MANEJO Y ESTABILIDAD DE TALUDES SUSCEPTIBLES DE DESLIZAMIENTOS EN PUNTOS CRÍTICOS DE LA VÍA LA ISABEL -EL CONGO, CORREGIMIENTO DE SIBERIA, EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA EN JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE CIÉNAGA MAGDALENA.

Ronaldo José Carrillo De La Hoz

Universidad Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de ingeniería civil

Santa Marta D.T.C.H, Colombia

2022

MANEJO Y ESTABILIDAD DE TALUDES SUSCEPTIBLES DE DESLIZAMIENTOS EN PUNTOS CRÍTICOS DE LA VÍA LA ISABEL -EL CONGO, CORREGIMIENTO DE SIBERIA, EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA EN JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE CIÉNAGA MAGDALENA

Trabajo de investigación

Ronaldo José Carrillo De La Hoz

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Ing. Esp Ronny Alfonso Cantillo Jiménez

Línea de Investigación:

Geotecnia & Vías

Grupo de Investigación:

Grupo Integrado de Investigación en Ingeniería Civil – GIIC

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de ingeniería civil

Santa Marta D.T.C.H, Colombia

2022

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Ingeniero Civil

_____

Jurado

_____

Jurado

Santa Marta, ____ de ____del _____

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que me han apoyado en el transcurrir de mi vida académica, padres, hermanos demás familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el entendimiento y su gracia durante este proceso; a mis padres y hermano que siempre me apoyaron y estuvieron presentes en cada paso de mi vida académica, por su paciencia y esfuerzo, y su apoyo especial en los días dedicados a este trabajo.

A la Universidad del Magdalena y al equipo del programa de ingeniería civil en especial al docente Ronny Cantillo Jiménez por apoyarme y alentarme a realizar este trabajo.

A la comunidad de el corregimiento de Siberia en especial a los lideres y habitantes de las comunidades de parranda seca, el Congo y corea por su colaboración y permitir este trabajo en su tierra.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evalúa distintos métodos de solución para contrarrestar los problemas de transitabilidad en la vía que del corregimiento “La Isabel” comunica con la vereda “El Congo” en jurisdicción del municipio de Ciénaga Magdalena, problema derivado de la inestabilidad y manejo inadecuado de las zonas de ladera y taludes en la mencionada carretera, centrándonos en el tramo que conecta la vereda “Parranda seca - Corea.”

De esta manera, y por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo se planteó como objetivo general de determinar el mejor método para el manejo y estabilización de taludes susceptibles de deslizamientos en puntos críticos de la vía la Isabel - El Congo, y a su vez contribuir al mejoramiento del carreteable de las veredas “Parranda seca” – “Corea” mediante el análisis de distintos métodos de solución.

La metodología consta de distintos aspectos tales como: a) Identificación de los problemas estabilidad de taludes, b) Análisis de viabilidad los distintos métodos de solución para la estabilidad de taludes y mejoramiento vial, c) Elección de los métodos de solución d) Diseños del o los métodos de solución seleccionados. e) recomendaciones y conclusiones.

Palabras claves: Estabilización de taludes, Mejoramiento vial, Diseño, Obras de mejoramiento, Obras de estabilización, Técnicas de solución.

ABSTRACT

The present research work evaluates different solution methods to counteract traffic problems on the road that "La Isabel" village communicates with the "El Congo" village in the jurisdiction of the municipality of Ciénaga Magdalena, a problem derived from instability and inadequate management. of the hillside and embankment areas on the road, focusing on the section that connects the path "Parranda seca - Corea."

In this way, and due to the above, the present work was raised as a general objective of determining the best method for the management and stabilization of slopes susceptible to landslides in critical points of the Isabel - El Congo Road, and in turn contribute to the improvement of the roads of the paths "Parranda seca" - "Corea" through the analysis of different methods of solution.

The methodology consists of different aspects such as: a) Identification of slope stability problems, b) Feasibility analysis of the different solution methods for slope stability and road improvement, c) Choice of solution methods d) Designs of the or selected solution methods. e) recommendations and conclusions.

Keywords: Slope stabilization, Road improvement, Design, Improvement works, Stabilization works, Solution techniques.

Tabla de contenido

1 INTRODUCCIÓN 13

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 15

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 15

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 21

3 JUSTIFICACIÓN 22

4 OBJETIVO GENERAL 23

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 23

5 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 24

5.1 MARCO CONCEPTUAL 24

5.2 MARCO TEÓRICO 25

5.2.1 Caracterización de los movimientos en taludes. 25

5.2.2 Etapas durante los procesos de falla. 26

5.2.3 Caracterización de los movimientos en masa. 29

5.2.4 Estabilización de taludes y movimientos en talud vial. 33

5.2.5 Manejo de inestabilidad en taludes y laderas. 35

5.3 ORAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y MEJORAMIENTO VIAL 37

5.3.1 Obras de estabilización de carreteras. 37

5.3.2 Obras de estabilización de taludes y laderas. 46

6 DELIMITACIÓN 58

6.1 Delimitación Temporal 58

6.2 Delimitación Conceptual 58

6.3 Delimitación Social 58

7 MARCO DE REFERENCIA 59
7.1 Estado del arte/Antecedentes 59
8 METODOLOGÍA 65
8.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 65
8.2 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DEL MÉTODO 66
8.3 ANÁLISIS, ELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES 71
8.4 ANÁLISIS DE VIABILIDAD 72
8.4.1 Caracterización del suelo. 79
8.5 Elección del método de estabilización 86
8.5.1 Diseño y aplicación del método para la estabilidad de taludes. 86
8.5.2 Análisis, elección y diseño de los métodos de estabilización de la carretera. 98
8.5.3 Elección del método de estabilización de la vía 103
8.5.4 Ensayos para determinar la cantidad optima de cemento. 121
9 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES 147
9.1 CONCLUSIONES 147
9.2 RECOMENDACIONES. 150
10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 152

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Climograma del sector 16
Ilustración 2. Tabla climática del sitio 17
Ilustración 3. Mapa topográfico del sector 18
Ilustración 4. Vía La Isabel - El Congo 19
Ilustración 5. Tramo de estudio Parrada seca - Corea 20
Ilustración 6. Nomenclatura de los taludes y laderas 25
Ilustración 7. Nomenclatura de un deslizamiento 26
Ilustración 8. Procesos de deterioro en macizos rocosos 28
Ilustración 9. Caídos 29
Ilustración 10. Volteo o inclinación en materiales residuales 30
Ilustración 11. Deslizamientos en suelos blandos 31
Ilustración 12. Deslizamiento rotacional típico 32
Ilustración 13. Deslizamiento de translación en la vía Tijuana - Ensenada en México 32
Ilustración 14. Hundimiento de la subrasante 34
Ilustración 15 Abultamiento en algunos de los elementos de la carretera ***¡Error! Marcador no definido.***
Ilustración 16. Abultamiento en algunos de los elementos de la carretera 35
Ilustración 17. Fractura de cuencas revestidas 36
Ilustración 18. Tipos de muro de contención en concreto armado 48
Ilustración 19. Muro en concreto sin refuerzo 49
Ilustración 20. Muros y gaviones en función de su altura H y ancho B 50
Ilustración 21. Muro en piedra 51
Ilustración 22. Tipos de raíz 54
Ilustración 23. Estacas vivas 56
Ilustración 24. Muro de tierra armada con refuerzo de tiras metálicas 57
Ilustración 25. Muros de criba 57
Ilustración 26 Esquema metodológico 65
Ilustración 27. Esquema metodológico para la elección del método de estabilización de taludes 71
Ilustración 28 Curva de fluides del suelo en estado natural M001 81
Ilustración 29. Curva de fluides del suelo en estado natural M002 82
Ilustración 30. Curva de fluides del suelo en estado natural M003 84
Ilustración 31 Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de revegetalización 87

Ilustración 32Esquema general de colocación de fajinas vivas 90
Ilustración 33 Esquema general de colocación de fajinas vivas 91
Ilustración 34 Capas de hierba apoyadas en trincho o fajinas 92
Ilustración 35 Espaciamiento recomendado para fajinas vivas 93
Ilustración 36 Estacas vivas 94
Ilustración 37. Siembra de poste vivo 96
Ilustración 38 Control de erosión con estacas vivas 97
Ilustración 39 metodología de elección del método de estabilización 98
Ilustración 40. Pregunta de elección 2 105
Ilustración 41. Pregunta de elección 1 105
Ilustración 42 Menú inicial 105
Ilustración 43. Mapa de precipitaciones anuales 106
Ilustración 44. Pregunta de elección 3 106
Ilustración 45. Mapa de temperaturas 107
Ilustración 46 Pregunta de elección 4 107
Ilustración 47. Pregunta de elección 6 108
Ilustración 48. Pregunta de elección 7 108
Ilustración 49. Pregunta de elección 5 108
Ilustración 50. Pregunta de elección 9 109
Ilustración 51. Pregunta de elección 10 109
Ilustración 52. Pregunta de elección 8 109
Ilustración 53. Pregunta de elección 13 110
Ilustración 54. Pregunta de elección 12 110
Ilustración 55. Pregunta de elección 11 110
Ilustración 56. Pregunta de elección 14 111
Ilustración 57. Pregunta de elección 16 111
Ilustración 58. Pregunta de elección 15 111
Ilustración 59 Resultados sugeridos 112
Ilustración 60 Pregunta de selección 17 112
Ilustración 61 Puntos críticos vía Parranda seca - Corea 113
Ilustración 62 Toma de muestras en campo. 114
Ilustración 63 Curva granulométrica 116
Ilustración 64 Curva granulométrica 118
Ilustración 65 Curva granulométrica 120

Ilustración 66 Curva de fluidez para la muestra M001 _____ *123*
Ilustración 67 Curva de fluides para la muestra M002 _____ *125*
Ilustración 68 Humedad óptima para mezcla del 5% M001 _____ *127*
Ilustración 69 Humedad óptima para mezcla del 5% M002 _____ *129*
Ilustración 70 Humedad óptima para mezcla del 5% M003 _____ *131*
Ilustración 71 Envolvente de falla muestra tres (M003) _____ *134*
Ilustración 72 Envolvente De Falla De Las Tres Muestras _____ *135*
Ilustración 73 Elementos de Placa huella _____ *139*
Ilustración 74 Secciones _____ *140*
Ilustración 75 Planta distribución del refuerzo (guía de diseño) _____ *141*
Ilustración 76 Refuerzo viga riostra _____ *142*
Ilustración 77 Corte transversal sección placa huella (guía) _____ *142*
Ilustración 78 Planta de cuneta _____ *144*
Ilustración 79 detalle de cuneta y bordillo _____ *144*

Lista de tablas

Tabla 1. Factores inherentes a la estabilidad de taludes *33*
Tabla 2. Materiales *43*
Tabla 3. Categorías de cargas de diseño *44*
Tabla 4. Categoría de la resistencia de subrasante *44*
Tabla 5. Tipos de muro de concreto reforzado *47*
Tabla 6 Limitaciones *67*
Tabla 7 Consideraciones generales *68*
Tabla 10. Datos limite liquido suelo estado natural M001 ..... *80*
Tabla 11. Datos limite plástico suelo estado natural M001 ..... *80*
Tabla 12. Datos limite liquido suelo estado natural M002 ..... *81*
Tabla 13. Datos limite plástico suelo estado natural M002 ..... *82*
Tabla 14. Datos limite liquido suelo estado natural M003 ..... *83*
Tabla 16. Datos limite plástico suelo estado natural M003 ..... *83*
Tabla 17 Tabla de datos gravedad especifica *84*
Tabla 18. Datos y resultados peso unitario suelo natural *85*
Tabla 19. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de plantas *88*
Tabla 20. Arboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes *89*
Tabla 21 Análisis de los métodos *99*
Tabla 22 Tabla análisis granulométrico por tamizado *115*
Tabla 23 Resultados *116*
Tabla 24 Análisis granulométrico por tamizado *117*
Tabla 25 Resultados *118*
Tabla 26 Análisis granulométrico por tamizado *119*
Tabla 27 Resultados Obtenidos *120*
Tabla 28 Procesamiento de muestra dos *122*
Tabla 29 Resultados de la muestra M001 ..... *123*
Tabla 30 procesamiento muestra dos *124*
Tabla 31 Resultados de la muestra M002 ..... *125*

Tabla 32 Procesamiento muestra tres..... 125
Tabla 33 Resultados obtenidos del grafico M003…….¡Error! Marcador no definido.....125
Tabla 34 Datos Proctor modificado muestra uno M001 126
Listón 35Datos Proctor modificado muestra dos M002..... 128
Tabla 36 Datos Proctor modificado muestra tres M003 130
Tabla 37 Promedio de datos M001..... 132
*Tabla 38 Envolvente de falla muestra uno (M001).....**¡Error! Marcador no definido.***
Tabla 39 Promedio de datos muestra 2 133
Tabla 40 Envolvente de falla muestra dos (M002)..... 133
Tabla 41 Promedio de datos muestra tres (M003) 134

1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de crecer lograr el desarrollo continuo del país hace pensar que dicho crecimiento no depende de una sola variable, sino que en ella intervienen distintos factores. Para el crecimiento de la industria alimentaria no solo se necesitan de insumos como fertilizantes y otros productos, tampoco sola mente de la disponibilidad de terrenos para siembra y semillas sino también el consumidor final, lo que hace necesario sistemas de comunicación y transporte efectivo desde el sitio donde se cultivan y producen los alimentos como frutas, verduras, leche y cárnicos hasta el sitio de disposición donde son adquiridos por el consumidor final.

Lo anterior deriva en que se deban mejorar las condiciones de acceso terrestre de vehículos de carga como los camiones de tres ejes (C3) entre otros empleados para sacar los productos de las zonas rurales que es donde generalmente se cultivan y producen productos de la canasta familiar. Por lo anterior se puede inducir que las vías son un generador de progreso ya que permite que los campesinos puedan sacar sus productos con mayor comodidad y ser entregados en buen estado al consumidor o expendedor.

El desarrollo de las vías de comunicación en especial las vías terciarias según la clasificación dad por el Instituto Nacional de Vías de Colombia (de ahora en adelante INVIAS), que como se ha manifestado son de gran importancia para generar desarrollo y crecimiento, suponen un reto para la ingeniería desde su costo hasta construcción ya que muchas de estas vías se encuentran en terrenos de alta montaña lo que dificulta el acceso de vehículos o maquinarias para su mejoramiento y/o construcción entre otros problemas como lo son los deslizamientos.

EN particular el tema de los deslizamientos provocados ya sean por factores antrópicos o de inestabilidad se derivan en consecuencias que afectan la movilidad y el estado de las vías, e incluso representen un peligro latente para la vida de personas que transitan a diario por estas zonas.

Estos problemas de inestabilidad hacen que el construir o mejorar vías en estos escenarios se vuelva compleja y crea la necesidad de buscar métodos de solución que

permitan la estabilidad de los taludes susceptibles a deslizamientos mejorar la transitividad en este tipo de vías.

El presente trabajo realiza un análisis de diferentes métodos de estabilización desde un punto de vista técnico, practico y financiero que permita el mejoramiento de un tramo de vía entre las veredas “Parranda seca” y “Corea” en zona rural del municipio de Ciénaga Magdalena, Colombia, exactamente Sierra Nevada de Santa Marta en su costado nor-oriental.

El sector de la vía de estudio comprende una longitud de seis kilómetros, en los cuales se encuentran problemas de inestabilidad, mal manejo de taludes, deslizamientos pequeños, y avanzado estado de deterioro. El propósito de la presente investigación es poder brindar al menos una alternativa de solución al a los problemas relacionados con la inestabilidad y manejo de taludes y mejoramiento de las vías de estas comunidades.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

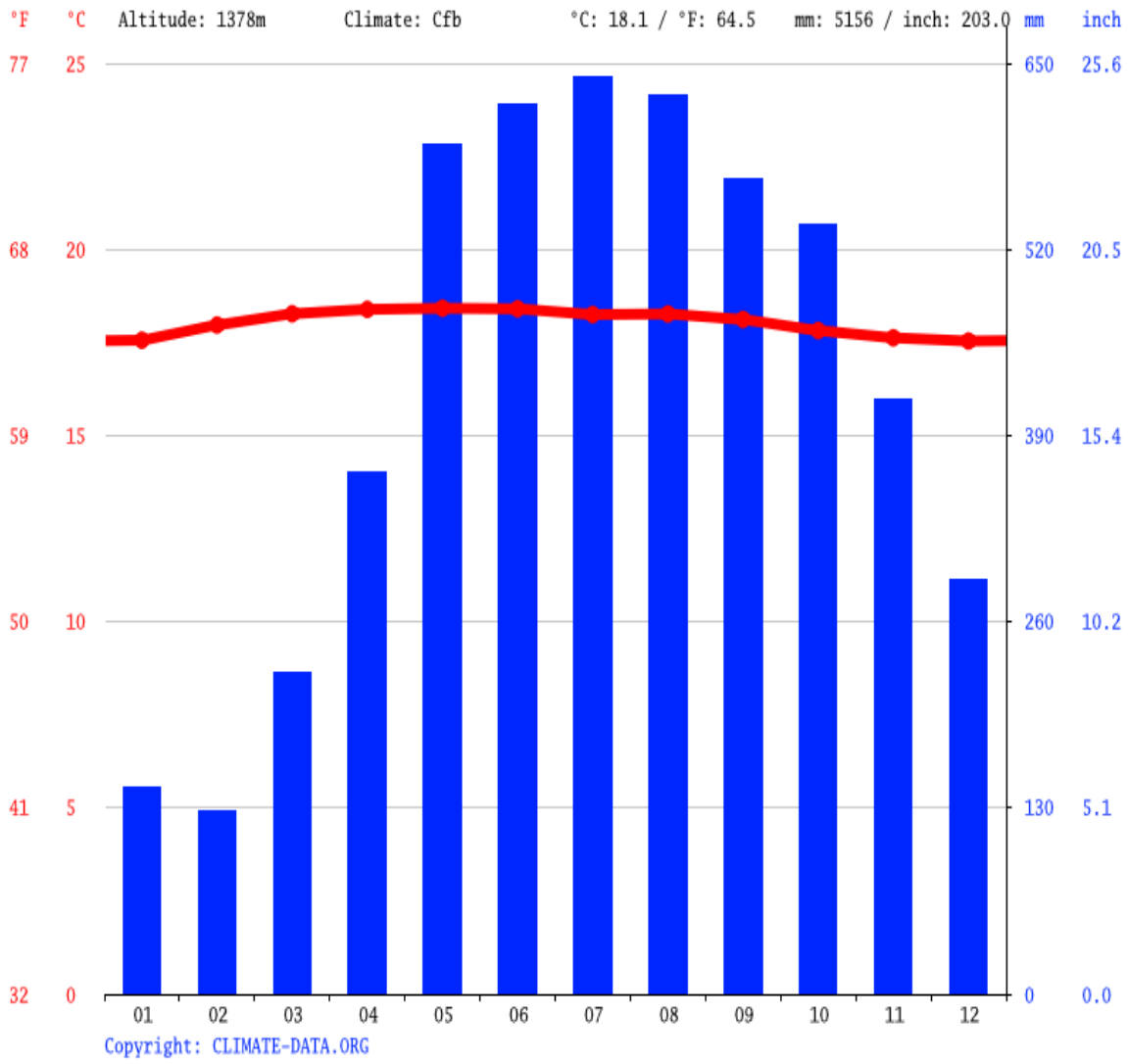
Ciénaga es un municipio de la región caribe colombiana ubicado en el extremo nororiental del departamento del Magdalena, cuenta con una altura aproximada de tres metros sobre el nivel del mar (3 m.s.n.m.); y se encuentra de cara al mar caribe al extremo nororiental de la Ciénaga grande de Santa Marta, al pie de la sierra nevada. Cuenta con una extensión cercana a los 1.242,67 Km2. Además de la cabecera municipal, el municipio está conformado por seis corregimientos, dos ubicados en la zona rural: Cordobita y Sevillano. Y cuatro en la sierra nevada de santa marta: San Javier, San Pedro De La Sierra, Siberia y Palmor. Los corregimientos San Javier, San Pedro De La Sierra, Siberia y Palmor ocupan el 93% del área municipal, y se encuentran a una altura que varía entre los 950 y 1300 msnm (ALCALDIA DE CIENAGA , 2022).

El clima en la zona se caracteriza por un factor particular propio de este complejo montañoso, predominante por su posición respecto a la línea ecuatorial y su altura. cabe destacar que este costado (nororiental) se caracteriza por ser un poco más seco en comparación con su cara norte y occidental que tiende a ser más húmeda, sin embargo esta área al igual que todo el territorio colombiano, está determinado por el movimiento de la zona de convergencia intertropical, la cual define dos periodos lluviosos y dos secos, el primer ciclo de lluvias se presenta entre el cuarto y sexto mes del año (abril a junio) pausado de junio a agosto por el conocido “veranillo de san juan” (llamado así popularmente en la región) y entre mediados de agosto hasta noviembre se presenta un segundo periodo invernal, el cual se caracteriza por un periodo de lluvias más intenso que el primero. La segunda temporada seca se presenta entre los meses de diciembre y marzo el cual es el más largo e intenso (Fundación Pro sierra Nevada de Santa Marta , s.f.). (Ilustración 1 y 2).

Las características hidrográficas aferentes al sitio de estudio se componen de quebradas que, aguas abajo se unen para formar algunos ríos que vierten sus aguas en la ciénaga grande de santa marta y otras en el mar caribe, en las playas de ciénaga y santa marta. Últimamente se ha visto afectada la estabilidad hídrica producto del cambio climático sumado con la disminución de la capa vegetal, lo que ha producido que en algunos casos los

periodos de lluvia y verano se vean alterados (Fundación Pro sierra Nevada de Santa Marta , s.f.)

Ilustración 1. Climograma del sector



Fuente: Elaboración propia en https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/magdalena/san-pedro-de-la-sierra-465097/

Ilustración 2. Tabla climática del sitio

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem-bre	Octubre	Noviem-bre	Diciem-bre
Temperatura media (°C)	17.6	18	18.3	18.4	18.4	18.4	18.2	18.3	18.1	17.8	17.6	17.5
Temperatura min. (°C)	14.5	14.8	15.4	15.9	15.9	15.8	15.7	15.7	15.5	15.3	15.2	14.8
Temperatura máx. (°C)	20.7	21.2	21.4	21.3	21.1	21.1	21	21	20.9	20.5	20.3	20.6
Precipitación (mm)	144	128	225	364	593	622	641	628	569	537	415	290
Humedad(%)	84%	81%	83%	87%	86%	86%	86%	86%	85%	85%	87%	86%
Días lluviosos (días)	17	15	19	21	22	21	22	22	21	22	21	20
Horas de sol (horas)	7.5	7.8	7.5	7.2	7.2	7.9	8.1	7.8	7.4	6.8	6.4	6.8

Fuente: https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/magdalena/san-pedro-de-la-sierra-465097/

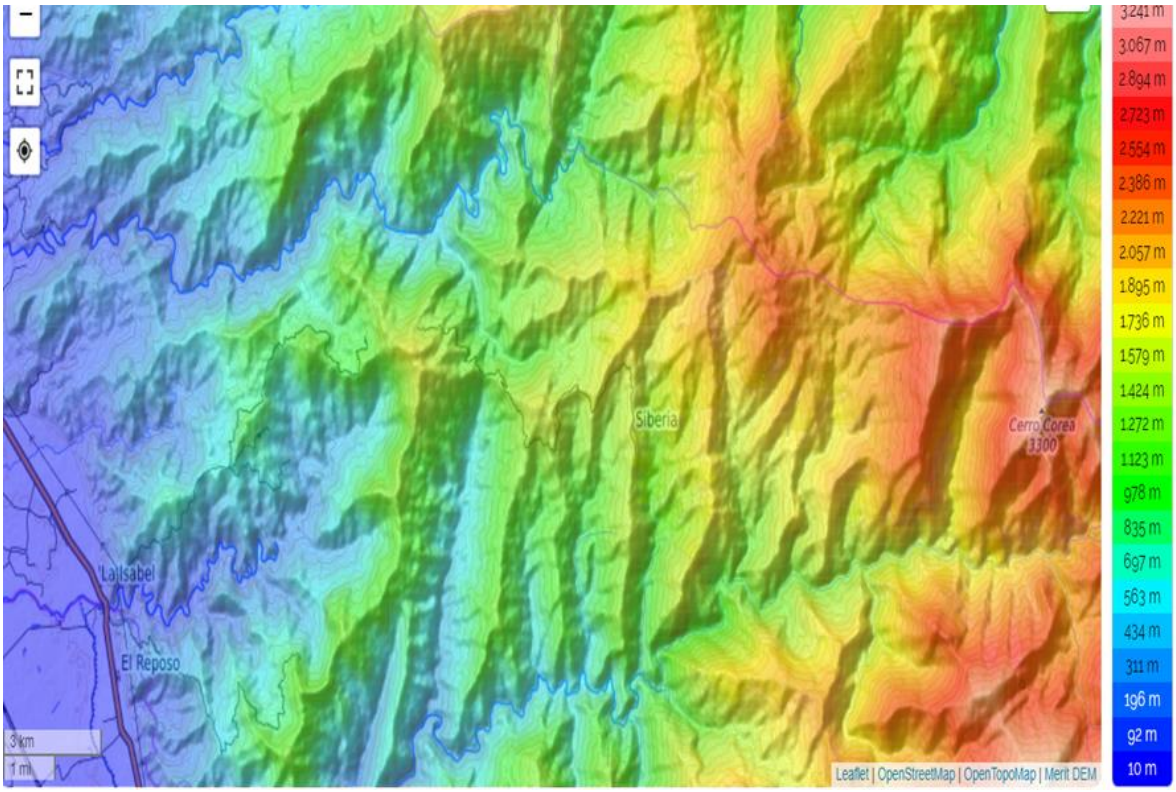
La geología del sector como el de todo el complejo montañoso de la sierra nevada de santa Marta, corresponde al periodo terciario, al igual que el sistema andino, aunque está aislada de este y es considerada como un macizo ígneometamórfico aislado, cuyas características lo han hecho interesante para muchos antropólogos y geólogos investigadores quienes han podido suministrar valiosa información, han hecho hallazgos importantes como las ciudad perdida y ciudad perdida de El Congo, esta última ubicada en el corregimiento de Siberia en la vereda de EL Congo, a la cual se debe recorrer una vía bastante difícil de transitar. (Ilustración 3) (Fundación Pro sierra Nevada de Santa Marta , s.f.).

Para acceder a la vereda mencionada y otras mencionadas anteriormente, se accede por una única vía en un desvió ubicado en el kilómetro 45 de la troncal del caribe en el tramo que conduce desde el corregimiento de Tucurinca, zona bananera, hasta la “Y” de ciénaga. Esta vía es una trocha que su construcción data de entre los años 1940 – 1990, y en la actualidad transitar ésta es bastante difícil debido al mal estado que presenta en toda su longitud en especial el tramo considerado como el más crítico, el cual inicia en la vereda “Parranda seca” y finaliza en la vereda “Corea” dicho tramo comprende una longitud

aproximada de seis kilómetros, la cual fue medida con la ayuda de un dispositivo GPS (Ilustración 4).

El tramo “parranda seca – Corea” (Ilustración 5), el cual nos ocupa y en el que existen muchos factores que ocasionan que la vía no preste un servicio óptimo, destacamos los siguientes: Inestabilidad en los taludes, producto del mal manejo y la intervención humana; Inestabilidad en zonas laderas, pequeños derrumbes, inexistencia de obras de drenaje ahuellamiento, cárcavas, entre otros detonantes que sumado con las condiciones climáticas propias de la región ocasionan un alto deterioro e inestabilidad tanto en la vía como en los taludes (Gallardo Amaya & Córdoba Arias, 2010).

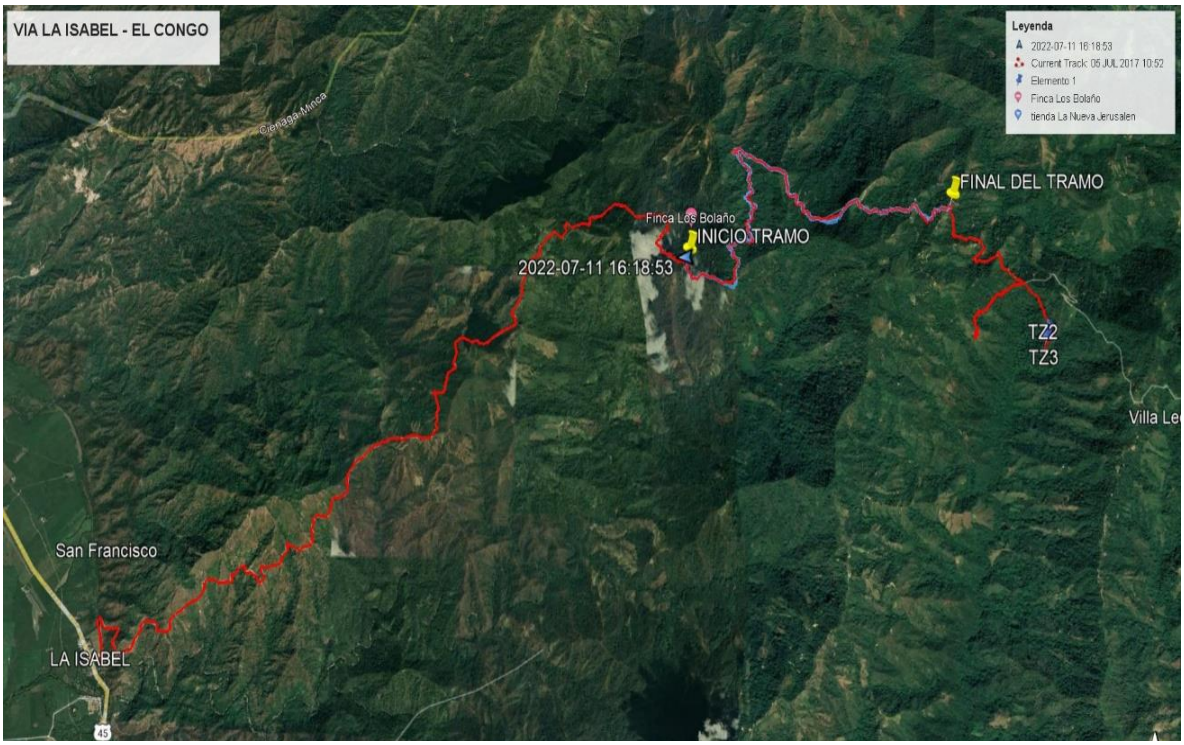
Ilustración 3. Mapa topográfico del sector



Fuente: Elaboración propia en https://es-co.topographic-map.com/maps/ps6x/Ci%C3%A9naga/

En cuanto a la acción humana en la vía, las poblaciones debido a su crecimiento, y el desarrollo e incremento de la actividad agrícola, los pobladores de la zona en aras de mejorar la transpirabilidad se vieron en la necesidad de intervenir la vía, dicha intervención consistió en ampliar el ancho de la banca, de tal forma que por esta pudieran transitar vehículos de carga pequeños, motocicletas, entre otros; en dichas actividades acorde a lo observado y descrito en campo por habitantes, se hicieron cortes al pie de los taludes y algunas obras de drenaje, intervenciones que en la actualidad se siguen realizando y no han sido ejecutadas de forma correcta, poniendo de esta forma en evidencia el inadecuado manejo de los taludes haciéndolos propensos a deslizamientos y sujeto a intervenciones en aras de lograr su estabilización.

