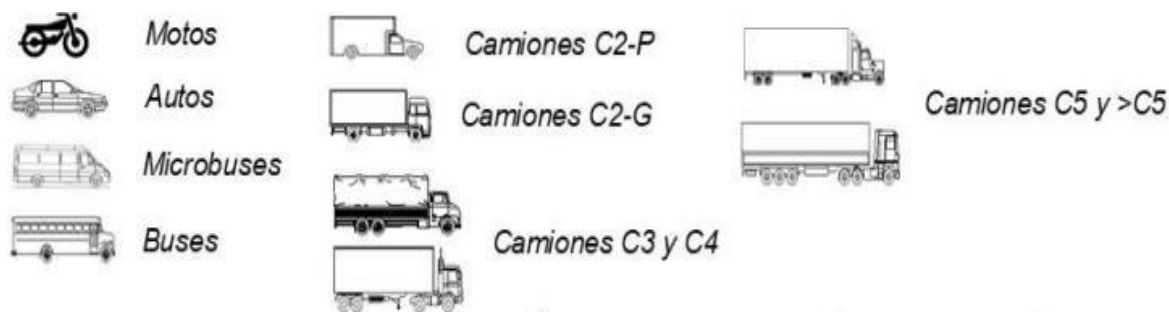
Como resultado del componente geológico y geotécnico del estudio de suelos del proyecto a estructurar, se debe generar una propuesta de subdivisión de la longitud total de la vía a fin de establecer tramos de características homogéneas y proponer las unidades que servirán de diseño del tramo a construir (pág. 21).

Estudio de Tránsito

El Departamento Nacional de Planeación (2018) determina que se deben verificar los volúmenes vehiculares en los tramos a considerar para el proyecto, con el fin de identificar que la circulación de vehículos se mantiene en lo considerado como tránsito bajo para la implementación de la construcción y/o mejoramiento de vía terciaria.

Se realizan aforos vehiculares en puntos definidos en el diagnóstico técnico con el objeto de medir los volúmenes de tránsito sobre el o los tramos del proyecto, en ambos sentidos de circulación.

La información se debe clasificar según tipo de vehículo que transita en cada sentido de circulación. Las tipologías vehiculares a diferenciar corresponden a: autos, motos, microbuses, buses, camiones de dos ejes pequeño C-2P, camiones de dos ejes grande C-2G, camiones de 3 ejes C-3, camiones de 4 ejes C-4, camiones de 5 ejes C-5 y camiones de 6 o más ejes >C-6, como se muestra en la figura 44 (pág. 23).

Figura 44*Tipología Vehicular en Aforos*

Fuente: adaptada de Tipología Vehicular a Clasificar en los Aforos Planteados en el Presente Proyecto Tipo, de Departamento Nacional de Planeación, 2018, Mejoramiento de Vías Terciarias Vías de Tercer Orden.

El estudio de tránsito para este caso tiene dos objetivos principales: el primero, es estimar la demanda vehicular del tramo a intervenir para determinar el número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas, que transitarán en el periodo considerado de 5 años para realizar el diseño de la estructura de pavimento, y el segundo, corresponde a determinar el vehículo de diseño con el que se plantearán las mejoras a la geometría vial en términos de mejoras de alineamiento horizontal y sobreelevaciones requeridas, con el fin de asegurar el paso seguro de los vehículos (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 26).

Diseño Geométrico de la Vía

El INVIAS (2021) establece los aspectos que debe considerar el diseño geométrico de vías:

Alineamiento Horizontal. La propuesta de mejoramiento del alineamiento horizontal, debe ceñirse lo más posible al eje horizontal de la vía existente para garantizar que la rectificación propuesta de curvas y entretangencias no genere mayor movimiento de tierras.

Alineamiento Vertical. En el diseño del mejoramiento del alineamiento vertical se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y disipadores de energía. Debe ceñirse lo más posible a la cota del terreno natural o de la vía existente para que no genere mayor movimiento de tierras.

Secciones Transversales. Se generan las secciones transversales, cada 10 metros, las cuales deberán involucrar el movimiento de tierra necesario para la implementación del proyecto, incluyendo la permanencia o retiro parcial o total de capas existentes. En esta etapa y durante el análisis de dichas secciones se complementará el estudio de muros, obras de drenaje, etc. De este proceso se obtendrán los volúmenes de corte y relleno para el proyecto,

fundamentales para la determinación de las cantidades de obra y la elaboración del presupuesto (pág. 20).

Estudio Hidrológico

El Departamento Nacional de Planeación (2018) establece la información que debe contener el documento:

Resumen de la localización del proyecto

Recopilación y análisis de la información existente

Metodología

Análisis de lluvias

Análisis de caudales (cuando se requiera para el tratamiento de cauces existentes)

Justificación de las fórmulas empleadas

Aplicación de las teorías y métodos de predicción determinación de caudales para diseño hidráulico

Conclusiones y recomendaciones (pág. 27).

Diseño Hidráulico

Tiene como finalidad el diseño de las estructuras que permitan utilizar y controlar los caudales de los cuerpos de agua identificados en el estudio hidrológico. Debe incluir:

Geomorfología, Dinámica Fluvial, Hidráulica de obras, Uso de programas de cómputo, Validación de diseños típicos de elementos, Diseño de elementos especiales, Conclusiones y recomendaciones (INVIAS, 2021, pág. 16).