Ilustración 4. Vía La Isabel - El Congo



Fuente: Elaboración propia en a partir de levantamiento con GPS en Google Earth Pro

A la problemática antes mencionada, se le suman las características geomorfológicas y del relieve accidentado de la zona, generando que la vía presente pésimas condiciones de servicio que afectan la movilidad y economía de los habitantes. Por ello se

hace necesario un estudio que determine una propuesta de intervención efectiva que aporte al mejoramiento de esta importante vía de comunicación, la cual incluya una propuesta de estabilización del carreteable así como la intervención de los taludes, empleando métodos innovadores a costos razonables y que no impacten de forma negativa el ecosistema de la sierra nevada de santa marta y así dar una solución ajustada a la problemática que ha sido descrita.

Ilustración 5. Tramo de estudio Parrada seca - Corea

Fuente: Elaboración propia en a partir de GPS en Google earth Pro

La carretera de que conecta los corregimientos de “La Isabel” con “Siberia” y en específico el tramo “parranda seca – Corea” precisa de un estudio que se derive en una propuesta de intervención efectiva que aporte al mejoramiento de esta importante vía de comunicación, la cual incluya una propuesta de estabilización del carreteable así como la intervención de los taludes, empleando métodos innovadores a costos razonables y que no impacten de forma negativa el ecosistema de la sierra nevada de santa marta y así dar una solución ajustada a la problemática que ha sido descrita.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué alternativas se pueden proponer para el correcto manejo y estabilización de taludes susceptibles a deslizamientos en puntos críticos de la vía la Isabel - El Congo en el corregimiento de Siberia, que mantenga la estabilidad de la vía conservando el ecosistema y biodiversidad de la Sierra Nevada de Santa Marta?

3 JUSTIFICACIÓN

Desde un enfoque práctico el mejoramiento de la malla vial terciaria debe tener alta prioridad por parte del Estado, en especial en las poblaciones como Siberia que son sujetos de reparación colectiva (victimas, s.f.). El mal funcionamiento de esta afecta negativamente la productividad y competitividad de las zonas rurales, causando demora y altos costos en el transporte de los bienes y productos hacia las plantas de procesamiento o el consumidor final. Igualmente, perjudica la intercomunicación terrestre entre la zona rural y el distrito urbano, lo que genera aumento en los tiempos de viaje y baja comercialización de productos (Departamento Nacional de Planeación, 2020). Por esta razón, es necesario adelantar los estudios previos que garanticen una efectiva solución para la intervención de la vía la Isabel - El Congo en el corregimiento de Siberia.

Desde el enfoque social, el mejoramiento de la vía con el manejo correcto y la estabilización de los taludes susceptibles a deslizamientos impacta de manera positiva la calidad de vida de los habitantes, al minimizar los tiempos de desplazamiento y la accesibilidad a la zona, permitiendo así el desarrollo normal de las actividades realizadas por los residentes de esta región del departamento del Magdalena, que se logra mediante el mejoramiento de la red vial.

Está demostrado que mejorar una vía de tercer orden genera un plus en el desarrollo económico y social, e incluso consolida la paz. Se debe tener en consideración que con mejores vías los campesinos podrán transportar sus productos sin pagar altos costos, incluso llegar a fortalecer el turismo, la seguridad y bienestar social (DNP, 2014 - 2018)

Es por ello, que el presente trabajo plantea estudiar y proponer una solución para el manejo y estabilización de taludes como contribución al mejoramiento de la vía que conecta a las veredas antes mencionadas, las alternativas para el mejoramiento serán analizadas desde los enfoques ambientales, climáticos, técnicos y económicos, así como el análisis de técnicas de mejoramiento y estabilización de la carretera.

4 OBJETIVO GENERAL

determinar una metodología para el manejo y estabilización de taludes susceptibles de deslizamientos en puntos críticos de la vía la Isabel - El Congo, y a su vez contribuir al mejoramiento del carreteable de las veredas “Parranda seca” – “Corea” mediante el análisis ingenieril de distintos métodos de solución.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las principales problemáticas de la vía La Isabel – EL Congo, relacionadas con diseño geométrico y suelo que afectan el estado de servicio de la vía.
- Conocer las principales causas de deslizamientos que se presentan en vía y sus zonas de ladera mediante observaciones de campo.
- Analizar desde el punto de vista técnico, económico, cultural y especialmente ambiental diferentes alternativas para la estabilización de taludes y carreteras.
- Proponer una alternativa de mejoramiento vial en base a la técnica que se halla seleccionado como la óptima para la estabilización y manejo de taludes.

5 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

5.1 MARCO CONCEPTUAL

Ladera: Declive de una montaña, de un monte o de una altura en general se puede decir que en este sentido la ladera es uno de los lados de la montaña en cuestión (Pérez & Merino, 2019 citado en Reyes, 2019).

Estabilidad Al Volcamiento: Es la capacidad de una estructura de resistir las fuerzas que podrían originar una rotación de ésta con respecto a un punto de giro, localizado en la parte inferior de la estructura de contención.

Estabilidad Al Deslizamiento: Es la capacidad de una estructura de resistir las fuerzas que podrían originar un movimiento horizontal de ésta.

Suelo: La tierra o suelo se define como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El tamaño máximo de las partículas que pueden clasificarse como suelo no es fijo, pero determina la función en que ellas están implicadas.

Talud: El término refiere a la pendiente que registra el paramento de una pared o de una superficie. La idea de paramento, por su parte, se vincula a las caras de un muro.

Transpirabilidad: Se define como la capacidad que tiene un material textil de que el vapor de agua lo atraviese.

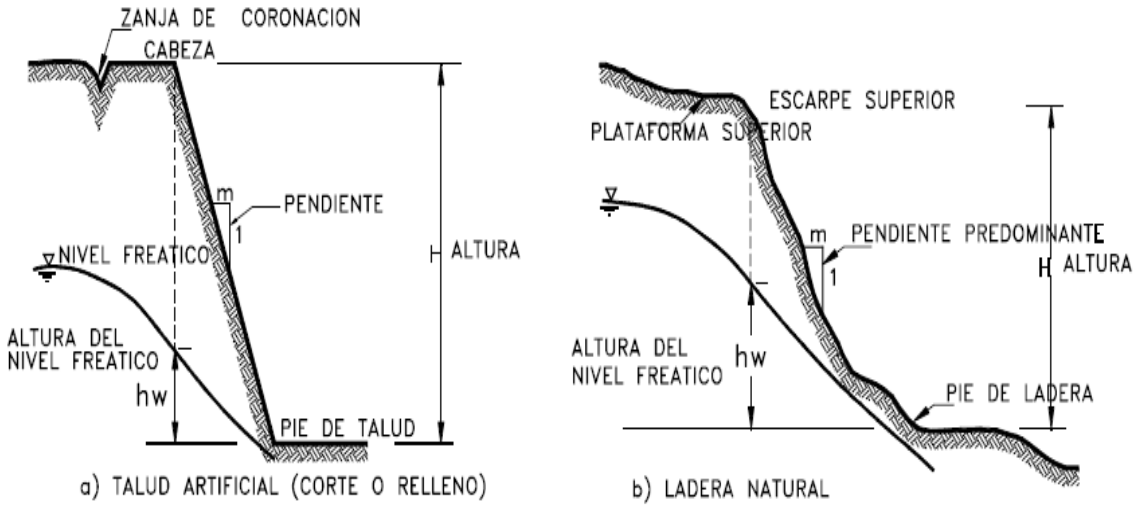
INVIAS: Instituto Nacional de Vías.

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Caracterización de los movimientos en taludes.

Se entiende como talud o ladera a una masa de tierra, el cual cuenta con pendientes o cambios de alturas significativos, si bien algunos autores tienden a denominar o nombras talud a las masas de tierra que se conformaron de manera artificial, mientras que al termino conocido como ladera lo definen como aquella masa de tierra conformada de manera natural (Suarez, 1998) (Ilustración

Ilustración 6. Nomenclatura de los taludes y laderas



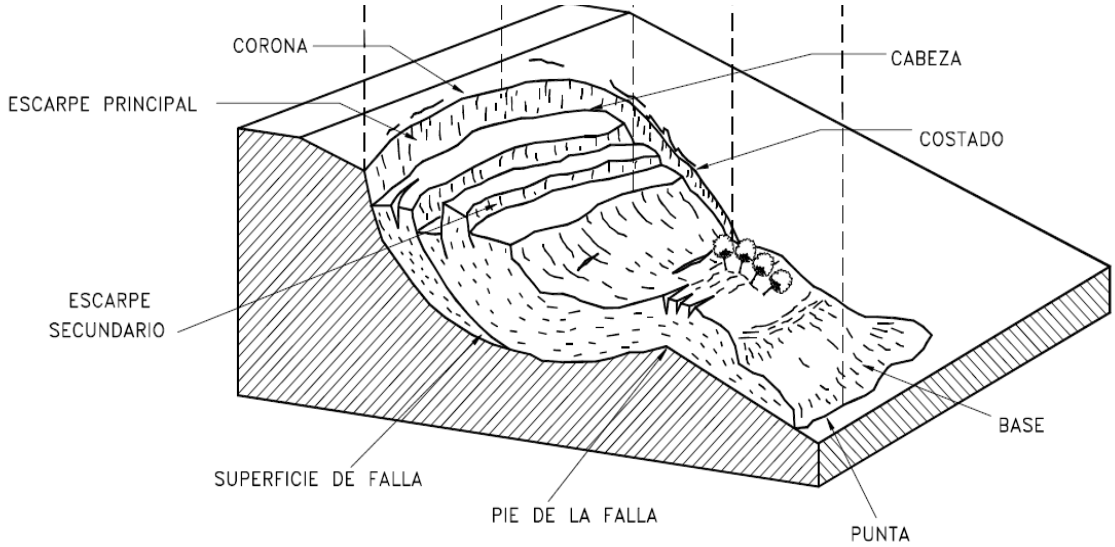
Fuente: Tomado de Suárez 1998

Los movimientos que se presentan en los taludes y las laderas en direcciones verticales y horizontales propios de procesos geotécnicos activos que conforman un talud sin importar su material. Estos movimientos ocurren de manera frecuente de manera longitudinal a la superficie de falla, ya sea por caídas libres, erosiones o movimientos en masa (Suarez, 1998).

La nomenclatura de los taludes es de gran ayuda al momento de conocer y/o comprender las partes de un deslizamiento o movimiento de tierra (Ilustración 7). Algunas partes de los taludes son: escarpe principal y secundario, cabeza, corona, clima, superficie de falla, base, punta, flanco, superficie original del terreno, y derecha e izquierda.

Ilustración 7. Nomenclatura de un deslizamiento

Fuente: Tomada de Suárez 1998



5.2.2 Etapas durante los procesos de falla.

Los movimientos se llevan a cabo en etapas y estas son clasificadas con el objetivo de describir e identificar cuales cuerpos están en movimiento relativo, estas son necesarias clasificarlas, algunos autores como Varnes, Hutchinson entre otros citados en Suarez (1998), plantean cuatro etapas en los procesos de falla las cuales son: la etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo permanece intacto, etapa de falla la cual está caracterizada por la formación de una superficie de falla o el desprendimiento de una masa importante de material, la etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un

deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente, la etapa de posible reactivación, en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

La etapa de deterioro de un talud o ladera es una de las etapas de mayor cuidado e incremento del riesgo ya que puede dar espacio a mantenimiento e incluso la construcción de obras de estabilización. En el deterioro se produce la alteración física y química de los materiales y su posterior desprendimiento. A continuación se muestran los procesos que ocurren previo a la falla masiva del talud o ladera (Ilustración 8) (Suarez, 1998).

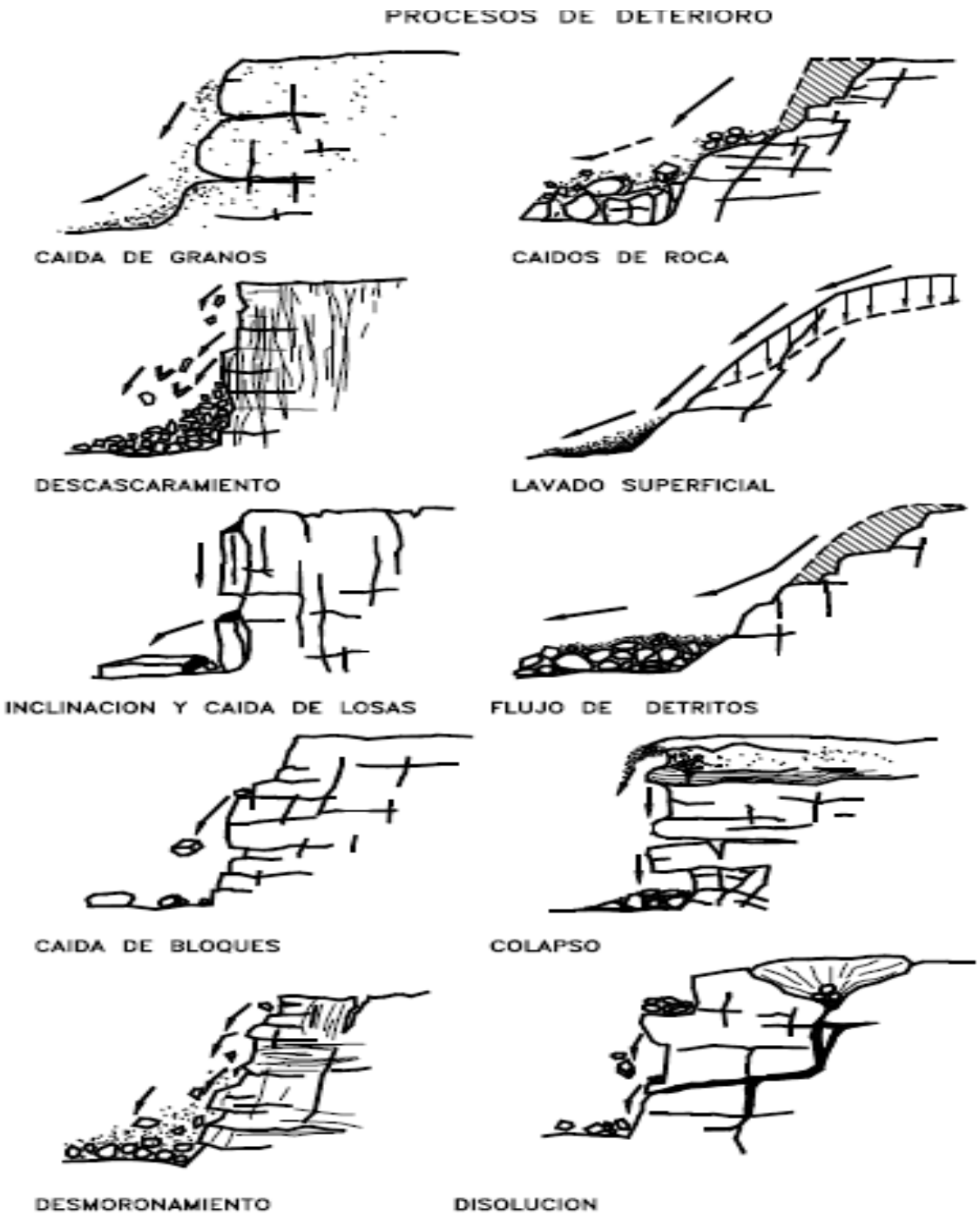
A. **caída de granos**: consiste en deslizamiento de granos de roca que se desintegran físicamente, esto causa un debilitamiento del material rocoso, si bien no representa una gran amenaza sin embargo podría producir a la perdida de soporte derivando en pequeños deslizamientos (Suarez, 1998).

B. **Caída de bloques**: estos caen por acción de la gravedad, se convierte en una amenaza difícil de predecir debido a la variedad y cantidad de tamaños que puedan caer. Los bloques grandes pueden causar daño estructural. En ocasiones bajan saltando y rodando y pueden caminar grandes distancias (Suarez, 1998).

C. **Desmoronamiento del talud:** este produce la caída de bloques de diferentes tamaños, lo que significa una amenaza potencial.

Otros procesos que se llevan en la etapa de deterioro del talud son: caídos de roca, erosión en sus tipos laminar surcos, cárcavas, interna, flujo de detritos, colapso, disolución, expiación y contracción agrietamiento cosísmico y por tensión, fatiga etc.

Ilustración 8. Procesos de deterioro en macizos rocosos

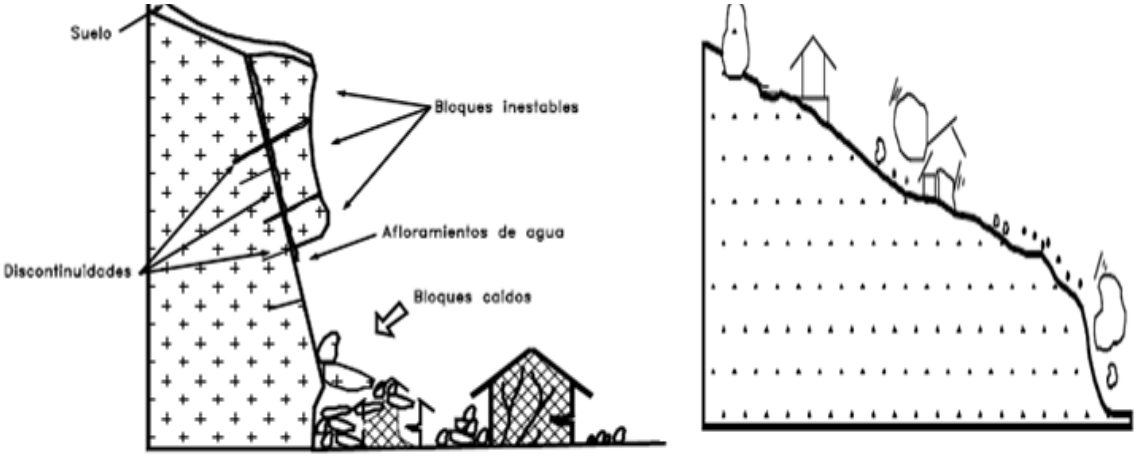


Fuente: Tomado de (Nicholson; Hencher, 1997; citado en Suárez, 1998)

5.2.3 Caracterización de los movimientos en masa.

a. ***Caídos.*** Este se da cuando una masa tierra o roca se desprende un talud o ladera donde las pendientes son altas, esta caída se da a lo largo de la superficie. Estos movimientos tienden a ser muy rápidos, los desplazamientos se comportan como caídos de caída libre en pendientes mayores a 75 grados (Suarez, 1998).

Ilustración 9. Caídos



a) Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada

b) Caídos de bloques rodando

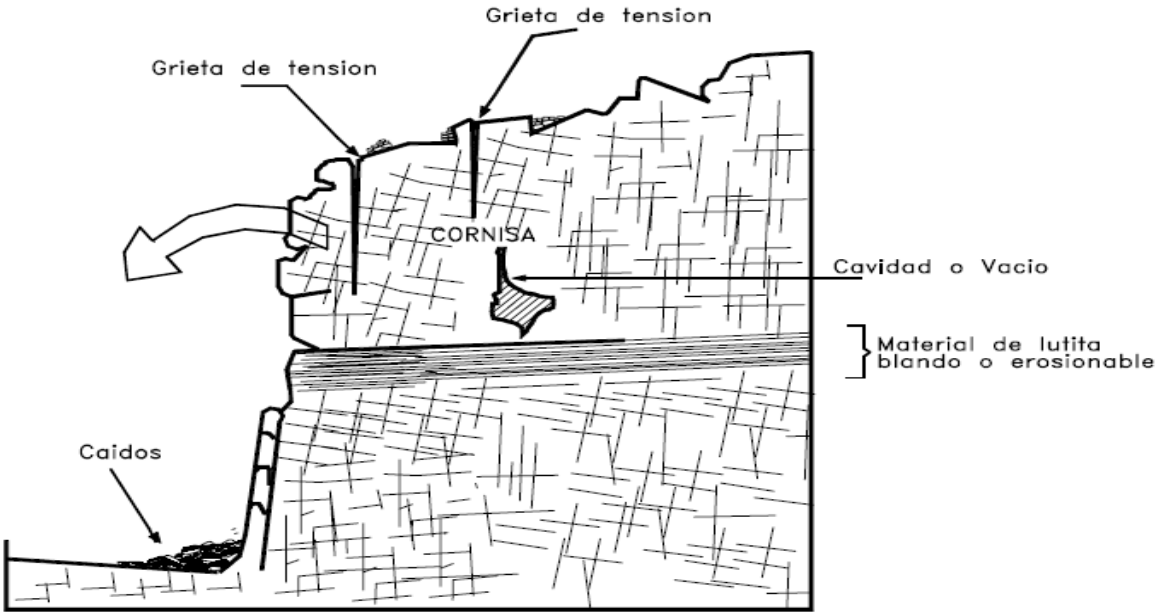
Fuentes: Tomado y adaptado de Suárez 1998

b. ***Inclinación o volteo*****.** se presenta cuando se da una inclinación hacia delante de tierra cuyo centro de giro se encuentra debajo de su centro de gravedad, tienden a ocurrir en las formaciones rocosas. Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos.

c. ***Reptación.*** Este se da cuando se presentan movientes lentos a muy lentos del suelo subsuperficial y no tienen superficie de falla definida, por lo general el movimiento es de muy pocos centímetros al año pero afecta grandes extensiones del terreno y es

atribuido a las alteraciones climáticas relacionadas con humedecimiento o secamiento de suelos blandos o alterados.

Ilustración 10. Volteo o inclinación en materiales residuales

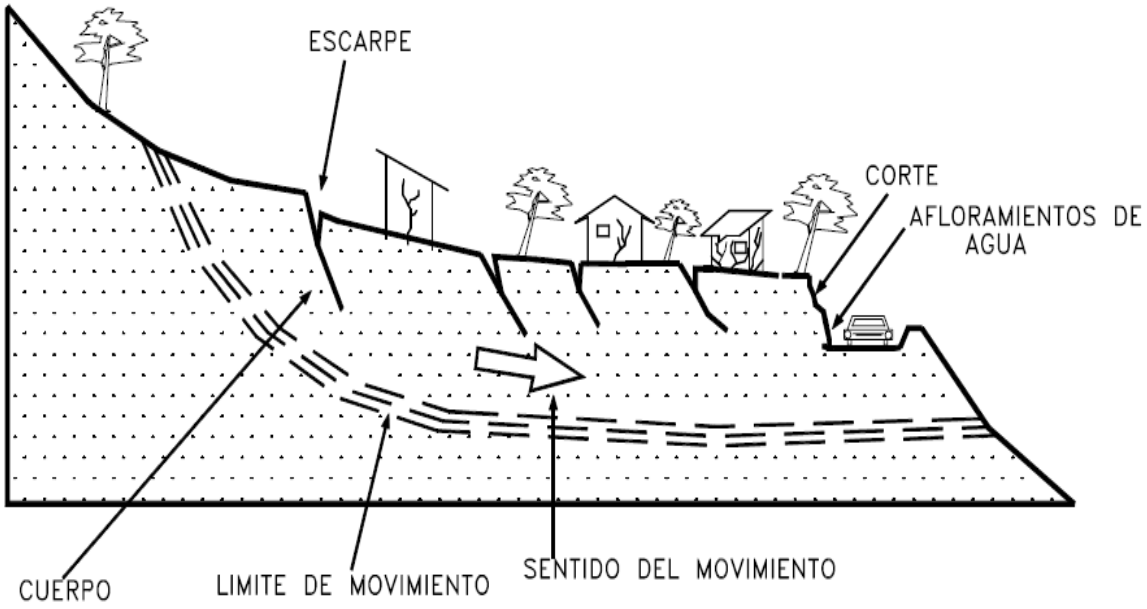


Fuente: Suárez 1998

d. ***Deslizamiento.*** El movimiento se basa de un deslizamiento a lo largo de la superficie, son fáciles de detectar, este movimiento puede ser progresivo es decir que su comienzo no se da de manera simultánea a lo largo de toda la superficie de falla.

Los movimientos se pueden dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales, estas dos clasificaciones incurren al momento de definir el análisis y el método de estabilización a emplearse.

Ilustración 11. Deslizamientos en suelos blandos

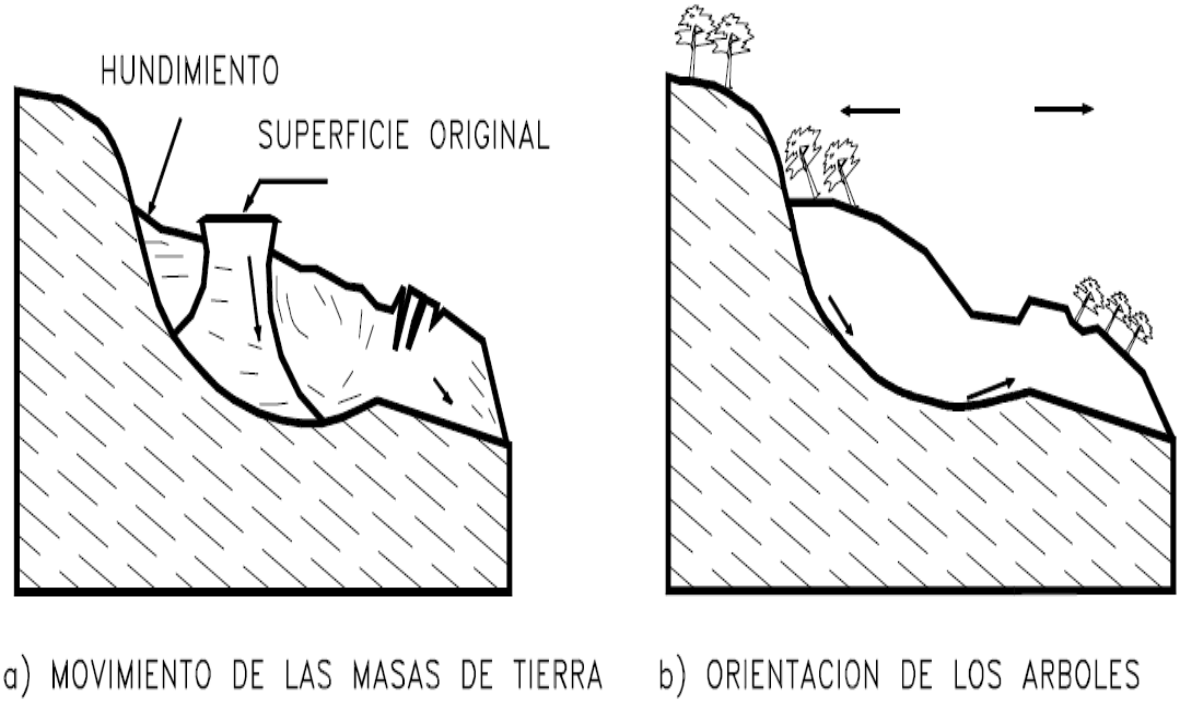


Fuente: Tomado de Suárez 1998

i. ***Deslizamiento rotacional***. Este tipo de movimiento se da de forma rotacional sobre una superficie de falla formada por una curva donde el centro de giro se encuentra encima del centroide del cuerpo del movimiento. Desde la vista superior el deslizamiento muestra una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la misma dirección del movimiento. Produciendo un área superior e inferior de desplazamiento generándose continuamente flujos de material por debajo del pie del deslizamiento.

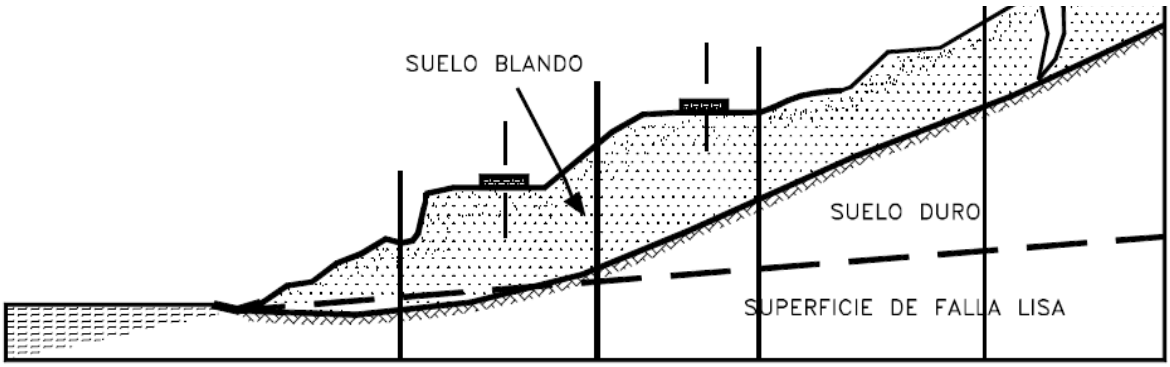
ii. ***Deslizamiento de traslación***. A diferencia del deslizamiento típico, el de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo a lo largo de una superficie de falla ligeramente ondulada a plana y muy escasamente se presentan movimientos de rotación o volteo.