Gestión Predial

El proyecto de mejoramiento de vías terciarias se ubica, normalmente, sobre una vía existente, y una de sus principales características es que se debe evitar, en lo posible, la afectación de predios privados por lo cual el diseño se ubica entre cercas o linderos existentes (INVIAS, 2021, pág. 38).

Manejo Ambiental

El INVIAS (2011) establece que para las condiciones de tipo ambiental en el mejoramiento de vías terciarias se debe ejecutar el Plan de Adaptación de la Guía Ambiental y se deben tener en cuenta los parámetros establecidos en la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura, subsector vial.

En cuanto a las fuentes de materiales, se debe contar con certificación de existencia de canteras u otras fuentes para el proyecto. Se requiere además contar con resolución de aprobación de la Corporación Autónoma Regional de la zona para el sitio de disposición de materiales y escombros propuesto para el mejoramiento de la vía terciaria (pág. 25).

Costos de Ejecución

El Departamento Nacional de Planeación (2018) establece un costo promedio entre \$765.000.000 y \$845.000.000 por kilómetro de longitud de vía terciaria mejorada, en una sección de vía con un ancho de calzada de 6m, 70 cm de cuneta y 2.3 m de carril en cada sentido de flujo (pág. 25).

Presupuesto del Proyecto

El Departamento Nacional de Planeación (2018) relaciona el presupuesto con las actividades de ejecución del proyecto de mejoramiento de vía terciaria en obra, debe estar incluido en el presupuesto, los costos de cada actividad a realizar, los costos directos totales y los costos indirectos (AIU), así como el valor que tendrá la Interventoría encargada de verificar a detalle el proceso constructivo de la vía:

Cantidades de obra

Detalle de cada Análisis de Precio Unitario (APU) de las actividades

Detalle de porcentaje de Administración, Imprevistos y Utilidades (AIU)

Detalle de presupuesto de interventoría

Cronograma de obra

Proceso constructivo.

Especificaciones generales y particulares de construcción (pág. 32).

Respecto a los costos del proceso constructivo, es decir, el desarrollo de las actividades que hacen parte del proyecto de mejoramiento de vías terciarias (ver figura 45) y que se especifican en el presupuesto, INVIAS (2018) recomienda las siguientes actividades:

Figura 45*Proceso Constructivo Vías Terciarias*

Fuente: adaptada de Proceso Constructivo, de Departamento Nacional de Planeación, 2018, Mejoramiento de Vías Terciarias Vías de Tercer Orden.

El Departamento Nacional de Planeación (2018) establece un marco de actividades que representan el proceso constructivo de vías terciarias y que están estrechamente relacionadas con la determinación de los cálculos de cantidades de obra sobre las cuales se establecen los costos directos del proyecto se citan a continuación, la reducción en cantidades de obra relacionadas con la conformación y mejoramiento de subrasante, así como la subbase granular, reduce los espesores de pavimento rígido o flexible según sea el caso, esto favorece no solo el cronograma de actividades sino además impacta de manera positiva en el descenso presupuestal de la obra, no sólo en costos directos sino además en los costos indirectos del proyecto.

Localización y Replanteo. En esta actividad se debe verificar la referencia que entrega el sistema de coordenadas que se emplea levantamiento topográfico del terreno donde se incluyen las curvas de nivel y la referencia altimétrica se realiza a partir de la cota que se extrae de los puntos BM o de amarre.

Realizar Obras Preliminares. Son aquellas actividades previas al inicio de la ejecución de la obra, a considerar: la conformación de la calzada existente, la excavación mecánica, el mejoramiento de la subrasante y la demolición de obras existentes.

Conformación de la Subrasante. Se verifica el cumplimiento técnico de los materiales usados como fundación de las obras de la vía. Se verifica la capacidad portante del material.

Mejoramiento de la Subrasante. Comprende las actividades de estabilización con cal, se realiza mediante escarificación, extendido, conformado y compactado de la mezcla suelo-cal.

Subbase Granular. Suministro, colocación y compactación de material de subbase granular aprobado sobre una superficie debidamente preparada, en una o más capas, de acuerdo con los alineamientos del estudio de suelos y dimensiones indicadas.

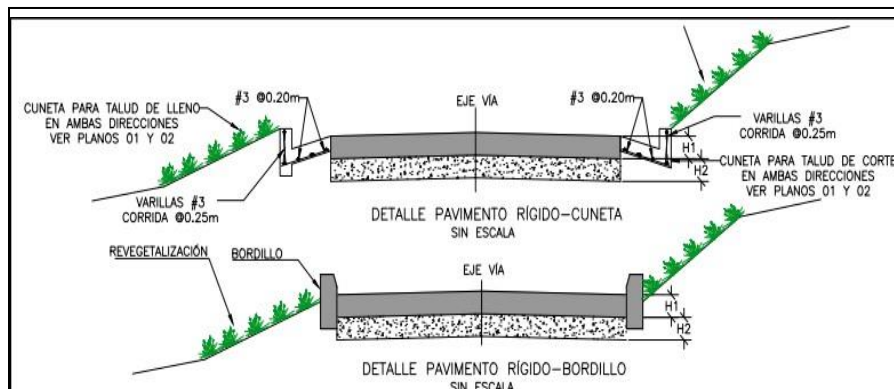
Base Granular. Capa granular localizada entre la sub base granular y la capa de rodadura. Debe cumplir las especificaciones INVIAAS requeridas.