Ilustración 12. Deslizamiento rotacional típico



Fuente: Tomado de Suárez 1998

Ilustración 13. Deslizamiento de translación en la vía Tijuana - Ensenada en México



Fuente: Tomada de Suárez 1998

5.2.4 Estabilización de taludes y movimientos en talud vial.

El manual para la inspección visual de obras de estabilización establece unos parámetros para poder abordar este tema. Es necesario que se den a conocer distintos conceptos de los factores que intervienen en los procesos de inestabilidad. Estos son clasificados como externos e internos. Los primeros son aquellos donde se encuentran características que definen la susceptibilidad de la ladera, y los segundos tienen que ver más con los agentes detonantes.

Tabla 1. Factores inherentes a la estabilidad de taludes

Factores internos	Geológicos
	Geomorfológicos
	Geotécnicos
	Vegetación
Factores externos	Climatológicos
	Sísmicos
	Antropogénicos

Fuente: UNAL; INVIAS, 20016

5.2.4.1 Señales de movimiento.

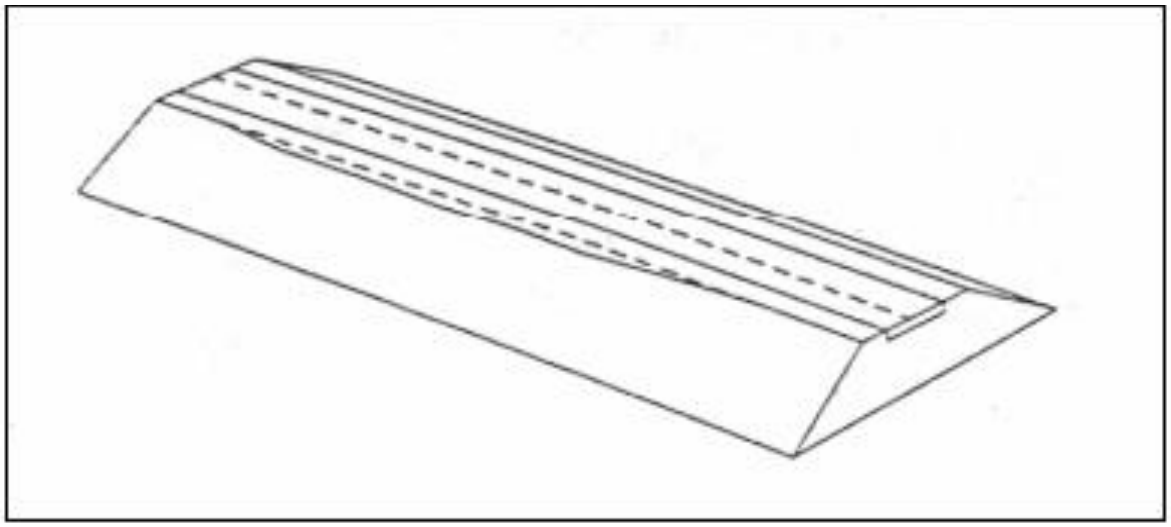
a) **Grietas de tracción en carreteras o en los taludes.** Permiten la infiltración de agua y por consiguiente favorecen la reducción de la resistencia a lo largo del plano de falla debido a la generación de presiones de poros adicionales. Indican que la ladera

o el talud se encuentran en las primeras etapas de su movimiento (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006)

b) **Hundimiento de subrasante.** Desplazamientos verticales de la calzada pueden indicar movimientos de reptación de la ladera o el desarrollo de un proceso de inestabilidad en el talud inferior. Sin embargo, estos movimientos pueden estar asociados con el asentamiento del relleno alrededor de alcantarillas (Suarez, 1998)

c) **Abultamiento sobre o bajo la carretera.** Muchos deslizamientos de masas de suelo pueden presentar un abultamiento hacia la pata del talud, en el que la masa deslizada se ha acumulado (Ilustración 2) (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006).

Ilustración 14. Hundimiento de la subrasante

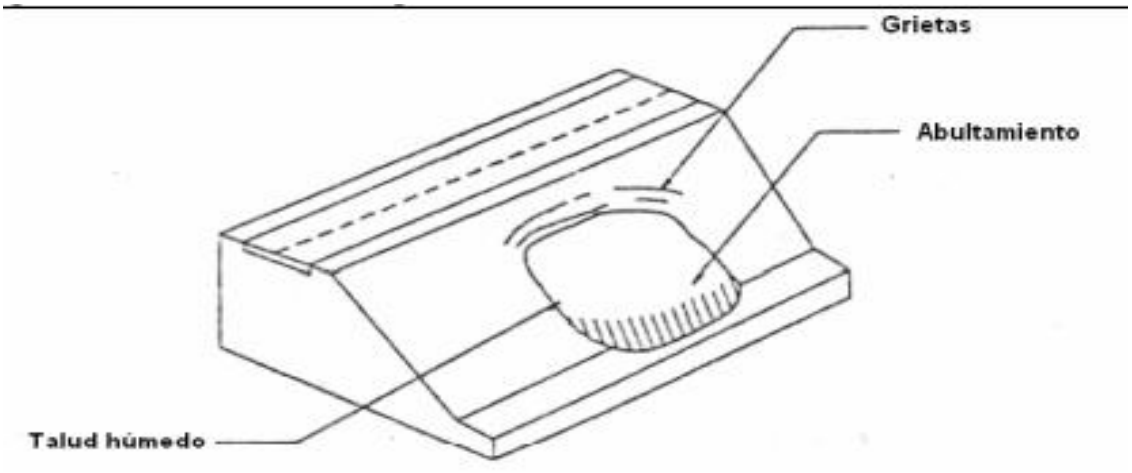


Fuente: Suarez, 1998; citado en UNAL; INVIAS, 2006

d) **Detritos en la vía.** Los detritos pueden generarse directamente en el sitio de desintegración de la roca, o ser transportados y depositados en otros sitios por las corrientes de agua Estos detritos pueden ser un antecedente a una caída masiva de

rocas o de un deslizamiento. (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006).

Ilustración 15. Abultamiento en algunos de los elementos de la carretera



a) **Cambios de forma.** Desviaciones en árboles, líneas eléctricas postes de teléfono y cercados tensionados o inclinados son indicadores de movimiento del terreno. (ver ilustración 3) (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006).

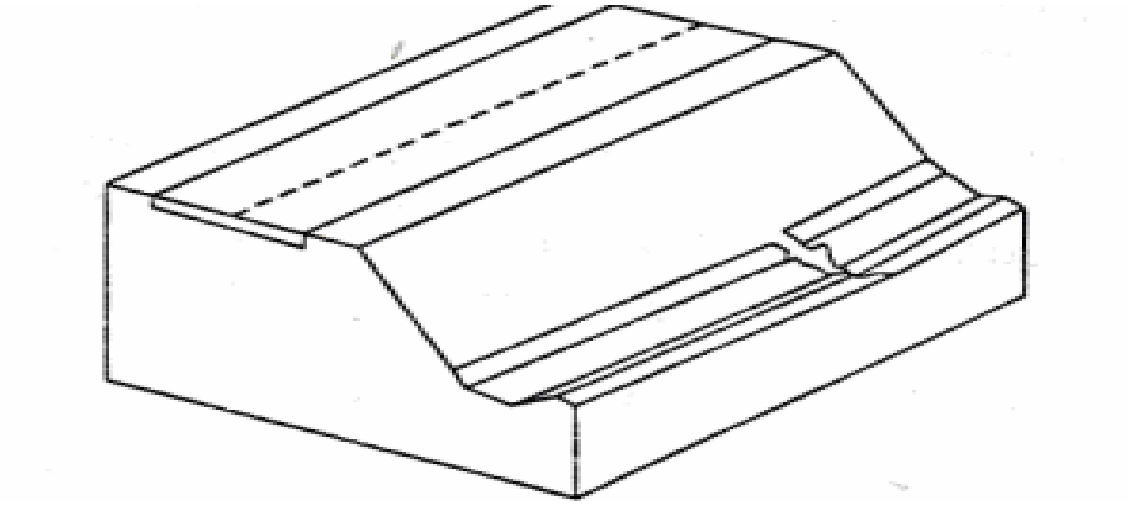
5.2.5 Manejo de inestabilidad en taludes y laderas.

Acorde a la bibliografía consultada y teniendo en cuenta todo lo que el manejo de taludes implica, se podría definir como una serie de técnicas de prevención y conservación de los taludes que se encuentran estables, evitando fenómenos como el de la deforestación, desvío y control del cauce de los ríos, quebradas y de todas aquellas acciones que puedan contribuir a la inestabilidad de estos.

En las siguientes definiciones, se describirán algunos elementos que no son considerados evidencias de los movimientos del terreno, a pesar de ello, representan condiciones que podrían de manera eventual ser utilizados para dar un manejo correcto a los taludes.

a) ***Drenaje deficiente de agua superficial.*** Incluye aquellas situaciones en las que se ha favorecido el estancamiento de aguas, conformando fuentes de infiltración. Dentro de éstas se encuentran las alcantarillas bloqueadas, el agrietamiento de cunetas o las descargas de flujos hacia zonas desprotegidas de los taludes. (ver figura 4) (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías ;, 2006).

Ilustración 16. Fractura de cuencas revestidas



Fuente: UNAL; INVIAS, 2006; citado en Suárez, 1998)

b) **Drenaje deficiente de agua subsuperficial.** Se refiere a la presencia de nacimientos en o hacia la pata de los taludes, cambios de color en el suelo, indicando cambios en el contenido de humedad, zonas de terreno blando, tipo y crecimiento de la vegetación como evidencia de flujo subsuperficial (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006).

5.3 ORAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y MEJORAMIENTO VIAL

Uno de los problemas que enfrenta la ingeniería al momento de realizar obras civiles que involucran la interacción con el suelo, es lidiar con su estabilidad y los inconvenientes que le proceden, debido a que los suelos pueden estar sujetos a fenómenos de expansión y contracción, esto cuando se someten a cambios en el contenido de humedad e incluso algunos suelos llegan a sufrir deformaciones adicionales cuando son sometidos a cargas vehiculares; por ende, si se plantea realizar algún tipo de intervención que involucre la construcción de estructuras como pavimentos, es necesario que se realicen obras de estabilización. Para este caso de estudio se ha evidenciado la existente inestabilidad de taludes a lo largo de la vía, por lo que es necesario realizar las obras antes mencionadas, que vayan acorde con las necesidades y condiciones de la zona.

A continuación, se mencionan algunas técnicas para la estabilización de los suelos que aportan significativamente al mejoramiento vial.

5.3.1 Obras de estabilización de carreteras.

5.3.1.1 Estabilización empleando cal.

Este es uno de los estabilizadores más comunes en Colombia, debido a que en este país existe variedad de pisos térmicos y terrenos tropicales, además de diferentes tipos de suelos como arcillas y limos, que permiten que el uso de la cal mezclada con el suelo existente genere la estabilidad de la superficie, alcanzando a impermeabilizar la estructura, logrando así una mayor capacidad de carga.

Según estudios preliminares las estabilizaciones con cal se recomiendan para suelos arcillosos con un índice de plasticidad media con valores entre 10 y 50, incluso más. El suelo mezclado con cal y una adecuada compactación, se deriva en un proceso químico. “La cal hidrata [Ca (OH)2] causará rápidamente intercambio catiónico y floculación / aglomeración. siempre que se mezcle íntimamente con el suelo”. (Schmitt, Schexnayder, Cohen, Herbert,

& Day, 2019 citado en González, 2021). Los pasos definidos para la estabilización de suelos con cal son:

1. **Escarificar y pulverizar.** Estas actividades se realizan para lograr una estabilización completa. Igualmente es necesario una pulverización adecuada de la fracción de arcilla, que se logra mejor con un estabilizador giratorio. Los anchos de corte típicos varían de 6 a 8 pies y profundidades de corte de hasta 22 pulgadas. El rotor se mueve en una dirección de corte hacia arriba para levantar la tierra y sacarla del suelo. El mandril de corte puede llegar a una inclinación del 5% para ajustar la pendiente transversal de la base.

2. **Esparcir cal.** Por ningún motivo la cal en estado seco debe esparcirse cuando existan corrientes altas de viento. Cuando es el caso, se emplea la lechada de cal y se puede preparar en un tanque de mezcla central y esparcirse en el grado necesario, utilizando distribuidores de agua. Cuando existan situaciones desfavorables de viento al esparcir cal seca, Se recomienda colocar el camión tolva inmediatamente delante del estabilizador.

3. **Mezcla preliminar y adición de agua**. Se recomienda elevar el contenido de humedad optima como minimo en un 5%, durante la mezcla rotatoria de la cal con el material del suelo. Un tanque de agua remolcado conectado con mangueras puede proporcionar una tasa de alimentación de agua continua. En la operación, se debe considerar la resistencia adicional del tanque de agua remolcado sobre material de base suave.

4. **Curado preliminar**. Se recomienda un lapso de 24 a 48 horas para la cura de la mezcla de tierra y cal. Y así permitir que la cal y el suelo reaccionen de la forma esperada en los terrones de arcilla. Existen casos en los que se debe esperar hasta 7 días, esto dependiendo de las características de la arcilla que predomina en el suelo.

5. **Mezcla final y pulverización**. Durante la mezcla final, la pulverización debe continuar hasta que todos los terrones se rompan para obtener el tamaño de partícula capaz de pasar un tamiz No. 4.

6. **Compactar**. Se debe compactar la mezcla de suelo y cal acorde a lo especificado. La compactación inicial se logra mejor con apisonadores o rodillos de pisón, seguida más tarde por rodillos de tambor liso o neumáticos.

7. **Curado final.** Se debe dejar curar el material compactado de 3 a 7 días antes de colocar las capas posteriores. El curado se puede lograr rociando ligeramente para mantener la superficie en una condición húmeda durante el período de tiempo deseado. El curado por membrana es otro método de curado aceptable, consiste en sellar la capa compactada con una emulsión asfáltica. El curado es importante para minimizar el agrietamiento por contracción en el suelo endurecido (Goswani,2018; citado en Romero Castro, 2015).

5.3.1.2 Estabilización empleando materiales bituminosos.

Estas emulsiones pueden ser empleadas en distintos tipos de suelos, sin embargo, la reacción química es distinta. Esta emulsión proporciona cohesión, incrementando la resistencia mecánica y durabilidad cuando es usada en suelos gruesos, mientras en los suelos donde el índice de plasticidad es menor al diez por ciento (IP 10%), suele utilizarse para lograr impermeabilidad. (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Las ventajas de esta técnica, es que no se requiere material granular seleccionado, permitiendo que se use el material de la zona.

Existen 4 tipos de estabilización bituminosa de uso común, de acuerdo con la composición física del suelo disponible en cada caso y la función del asfalto incorporado. Se clasifican de la siguiente manera:

a. ***Suelo-asfalto*:** Es un sistema de suelo cohesivo a prueba de agua (impermeabilizado). Normalmente se utiliza como sellante y tratamiento superficial, sin aporte estructural.

b. ***Arena-asfalto***: Es un sistema en el cual las arenas de río, que cumplen determinadas condiciones mínimas de estabilidad, son cementadas con material bituminoso.

c. ***Estabilización granular impermeabilizada***: es un método constructivo mediante el cual la mezcla granular que posee buena graduación de partículas de gruesas a finas, es cementado e impermeabilizado mediante la distribución uniforme de pequeñas cantidades de asfalto (Highway Research Board, 2010 Citado en; Departamento Nacional de Planeación, 2018).

De acuerdo con lo planteado por el departamento nacional de planeación, para las vías terciarias existen dos métodos recomendados para realizar estabilizaciones con materiales bituminosos los cuales son:

- Mezcla en vía con elementos comunes.
- Mezcla en vía con plantas mezcladoras de tránsito.

El método se elige dependiendo del medio con el que se vaya a realizar la mezcla del suelo con el bitumen. Los pasos o proceso constructivo de la obra de estabilización con material bituminosos son:

1. Preparación de la mezcla de suelo y arena.
2. Incorporación de la emulsión y mezclado.
3. Aireación de la mezcla.
4. Compactación.

Todo esto siguiendo las recomendaciones que emana el ministerio de transporte a través del instituto nacional de vías INVIAS. (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

5.3.1.3 Estabilización empleando geotextil

La estabilización de suelos con geotextil son empleadas para estabilizar suelos con presencia de arcillas blandas compresibles y que también suelen ser expansivos. Los

geotextiles permiten ampliar la vida útil de las vías logrando que se dé una separación de forma permanente entre la subbase granular y la subrasante, creando una barrera impermeable. Especialmente son utilizados en procesos de repavimentación, permitiendo dar una protección en lugares en los que el nivel freático es elevado y hay suelos saturados. Entre sus ventajas se encuentra su fácil manipulación, durabilidad y bajos costos.

5.3.1.4 Estabilización empleando suelo cemento

La estabilización de suelos con cemento es un método empleado para mejorar las condiciones físicas y mecánicas del suelo. Este desarrolla una red de enlaces entre partículas del suelo mediante el proceso de hidratación, produciendo así un aumento considerable en la capacidad portante y resistencia mecánica del suelo.

El INVIAS da una serie de recomendaciones mediante sus normas técnicas denominadas "*especificaciones generales de construcción de carreteras"* y establece que para el uso de estas se deben garantizar algunas condiciones iniciales al material a estabilizar, una de estas es garantizar que el contenido de materia orgánica no sea superior al 2% ya que se retrasaría el fraguado del cemento, producto de una interrupción en el proceso aglutinante del cemento. (TORO, 2019)

Para la implementación de la técnica se debe esparcir el cemento Portland de manera uniforme sobre la superficie, mezclándolo en el suelo a la profundidad especifica acorde al diseño derivado de un estudio de suelos que involucra como mínimo el análisis granulométrico, límites de atterberg, CBR y Proctor normal, compactando, nivelando finamente y curando. Si el contenido de humedad del suelo es bajo, se recomienda agregar agua durante la operación de mezclado manteniendo un suministro continuo para garantizar una hidratación adecuada. El material se caracteriza por ser de fraguado rápido, por ello debe compactarse dentro de los 30 minutos posteriores a su mezcla (Rivera, Aguirre-Guerrero, Mejía, & Orobio, 2020, citado en González, 2021).

El DNP plantea las etapas constructivas correspondientes a la estabilización con cemento, la cuales son:

a. Preparación del terreno, limpieza de granular existente y retiro de sobre tamaños
b. Compactación de la subrasante y subbases
c. Distribución del cemento.
d. Mezcla del suelo con el cemento mediante el uso de un tracto rotativo hasta obtener un material homogéneo y con el espesor correcto en la sección de la vía.
e. Uso de motoniveladora y vibro compactador para llegar al nivel de espesor de los diseños.
f. Curado del suelo cemento Lo anterior deberá estar ceñido a las especificaciones del INVIAS para el caso del capítulo tres Afirmados, Subbases y Bases. 350 suelo-Cemento y 351 Base tratada con cemento (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

5.3.1.5 Estabilizaciones con pavimentos

La cartilla "Colombia rural" da algunas pautas para la estabilización de taludes viales, en la cual se consideran distintos tipos de estructuras de pavimentos, teniendo en cuenta diferentes variables y rangos, sin dejar atrás otras técnicas como lo es la placa huella y los caminos ancestrales esto como una opción para mejorar la movilidad en las regiones del país. A continuación, se denotan una serie de condiciones, que delimitan el alcance de las alternativas de pavimentos propuestas (Programa colombia Rural, 2020).

a) Solamente podrá ser implementada en vías terciarias.
b) La carga de diseño máxima es de 500.000 EE8.2t.
c) No considera procesos de estabilización sobre suelos especiales: suelos blandos, arcillas expansivas o cenizas volcánicas.
d) La resistencia mecánica mínima (CBR) es 3%.
e) La Temperatura Media del Anual Ponderada (TMAP) máxima podrá ser 30°C y la Precipitación Media Anual (PMA) máxima podrá ser 6000 mm/año.
f) La dosificación de los mejoramientos de suelo propuestos (suelo cemento y suelo cal) deberá ser diseñada por un Ingeniero de Transporte y Vías o Civil Especialista.

g) El diseño geométrico y estructural de las losas irregulares y las juntas de los pavimentos rígidos será desarrollado por un Ingeniero de Transporte y Vías o Civil Especialista.

h) Las características de los materiales y procesos constructivos tienen que cumplir las exigencias de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías vigentes.

i) No considera procesos de estabilización sobre suelos especiales: suelos blandos, arcillas expansivas o cenizas volcánicas (Programa colombia Rural, 2020).

Las estructuras de pavimentos planteadas en la cartilla de Colombia rural, pone a consideración los materiales viales especificados a nivel nacional así como algunas consideraciones para las categorías de carga de diseño y de resistencia de la subrasante.

Tabla 2. Materiales

Material	**ABREVIATURA**	**ESPECIFICACIÓN**
Subbase Granular Clase C	SBG	Artículo 320-13
Base Granular Clase C	BG	Artículo 330-13
Suelo Cemento	SCE	Artículo 350-13
Suelo Cal	SCA	Artículo 236-13
Tratamiento Superficial Doble	TSD	Artículo 431P-17
Tratamiento Superficial con Asfáltica	TSA	Artículo 442-13
Concreto Asfáltico MDC-19	CA	Artículo 450-13
Concreto rígido MR-3.8 MPa	CR	Artículo 500-13

Fuente: Tomado y adaptado de la cartilla programa Colombia rural, 2020

Tabla 3. Categorías de cargas de diseño

CATEGORÍA	**CARGA ($EE_{8.2t}$)**
N1	N≤150000
N2	150000 < N ≤ 300000
N3	330000 < N ≤ 500000

Fuente: Tomado y adaptado de la cartilla programa Colombia rural, 2020

Tabla 4. Categoría de la resistencia de subrasante

CATEGORÍA	CARGA ($EE_{8.2t}$)
S1	3 ≤ CBR < 5
S2	5 ≤ CBR < 7
S3	7 ≤ CBR < 10
S4	10 ≤ CBR < 15

Fuente: Tomado y adaptado de la cartilla programa Colombia rural, 2020

5.3.1.5.1 Estructuras de pavimentos flexibles.

Este tipo de pavimento característico por sus capas compuestas por una de rodadura o carpeta asfáltica que está elaborada con concreto asfaltico y otras dos conocidas como base y subbase elaboradas con agregados. Dentro de sus ventajas tenemos que es viable su utilización en vías de bajas cargas vehiculares, es de costos bajos en comparación con el rígido y es de fácil intervención, entre otras ventajas. Dentro de sus desventajas tenemos que requiere un mayor mantenimiento, de baja durabilidad y no es recomendable para altas cargas.

Presentadas y diseñadas por el método AASHTO-93 "Asociación Americana de funcionarios de Carreteras y Transporte Estatales" y el instituto del asfalto, para estos casos, clasificadas según las variables de carga presentadas en la Tabla #3, resistencia a la

subrasante ilustradas en la table #4, entre otras variables de temperatura como temperatura precipitación y drenaje, donde se consideró una confiabilidad del 80%.

Otras soluciones de estabilización de suelo que han sido estudiadas e implementadas son las siguientes:

- Pavimentos rígidos
- Pavimentos semi rígidos
- Pavimentos articulados

Si bien son métodos viables para la estabilización de taludes sin embargo dada las condiciones del tramo de estudio el cual presenta pendientes altas y tipos de terrenos que varían en su longitud es necesario que se estudien alternativas que sean viables y que se puedan ejecutar con facilidad aprovechando al máximo los materiales existentes en la zona.

5.3.1.5.2 Placa huella.

Este sistema está diseñado para generar condiciones adecuadas para la transpirabilidad de vehículos, personas etc. Especialmente en sectores denominados “tramos críticos” de las vías rurales. Este sistema se basa en la colocación de franjas delgadas de placas elaboradas en concreto separadas transversalmente a una distancia tal, que coinciden con las huellas de la circulación vehicular, con anchos en promedio de 0,90 m cada una, entre las cuales se aloja una zona central construida en concreto ciclópeo y/o piedra pegada, manteniendo unos sobre anchos externos variables en piedra pegada para garantizar el acomodamiento de la sección al ancho disponible de la vía. Sus módulos se confinan transversalmente con viguetas de concreto, tipo riostras y lateralmente por berma cunetas.

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de pensar en la utilización de este método son las siguientes:

a) Se emplea para vías con bajos volúmenes de tránsito.
b) Se emplea en secciones viales con espacio para un solo carril de circulación.
c) Se diseña para velocidades bajas y con un ancho inferior a los 5.5 m para vías terciarias y una longitud máxima de tramos de 500m.

La placa huellas se diseñan teniendo en cuenta también el paso de vehículos tipo camión y las cargas máximas de diseño son enfocadas en las de camión C3 con periodo de diseño de 20 años. Se utilizan en vías de la red terciaria. Por tratarse de pavimentos de concreto, en la evaluación de cargas de tránsito se tiene en cuenta, el peso y el número de repeticiones esperadas de los ejes. Los vehículos comerciales que se espera que circulen por este tipo de pavimentos son: el camión C2 y el C3. (Orobio & Orobio, 2016; citado por González, 2021).

5.3.2 Obras de estabilización de taludes y laderas.

Antes de proceder a la elección de la técnica a emplear para la estabilidad de taludes, es necesario que se conozcan los factores que incurren en la inestabilidad de los taludes, dichos agentes fueron descritos anteriormente. Teniendo ya claridad en esto se propende a la ejecución de obras en aras de recuperar las condiciones estabilidad de los taludes, así como la mitigación de los efectos adversos que se pudieran desencadenar.

A continuación, se muestran diferentes técnicas de estabilización de taludes, describiendo las principales características, condiciones y especificaciones dadas por la teoría al momento de sus diseño y ejecución, ahondando en las soluciones estructurales y de bioingeniería.

5.3.2.1 Obras para estabilización de tipo estructural.

Estas se utilizan con el objetivo de corregir fallas de taludes especialmente en las vías u otro tipo de obras lineales. Algunas funciones de las estructuras de contención son las siguientes:

- Controlar deslizamientos de pequeñas dimensiones en la dirección del movimiento.
- Controlar deslizamientos en la pata de taludes empinados.
- Disminuir la extensión de la falla en grandes masas.
- Soporte inicial en taludes tendidos o de rellenos para bermas.
- Limitar el derecho de vía o los sitios de préstamo de materiales. (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006).

5.3.2.1.1 Muros de concreto reforzado

Estas estructuras se caracterizan por resistir los movientes producto de la presión de la tierra sobre el muro. Existen distintos muros de concreto reforzado (Ilustración 6) los cuales son:

Tabla 5. Tipos de muro de concreto reforzado

Tipo de muro	Descripción
Empotrados o en Cantilber	Se caracterizan por tener una placa semivirical o inclinada monolítica con otra placa en la base, en cuanto a su geometría tienden a ser en forma de "L" o "T" invertida.
Contrafuertes	Para este tipo, la placa vertical o inclinada esta soportada por contrafuertes monolíticos, los cuales le aportan rigidez y ayudan en la transmisión de cargas a la cimentación.
Muros con estribos	En este caso aparte de las placas características de los tipos mencionados, se construye otra placa superior sub-horizontal que incrementa su rigidez y capacidad de soporte ante momentos.

Fuente: Tomado y adaptado de Suárez, 1998

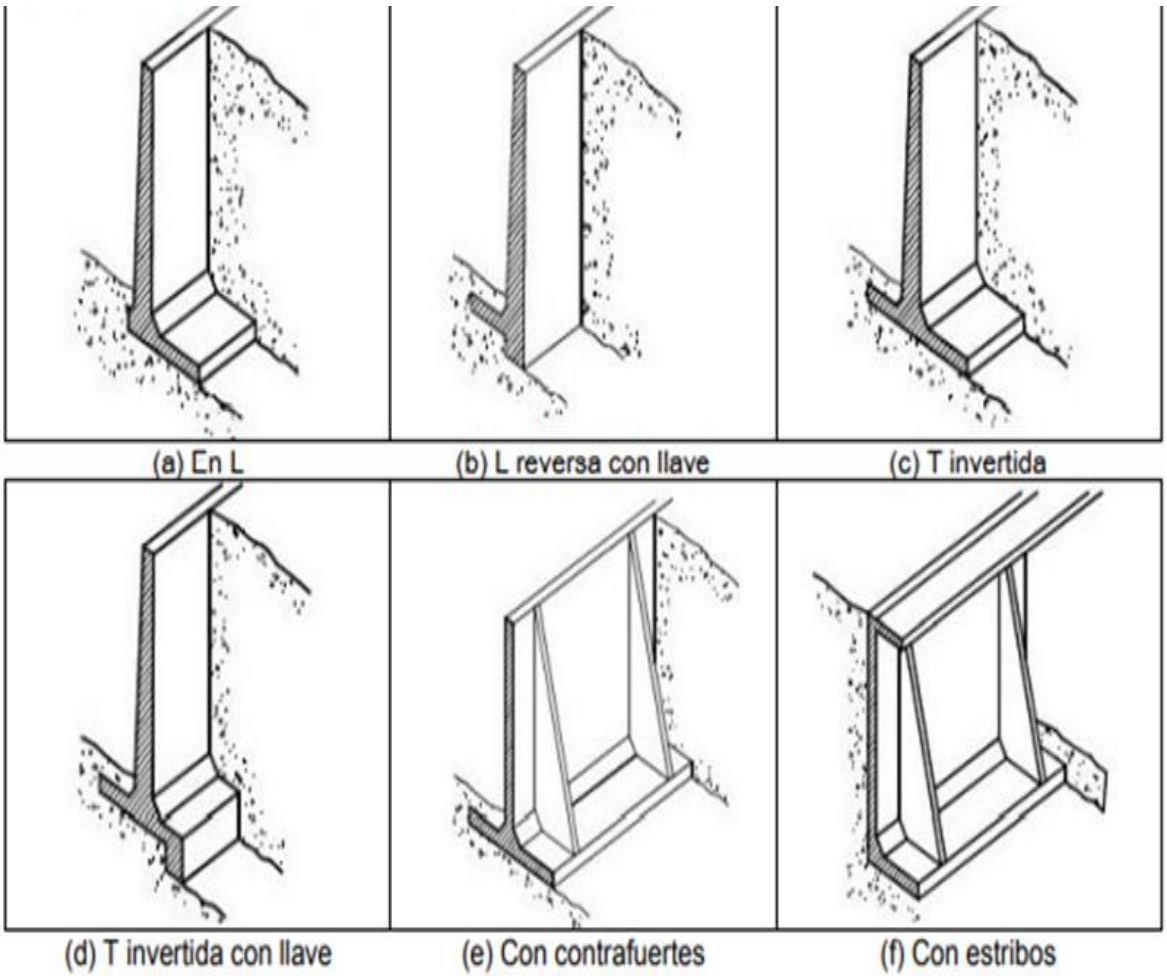
Este tipo de muro plantea una serie de ventajas y desventajas en su implementación, algo favorable es que suponen un consumo bajo de hormigón, pueden emplearse cuando se necesitan alturas superiores a los cuatro metros, sim embargo las desventajas que suponen es su poca efectividad cuando se deben estabilizar grandes masas, pueden llegar a tener altos costos. (Gobierno de España; Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación;).

Para el diseño de este tipo de estructura de contención se deben tener diferentes factores o aspectos los cuales se describen a continuación:

- Diseño de la estabilidad intrínseca del muro para evitar volcamiento o deslizamiento.
- sobre el suelo de cimentación.
- Diseño de la estabilidad general del talud o cálculo del factor de seguridad.

- incluyendo la posibilidad de fallas por debajo de la cimentación del muro.
- Diseño de las secciones y refuerzos internos para resistir momentos y cortantes.
- Cálculo de capacidad de soporte de la cimentación. (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998)

Ilustración 17. Tipos de muro de contención en concreto armado



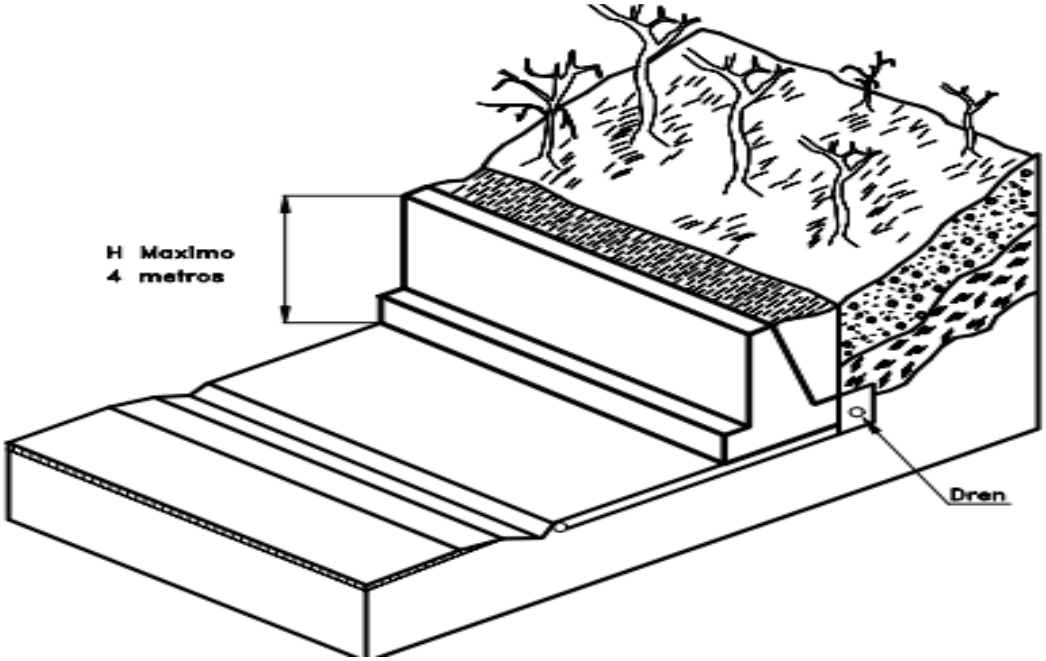
Fuente: Suárez, 1998 citado en INVIAS; UNAL,2006)

5.3.2.1.2 Muros de gravedad en concreto

Estos muros también conocidos como muros de concreto sin refuerzo se caracterizan por ser relativamente grandes, ya sean de concreto con piedra, las cuales trabajan como estructuras rígidas (ver ilustración 7). Éstas actúan como estructuras de peso o gravedad.

Para su diseño se deben tener en cuenta diferentes condiciones, tales como: evitar ser empleadas en alturas mayores a los cuatro metros ya que se pueden presentar esfuerzos de flexión que si bien se conoce el concreto simple no puede resistir, la estabilidad intrínseca del muro, de igual forma de recomienda la construcción de sistemas de subdrenaje para eliminar las posibles presiones de agua, construir juntas de contracción a una distancia máxima de 20 metros, estos muros deben cimentarse por debajo de la superficie de falla con el propósito de obtener fuerzas de reacción por fuera del movimiento que aporten estabilidad tanto al muro como al deslizamiento (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998).

Ilustración 18. Muro en concreto sin refuerzo



Fuente: Suárez 1998

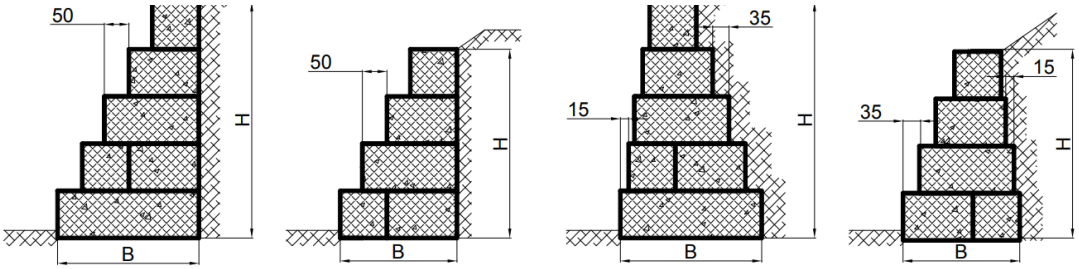
5.3.2.1.3 Muros de gaviones

Consiste en la colocación o superposición de unidades con forma prismática, su fabricación se basa generalmente de un enrejado de alambre galvanizado, el cual se llena con fragmentos de roca dura o rocas pequeñas.

El uso de gaviones representa diferentes ventajas ya que no necesitan de una cimentación, se adaptan al terreno, es de fácil diseño y construcción la cual no involucra gran inversión de tiempo y no requiere mano de obra especializada, son flexibles, presentan muy buenas condiciones de drenaje y durabilidad permitiendo también que y no requiere gran inversión de dinero, sin embargo esto último puede variar dependiendo si en la zona donde se desea construir hay disponibilidad de material (roca), una desventaja es que al trabajar por acción de la gravedad, su espesor aumenta en función de la altura, lo que incurre en costos de construcción.

Según un documento revelado por la sociedad colombiana de geotecnia en el año (2000), en Colombia se emplean los siguientes tipos de gaviones, en la actualidad según lo consultado estos tipos de muros de gaviones aún se mantienen, estos son: de base con una longitud de dos metros, un ancho de un metro y una altura de medio metro, gaviones de cuerpo que presentan un ancho y longitud como el primero solo que este alcanza una altura de un metro, y el de tipo colchonetas cuya longitud es de cuatro metros su ancho de dos y su altura varía entre los cero punto cinco metros a cero punto tres (0.15 a 0.3 m) (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías ;, 2006)

Ilustración 19. Muros y gaviones en función de su altura H y ancho B



Fuente: Cartilla caminos naturales del gobierno de España

5.3.2.1.4 Diques en tierra o roca.

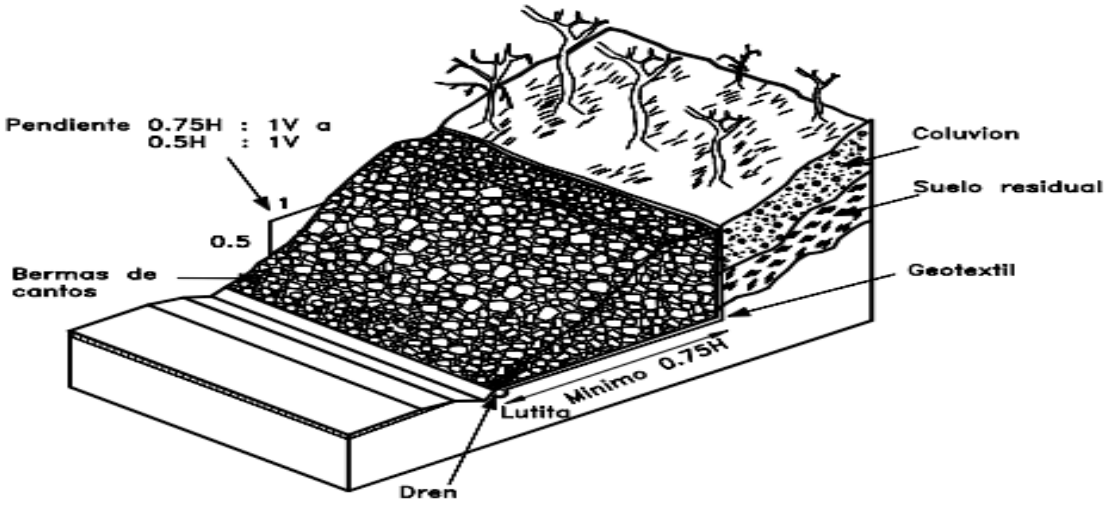
Estas estructuras tienen como objeto dar soporte a una masa de suelo o roca, ya sea que haya sido cortada o para rellenarla, dentro de sus funciones está el retener el suelo y rocas, servir de soporte a excavaciones entre otras y soportan las presiones de tierra gracias a su propio peso.

Estos muros pueden ser construidos en tierra o roca, para lo segundo se emplean cantos grandes de roca, colocados uno encima del otro de forma manual o con la ayuda de vehículos tipo volqueta. En cuanto al tamaño Generalmente se emplean aquellas rocas con tamaños superiores a las tres pulgadas, también se emplean bloques cuyos tamaños tienen a ser de hasta un metro de diámetro, sin embargo, requieren de un equipo mecánico para su colocación. El diseño de estos se basa en determinar las dimensiones exteriores del terraplén.

Algunas de las aplicaciones que se le da a este tipo de muros son las siguientes: retención de masas de tierra., soporte a excavaciones

En la corrección de deslizamientos rotacionales en suelos y rocas de alturas inferiores a los cuatro metros, causados por la litología débil y suelos arcillosos entre otros.

Ilustración 20. Muro en piedra



Fuente: Tomado de Suárez 1998

5.3.2.2 Obras para estabilización empleando Bioingeniería

La bioingeniería puede definirse como el diseño de ecosistemas sostenibles, el cual une a sociedad con su medio natural en beneficio de ambos. Otra definición que entregan es que la bioingeniería se refiere a la prevención y control de erosión, protección y estabilización de taludes (Reyes, Analisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetación, 2019).

Esta técnica se emplea en la estabilización de taludes, la cual consiste en una combinación entre la vegetación y elementos estructurales adicionales, los cuales trabajan de forma conjunta e integrada, dando lugar así a la estabilización biotecnológica de taludes.

Según lo manifestado por algunos autores este tipo de estabilización comprende parámetros ambientales de suma importancia con una efectividad extraordinaria (Gray, Leiser 1982; citado en Suarez, 1998).

En la bioingeniería es característica por emplear partes vivas de las plantas como los son: tallos y raíces. Esto permite que las partes mencionadas de las plantas sirvan como elementos mecánicos a la estructura principal de los ecosistemas de protección de laderas. (Reyes, Analisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetación, 2019) algunas técnicas que emplea la bioingeniería en la estabilidad de taludes son:

- Estacas vivas
- Fajinas vivas
- Estructuras y revestimientos artificiales con vegetación

En Colombia según lo manifestado por reyes (2019) quien concuerda con lo dicho por Suarez (1998), se ha logrado observar que en los suelos arcillosos se han observado procesos nuevos de reptación posterior a la quema de bosques situados en zonas de alta pendiente. Procesos de deforestación en suelos residuales tropicales han activado procesos

de crepitación subsuperficial de grandes áreas en los suelos residuales tropicales. Aunque aún no se han encontrado fallas profundas activas a causa de estos procesos de deforestación. (Reyes, Analisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetación, 2019) (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998).

Para la implementación de las técnicas de bioingeniería, se sugieren analizar una serie de factores de suma importancia como lo son el efecto de la vegetación sobre el suelo, las características específicas de la vegetación en la zona de estudio.

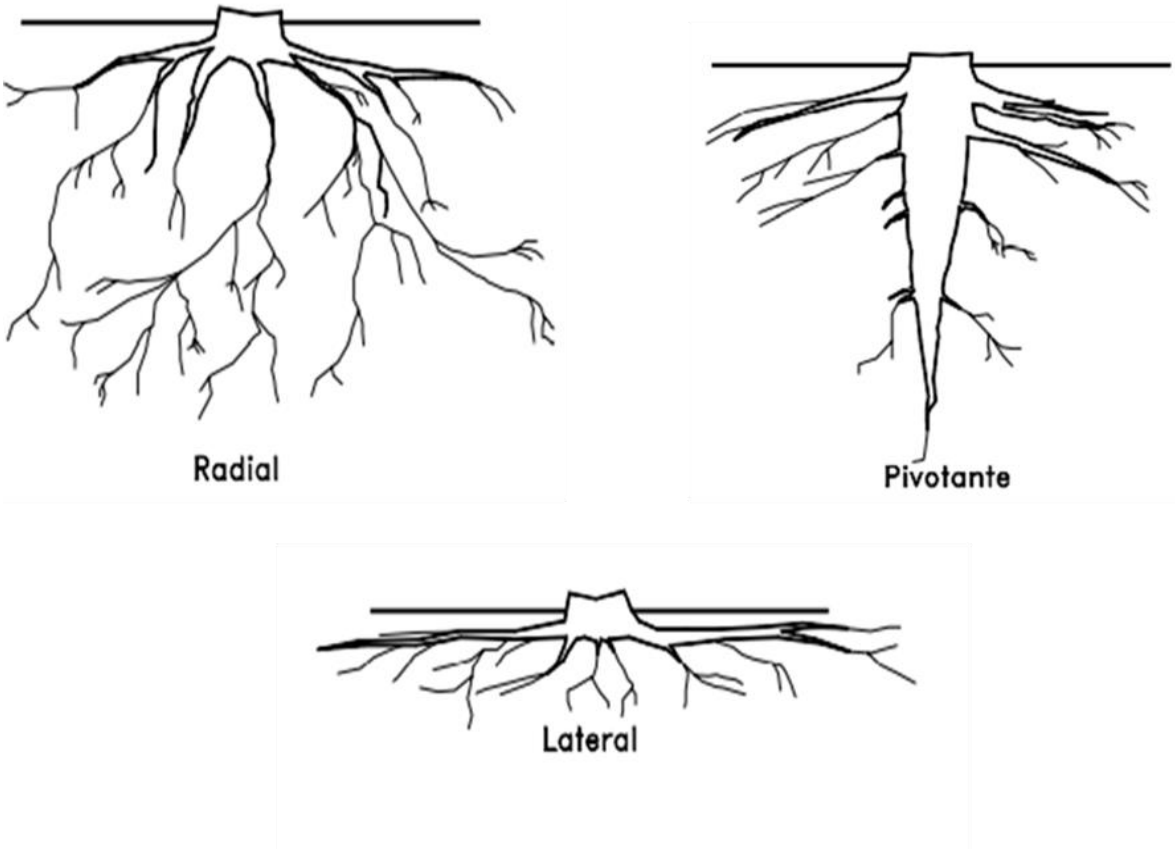
A continuación se describen algunos factores importantes para el análisis para la implementación de técnicas de bioingeniería:

- ***Volumen y densidad del follaje de las plantas***: este debe ser uniforme y cercano a la superficie para evitar la pérdida de partículas de suelo por erosión se sugiere que la distancia entre el follaje y la superficie debe estar entre los 20 centímetros a un metro para garantizar así la protección contra el impacto de las gotas de lluvia. Por tanto se sugiere que la cobertura vegetal tenga varios niveles de follaje, permitiendo que la amortiguación de la energía de las gotas se realice por etapas, logrando una mejor protección. La rugosidad de un cauce de agua es mayor cuando los tallos son rígidos, aunque, los tallos flexibles se adaptan mejor a la corriente y la turbulencia es menor. Si el objetivo es disminuir la velocidad de la corriente, los tallos rígidos obtienen un mejor resultado, pero si el objetivo es proteger directamente el sitio contra la erosión, los tallos flexibles deben preferirse. Por otro lado raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua. La forma como las raíces actúan en cada caso está determinada por el tipo de planta y las condiciones de suelo del sitio (Robert & Soto, 2011).

- ***Estructura de las raíces:*** existen varias formas de raíces las cuales influyen de distintas maneras para la estabilidad, las hay de forma de extensión radial, extensión lateral, y raíces pivotantes, la última estructura tienden a ser más útiles para la estabilidad, mientras que las dos primeras aportan a la protección en cuanto a fenómenos de erosión superficial. La resistencia a la cortante del suelo aportada por

las raíces solo se extiende hasta la profundidad de anclaje de las raíces. Como regla general la mayoría de las raíces solo se profundizan hasta aproximadamente 1.5 metros (Robert & Soto, 2011).

Ilustración 21. Tipos de raíz



Fuente: Tomado de Suárez 1998

5.3.2.2.1 Estacas vivas

Consiste en longitudes de tallo de árboles y arbustos, estos son enterrados en el suelo en aras de que germinen. Es un proceso bastante rápido eficaz y económico, el cual puede implementarse en zonas que necesiten un tratamiento primario para la estabilidad de taludes, las estacas cumplen la función de anclar otros elementos como trinchos o mantos vegetales, las cuales con el transcurrir del tiempo brotan en forma de arbustos o árboles. (Robert & Soto, 2011) (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998). El proceso constructivo de las estacas vivas consiste en:

a) Clavar la estaca normal a la superficie del talud, utilizando martillos de caucho.
b) La densidad de instalación debe ser de tres a cuatro estacas por metro cuadrado para
c) garantizar un cubrimiento adecuado en corto tiempo.
d) Las dos terceras partes de la estaca deben estar enterradas dentro de la tierra (Suarez, 1998)

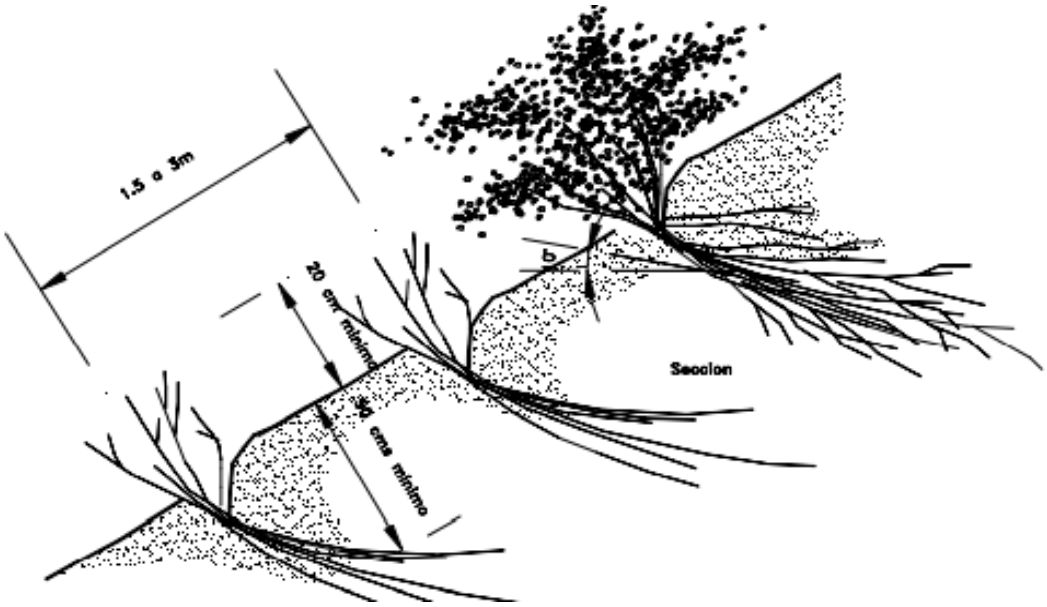
5.3.2.2.2 Fajinas vivas

Esta técnica consiste en enterrar manojos de ramas que se entierran en zanjas poco profundas con el objetivo que germinen del mismo modo en el que lo hacen las estacas vivas. Por lo general las zanjas donde son enterrados los manojos son excavados a mano formando un contorno a lo largo de las líneas de nivel de talud (siguiendo la pendiente) este mismo método se emplea en el caso de taludes húmedos en aras de facilitar el drenaje. (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998)

Una vez colocadas las fajinas las zanjas son rellenadas con suelo procurando que una parte de las fajinas queden enterradas y la otra parte expuesta, la longitud de los racimos puede variar entre 0.50 cm y 100 cm.

Este es un método amigable con el medio ambiente cuyo propósito principal es el control de la erosión especialmente en zonas cárcavas, las fajinas por lo general están hechas con hiervas, juncos, adaptados a las condiciones climáticas del sitio.

Ilustración 22. Estacas vivas



Fuente: Tomado de Suárez 2009

5.3.2.2.3 Estructuras y revestimientos artificiales con vegetación o métodos mixtos.

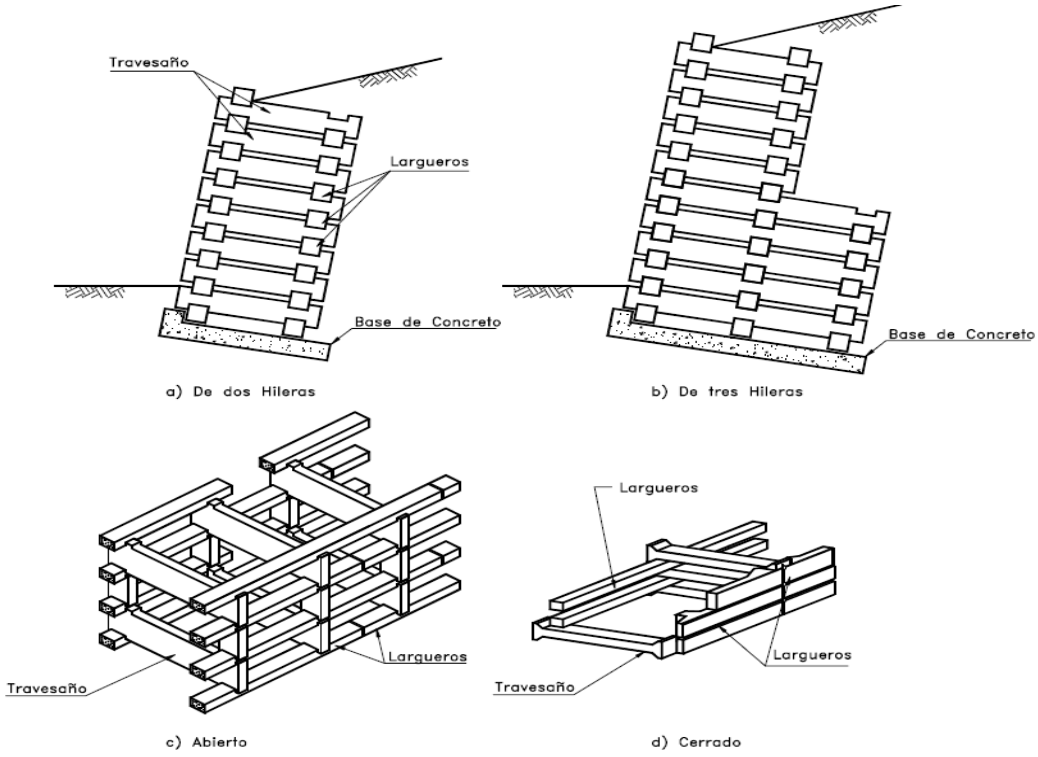
Estas combinaciones de los métodos de bioingeniería con las estructuras, pone a disposición una serie de métodos tales como: muros criba, llantas usadas, tierra reforzada, recubrimientos con diversos materiales sintéticos, donde la vegetación cumple la función de reforzar el suelo, proteger la erosión y como fijador del recubrimiento.

De igual forma también se pueden emplear métodos de protección empleando mantos vegetales con semillas los cuales son fáciles de usar y de adquirir en el mercado.

Muros de criba: Son empleadas cuando se requieren repara deslizamientos pequeños no mayores a seis metros de altura, también es empleando cuando se requiere prevenir socavaciones en el pie de los taludes.

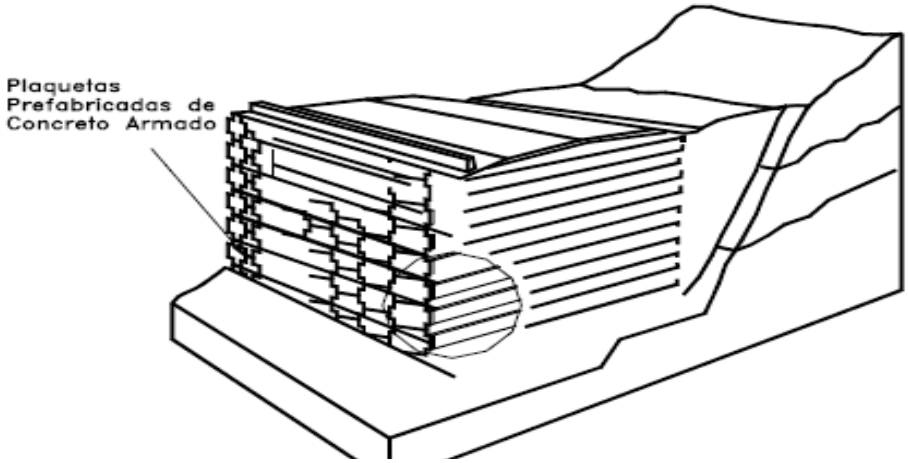
Muros de tierra forzada: El método constructivo que emplea este tipo de muros es alterando las capas de suelo y las del material de refuerzo; este esfuerzo viene dado por capas de bandas metálicas o geosintéticos que sostienen elementos prefabricados que constituyen la cara de la estructura (Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías, 2006).

Ilustración 23. Muros de criba



Fuente: Tomado de Suárez 2009

Ilustración 24. Muro de tierra armada con refuerzo de tiras metálicas



Fuente: Tomado de Suárez 2009

6 DELIMITACIÓN

6.1 Delimitación Temporal

El proyecto de investigación está delimitado temporalmente en el año 2022 entre los meses de marzo y septiembre.

6.2 Delimitación Conceptual

La realización de esta indagación tendrá en cuenta los conceptos de viabilidad así como los de diferentes técnicas empleadas para el mejoramiento vial y el control de deslizamientos en taludes.

6.3 Delimitación Social

LA población beneficiada serían los habitantes del corregimiento de Siberia en especial las veredas y fincas que se encuentren entre la comunidad veredal de “Parranda Seca” y “Corea” en jurisdicción del municipio de ciénaga departamento del magdalena.

7 MARCO DE REFERENCIA

Es de aclarar que al ser un trabajo que busca una solución integral al problema de transitividad de la vía, es necesario que el marco de referencia se complemente con información y antecedentes que contribuyan a la estabilización de taludes y prevención de deslizamientos, así como una propuesta de mejoramiento para la vía.

7.1 Estado del arte/Antecedentes

Alternativas para el mejoramiento de vías terciarias en Putumayo 2021 ((Ordóñez Gonzalez, 2021)

El trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis de las diferentes alternativas para el mejoramiento de carreteras en material afirmado del departamento del putumayo estas vías se catalogan como vías terciarias, generando alternativas para el mejoramiento de estas.

Hace un comparativo de los diferentes mecanismos de estabilización teniendo en cuenta diferentes variables, plantea las maneras de intervención eficientes con métodos innovadores y algunos tradicionales**.**

Análisis integral de las alternativas técnicas para el mejoramiento de las vías terciarias en las zonas de ladera de los municipios de la antigua zona de distención en el departamento del Meta (Hernandez, 2021).

El objetivo del trabajo consiste en realizar un análisis condicionado para el diseño de la vía mencionada y plantea una serie de alternativas técnicas para el mejoramiento de vías terciarias que presentan condiciones similares a la estudiada (vías en zonas de ladera).

El trabajo elabora un paso a paso partiendo desde un estudio ambiental, económico y social, hasta involucrar pasos técnicos, da una serie de recomendaciones para trabajos futuros en temas de vías en zonas de ladera y entrega una posible solución a la problemática como lo es el uso de pavimentos rígidos. el trabajo aporta el uso de un aplicativo creado con la

estrategia Colombia rural con ayuda del INVIAS, el cual permite bajo criterios técnicos seleccionar una alternativa adaptada de mejoramiento vial.

Guide to Cement-Stabilized Subgrade Soils (Gross & Adaska, 2020).