Pavimento Rígido. Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado (pág. 39).

El Ministerio de Transporte (2020) establece recomendaciones para el diseño y construcción de pavimentos rígidos en vías terciarias, como se observa en la figura 46 a figura 47.

Figura 46

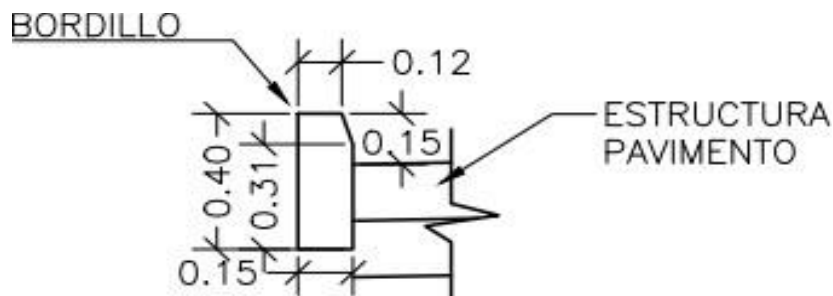
Pavimento Rígido



Fuente: adaptada de Estructuras de Pavimentos Rígidos, de Ministerio de Transporte, 2020, Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales Programa Colombia Rural.

Figura 47

Estructura Pavimento Rígido



Fuente: adaptada de Estructuras de Pavimentos Rígidos, de Ministerio de Transporte, 2020, Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales Programa Colombia Rural.

Concreto Hidráulico para Estructuras.

Acero Figurado de Refuerzo.

Alcantarillas.

Rojas López & Bohórquez Patiño (2009) establece el concepto de AIU (definido como Administración, Imprevistos y Utilidad):

La administración corresponde a los costos que se definen como indirectos, necesarios para el desarrollo de un proyecto de construcción, como lo son, honorarios de los empleados, impuestos dependiendo la ubicación y monto del proyecto, entre otros.

Los imprevistos, están relacionados con la naturaleza de cada contrato y constituyen los riesgos que deben contemplar el contratista como ejecutante del proyecto. Se hace referencia a imprevisiones y sobrecostos generados durante la ejecución del proyecto.

La utilidad es la ganancia que el contratista espera recibir por la realización del contrato, la cual debe ser garantizada por las entidades (pág. 5).

Cristancho González & Suarez Ríos (2013) establece los porcentajes estimados de AIU según el tipo de contrato de construcción, según lo detallado en la figura 48.

Figura 48

Porcentajes Estimados AIU

TIPO	ADMON	IMPREVISTO	UTILIDAD
Admon Delegada	10% - 15%	2% - 4%	5% - 6% (acordado entre partes)
Precio Unitario	10% - 14%	8% - 30%	5% - 10%
Precio Global	12% - 18%	4% - 6%	5% - 8%

Fuente: adaptada de Porcentajes Estimados, Según Tipo de Contrato de Construcción, de Cristancho González & Suarez Ríos, 2013, Estudio sobre la Estimación del A.I.U. (Administración, Utilidades e Imprevistos) en Empresas que Desarrollan Proyectos de Ingeniería Civil en la Ciudad de Bogotá.

El Departamento Nacional de Planeación (2018) recomienda un valor promedio por km de longitud de vía terciaria construida de \$53.000.000 para el presupuesto de Interventoría, el cual hace parte del presupuesto general.

Costos de Operación y Mantenimiento

Según el INVIAS (2019) las actividades que se pueden contemplar para el mantenimiento de las obras de las vías de tercer orden son:

Mantenimiento de Tipo Preventivo

Comprende obras programadas con intervalos variables de tiempo, destinadas a mantener las condiciones y especificaciones del nivel de servicio original de la vía. Puede incluir: limpieza de obras de drenaje, sellos o reparación de menor escala como tratamientos superficiales para desprendimientos, lechadas, etc.

Mantenimiento de Tipo Periódico

Son las actividades encaminadas con el fin solucionar los problemas de fallas superficiales encontradas durante la puesta en servicio de la vía, además se busca aumentar la vida útil de la infraestructura vial.

Mantenimiento de Tipo Correctivo

Se hace necesaria la ejecución de trabajos tendientes a superar situaciones que no permitan el uso del tramo de vía mejorado en condiciones de seguridad física para el tránsito, en el menor tiempo posible y llevar a cabo las actividades que sean del caso para evitar o minimizar las restricciones al uso de la vía (pág. 8).

Los costos estimados de mantenimiento por kilómetro de longitud de vía terciaria mejorada se relacionan en la figura 49.

Figura 49*Costos Estimados Mantenimiento de Vías Terciarias*

Tipo de Mantenimiento	Frecuencia (veces por año)	Monto estimado (pesos)	Monto estimado (pesos)
Preventivo	2	535.000	1.070.000
Periódico	1	1.070.000	1.070.000
Correctivo (reposición eventual del elemento afectado)	Capa de Relleno	Según los precios del proyecto	

Fuente: adaptada de Costos Estimados de los Mantenimientos para un Kilómetro de Mejoramiento, de Departamento Nacional de Planeación, 2018, Mejoramiento de Vías Terciarias Vías de Tercer Orden.