El objetivo principal de la guía es describir las características, usos y beneficios de la estabilización de subrasante con cemento, para ello se realizan diversas ejemplificaciones, gráficas y tablas de valores que corroboran la capacidad que adquiere la subrasante a la hora de emplear este método. Se puede tener certeza de que es un procedimiento con resultados positivos y es posible utilizar.

La guía describe que la técnica de la modificación con cemento trata de suelos sin tratar, particularmente suelos arcillosos, que han sido tratados con una proporción relativamente pequeña de cemento portland para proporcionar características mejoradas, incluyendo plasticidad reducida y potencial de cambio de volumen y mayor capacidad de carga.

Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España, 2020)

El objetivo principal es dar una serie de recomendaciones para la redacción de los proyectos de ejecución de obras para la normalización de los aspectos constructivos de los Caminos Naturales.

Este documenta muestra distintos métodos de solución para la estabilidad de taludes, haciendo énfasis en obras de bioingeniería y su implementación, entrega una serie de pasos para el diseño de estas, procesos constructivos y técnicas de construcción teniendo en cuenta aspectos de la ruralidad.

Propuesta Técnica para el Mejoramiento de la Vía Terciaria, Localizada entre el barrio Villa Paúl y la Vereda La Punta en el Municipio de Funza, Cundinamarca (Navarrete & Duarte, 2020)

El trabajo plantea entregar una propuesta técnica para el mejoramiento de vía terciaria localizada en la zona urbana del municipio de Funza, el trabajo recopila información del

estado de las vías identificando estrategias fáciles de implementar y entrega una posible solución a la problemática de las vías del municipio.

Emplea métodos informáticos y software que ayudan al análisis de identificación de problemáticas viales, aporta criterios metodológicos y técnicas para la adecuación de vías en el casco urbano del municipio.

Estudio de la Técnica de Suelo-Cemento para la Estabilización de Vías Terciarias en Colombia Que Posean un Alto Contenido de Caolín (García, 2019)

El objetivo principal de la investigación fue determinar qué incidencia tiene el cemento en los suelos blandos y se concluyó que el cemento funciona muy bien como agente estabilizador de suelos, en este caso se comprobó que los porcentajes superiores al 8 % de cemento en la mezcla mejoran considerablemente la resistencia ante cargas monotónicas.

En este proyecto investigativo se estudia la técnica suelo-cemento para la estabilización del suelo. En el proceso, se adiciona cemento al terreno, mezclándolo con agua y luego se emplea un proceso de compactación, logrando que el terreno obtenga mayor resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

Propuesta para el Mejoramiento de las Vías Terciarias en el Municipio de Sáchica-Boyacá (Buitrago, 2019)

El trabajo se basa en proponer una alternativa para mejorar las vías de uso terciario en un municipio del departamento de Boyacá en Colombia, parte identificando una serie de diagnóstico del estado de las vías y propone una solución en aras de mejorar las condiciones de transitividad en zona rural del departamento mencionado.

Genera un diagnóstico de la situación de las vías terciarias en el municipio de Sáchica, aportando técnicas para identificar y definir los problemas de las vías terciarias, haciendo un especial énfasis en que el mantenimiento vial es un factor fundamental en la conservación de la infraestructura vial.

Análisis de Estabilidad de Taludes Aplicando Diferentes Técnicas de Revegetalización, (Reyes, 2019).

El trabajo se planteó el objetivo de realizar un análisis de las condiciones de estabilidad para diferentes taludes localizados en corredores viales a cargo del INVIAS con problemas de inestabilidad destacando las técnicas de revegetalización (Bioingeniería).

En el trabajo se analizan muestras de suelos, análisis computacional de su comportamiento, muestra claramente los pasos a seguir para la estabilización de grandes masas de tierra determinado así un método de revegetalización idóneo para los cuatro taludes estudiados y estabilizados, mostrando un caso de éxito del uso de la bioingeniería para la estabilidad de taludes.

Viabilidad de la Implementación de Fajinas para la Estabilización de Taludes en Colombia (Romero Castro & Galviz Rojas, 2015)

El objetivo del trabajo es plantear el uso de las fajinas como una nueva alternativa viable para controlar y prevenir deslizamientos de tierra en Colombia teniendo en cuenta los aspectos ambientales y económicos. este trabajo muestra casos de éxito del uso de esta técnica en países como España y Colombia.

El trabajo plantea diferentes escenarios de aplicación recomendando el uso de fajinas como sistema de estabilización y control de erosión, concluyendo que es una gran solución a los problemas geotécnicos de estabilización de taludes, considerándose por otro lado como una alternativa ecológica con un mínimo de inversión, que además ayuda a la conservación del medio ambiente.

Rehabilitación de Vías Terciarias con el Sistema de Placa Huella (Arellano Murcia, 2015).

El documento tiene como objetivo mostrar las características constructivas del pavimento tipo placa huella y alinear las características de esta técnica con las descritas en los manuales existentes en Colombia.

El trabajo plantea un antes y como se da la adaptación de la placa huella a los manuales de diseño de carreteras en Colombia, define lo que es una placa huella,

describiendo sus elementos principales y muestra casos y condiciones de vías terciarias donde se ha adoptado la placa huella como una solución al problema de inestabilidad y transpirabilidad de las vías.

Metodología de Estabilización de Taludes de Carreteras (Morales Muñoz, 2012).

Tiene como principal objetivo el entregar nuevos conocimientos sobre el diseño y ejecución de obras de estabilización de taludes mostrando diferentes técnicas de retención para la estabilidad de taludes de carreteras.

Entrega una metodología para estabilizar taludes con el uso de muros claveteados y entrega cálculos y métodos de análisis para el diseño de estos, analiza muestras de suelo, graficas, presupuestos y simulaciones en software de diseños y análisis de taludes.

Protección y Estabilización de Taludes para Evitar Deslizamientos (Soto & Robert, 2011).

Este trabajo realiza principalmente un estudio de las diferentes alternativas que existen para la protección y estabilización de taludes, haciendo especial énfasis en el estudio de nuevas tecnologías y que estas se puedan aplicar en zonas de falla con riesgo de deslizamiento en las carreteras de chile.

investiga los e identifica los mecanismos más comunes de falla en diferentes tipos de taludes, partiendo desde definiciones y consideraciones claras en aras de identificar factores de falla en las zonas de riesgo, da a conocer distintas herramientas que se pueden emplear cuando se presenten situaciones de inestabilidad de taludes, empleando métodos de aumento de la resistencia del talud, disminución de esfuerzos cortantes entre otras. también realiza una importante comparación de los diferentes muros de contención desde un enfoque económico e innovador.

Manage of Gives Uncertainty Gives Taludes in the Road that Communicates the Populations Gives Samoré (North of Santander) and Cubara (Boyacá); sector vial that corresponds to the axis gives communication Cucuta Arauca, Colombia (Gallardo Amaya & Córdoba Arias 2010).

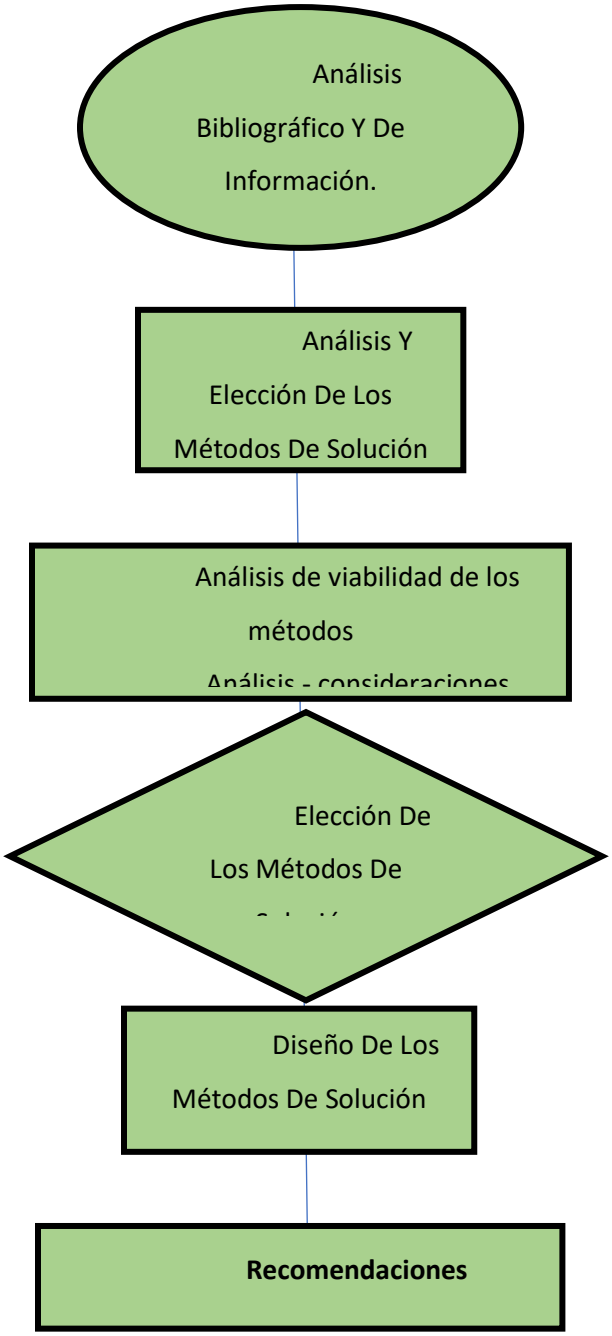
El articulo lustra un caso de estudio para la estabilidad de taludes en la vía que comunica las poblaciones de Samoré (Norte de Santander) y Cubará (Boyacá), buscó identificar los factores condicionantes y detonantes que influyeron de manera directa en la estabilidad del terreno, para que de esta forma se plantearan e implementaran las alternativas de solución a corto y largo plazo, que llevaron a disminuir el nivel de riesgo para los usuarios.

El trabajo entrega definiciones claves e ilustra una serie de pasos e información relevante que se debe recolectar para la implementación de obras de estabilización, como lo son ellos factores que pueden inducir la inestabilidad en un talud y los estudios que este debe involucrar e incita a la evaluación de distintos métodos antes de proceder a estabilizar un talud en aras de que se empleen soluciones mixtas adaptadas a cada necesidad.

8 METODOLOGÍA

8.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

Ilustración 25 Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

8.2 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DEL MÉTODO

Si bien ante cada problema de estabilidad que se presenta en la zona, teniendo en cuenta su tipo de falla es menester elegir un método adecuado que permita lograr la estabilidad de los taludes. En el planteamiento se exponen tres problemas a los cuales se les debe dar una solución, estos se habían mencionado anteriormente y, se deben abordar para dar cumplimiento al objetivo planteado, cabe recalcar los problemas a mitigar: Inestabilidad e inadecuado Manejo de taludes; Inestabilidad de taludes montañosos como el del talud vial entre otros factores como la nula existencia de obras de drenaje sobre la vía. Sin embargo para poder dar una solución integral y de calidad se deben tener en cuenta muchas consideraciones que ayudaran a elegir el método más apropiado para la estabilización de taludes susceptibles a deslizamientos, así como el mejoramiento y estabilización del talud vial.

Se debe tener en cuenta muchos aspectos entre estos el económico. Partiendo desde la idea de que el método más costoso no es el más idóneo ni el más económico el menos apropiado, para así enfocarse más en una solución técnica, social y ambientalmente viable, haciendo especial énfasis en la primera variable sin recaer en métodos de solución reiterativos, ya que se ha vuelto común que los ingenieros encargados de diseñar o buscar soluciones a problemas como los aquí planteados reiteren en soluciones con las que se encuentren familiarizados sin realizar algún análisis para así implementar soluciones innovadoras y ajustadas a la necesidad, por ellos los ingenieros al momento de entrar a elegir algún método de solución es necesario que se emplee todo el conocimiento disponible, haciendo un análisis que involucren los factores como el tiempo, el económico, el técnico, y limitantes y así ahondar en una investigación que aporte al menos una solución en particular a cada situación. (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y que es un deber de los profesionales de la ingeniería proveer y/o elaborar diseños efectivos, económicos y viables en todos los términos, se procede a hacer un reconocimiento de las posibles limitantes que se pueden presentar, en aras de lograr una correcta elección del método ajustada a cada necesidad, posteriormente a esto se expone un cuadro donde se describen diferentes consideraciones, el

tipo de limitación que se podría presentar así como una serie de recomendaciones que podrían conllevar a una posible solución ajustada según lo observado y recopilado en campo. En la siguiente tabla se exponen cada una de las limitaciones que pueden presentarse.

Tabla 6 Limitaciones

Tipo de Limitación	Descripción
Técnica	Son aquellas relacionadas con el tipo de suelo, magnitud de deformaciones, durabilidad y construcción, de igual forma se pueden presentar niveles freáticos y fatiga del suelo que ocasionado movimientos y deformaciones de las estructuras, los niveles freáticos pueden imposibilitar las construcciones.
Del sitio	- Obras de drenaje - Espacio, clima, cultura. - Legislación, político.
Ambientales	- Impacto negativo - Cambios en los ecosistemas - Contaminación y/o modificación y alteración de fuentes hídricas
Costos	- Altos costos de materiales y diseños - Imprevistos - Tiempo

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la anterior tabla, a continuación se muestra una matriz de consideraciones la cual muestra una serie de consideraciones que como se había dicho anteriormente están relacionadas con el sitio de estudio según lo visto y analizado en las diferentes salidas de campo e inspecciones visuales realizadas al talud y a la vía, ilustrando de manera general y que pueden ser tenidas en cuenta para realizar cualquier tipo de proyecto de infraestructura en la zona.

Tabla 7 Consideraciones generales

CONSIDERACION	DESCRIPCIÓN	RIESGO	RECOMENDACIONES
Accesibilidad y clima	Se debe tener en cuenta que la vía de acceso se encuentra en un alto deterioro, con zonas de pendientes elevadas, ahuellamientos, laderas y abismos con caídas de más de 600 metros de altura. El tema de las altas pendientes dificulta la subida de vehículos de carga y algunas maquinarias, sin embargo en la zona se encuentran algunas como tractores, motoniveladora con tractor de oruga y en tiempo seco los vehículos de carga pesada pueden ingresar de forma más sencilla.	Económico Accidentabilidad Difícil acceso	Tratar de que la solución que se elija en la medida de lo posible sea de ejecución corta, y/o que estas puedan implementarse y ejecutar en tiempo seco o lluvioso, sin embargo se prefiere que la ejecución de estas se pueda realizar en los periodos secos.

Fuente: Elaboración propia

Continuación (Tabla 7)

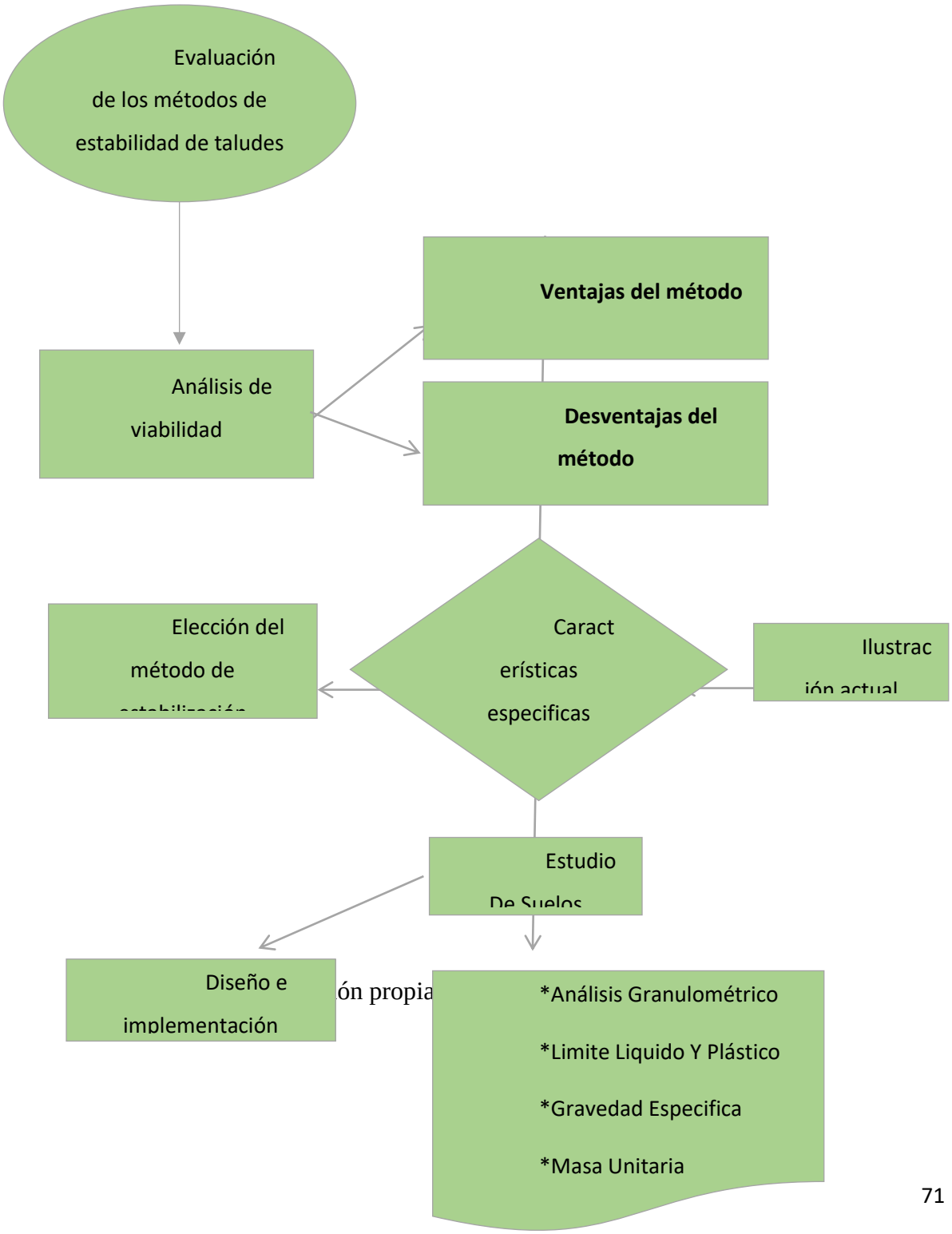
CONSIDERACION	DESCRIPCIÓN	RIESGO	RECOMENDACIONES
Legislación	Se entiende que la normatividad colombiana a dejado en claro la importancia y protección de la sierra como lugar sagrado de las comunidades que la habitan por ser reserva de biodiversidad y agua para los departamentos de magdalena, la guajira y el cesar. Algunos actos administrativos en favor de la sierra se encuentran: Resoluciones 0002 del 4 de enero de 1973 del Ministerio de Gobierno, y la 837 del 28 de agosto de 1995 del Ministerio del Interior. declarada Parque Natural por el Parlamento de Andalucía en 1989 y la ley 3/99 del 1999.	Incurrir en multas Conflictos con las comunidades.	Se reitera el especial cuidado en las normativas de la sierra nevada, así como definir acuerdos con la comunidad en cuanto a la ejecución e implementación.
Accesibilidad y clima	Se debe tener en cuenta que la vía de acceso se encuentra en un alto deterioro, con zonas de pendientes elevadas, ahuellamientos, laderas y abismos con caídas de más de 600 metros de altura. El tema de las altas pendientes dificulta la subida de vehículos de carga y algunas maquinarias, sin embargo en la zona se encuentran algunas como tractores, motoniveladora con tractor de oruga y en tiempo seco los vehículos de carga pesada pueden ingresar de forma más sencilla.	Económico Accidentabilidad Difícil acceso	Tratar de que la solución que se elija en la medida de lo posible sea de ejecución corta, y/o que estas puedan implementarse y ejecutar en tiempo seco o lluvioso, sin embargo se prefiere que la ejecución de estas se pueda realizar en los periodos secos.

Continuación (Tabla 7)

CONSIDERACION	DESCRIPCIÓN	RIESGO	RECOMENDACIONES
Acopio De Material	En el sitio de estudio se carecen de fuentes de materiales como cemento, varillas, gravas, entre otras, razón por la que se debe traer los materiales para la construcción desde las poblaciones que se ubican en la parte baja.	Dificultad de acceso Económico	Se debe procurar porque las alternativas de solución empleen materiales del sitio, por tanto se recomienda la mejora del suelo existente en cuanto a la vía, para la estabilidad de taludes se recomienda también emplear métodos de fácil implantación y construcción adaptados a la problemática.

8.3 ANÁLISIS, ELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Ilustración 26. Esquema metodológico para la elección del método de estabilización de taludes



ón propia

8.4 ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, se procede a realizar un análisis evaluativo y comparativo de aquellos métodos descritos en el marco teórico en aras de definir y diseñar el método apropiado de elección, planteando ventajas y desventajas de las soluciones planteadas a cada problema descrito, haciendo especial énfasis en las viabilidades técnicas, ambientales y financieras.

Tabla 8. Análisis de los métodos de contención y estabilización

Fuente: Elaboración propia

Método	Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Muros de concreto reforzado.	Este tipo de estructura de contención se pueden emplear en grandes alturas, empleando métodos convencionales de construcción y pueden ser ejecutadas por mano de obra no calificada.	Requieren de un diseño estructural detallado, al ser unas estructuras por lo general grandes requieren de una buena cimentación, son pocos efectivos en caso de grandes deslizamientos, requieren gran cantidad de materiales.	Este tipo de muro se vuelve inviable para la zona ya que incurre en grandes costos partiendo desde el diseño estructural especializado hasta la adquisición de materiales de construcción, el tema del acopio del material, no contar con canteras, se requeriría de una inversión presupuestal bastante elevada.

Continuación. (Tabla 8)

Método	Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Muros de gravedad en concreto.	Presenta las mismas ventajas de los muros en concreto reforzado, con diferentes formas.	Requieren de una fundación y elaboración de concreto bastante controlada, al no contar con acero solo perite las flexiones que el concreto pueda soportar, grandes cantidades de material y costosos cuando se requieren en grandes alturas.	En cuantos a viabilidad presenta las mismas consideraciones que el muro en concreto reforzado sin embargo el costo puede verse disminuido al no emplear acero sin embargo la diferencia podría ser mínima lo que hace esta alternativa poco viable teniendo en cuenta las consideraciones dadas.
Muros de gaviones	Estos muros son flexibles, poseen buena capacidad permeable y se acomodan a los movimientos.	Requieren de un sistema de drenaje, y tienden a ser vulnerables a los movimientos, de igual forma es muy difícil conseguir bloques de roca y traerlos de otros lugares dado el acceso complejo se dificulta e incurre en altos costos.	Desde el punto de vista técnico puede ser viable, sin embargo desde la parte financiera se hace inviable ya que en la zona no se cuenta con el material requerido y el acarreo de estos es complejo y costoso por ende no es una alternativa viable.

Método	Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Diques en tierra o roca.	Son de fácil construcción y a costos bajos siempre que exista disponibilidad de rocas en el sitio.	En la zona hay pocas canteras o sitios donde se pueda acopiar gran cantidad de rocas y aunque existiera dadas las condiciones y las cantidades que se requerirían incrementarían el costo, en caso de poder tomar material del sitio se requeriría el uso de explosivos.	Al buscarse una alternativa que no afecte el ecosistema existente en la zona de estudio esta propuesta no es viable ya que incurriría en altos costos ya dada la dificultad para tomar materiales del sitio y el costo que implicaría traerlos hasta la zona en caso de ejecutarse.
Estacas vivas	Estos métodos presentan gran similitud en sus ventajas, lo diferencia el proceso constructivo que implican cada uno sin embargo estos métodos no presentan grandes perjuicios medio ambientales, se pueden emplear en taludes con grandes pendientes, en zonas con altas precipitaciones, bajo costo de implementación, no requiere mano de obra calificada, pueden emplearse especies vegetales de la zona entre otras.	Pueda que se dé una mala elección y/o distribución de las especies vegetales (plantas) ya que dependiendo del estado del talud y la profundidad a estabilizar se deberá elegir un tipo de planta cuya raíz permita lograr la estabilización requerida. En comparación con los métodos convencionales es de poca implementación en Colombia.	Desde el punto de vista técnico, ambiental, económico y social, estas alternativas muestran ser viables para su implementación en la zona, ya que se adaptan a las condiciones dadas, aunque se muestren pocos casos de implementación en Colombia sin embargo los casos donde se emplearon muestran cierta similitud con las condiciones del sitio de estudio.

Continuación. (Tabla 8)

A continuación se expondrán algunas condiciones específicas del problema de estabilidad de taludes en puntos críticos de la vía, donde se podrán identificar algunos movimientos de tierra presentados durante la fase de identificación de la problemática, las cuales sumadas con las consideraciones expuestas anteriormente servirán como referente para la elección de un método de solución que podría ayudar al manejo y estabilidad de taludes en la zona de estudio.

UBICACIÓN	Corregimiento de Siberia, vereda corea
	Coordenadas: 11°00'00.8"N 74°06'02.3"W

Descripción: se puede apreciar que el talud de la vía presenta laderas con pendientes, de igual forma se aprecia la poca compactación y adherencia del suelo, sin ninguna obra que ayude a contener o en su defecto a mantener estable el talud

UBICACIÓN	Corregimiento de Siberia, vereda corea	Coordenadas: 11°00'21.2"N 74°05'05.8"W

Descripción: se puede apreciar que el pie del talud previo al deslizamiento, fue sometido a corted de manera inapropiada, presenta un corte de tipo ortogonal, el desprendimiento del suelo se dio debido a que el material en la parte alta o corna quedo sin soporte, desprendiendose del material suelto, para este tipo de casos es necesario realizar cortes de manera correcta y posterior a ello proceder a realizar las obras de estabilización.

UBICACIÓN	Corregimiento de Siberia, vereda corea	Coordenadas: 10°59'54.6"N 74°03'42.5"W

Descripción: en este punto en específico de la vía se puede apreciar dos de las problemáticas existentes a tratar en el presente trabajo, la inestabilidad que presenta el talud vial y la ladera, donde se puede apreciar la inestabilidad de todo el tales y el estado de deterioro de la vía.

UBICACIÓN	Corregimiento de Siberia, vereda corea	Coordenadas: 11°00'20.3"N 74°04'45.2"W

Descripción: se puede apreciar la acumulación en el talud de materia organica, la falta de obras de estabilización, y en especial la ausencia de obras de drenaje, esto ultimo ocasiona que las corrientes de agua escurran en dirección de la pendiente, ocasionado carcavas, arrastre y desprendimiento del material lo que a futuro se convierte en problemas de inestabilidad.

Lo visto antes muestra claramente las problemáticas relacionadas con la inestabilidad de los taludes, pudiéndose apreciar algunos casos de pequeños y medianos deslizamientos Acorde a la investigación de campo mediante entrevistas, y, anotaciones históricas con los habitantes referente al comportamiento de los taludes, no se han presentado a grandes deslizamientos, la mayoría que se ha presentado son como los evidenciados en las imágenes.

8.4.1 Caracterización del suelo.

Es necesario para la elección e implementación de cualquier método de estabilización la realización de los estudios de suelo que permitan conocer sus características más generales, y como minimo se debe conocer su clasificación, así como su índice plástico el contenido de humedad entre otras, aunque también dependiendo del método de estabilización que se elija se derivaran más estudios de suelos específicos y adaptados a la solución escogida.

Para realizar los ensayos al suelo de los taludes se procedió a realizar la toma de tres muestras en tres taludes susceptibles a deslizamientos con el fin de realizar los estudios de caracterización de suelos, los cuales se determinaron luego de hacer una inspección visual de la zona.

A continuación se muestran los resultados de límite de consistencia, gravedad especifica y masa unitaria del suelo tipo limo arcilloso encontrado en las zonas de ladera.

8.4.1.1 Límites de consistencia del suelo en estado natural de la ladera para la muestra uno (M001).

Tabla 8. Datos limite liquido suelo estado natural M001

Limite Liquido			
Capsula	**1**	**2**	**3**
Golpes	34	28	20
Factor	1,04	1,01	0,97
Cap+SH (gr)	41,81	44	45
Cap+SH (gr)	33,69	36	36
Masa De Agua (gr)	8,12	8	9
Masa Capsula (gr)	8	11,5	9,5
Contenido De Agua %	31,6%	33%	34%

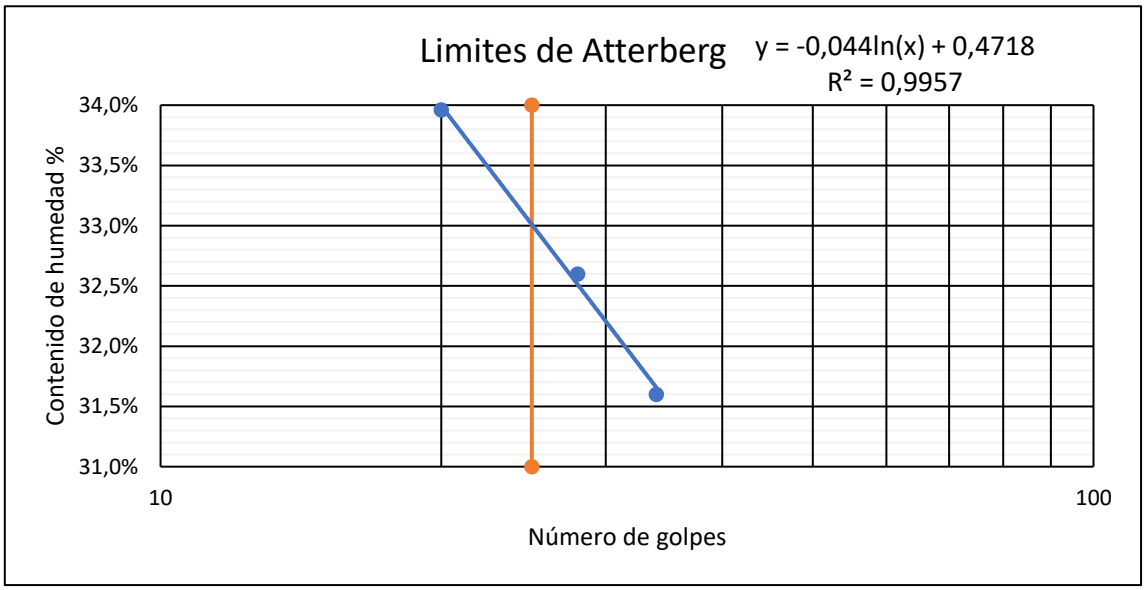
Fuente. Autor

Tabla 9. Datos limite plástico suelo estado natural M001

LIMITE PLASTICO			
Capsula	**5**	**6**	**5**
Cap+SH	39	43	183
Cap+SS	34	36	176,1
Masa De Agua	5	7	6,9
Masa Capsula	13	8,95	128
Contenido De Agua %	23,81	25,88	14,3

Fuente. Autor

Ilustración 27 Curva de fluides del suelo en estado natural M001



Fuente. 1 Autor

Limite liquido (LL):33%; Limite plástico (LP): 21,3%; Índice de plasticidad (IP): 11,7%.