Beneficios Económicos Estabilización con Cal

La Unidad Especial encargada de la rehabilitación y mantenimiento vial en Bogotá D.C. (2020) realizó la ejecución de un tramo de prueba en una longitud de 71 m considerando una superficie estabilizada con cal al 3% (MGR-E) en un espesor de 15 cm, esta capa fue usada como base de la vía a mejorar. La tabla 11 establece los costos de maquinaria usados en obra, del método convencional vs método estabilizado con cal, la tabla 12 relaciona los costos totales de intervención requerido.

Tabla 11

Costos por Maquinaria y Equipos Utilizados

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad		Costo	
			Convencional	Mgr-E	Convencional	Mgr-E
maquinaria	motoniveladora 140hp articulada	hora	-	9	\$-	\$ 2.210.472
maquinaria	recicladora de asfalto	m3	-	46,68	\$-	\$ 3.554.729
maquinaria	retrocargador sobre llantas con martillo	hora	2 1	-	\$ 3.651.459	\$-
materiales	mezcla asfáltica md12 (incluye sum. y trans.)	m3	20,425	38,045	\$ 8.631.809	\$ 16.078.197
materiales	pedra rajona tamaño máximo 30 cm	M3	4 5	-	\$ 2.424.330	\$-
materiales	subbase granular clase c (incluye sum. y trans.)	M3	1 1 0	-	\$ 8.634.780	\$-
materiales	base granular clase a (incluye sum. y trans.)	M3	5 3	-	\$ 5.413.738	\$-
materiales	crl-1 puestos en sitio cal viva 85% pureza transporte y	Kg	-	2000	\$-	\$ 660.000
materiales	disposición final por retiro de mgr	M3	1 8 4	-	\$ 3.464.106	\$-
TOTAL					\$ 32.662.647	\$22.854.398

Fuente: adaptada de Costos Iniciales por Maquinaria y Equipos Considerados, de Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, 2020, Estabilización de Materiales Granulares Remanentes con Adición de Cal en Vías Urbanas de Bogotá D.C.

Tabla 12

Costos Totales de Intervención

	Convencional (9 Días)	Mgr-E (5 Días)
Personal	\$ 18.899.150,14	\$ 10.499.527,86
Maquinaria	\$ 16.587.838,29	\$ 9.215.465,71
Ferretería	\$ 2.132.300,57	\$ 1.184.611,43
Señalización	\$ 603.066,86	\$ 335.037,14
Otros	\$ 4.677.444,64	\$ 2.598.580,36
Materiales Y Equipos	\$ 32.662.647,39	\$ 22.854.398,71
Total	\$ 75.562.447,89	\$ 46.687.621,21

Fuente: adaptada de Costos Comunes por Tiempos de Intervención, de Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, 2020, Estabilización de Materiales Granulares Remanentes con Adición de Cal en Vías Urbanas de Bogotá D.C.

El tramo de vía construido con material estabilizado en cal (MGR-E) como alternativa estructural, presenta:

Reducción en el personal, disminuyendo el costo administrativo (perteneciente al AIU – costo indirecto) en un 45%.

Reducción del costo de maquinaria (costo directo de la ejecución del proyecto) en un 43%.

Reducción en los costos de herramienta menor (costo directo del proyecto) en un 45%.

Reducción del 31% en los costos de materiales y equipos (costo directo del proyecto).

La alternativa genera una reducción del 39% en los costos totales de ejecución del proyecto que se evidencia en el presupuesto de obra empleado por la entidad con respecto al método tradicional, el cual no contempla estabilización alguna, en donde, además la duración de las actividades de ejecución en el método tradicional (sin estabilizar) es mayor al tiempo empleado en el suelo estabilizado.

IECA (2008) realiza un análisis de los costos usados en un tramo de vía estabilizado usando cal vs el método convencional, tomando como ejemplo una obra de características como: área de 50.000 m², ubicada a 200 km de la maquinaria empleada, espesor a estabilizar en una capa de 30 cm en un material con densidad 2,2ton/m³ con una dotación de 3% de conglomerante (cal), añadido por vía húmeda. El costo de operación de la maquinaria usada se observa en la tabla 13.

Tabla 13

Maquinaria Empleada

Maquinaria empleada	Costo/ jornada (€)
Estabilizadora	2472,00
Distribuidora de lechada	1503,00
Cuba de agua	250,00
Motoniveladora	600,00
Rodillo 1	500,00
Rodillo 2	360,00

Tabla 13 (Continuación)

Maquinaria empleada	Costo/ jornada (€)
Total maquinaria	5685,00
Rendimiento/jornada (m ²)	4500
Costo operación (€/m²)	1,26

Fuente: adaptada de Costos de Maquinaria, de ANTER, 2003, Manual de Estabilización de Suelos con Cal.

El costo total para la obra por m2 será el relacionado en la tabla 14.

Tabla 14

Costo (€/m2)

Transporte	0,07
Ejecución	1,26
Desgastes maquinaria	0,10
Conglomerante	2,08
Total (€/m²)	3,51

Fuente: adaptada de Costo M2, de ANTER, 2003, Manual de Estabilización de Suelos con Cal.

El costo total de la estabilización de la obra con cal corresponde a:

$$50.000 \text{ m}^2 \times 3,51 \text{ €/m}^2 = 175.500,00 \text{ €}$$

Para los 50.000 m2 se elige un suelo seleccionado no estabilizado en una capa de 50 cm, el volumen de dicho suelo sería igual a 25.000m3, para transportar dicho material de selección habrá que desplazarse 30km de la obra y pagar un monto de extracción de 1,5 €/m3, con estas condiciones el costo del m3 corresponde a lo mostrado en la tabla 15.

Tabla 15*Costo de Suelos Procedentes de Áreas de Préstamo*

Monto	1,50
Arranque y carga	1,50
Transporte 30 km	3,97
Arreglo préstamo	1,00
Total (€/m³)	7,97

Fuente: adaptada de Costo Canon, de ANTER, 2003, Manual de Estabilización de Suelos con Cal.

El costo total del suelo de préstamo corresponde a:

$$25.000 \text{ m}^3 \times 7,97 \text{ €/m}^3 = 199.250,00 \text{ €}$$

Sumado a este costo se considera un valor aproximado de depósito en vertedero del material retirado de 99.250 €, para un valor total de 298.500 €.

En este caso de análisis el costo de la estabilización usando suelo de préstamo con las condiciones previamente establecidas corresponde a 298.500 €, que corresponden con la tasa de cambio actual a \$1.274.049.640. El costo de estabilización del mismo suelo con cal corresponde a 175.500,00 €, es decir, \$749.064.361. Impactando en los costos del proyecto así:

La estabilización con cal no implica el costo de material de préstamo, el cual hace parte de los costos directos del proyecto y que representa el 33% del costo total de ejecución en obra.

El costo de la estabilización con cal reduce en un 42% los costos totales que hacen parte del proyecto de ejecución con material prestado, evidenciando una condición de reducción importante en el presupuesto total de la vía.

Moale Quispe & Rivera Justo (2019) realizaron el análisis de costos que incluye mano de obra, materiales y equipos empleados en la construcción de 1 km de longitud de dos estructuras de pavimento: suelo natural con un CBR de 3.3% y el suelo mejorado con cal (dosificación de 15%) con un CBR de 5.9%, obteniendo lo relacionado en la figura 50 a figura 52.

Figura 50

Precios Unitarios Subbase Granular

Rendimiento	M3/Día	MO	357	EQ	357	Costo unitario directo por m3	40.2
Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0147010001	Capataz	HH	1	0.0189	18.44	0.349	
0147010004	Peón	HH	4	0.0755	11.58	0.874	
						1.223	
Equipos							
0337010001	Herramientas manuales	%MO	1	5	1.22	6.100	
0349030046	Rodillo liso vibratorio autop 101-135 HP 10-12 T	HM	1	0.0189	135.08	2.553	
0349090001	Motoniveladora 145-150 HP	HM		0.0189	187.97	3.553	
						12.206	
Subpartidas							
93010113010 1	Agua para la obra	M3		0.12	17.94	2.153	
93010193030 1	Material granular	M3		1.2	20.54	24.648	
						26.801	

Fuente: Adaptada de Precios Unitarios para la Construcción de Sub-base de una Estructura de Pavimento, de Moale Quispe & Rivera Justo, 2019, Estabilización Química de Suelos Arcillosos con Cal para su Uso como Subrasante en Vías Terrestres de la Localidad De Villa Rica.

Figura 51*Precios Unitarios Base Granular*

Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	Capataz	HH	1	0.0224	18.44	0.413
0147010004	Peón	HH	4	0.0896	11.58	1.038
						1.451
Equipos						
0337010001	Herramientas manuales	%MO	1	5	1.45	7.250
0349030046	Rodillo liso vibratorio autop 101-135 HP 10-12 T	HM	1	0.0224	135.08	3.026
0349090001	Motoniveladora 145-150 HP	HM		0.0224	187.97	4.211
						14.486
Subpartidas						
930101130101	Agua para la obra	M3		0.12	17.94	2.153
930101930301	Material granular	M3		1.2	35.18	42.216
						44.369

Fuente: adaptada de Precios Unitarios para la Construcción de Base de una Estructura de Pavimento, de Moale Quispe & Rivera Justo, 2019, Estabilización Química de Suelos Arcillosos con Cal para su Uso como Subrasante en Vías Terrestres de la Localidad De Villa Rica.

Figura 52*Precios Unitarios Carpeta Asfáltica*

Rendimiento	m3/DIA	360	360	CD	m3	443.93
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
147010001	CAPATAZ	hh		0.2	0.004	0.09
147010002	OPERARIO	hh		2	0.044	0.66
147010003	OFICIAL	hh		2	0.044	0.57
147010004	PEON	hh		4	0.089	1.03
						2.34
Materiales						
221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO 1 (42.5 kg)	bis		0.9	21.09	18.981
253000002	PETROLEO DIESEL # 2	gal		5	11.81	59.05
220010003	CEMENTO ASFALTICO PEN 60 - 70	gal		36	9.67	348.29
						426.3222
Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1.99	0.06
349050004	CALENTADOR DE ACEITE 5 HP 468 p3	hm		1	0.0222	18.77
349050015	SECADOR ARIDOS 2 MOTOR EQUIPO 70 HP 60-115 ton/h	hm		1	0.0222	38.61
349150000	GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW	hm		1	0.0222	57.75
349150005	GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150 KW	hm		1	0.0222	104.66
349040009	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125 HP 2.5 yd3	hm		1	0.0222	153.29
349260006	PLANTA DE ASFALTO DE 150 ton/h	hm		1	0.0222	298.51
						15.27

Fuente: adaptada de Precios Unitarios para la Construcción de la Carpeta Asfáltica, de Moale Quispe & Rivera Justo, 2019, Estabilización Química de Suelos Arcillosos con Cal para su Uso como Subrasante en Vías Terrestres de la Localidad De Villa Rica.