8.4.1.2 Límites de consistencia del suelo en estado natural de la ladera para la muestra dos (M002).

Tabla 10. Datos limite liquido suelo estado natural M002

LIMITE LIQUIDO			
Capsula	1	2	3
Golpes	34	28	20
Factor	1,04	1,01	0,97
Cap+SH	51,02	54	56
Cap+SS	39,92	42	44
Masa De Agua	11,1	12	12
Masa Capsula	7	8	11,5
Contenido De Agua %	33,72 %	35,29 %	36,92%

Fuente. Autor

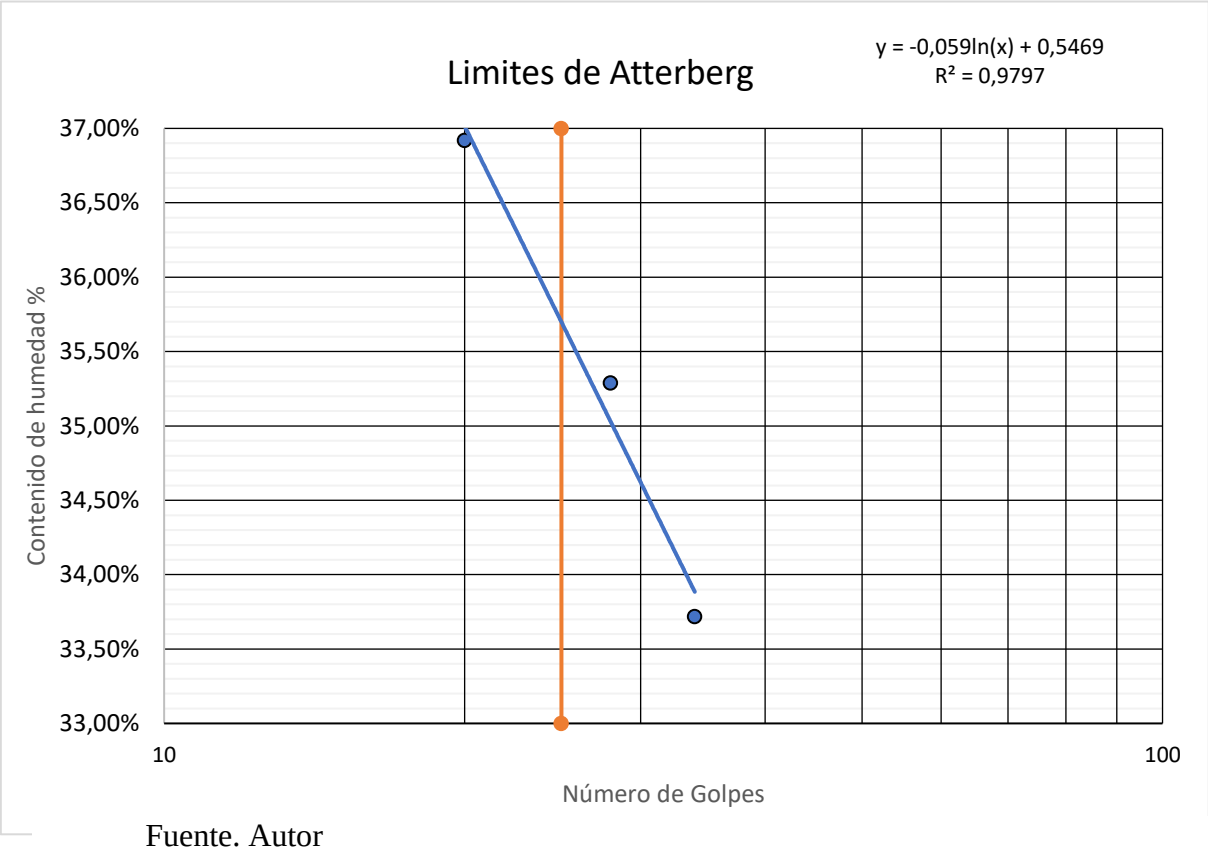
Tabla 11. Datos limite plástico suelo estado natural M002

LIMITE PLASTICO			
Capsula	5	6	5
Cap+SH	25	26	100
Cap+SS	21,35	24	88,6
Masa De Agua	3,65	2	11,4
Masa Capsula	8	17,4	10
Contenido De Agua %	27,34	30,3	14,5

Fuente. Autor

Limite liquido (LL):35%; Limite plástico (LP): 24%; Índice de plasticidad (IP): 11,7%.

Ilustración 28. Curva de fluides del suelo en estado natural M002



Fuente. Autor

8.4.1.3 Límites de consistencia del suelo en estado natural de la ladera para la muestra tres (M003).

Tabla 12. Datos limite liquido suelo estado natural M003

LIMITE LIQUIDO			
Capsula	1	2	3
Golpes	32	23	15
Factor	1,03	0,99	0,94
Cap+SH	52,43	52,8	56
Cap+SS	42,45	42	45
Masa De Agua	9,98	10,8	11
Masa Capsula	8,4	8	12,5
Contenido De Agua %	29,31%	31,76%	33,85%

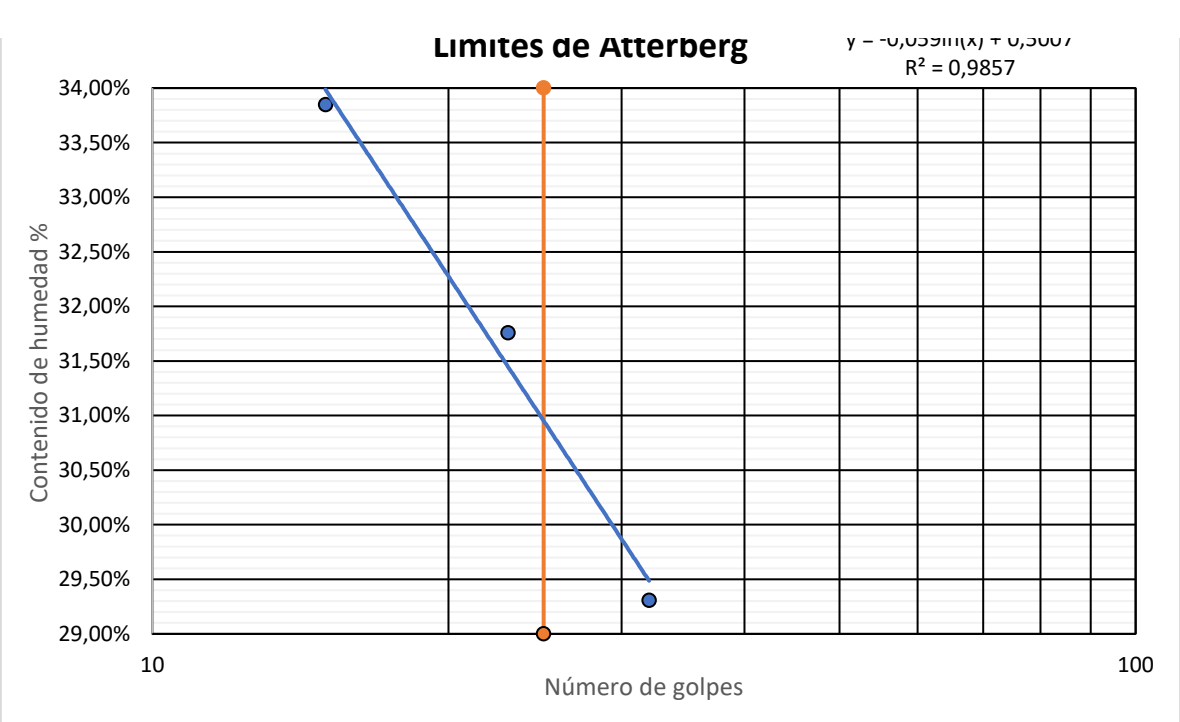
Fuente. Autor

Tabla 13. Datos limite plástico suelo estado natural M003

LIMITE PLASTICO			
Capsula	5	6	5
Cap+SH	37	39	201
Cap+SS	31	33	196,5
Masa De Agua	6	6	4,5
Masa Capsula	7,5	11,85	161
Contenido De Agua %	25,53	28,37	12,7

Fuente. Autor

Ilustración 29. Curva de fluides del suelo en estado natural M003



Fuente. Autor

Limite liquido (LL):35%; Limite plástico (LP): 24%; Índice de plasticidad (IP): 11,7%.

8.4.1.4 Ensayo de gravedad especifica y absorción.

Tabla 14 Tabla de datos gravedad especifica

Gravedad Especifica Y Absorción Norma INV-E 223			
Description / Muestra	**Uno (M001)**	**Dos (M002)**	**Tres (M003)**
Determinación	**1**	**1**	**1**
P seco (gr)	473	475	479
P suelto semisaturado	500	500	500
Peso H2O (gr)	311	309	313
Densidad nominal (gr/cm3)	2,92	2,87	2,89
Densidad aparente seca gr/cm3	2,65	2,62	2,67
Densidad aparente (gr/cm3)	2,5	2,49	2,56

Absorción %	5,71	5,26	4,38

Fuente. Autor

Tabla 15. Datos y resultados peso unitario suelo natural

Peso Unitario En Condición Suelta Y Compactada ASTM C29			
Descripción	**Limo Arcilloso Color Café**		
Muestra	**Uno (M001)**	**Dos (M002)**	**Tres (M003)**
A - Peso molde gr	209,00	209,00	209,00
B - Peso molde + suelo suelto gr	1.971,00	1.965,00	1.952,00
C - Peso molde + suelo compacto gr	2.217,00	2.207,00	2.175,00
V - Volumen molde	1.571,00	1.571,00	1.571,00
Peso unitario suelto Kg/m3	1.122,00	118,00	1.109,00
Peso unitario compacto Kg/m3	1.278,00	1.272,00	1.251,00

Fuente. Autor

8.5 Elección del método de estabilización

Teniendo en cuenta todas las variables consideradas para la correcta implementación de una técnica de estabilización de taludes que pueda brindar garantías de seguridad y sea viable técnica, económica, ambiental y social, y teniendo en cuenta también las consideraciones especificas dadas anteriormente se puede considerar que un método viable y sencillo de implementar y que se adapta también a las características climáticas y geológicas de la zona y considerando su fácil construcción e implementación por las mismas comunidades, un método viable de implementar sería el uso de técnicas de bioingeniería específicamente el uso combinado de las fajinas con las estacas vivas como una de las soluciones más viables de implementar en la zona de estudio, esto por las variables anteriormente consideradas, sumado en Colombia ya se ha implementado de manera exitosa esta técnica.

8.5.1 Diseño y aplicación del método para la estabilidad de taludes.

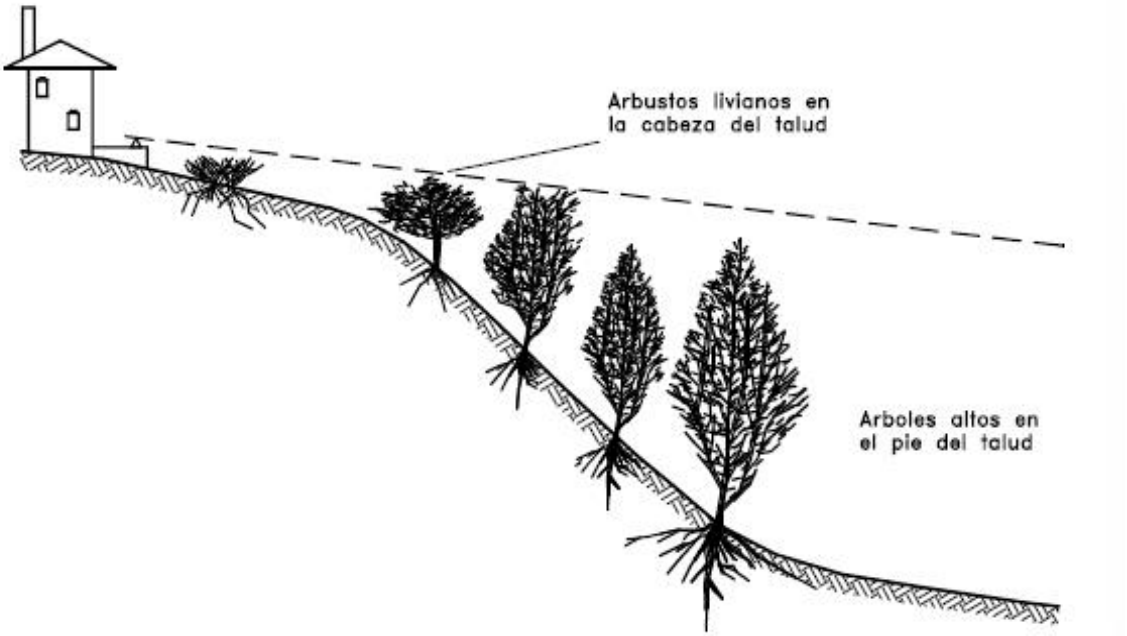
Para la implementación de cualquiera de los dos métodos seleccionados, es necesario elegir de manera adecuada las plantas y la forma en que estas deben ser sembradas y distribuidas en aras de garantizar una correcta implementación y se logre la estabilidad de los taludes.

No se debe desconocer los efectos que la vegetación pueden ocasionar en el terreno, las técnicas seleccionadas permiten también la revegetalización de los taludes lo que ha motivado a que se empleen cada vez más estas técnicas en el transcurrir del tiempo para la estabilización de taludes. Este proceso de revegetación de taludes se centra en el uso pastos dejando atrás los arbustos, hierbas y árboles. Si bien se ha dejado en claro que no se debe plantar o seleccionar una sola especie antes por el contrario debe ser variado (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998).

Se recomienda de igual forma dar una distribución de las plantaciones de tal forma que los árboles altos sean plantados en el pie del talud mientras que los arbustos más livianos

en la cabeza del talud. Igualmente se debe dar un manejo apropiado de las técnicas de vegetación en aras de contribuir con en el proceso natural de sucesión (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998).

Ilustración 30 Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de revegetalización



Fuente: Tomado de Suárez 1998

Así como la distribución también la bibliografía a dejado en claro que no existe una especie universal para el tratamiento de taludes, Para la elección de las especies vegetales a emplearse es necesario que se consulte a un experto en el tema esto teniendo en cuenta muchos factores como el clima, propiedades del suelo, nutrientes, disponibilidad de agua entre otras que garanticen un rápido crecimiento de las especies. Si bien se ha dejado en claro que algunas especies de plantas tienden a tener un mejor resultado en la estabilización de taludes que otras. Se ha logrado conocer que las plantas maderables al poseer raíces más

profundas y resistentes que los pastos y hiervas previendo un mejor refuerzo (Suarez, Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales, 1998).

A continuación, se muestran algunas ventajas y desventajas de los tipos de plantas que pueden ayudar a elegir el tipo de planta más apropiado dependiendo de la problemática que presente el talud. Igualmente en la tabla 7 se muestran una serie de especies vegetales que han sido usadas en la estabilización de taludes, los cuales fueron empleados en ciudades como Bucaramanga y en los andes colombianos (GRAY & SOTIR, 1996) (CDMB, 1989 citado en Suarez, 1998).

Tabla 16. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de plantas

Tipo	Ventajas	Desventajas
Pastos	Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura.	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
Juncos	Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de ríos.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
Hierbas	Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
Arbustos	Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento.	Algunas veces son difíciles de establecer
Arboles	Raíces profundas, no requieren mantenimiento.	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.

Fuente: Tomado de Suárez, 2009

Tabla 17. Arboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes

NOMBRE COMUN	NONBRE CIENTIFICO Y DISTANCIA DE PLANTACIÓN
Aliso	Alnus jorullensis 2 a 3 m.
Anaco	Erythrina poeppigiana 2 a 3 m.
Aro	Trichantera gigante 1.5 a 3 m.
Arrayán	Myrcia popayanensis 1.5 a 3 m.
Balso	Ochroma pyramidale 2 a 3 m.
Búcaro	Erythrina fusca 2 a 3 m.
Casuarina	Casuarina equisetifolia 2 a 3 m.
Chachafruto	Erythrina edulis 1.5 a 3 m.
Ciprés	Cupressus lusitanica 2 a 3 m.
Eucalipto globulus	Eucalyptus globulus 2 a 3 m.
Eucalipto grandis	Eucalyptus grandis 2 a 3 m.
Guacimo	Guazuma ulmifolia 2 a 3 m.
Gualanday	Jacaranda caucana 2 a 3 m.
Guamo macheto	macheto Inga densiflora 1.5 a 3 m.
Leucaena	Leucaena leucocephala 1.5 a 3 m.
Matarratón	Gliricidia sepium 1.5 a 3 m.
Melina	Gmelina arborea 2 a 3 m.
Nauno	Pseudosamanea guachapele 2 a 3 m.
Pino oocarpa	Pinus oocarpa 2 a 3 m.
Pino Pátula	Pinus patula 2 a 3 m.
Roble	Quercus humboldtii 2 a 3 m.
Sauce	Salix humboldtiana 2 a 3 m.
Urapán	Fraxinus chinensis 2 a 3 m.

Fuente: Tomado de Suárez, 1998

8.5.1.1 Implementación de fajinas

Como se había mencionado anteriormente las fajinas consisten en armar manojos de de ramas en forma cilíndrica o semicilíndrica con un diámetro entre 0.20 y 0.40 m. cuyas longitudes van en algunos casos de 0.50 m. y otros entre los dos y los cinco metros, amarradas con sogas o alambres y que son enterradas a aproximadamente 20 centímetros.

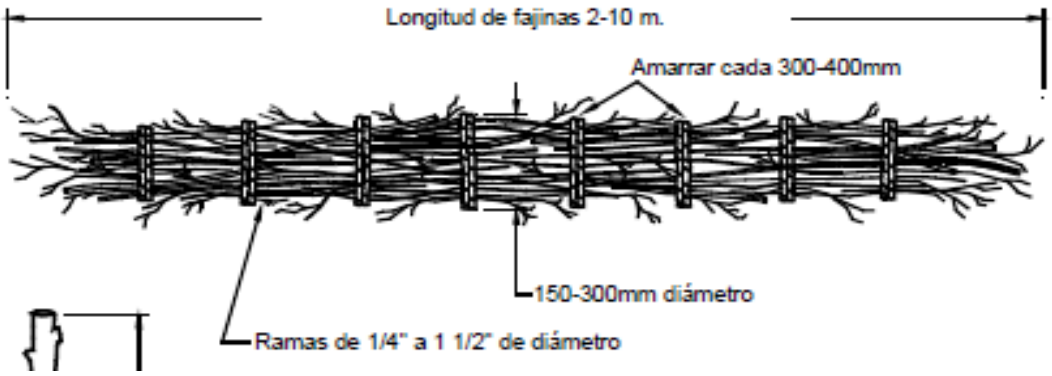
1. **Armado de manojos**

Luego de seleccionar la especie vegetal a plantar se proceden a armar manojos en forma de cilindro o semicilíndricas, la longitud de las ramas que conformarán el manojo se elige dependiendo del área a estabilizar y la facilidad con la que se desee sean enterradas pero no deberán ser menor a un metro de longitud y deben tener como minimo 15 milímetros y máximo 30 mm. (Gobierno de España; Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación;). A continuación se describen los pasos para el armado de las fajinas.

1.1. Se agruparán las ramas de la especie seleccionada paralelas unas con otras de una misma longitud y en lo posible mismo diámetro.

1.2. Se atan con la ayuda de alambre o cuerdas orgánicas como mimo cada 20 centímetros y máximo 30 cm.

Ilustración 31Esquema general de colocación de fajinas vivas



Fuente: Tomado de Suárez, 1998

2. Colocación de fajinas

2.1. Se procede a realizar una excavación cuya profundidad debe ser igual y un poco por encima del diámetro del cilindro conformado., esta se hace con la ayuda de las curvas o líneas de nivel en los sitios donde se plantea la colocación de estas.

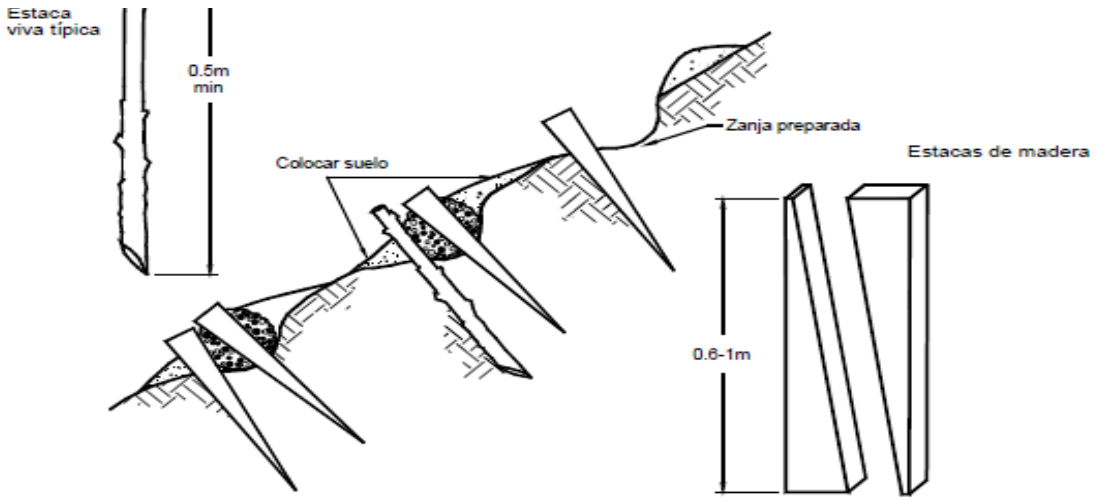
2.2. Se cubre el perímetro de la zanja excavada en el talud con tela de fibra orgánica.

2.3. Sobre la tela se colocan las fajinas previamente conformadas, de ser necesario pueden ser fijadas con ayuda de una estaca de madera o viva. Ilustración 18.

2.4. Se procede a rellenar, abonar y compactar rellenando el espacio entre fajinas., la compactación se puede realizar con un pisón liviano.

2.5. A fines de conservación y un mejor desempeño, se siembra pasto entre las líneas de fajinas instaladas.

Ilustración 32 Esquema general de colocación de fajinas vivas



Fuente: Tomado de Suárez, 1998

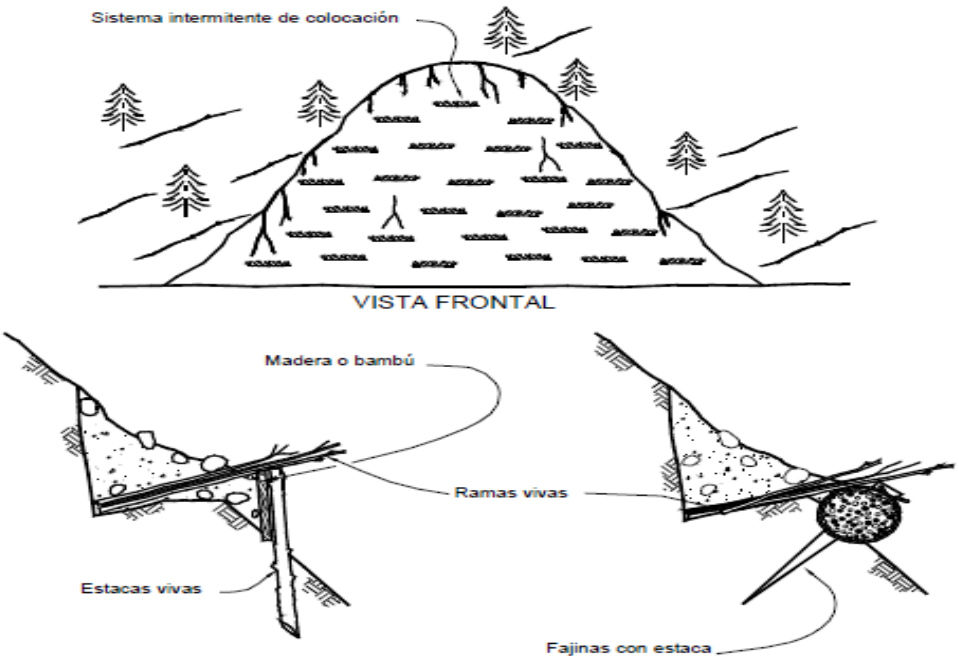
8.5.1.2 Consideraciones generales

Para el alistamiento y corte de las ramas que conformaran las fajinas, se recomienda que estas sean cortadas y plantadas previo al inicio de la temporada de lluvias, para ello se puede usar como referencia la información suministrada por estaciones pluviométricas cercanas analizando datos de días lluviosos o por reportes del instituto de hidrología, meteorología, y estudios ambientales IDEAM; se recomienda riego durante el primer mes de haber sido plantadas las fajinas.

Para la escogencia de plantas aparte de las recomendaciones dadas, estas deben seleccionarse teniendo en cuenta que en su mayoría sean especies nativas ya que podría alterarse el ecosistema se sugiere se elijan y escojan con ayuda de los habitantes de la zona.

Es importante mantener las ramas en lugares frescos y con sombra hasta el momento de su instalación, se debe evitar la desecación del terreno por lo que se recomienda colocar las fajinas una vez realizados los pasos uno y dos.

Ilustración 33 Capas de hierba apoyadas en trincho o fajinas



Fuente: Tomado de McCullah, 2001; Citado en Suárez, 2001

Para la colocación de las fajinas deben colocarse entrecruzadas en tal forma que se traslapen entre sí. Las fajinas deben salir entre 15 a 30 centímetros de la superficie del terreno.

De igual manera se dan una serie de recomendaciones para la instalación de fajinas relacionadas con la pendiente del talud y el espaciamiento entre estas. En la tabla se muestran los espaciamientos recomendados para las fajinas.

Ilustración 34 Espaciamiento recomendado para fajinas vivas

Angulo del talud H:V	Espaciamiento en líneas de igual nivel (mts)	Espaciamiento en ángulo (mts)
1:1 a 1.5:1	1 a 1.2	0.6 a 1.0
1.5 :1 a 2:1	1.2 a 1.5	1.0 a 1.2
2:1 a 2.5:1	1.5 a 1.8	1.0 a 1.2
2.5:1 a 3:1	1.8 a 2.4	1.2 a 1.5
3:5 a 4:1	2.4 a 2.7	1.5 a 2.1
4.5 :1 a 5:1	2.7 a 3.0	1.8 a 2.4

Fuente: Tomado de Gray & Sotir, 1996

8.5.1.3 Estacas vivas

Este método empleado para la estabilidad de los taludes tiende a ser empleado más como coadyuvante con otros tipos de estabilización como lo es la siembra de pasto o colocación de mallas orgánicas, las plantas empleadas en estacas vivas deberán ser seleccionadas siguiendo los mismos criterios que de las fajinas.

8.5.1.4 Estacas vivas como coadyuvante

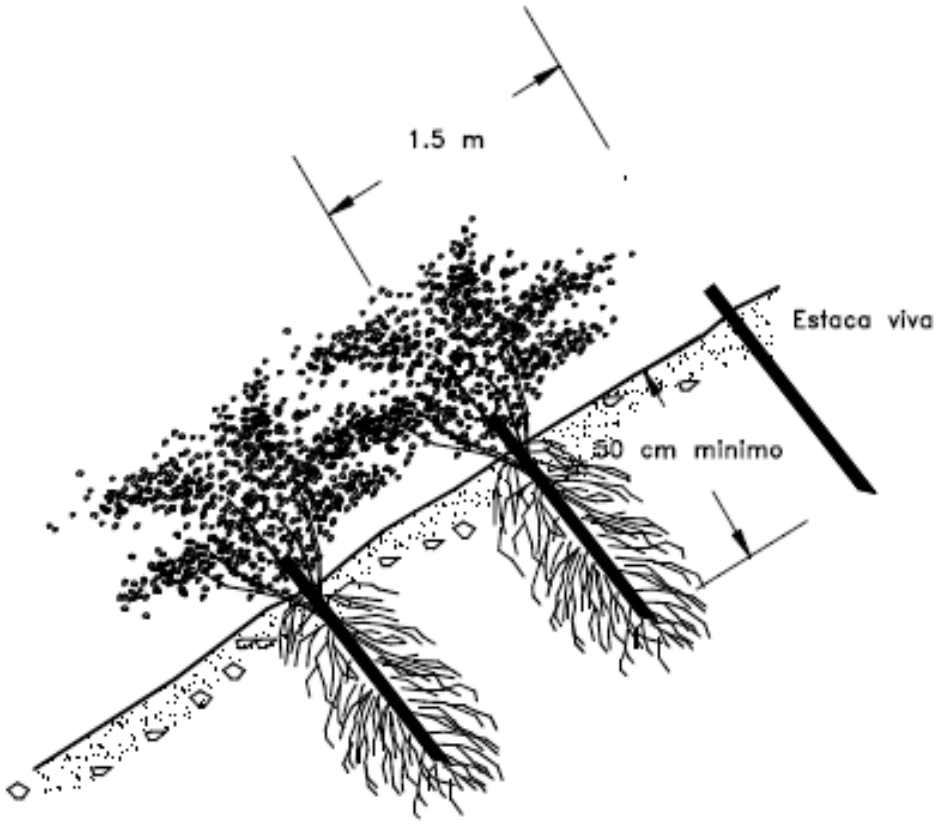
En la implantación de las estacas vivas se emplean para dar solución a deslizamientos bastante pequeños cuando son empleadas sin ningún otro método, pero por lo general esta alternativa se emplea como coadyuvante en los procesos de estabilización de taludes siguiendo las siguientes especificaciones:

a) Se colocan una cercana a la otra, también en filas o áreas triangulares.

b) Deben estar limpias de cualquier rama y su corteza intacta.

c) La parte inferior de la estaca se debe adecuar de tal forma que quede en forma de punta en aras de facilitar su acceso en el suelo.
d) Son instaladas como minimo a 0.50 metros y máximo un metro.