El presupuesto de las dos estructuras de pavimento se relaciona en la figura 53 y figura 54.

Figura 53

Presupuesto Suelo Natural

Ítem	CBR	Espesor	Ancho	Longitud	Metrado (m3)	PU (S/ * M3)	Costo por capa (x km)
Base	3.3	0.18	7.2	1000	1296	60.31	78,161.76
Subbase	3.3	0.22	7.2	1000	1584	40.20	63,676.80
Carpeta Asfáltica	3.3	0.12	7.2	1000	864	443.96	383,555.52
TOTAL							525,394.08

Fuente: adaptada de Presupuesto para la Construcción de Pavimento Flexible sobre una Subrasante de CBR Igual a 3.3 %, de Moale Quispe & Rivera Justo, 2019, Estabilización Química de Suelos Arcillosos con Cal para su Uso como Subrasante en Vías Terrestres de la Localidad De Villa Rica.

Figura 54

Presupuesto Suelo Estabilizado con Cal

Ítem	CBR	Espesor	Ancho	Longitud	Metrado (m3)	PU (S/ * M3)	Costo por capa (x km)
Base	5.9	0.14	7.2	1000	1008	60.31	60,792.48
Subbase	5.9	0.18	7.2	1000	1296	40.20	52,099.20
Carpeta Asfáltica	5.9	0.12	7.2	1000	864	443.93	383,555.52
TOTAL							496,447.20

Fuente: adaptada de Presupuesto para la Construcción de Pavimento Flexible sobre una Subrasante de CBR Igual a 5.9 %%, de Moale Quispe & Rivera Justo, 2019, Estabilización

Química de Suelos Arcillosos con Cal para su Uso como Subrasante en Vías Terrestres de la Localidad De Villa Rica.

El costo total de la construcción del kilómetro de longitud de vía en suelo natural corresponde a \$561.558.725 mientras tanto el suelo estabilizado con cal (dosificación del 15%) tiene un costo de \$530.619.200, lo cual implica un beneficio económico en la reducción de los costos directos que se refleja en el costo total del presupuesto en un 6%, por km de vía considerada.

Martínez Murillo & Olaya Morales (2019) realizaron el análisis de costos de usuario y VPN para la vía de tercer orden Urrao-Encarnación en el municipio de Urrao en el departamento de Antioquia, a través de la estabilización del tramo con distintos materiales empleados, como es la cal.

Los costos de usuario se relacionan con los costos de operación vehicular y los costos asociados a las demoras de los usuarios que usan la vía, detallado en la figura 55.

Figura 55

Costos Anuales de Usuarios (Valores Millones de Pesos)

	Etapa I: Previa a la estabilización	Etapa II: Posterior a la estabilización	Etapa III: Reconstrucción
Tramo de control	\$43,8	\$36,3	\$41,1
Cemento	\$43,8	\$33,7	\$41,1
Polvo de ladrillo + cal	\$43,8	\$34,6	\$41,1
Ceniza + cal	\$43,8	\$35,3	\$41,1

Fuente: adaptada de Costos Anuales de Usuarios (Millones de Pesos al Año), de Martínez Murillo & Olaya Morales, 2019, Estimación de Costos del Ciclo de Vida para la Estabilización de Vías Terciarias en Colombia con Subproductos Industriales.

El tramo de vía estabilizado usando cal, implica un menor costo para los usuarios que harán uso de la misma en el período de diseño establecido.

Los costos de viabilidad del proyecto basado en el VPN (valor presente neto), se relaciona en la figura 56.

Figura 56

VPN Alternativas de Estabilización

Alternativas de estabilización	Residuo sin costo	Residuo con costo estimado	Sustituto comercial
Aceite sulfonado	-\$243,02	-\$243,19	-\$279,81
Cemento	-\$299,09	-\$299,09	-\$299,09
Ceniza + cal	-\$436,24	-\$439,31	-
Polvo de ladrillo + cal	-\$404,22	-\$542,18	-\$564,13

Fuente: adaptada de VPN para las Alternativas de Estabilización (Millones de Pesos), de Martínez Murillo & Olaya Morales, 2019, Estimación de Costos del Ciclo de Vida para la Estabilización de Vías Terciarias en Colombia con Subproductos Industriales.

La estabilización del suelo con cal permite una reducción significativa en los costos del proyecto durante el período de vida útil contemplado para el mejoramiento de la vía terciaria en mención.