Ilustración 35 Estacas vivas



Fuente: Tomado de Suárez, 1998

8.5.1.5 Instalación de estacas vivas como coadyuvante

1. Clavar la estaca de forma normal a la superficie del talud, utilizando martillos de caucho. Ilustración 20.

2. Se debe garantizar la instalación por metro cuadrado de minimo cuatro estacas por metro cuadro para garantizar un cubrimiento adecuado.

3. Las dos terceras partes de la estaca deben estar enterradas en la tierra.

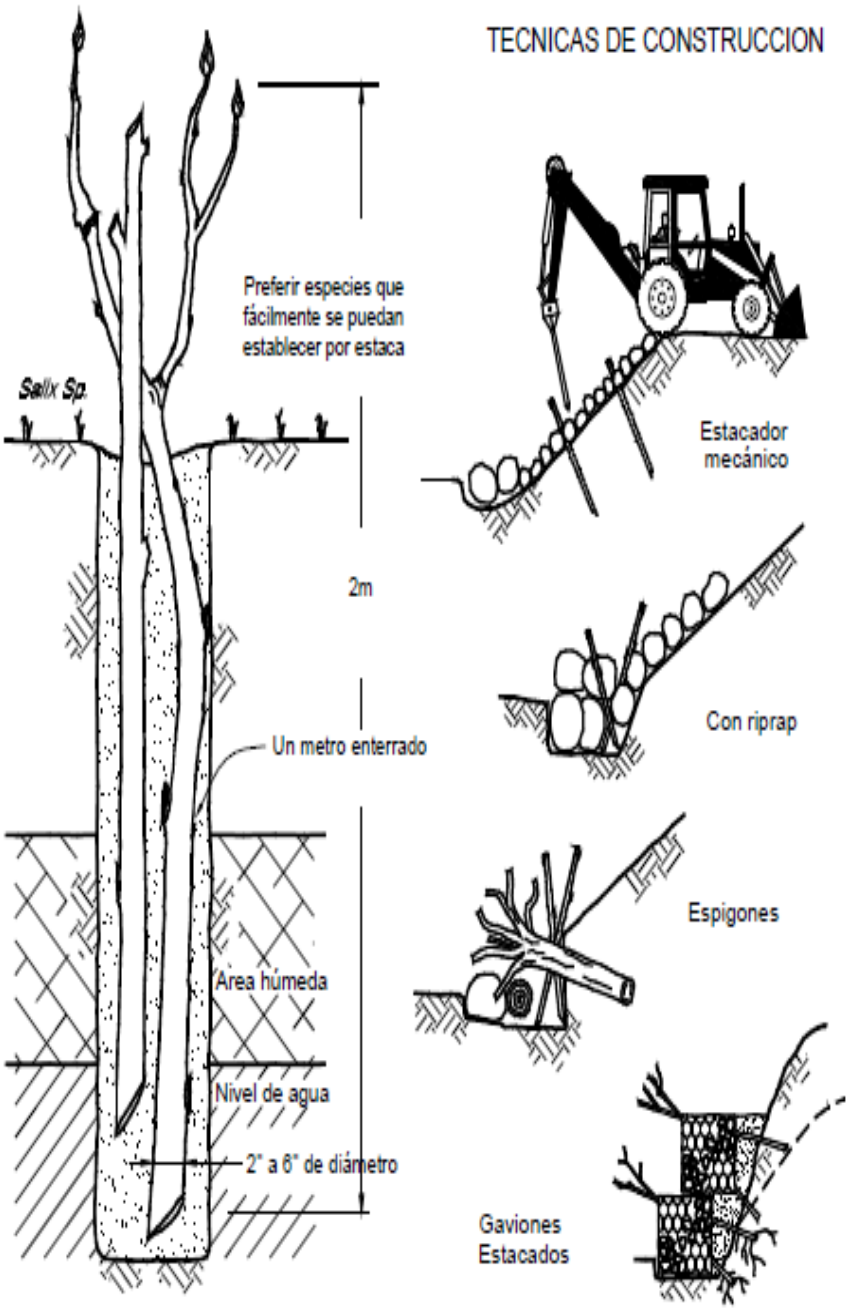
4. Se pueden colocar con ayuda de estucador mecánico, con riprap, empleando espigones o gaviones estacados.

En caso de realizar corte y adecuación de las estacas vivas antes de su siembra se recomienda mantener las ramas en un lugar fresco alejado del sol, cuando sea almacenado estas se deben mantener en suelo húmedo o en agua sin entrada de viento. Sin embargo en lugares como el sitio de estudio donde las temperaturas tienen a ser mayor a 20 ^{o}C se deben sembrar el mismo día en que fueron cortadas y no deben almacenarse (GRAY & SOTIR, 1996 citado en Suarez 2001).

Las ramas que se corten y adecuen para ser empleadas como estacas vivas, deben ser trasladas al sitio antes de que transcurran las ocho horas del corte, no se debe permitir por ningun motivo que las ramas se sequen o sean expuestas a la luz directa antes de ser sembradas.

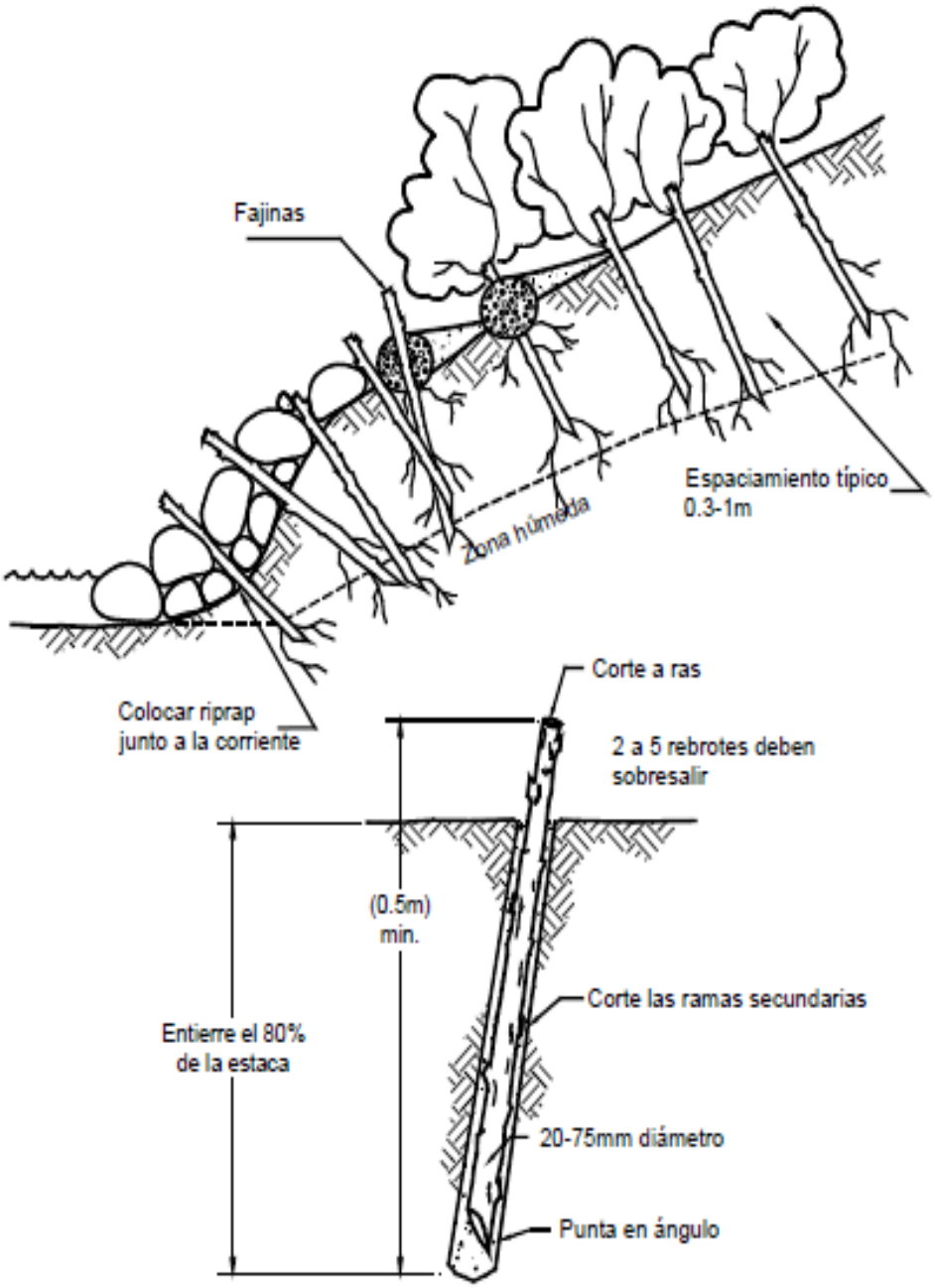
Igual que las fajinas vivas se recomienda que la siembra o estacamiento se lleve acabo previo al inicio de la temporda de lluvias y se garantice el riego por lo menos durante un mes contado desde el mimo día que se haga la siembra.

Ilustración 36. Siembra de poste vivo



Fuente: Tomado de McCullah, 2001; Citado en Suárez, 2001

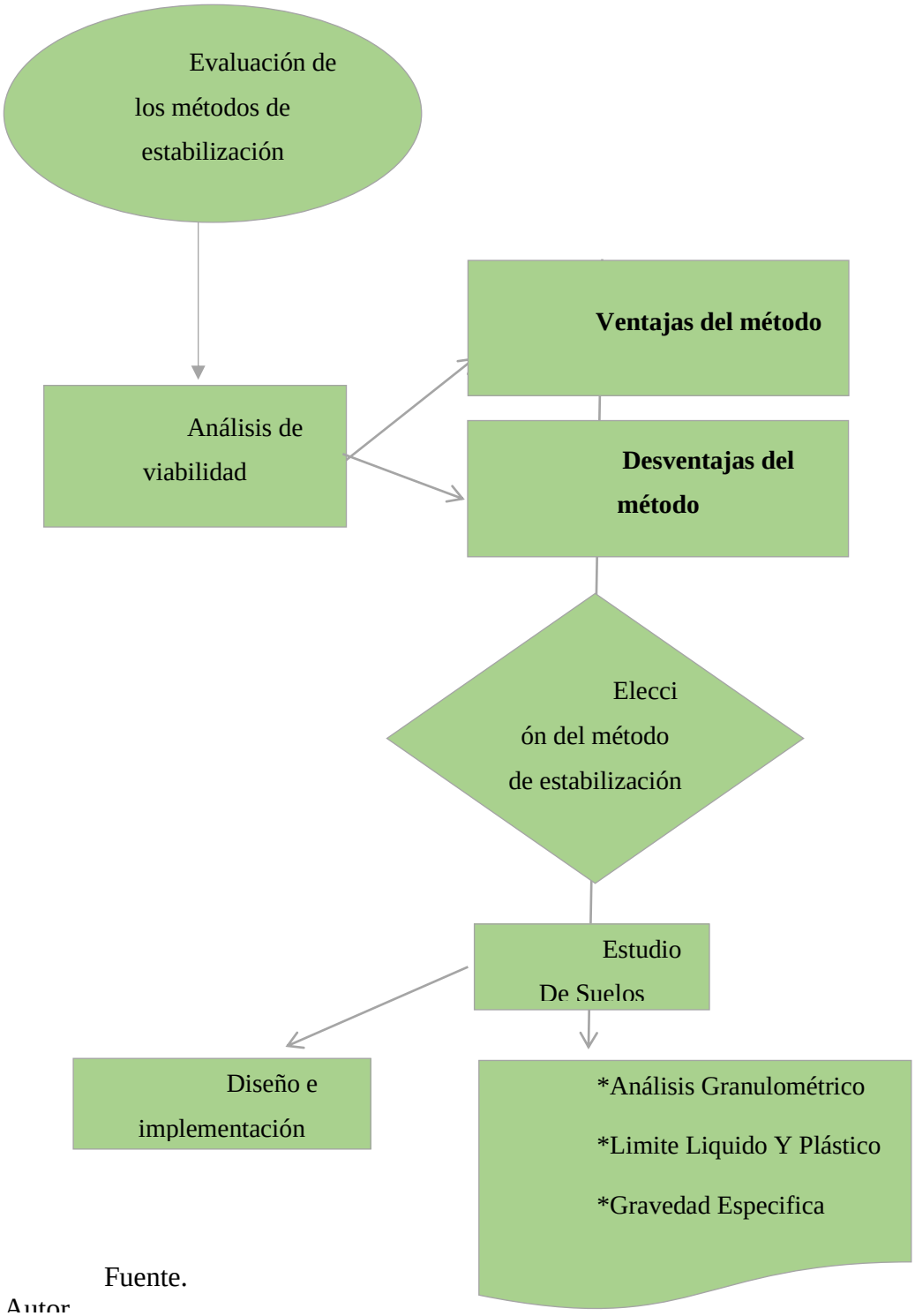
Ilustración 37 Control de erosión con estacas vivas



Fuente: Tomado de McCullah, 2001

8.5.2 Análisis, elección y diseño de los métodos de estabilización de la carretera.

Ilustración 38 metodología de elección del método de estabilización



Fuente. Autor

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, y que fueron tenidas en cuenta para elección del método de estabilización de taludes, se procede a realizar un análisis evaluativo y comparativo de aquellos métodos descritos en el marco teórico para la estabilización de carreteras, en aras de definir y diseñar el método apropiado, planteando ventajas y desventajas de las soluciones planteadas haciendo especial énfasis en las viabilidades técnicas, ambientales y financieras, las ventajas y/o desventajas se realizan basados más en las condiciones político administrativas y sociales del sitio, ya que las técnicas propuestas a evaluar son bastante conocidas y estudiadas y estas ventajas y/o desventajas son bien conocidas por las comunidades académicas.

Tabla 18 Análisis de los métodos

Método		**Ventajas**	**Desventajas**	**Viabilidad**
Estabilización con cal	Suelo - Cal	Es de fácil aplicación Este método permite que se realice con mano de obra no calificada Es un método económico que depende de las características del suelo y resistencia a lograr.	Estudios realizados muestran que se deben usar grandes cantidades de agua. En el sitio se presentan fuertes vientos que podrían inferir en la aplicación del método. Dada la extensión a mejorar aprox seis Km, y dado que se requiere una resistencia mínima de 21 Mpa podría elevar los costos.	Este tipo de método solo podría darse una viabilidad técnica y ambiental, ya que se ha demostrado buenos resultados y un impacto positivo en el ambiente.

Fuente. Autor

Continuación. Tabla 21

Método		Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Material bituminoso	Suelo-asfalto Arena-asfalto Estabilización granular impermeabilizada.	Permite el uso de material existente en la zona. Buen comportamiento ante efectos climáticos	Puede ser de alto costo Se requiere de un control minucioso en su aplicación. El transporte para llegar al sitio dada la dificultad y altas pendientes.	Al igual que el método anterior presenta una viabilidad técnica dadas sus aplicaciones y método de construcción.
Estabilización con Cemento	Suelo-Cemento	Estudios revelan que el costo es relativamente bajo. El porcentaje de cemento a emplear es bajo dependiendo de la resistencia a obtener. Es de fácil implementación y no requiere mano de obra calificada. Mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo in situ. Cuenta con aprobación y metodología por parte del INVIAS y otras instituciones.	Requiere control de densidades y compactación mecánica, dada las condiciones de la zona puede que se dificulte este proceso, sin embargo hay presencia de bibrocompactador en las veredas así como una motoniveladora. la adquisición y obtención del cemento sin embargo es posible que las cantidades a emplear no sean extremadamente altas y se pueda transportar en camiones de carga que acceden a la zona.	Dado que la longitud sería no mayor a los seis km (e incluso si son más) la técnica presenta que es viable, técnica, financiera, social y ambientalmente viable, dado su proceso constructivo adaptado a las condiciones de la zona.

Continuación. Tabla 21

Método		Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Pavimentos	Rígidos/ semirrígidos	Son métodos duraderos, resistentes y efectivos. Son utilizados en muchos proyectos para la estabilización de carreteras. Si bien los pavimentos rígidos plantean muchas más ventajas sobre los flexibles en cuanto a mantenimiento y costo de construcción.	Requeriría de acompañamiento especializado durante su construcción y mantenimiento. El costo puede variar dependiendo de la alternativa. Requiere de estudios previos bastante precisos y maquinarias específicas para su construcción que si bien plantea gran reto.	Teniendo en cuenta las condiciones polito administrativas y sociales y lo requerido para la construcción emplear estos tipos de pavimento en la zona de estudio se hace prácticamente inviable, ya que incurriría en elevados costos y demanda de conocimientos especializados.
	Flexibles			
	Articulados			

Continuación. Tabla 21

Método		Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Pavimentos	Placa Huella	Bajo costo de implementación Fácil construcción Teniendo los diseños iniciales puede ejecutarse por mano de obra no calificada. Buen desempeño para tratar puntos críticos y de pendientes altas. Buena resistencia mecánica y bajo mantenimiento. Es muy empleada y recomendada para vías terciarias.	Son recomendables en tramos no mayores a 500 metros. Requiere control durante la elaboración de concreto ciclópeo y normal. Acopio de materiales plantea las mismas desventajas que alternativas anteriores.	Teniendo en cuenta las variables descritas anteriormente y que en la zona existen tramos con puntos críticos con pendientes elevadas el uso de placa huellas puede ser una alternativa viable para estos casos, ya que serían tramos cortos el costo podría ser relativamente bajo, de igual forma el tránsito en la zona es bajo y limitado a camiones de tipo C2P y motos por lo que este tipo de pavimento sería viable de implementar en puntos críticos desde el enfoque técnico, social, ambiental y social.

8.5.3 Elección del método de estabilización de la vía.

Teniendo en cuenta todas las variables consideradas para la correcta implementación de una técnica de estabilización de vías en especial las entregadas en el aparatado 8.4, y las entregadas en la cartilla de Colombia rural para obras menores de drenaje y estructuras viales, y, que pueden brindar garantías de seguridad, sea viable técnica, económica, ambiental y social, y considerando su fácil construcción e implementación por las mismas comunidades, un método viable de implementar sería el uso de la técnicas del suelo cemento en aras de contribuir con la estabilidad del talud sobre el cual e encuentra la vía y mejorar la transitividad, estas obras deberán ir acompañadas de obras adicionales como obras de drenaje, nivelación entre otras inherentes al mejoramiento vial.

Sin embargo las zonas que se presentan como criticas dado su alta socavación, cárcavas, ahuellamiento y suelo frágil, provocada por escorrentías de agua dado que en estos puntos no existen obras de canalización, a esta problemática se le suman las altas pendientes en dichos tramos, por lo anterior, se recomienda elegir y estudiar una alternativa que si bien, pueda ser empleada para intervenir estos puntos, cuyas longitudes varían entre los 100 y los 250 metros.

8.5.3.1 Elección del método de intervención a puntos en estado crítico.

Teniendo en cuenta lo planteado en el apartado anterior, la cartilla del programa Colombia rural en conjunto con el INVIAS proponen distintos métodos de solución así como mecanismos para la elección del método más apropiado. Uno de los mecanismos que se dan es el uso del aplicativo “INVIAS rural APP”, esta es una aplicación móvil diseñada por esta estrategia dirigida a personas encargadas de realizar construcciones en vías rurales de Colombia. La APP permite visualizar diagramas básicos y realiza una serie de preguntas para así sugerir las opciones más apropiadas para la construcción a realizar. Es una guía bastante interesante que al ser complementada con los planos específicos aportan solución a la problemática derivada.

8.5.3.1.1 Pasos para la elección de solución con el aplicativo “INVIAS rural App”.

- Se ingresa al aplicativo descargado de la tienda de aplicaciones donde nos aparecerá un menú de opciones.
- Se elige la opción de pavimentos.
- Respondemos las preguntas que se realizan.
- Obtención de alternativa sugerida.

La realización de estos pasos y el cuestionario intrínseco nos ayudará a conocer información específica y de otras fuentes que nos servirán para el diseño de la alternativa de suelo cemento

Elección de solución con el aplicativo "INVIAS rural App".

a) Procedemos a ingresar y tomar la opción de pavimentos

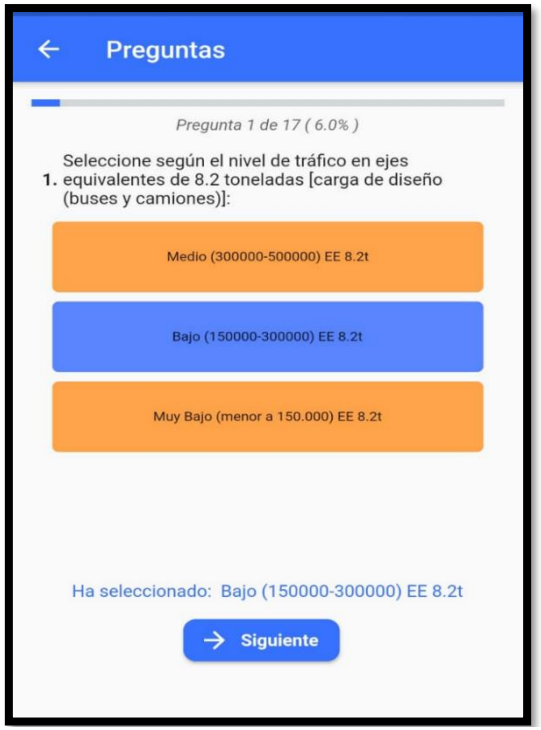
Ilustración 41 Menú inicial

Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

b) Seleccionamos el promedio de ejes equivalentes que transitan.

La elección se hace tomando la opción más baja ya que el tránsito en la zona es bastante reducido aun teniendo en cuenta la proyección a futuro y el transito atraído.

Ilustración 40. Pregunta de elección 1

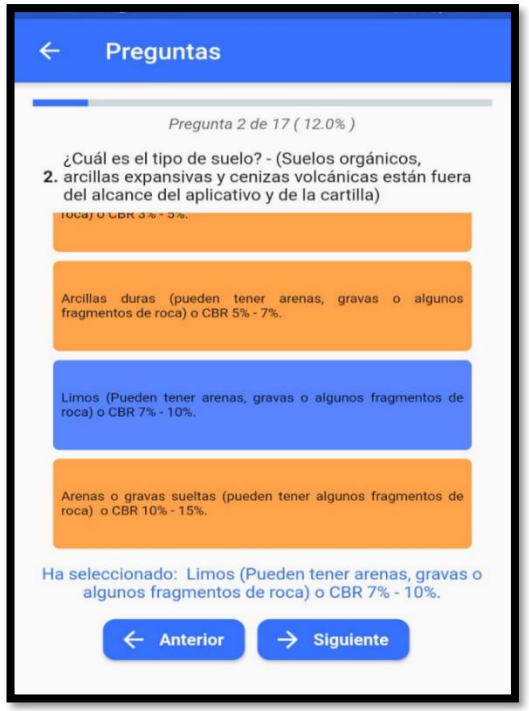


Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

c) Seleccionamos el tipo de suelo.

Acorde a los ensayos realizados se pudo notar que las muestras corresponden a limo arcilloso.

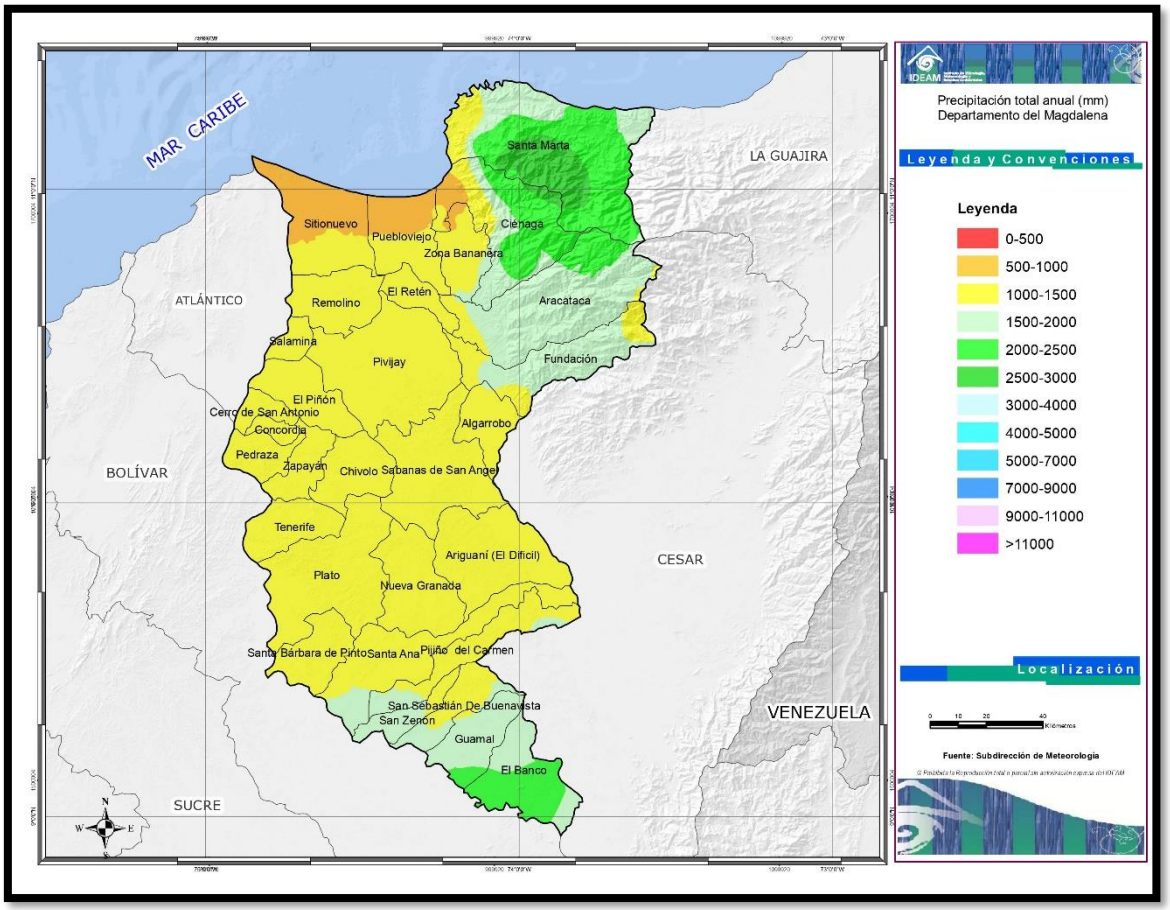
Ilustración 39. Pregunta de elección 2



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

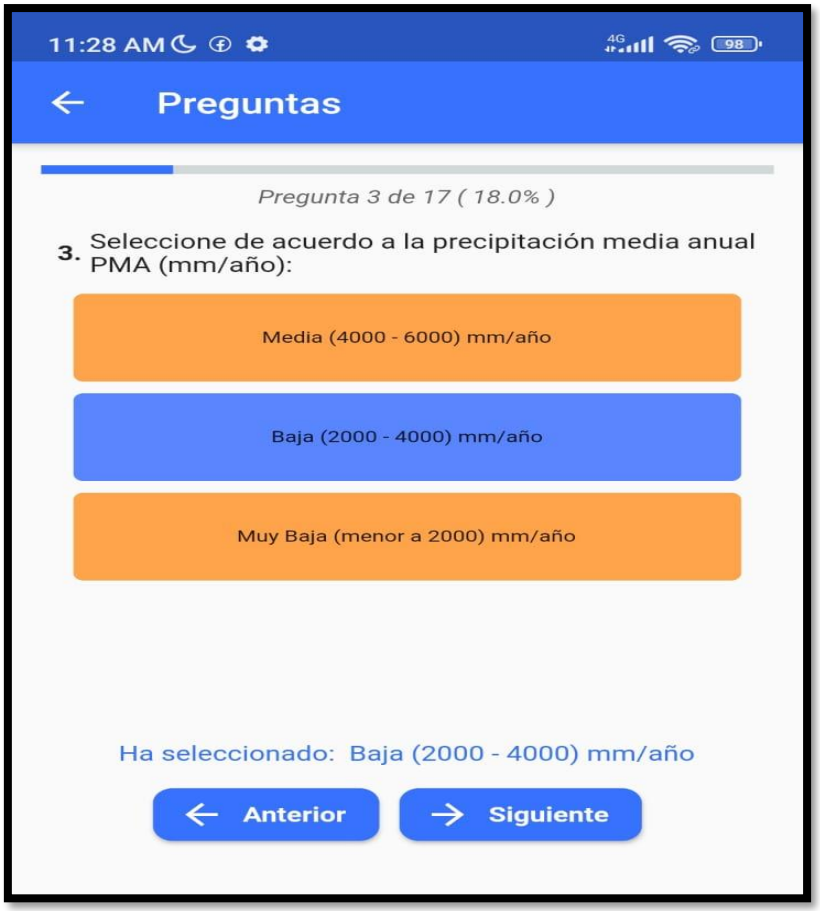
d) Seleccionamos la precipitación media anual según lo informado al inicio de este documento y acorde a lo consultado en el IDEAM en el sitio de estudio se presentan precipitaciones entre los 2000 y 2500 mm/año.