Conclusiones

El estado en el que se encuentran las vías terciarias del departamento del Huila (gran cantidad de kilómetros en afirmado y pavimentadas en mal estado) a las cuales se les ha realizado intervenciones y mejoramientos con baja frecuencia y poca inversión no ha permitido una vida útil mayor en estas estructuras ni mejores condiciones de transitabilidad en zonas rurales que dependen de vías de acceso adecuadas que faciliten las actividades económicas del sector agrícola, pecuario y energético, las cuales son de beneficio para las comunidades, este panorama facilita la viabilidad de proyectos alternativos y novedosos que mejoren dicha situación, la estabilización de suelos con cal viabiliza la mejora de vías terciarias en menor tiempo de ejecución de actividades, lo cual reduce de manera significativa los costos asociados al desarrollo del proyecto en cada una de sus fases, permitiendo además el reemplazo de soluciones más costosas en el corto y largo plazo, como lo es la placa huella que se ha venido realizando en los últimos años como alternativa de solución para el mejoramiento de vías terciarias.

La estabilización de suelos con cal mejora ostensiblemente características físicas y químicas propias de suelos expansivos y no aptos como estructura de soporte adecuada para la construcción de vías, de igual manera, impacta de manera significativa y positiva en la reducción de la plasticidad del suelo, se refleja un descenso en los porcentajes de hinchamiento del suelo respecto a los días en servicio y las condiciones de humedad y nivel freático, aumentando con ello el tiempo de serviciabilidad de la estructura de rodadura.

La capacidad de soporte del suelo aumenta mientras se aplique un porcentaje de cal así sea mínimo en la estructura del suelo, esto permite que la dosificación del conglomerante en pequeños porcentajes mejore de manera contundente la estabilidad del suelo que servirá de soporte a la estructura de pavimento y posterior capa de rodadura, facilitando las actividades de

extensión y compactación de la cal con la subrasante, así como la reducción del impacto ambiental generado en primer lugar por la extracción de la piedra caliza, su posterior transformación y su impacto directo en el medio ambiente local.

La estabilización de suelos con cal permite no solo durante el proceso de construcción la reducción considerable de costos asociados a las actividades de ejecución, administración e imprevistos, sino además, los costos de mantenimiento a lo largo de los años de servicio de la estructura se reducen drásticamente esto debido a que al tener una estructura más consolidada y de mejores condiciones, está requerirá menores montos de inversión en limpieza, atención de puntos críticos, daños en la estructura, hundimientos, entre otros.

Recomendaciones

Con base al análisis recopilado en este documento, se recomienda al gobierno nacional en cabeza de las entidades encargadas de la red vial nacional, la formulación de leyes y/o normas que faciliten la acogida de esta alternativa constructiva y de mejora en las vías terciarias del país, con el objetivo de potencializar de manera responsable y eficiente los recursos no solo económicos sino además facilitando las labores de ejecución de mantenimiento, rehabilitación y construcción de tramos de vía requeridos para beneficio de la comunidad, la deficiencia en la red vial se puede suplir de manera responsable atendiendo el análisis técnico y las ventajas que presenta la estabilización de suelos con cal.

Una vez concluido el trabajo de monografía, se pone a consideración de la comunidad educativa y del lector la profundización en la investigación de los beneficios técnicos, estructurales, operativos, económicos y ambientales que trae consigo la estabilización de suelos con cal, la comunidad educativa a través de sus centros de investigación facilita y estimula el aprendizaje, por ende, se recomienda ahondar en este tipo de estudios llevando a cabo investigación y aplicación de esta metodología, la academia debe ser impulsadora de las nuevas técnicas que solucionen los problemas actuales y futuros. De igual manera, se insta al lector para que a través de este documento pueda profundizar sus conocimientos en el tema de infraestructura vial actual y amplie sus conocimientos al respecto, sin embargo, se recomienda la profundización mediante textos científicos y documentos técnicos avalados que permitan ahondar en este tema de gran importancia económica y social.

Referencias

- Alcaldía Palermo Huila. (04 de mayo de 2022). *Alcaldía de Palermo*. Obtenido de <https://www.palermo-huila.gov.co>
- Altamirano Navarro, G. J. (2015). *Estabilización de Suelos Cohesivos por Medio de Cal en las Vías de la Comunidad de San Isidro del Pegón, Municipio Potosí - Rivas*. Managua.
- Arenas Pérez, R. (2006). *Tratamiento de suelos marginales o inadecuados con aditivos cementantes para terraplenes virios*. Madrid.
- ARGOS. (2020). *Formación virtual. Estabilización de suelos con cal*.
- Asamblea Departamental del Huila. (2020). *Plan desarrollo departamental 2020-2023*. Neiva.
- Barajas Medrano, B. &. (2006). *Estabilización con cal del suelo de la ciudad de Cartagena para ser utilizado como base*. Cartagena.
- Barrera Osorio, D. C. (2010). *Análisis del Impacto Ambiental en la Cantera El Muelle*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- Behak, L., & Nuñez Peres, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23*, 34-41.
- Calderón Ramírez, J. L., & Velosa Hernández, M. A. (2017). *Análisis de resistencia a la compresión inconfina y durabilidad de un suelo arcilloso estabilizado con cal adicionando fibras de material no biodegradable, polietileno de alta densidad polisombra reciclada*. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle.

Calidra. (2020). *Diseño y Construcción de Materiales Granulares Tratados con Cemento para Pavimentos*.

Caltek. (2021). www.caltek.com.

Chura Mamani, E. E. (2017). *Estabilización de suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca*. Juliaca.

Construcciones El Cóndor. (2021). www.elcondor.com/compania/listadoproyectos.

Cristancho González, C. A., & Suarez Ríos, J. M. (2013). *Estudio sobre la Estimación del AIU (Administración, Utilidades e Imprevistos) en Empresas que Desarrollan Proyectos en la Ciudad de Bogotá D.C.* Bogotá D.C.: Universidad Católica.

Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Ficha departamental Huila*. Neiva.

Duré, L., Bachetto Santos, P., Leguizamón Almada, O., Santacruz López, R., Bittar Marín, E., Samaniego Quiñónez, R., & Aquino, F. (2018). *Efecto de la temperatura de cura en suelos dispersivos estabilizados con cal y reforzados con fibra de polipropileno en términos de resistencia y durabilidad*. Bahía.

Elizondo Arrieta, F. N. (2010). Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes. *Revistas de Ingeniería*, 12-28.

Escobar, G., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de Suelos*. Universidad del Cauca.

FAO. (07 de Mayo de 2022). *Consistencia del suelo*. Obtenido de fao.org

- Fuentes Sardiña, R., & Hernández Alvaréz, A. (2014). Gestión ambiental de canteras de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas, Cuba. *Minería & Geología*, 17-32.
- Geología web. (07 de Mayo de 2022). *GeologíaWeb*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/>
- Gobernación del Huila. (2022). www.huila.gov.co.
- Granados Hurtado, J. F., & Villota López, M. Á. (2008). *Plan de Manejo Ambiental de la Cantera Santa Fé, Municipio de Ipiales-Nariño*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Guamán Iler, I. I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. Ámbato.
- Guerrero Baca, L., & Soria López, F. (2014). *Estabilización de suelos con cal y puzolanas*.
- Huezo Maldonado, H. E. (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador*. San Salvador.
- IECA. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid: Vaquero Publicaciones.
- INVIAS. (25 de Enero de 2018). *INVIAS*. Obtenido de invias.gov.co
- Jian, Z., I., M., & R., R. (2019). Effect of hydrated lime on fracture performance of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 9533-9559.
- Juan de Dios Salazar, J. F. (2018). *Análisis de las propiedades mecánicas de la subrasante aplicando cal hidratada en suelos cohesivos, Cantoral - San Juan de Lurigancho, 2018*. Lima: Universidad César Vallejo.

LIME. (2004). *Manual de estabilización de suelos tratados con cal*.

López Sumarriva, J., & Ortiz Pinares, G. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay*. Perú.

Marchevsky, N. J., Giubergia, A. A., & Ponce, N. H. (2018). Evaluación de impacto ambiental de la cantera “La Represa”, en la provincia de San Luis, Argentina. *Tecnura*, 51-61.

Mariselva Angulo, C. Z. (2019). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, distrito San Juan – Maynas – Iquitos*.

Martínez Murillo, L. I., & Olaya Morales, Y. (2019). Estimación de costos del ciclo de vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales. *Lecturas de Economía*, 241-277.

Ministerio de Transporte. (2021). *Informe de Rendición de cuentas 2020-2021*.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas . (2009). *Estabilización de suelos*. Loja.

Moale Quispe, A. B., & Rivera Justo, E. J. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Nij Patzán, J. E. (2009). *Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

- Pacheco, M., & Pérez, B. (2017). *Efecto de alteración hidrotermal en las propiedades físicas y mecánicas de la roca*. Costa Rica.
- Palermo, S. d. (2017). *Análisis de la situación de salud del municipio de Palermo*. Palermo.
- Parra Gómez, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*.
- Pavan, A. N. (2020). *Evaluating the Long-Term Durability of Lime Treatment in Hydraulic Structures: Case Study on the Friant-Kern Canal*.
- Planeación, D. N. (2018). *Proyectos tipo mejoramiento de vías terciarias*.
- RAE. (2021). www.rae.es.
- Rodríguez Moreno, M. A. (2005). Comportamiento de suelos residuales de diorita estabilizados con cal y su evolución en el tiempo. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 9-22.
- Rojas López, M. D., & Bohórquez Patiño, N. A. (2009). Aproximación Metodológica para el Cálculo del AIU. *Dyna*, 293-302.
- Sakr. (2009). *Modificación en las fracciones granulométricas representativas de un suelo por la adición de distintas proporciones de cal y evolución en el tiempo de curado*.
- Sánchez Cáceres, A. M. (2019). *Determinación de las propiedades mecánicas de material proveniente de zonas de extracción en el municipio de Ocaña, para su uso en vías de afirmado, estabilizado con cal hidratada*. Ocaña.
- Sánchez, M. A. (2014). *Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector calcical del cantón Tosagua provincia de Manabí*. Quito.

- Sandoval Higuera, C. H. (2012). *Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio*. Bogotá D.C.
- Suarez Díaz, J. (2020). *Seminario rellenos: estabilización de suelos*. Bucaramanga.
- UNAM. (2019). *Movimiento de Tierras - Compactación del Suelo*. México.
- Universidad de Alicante. (2009). *Prácticas de Materiales de Construcción – I.T. Obras Públicas*
Práctica No. 3. Alicante.
- Universidad de la Salle. (2020). *Apuntes de Ingeniería Civil*.
- Universidad Industrial de Santander. (2020). *Apuntes de Ingeniería*.
- Universidad Nacional Francisco de Miranda. (2015). *Capacidad portante del suelo*.
- Velasquez Quispe, O. R. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos de subrasante incorporando cal y cloruro de sodio, carretera Titilaca – Santa Rosa*. Puno.