Ilustración 42. Mapa de precipitaciones anuales



Fuente: IDEAM tomado de http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html

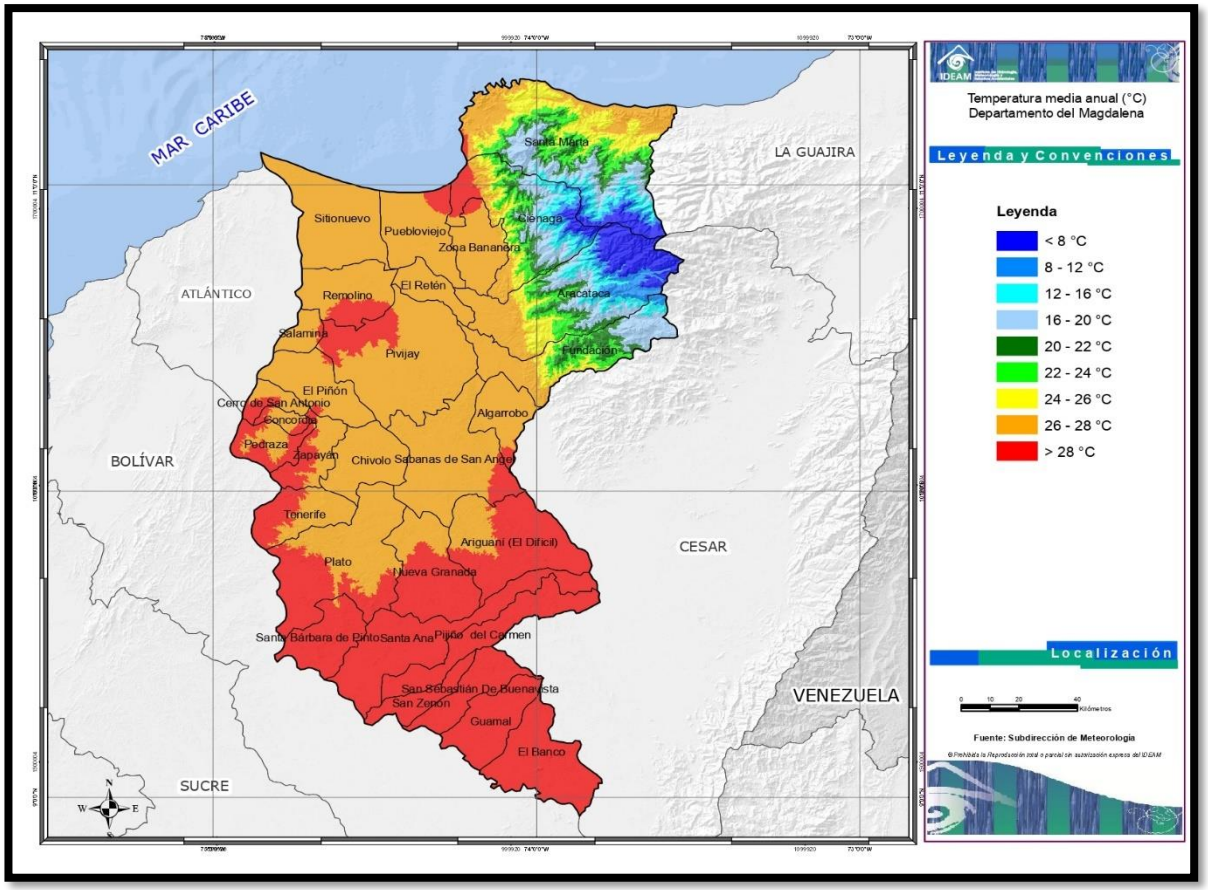
Ilustración 43. Pregunta de elección 3



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

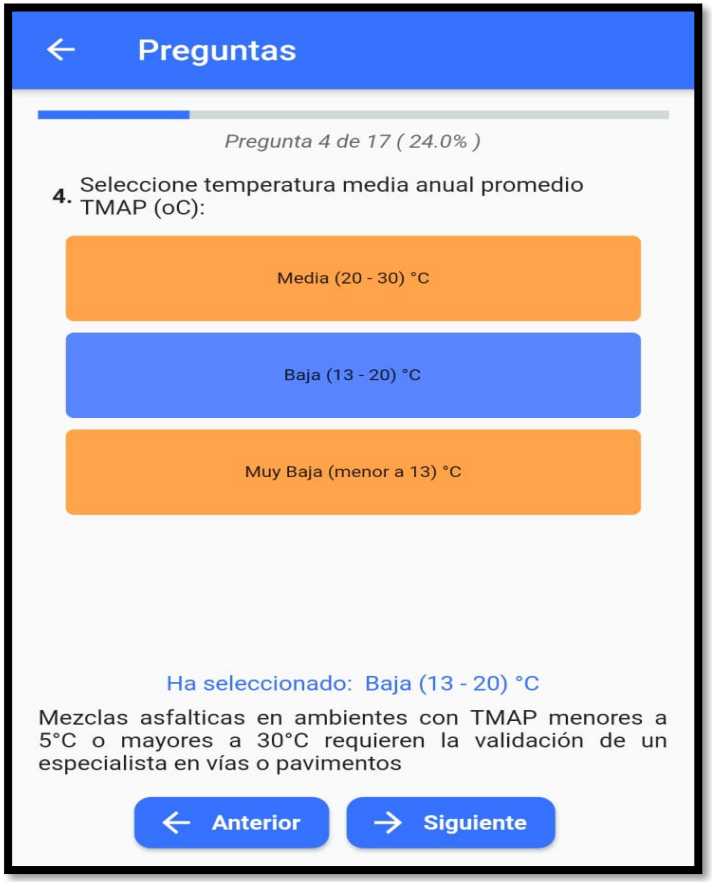
e) Seleccionamos la temperatura anual promedio. Acorde a lo consultado en el idean encontramos que las temperaturas promedio mensuales en el sitio van de los 16 a los 20 grados centígrados.

Ilustración 44. Mapa de temperaturas



Fuente: Fuente: IDEAM tomado de http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html

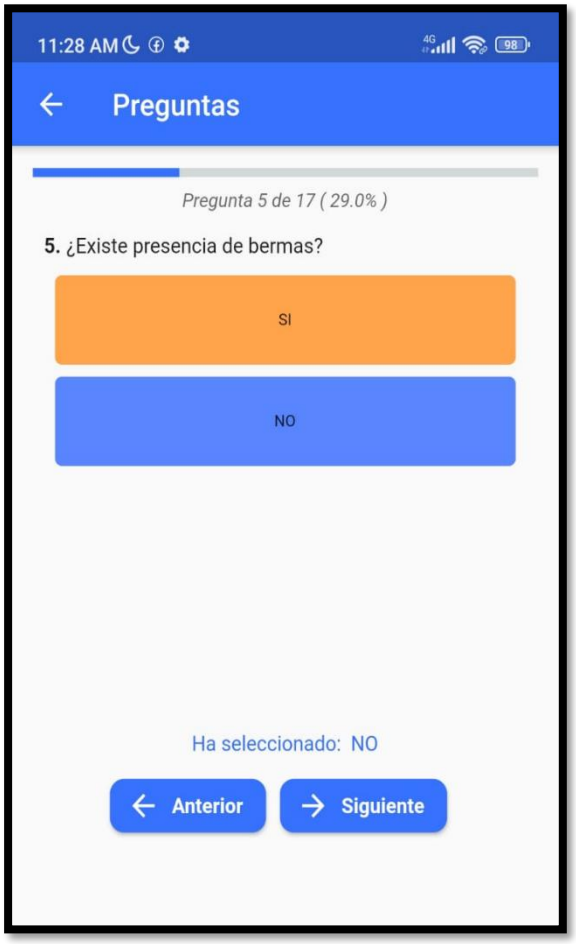
Ilustración 45 Pregunta de



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

e) Presencia de bermas. En los puntos críticos no se cuenta con presencia de bermas ni estructuras de drenaje de

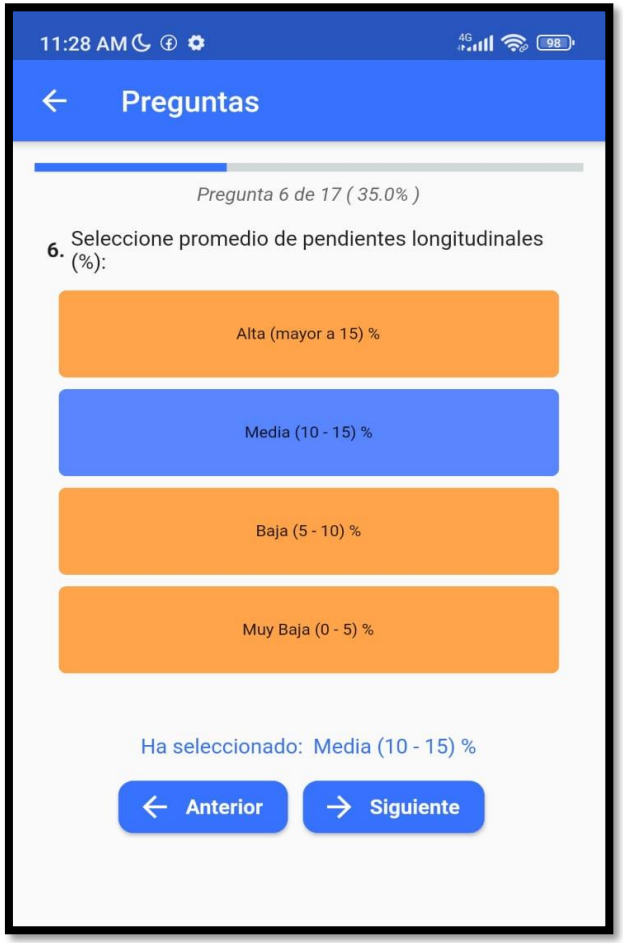
Ilustración 48. Pregunta de elección 5



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

f) Pendientes. En los puntos críticos se presentan pendientes que van

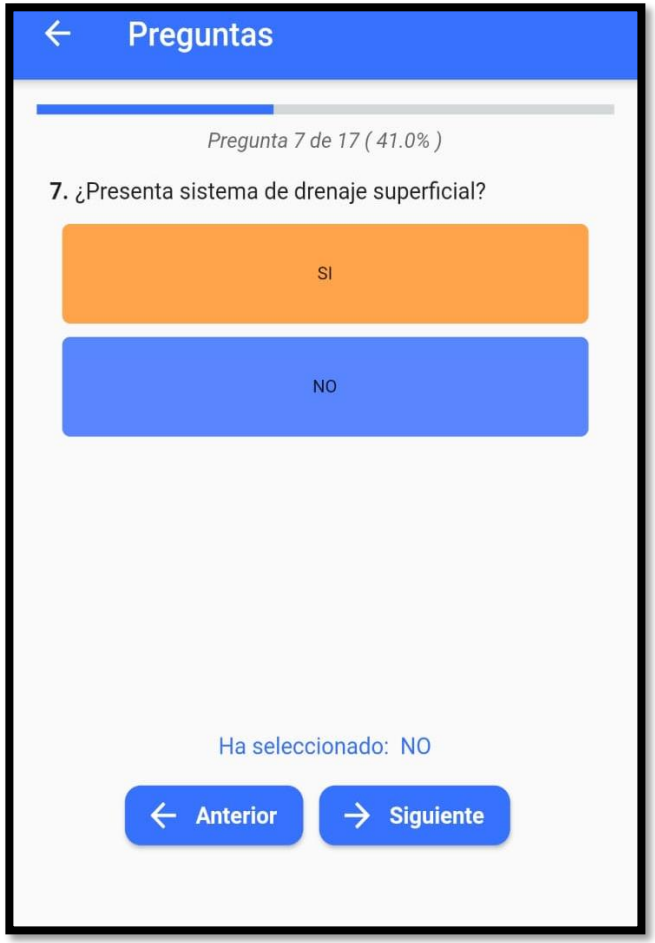
Ilustración 46. Pregunta de elección 6



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

g) Drenajes. En los puntos críticos de la vía no existe presencia de

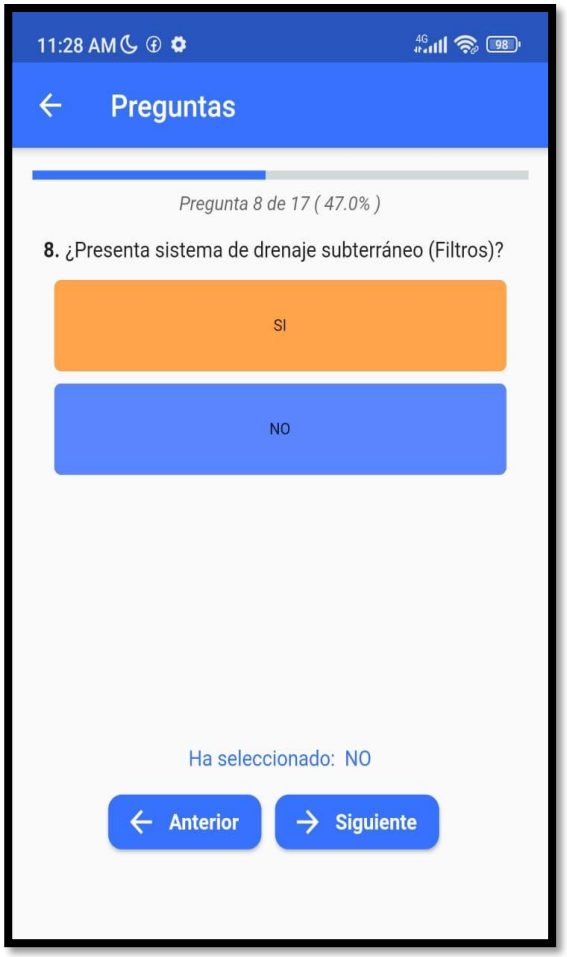
Ilustración 47. Pregunta de elección 7



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

h) Drenajes. En los puntos críticos de la vía no existe presencia de obras de drenaje

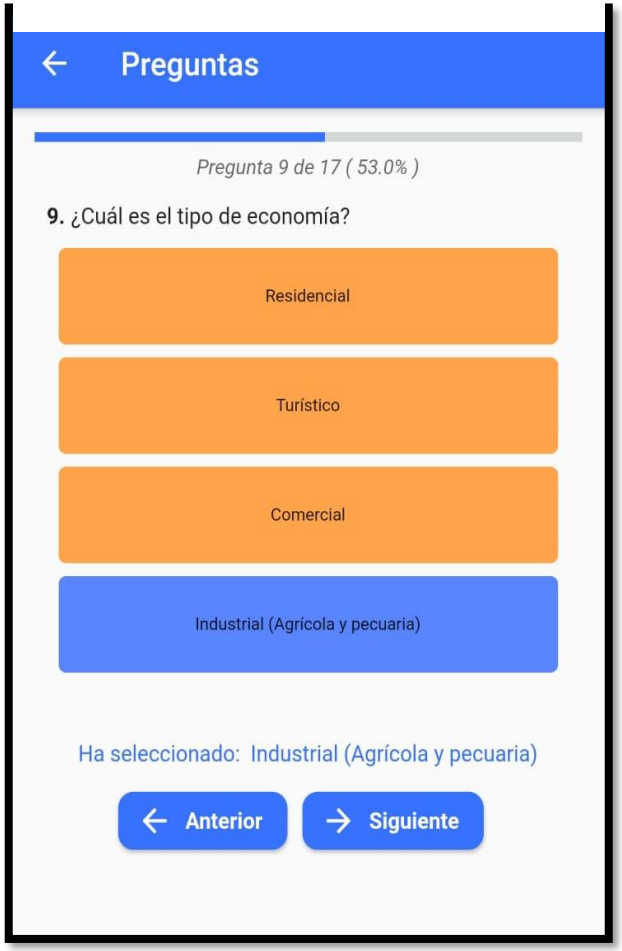
Ilustración 51. Pregunta de elección 8



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

i) Economía. La zona es características por actividades agropecuarias y turísticas

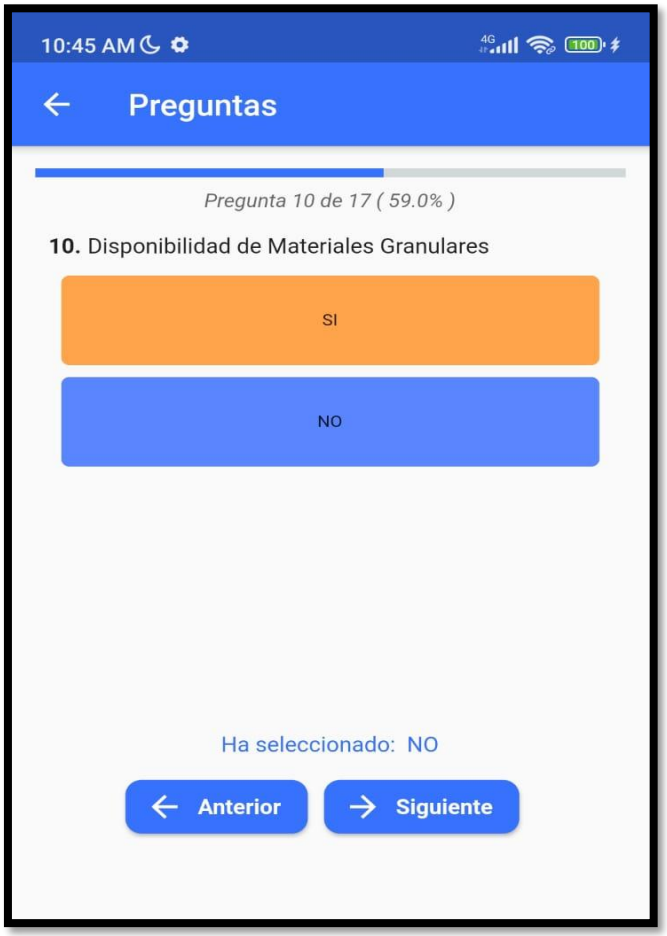
Ilustración 49. Pregunta de elección 9



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

j) Materiales granulares. La zona no se cuenta con canteras ni reservas de material que se puedan explotar, aunque hay posibilidad de

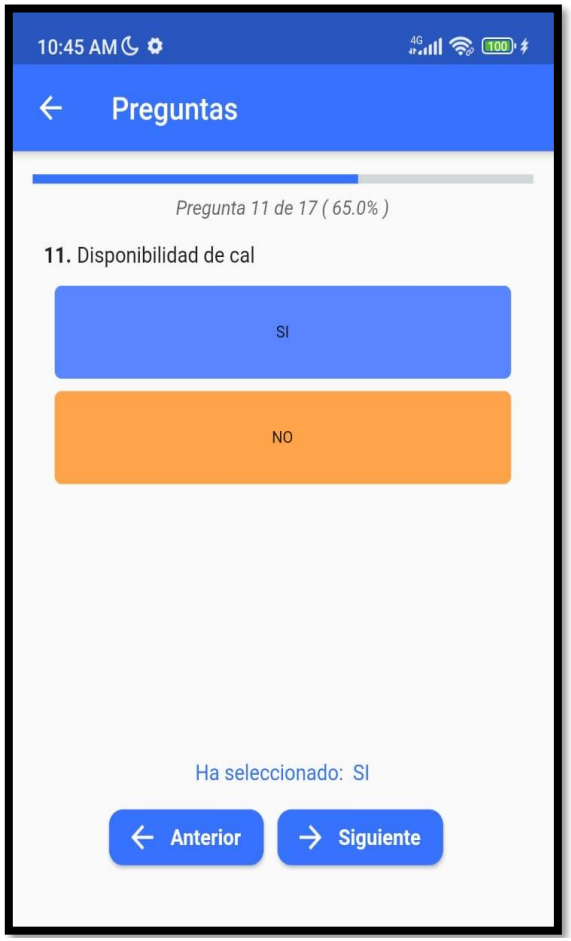
Ilustración 50. Pregunta de elección 10



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

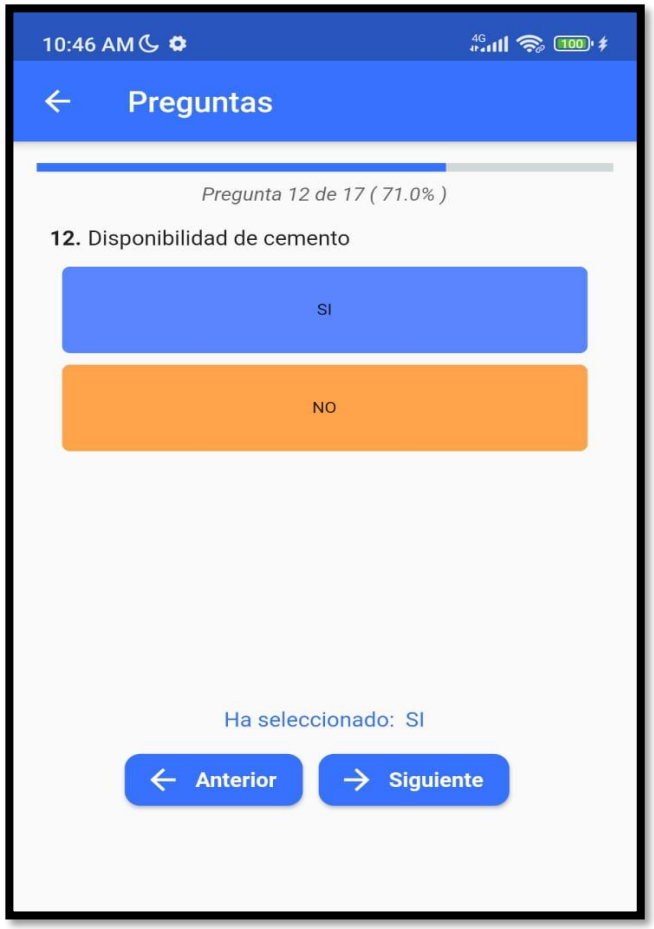
h) disponibilidad de materiales de construcción

Ilustración 54. Pregunta de elección 11



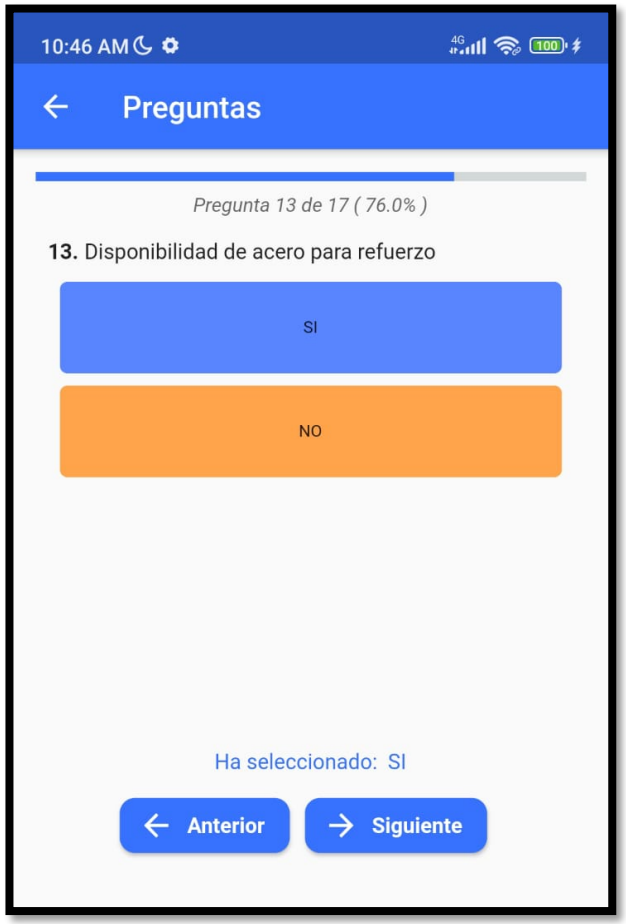
Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

Ilustración 53. Pregunta de elección



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

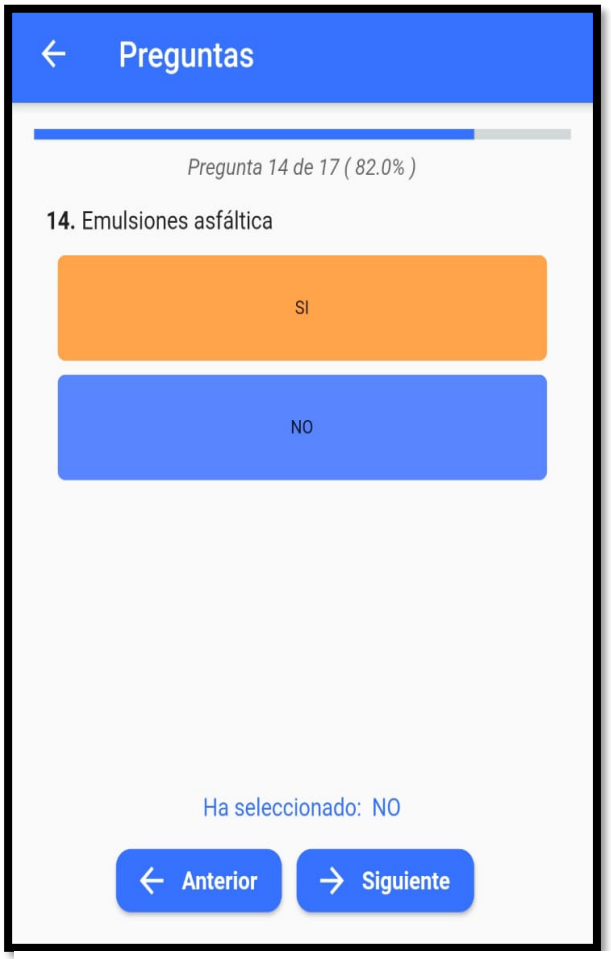
Ilustración 52. Pregunta de elección 13



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

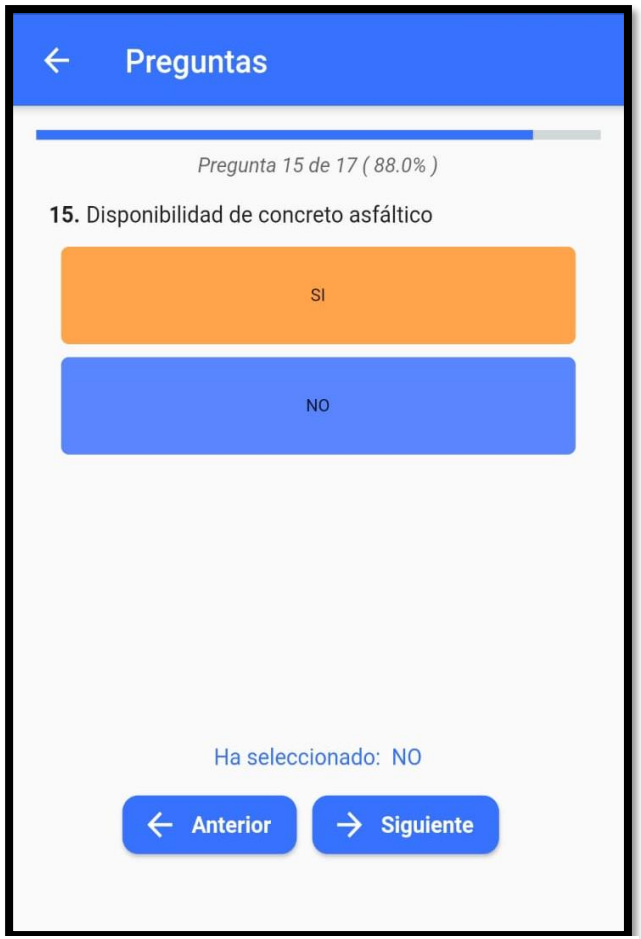
l) Mantenimiento

Ilustración 55. Pregunta de elección 14



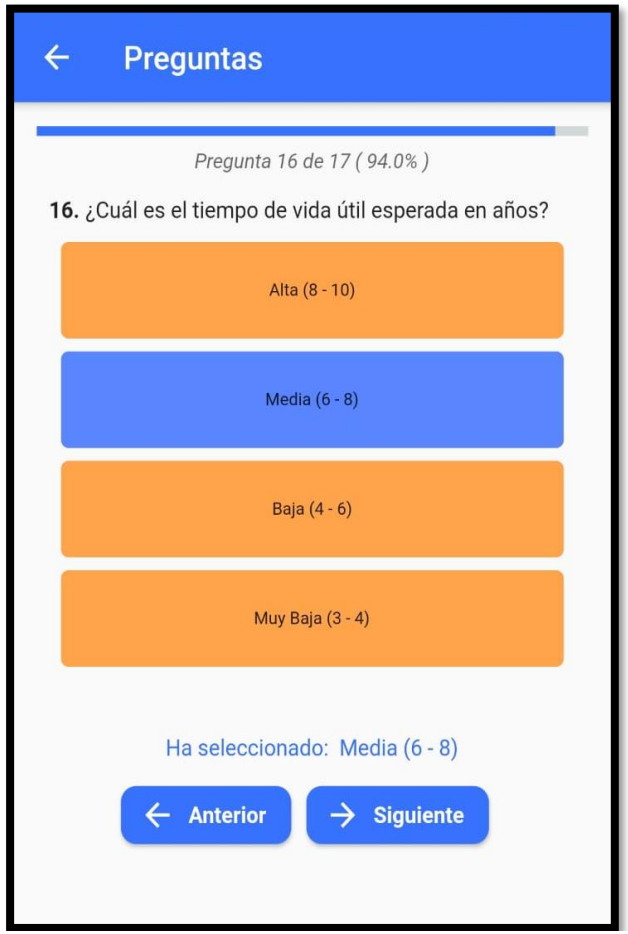
Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

Ilustración 57. Pregunta de elección 15



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

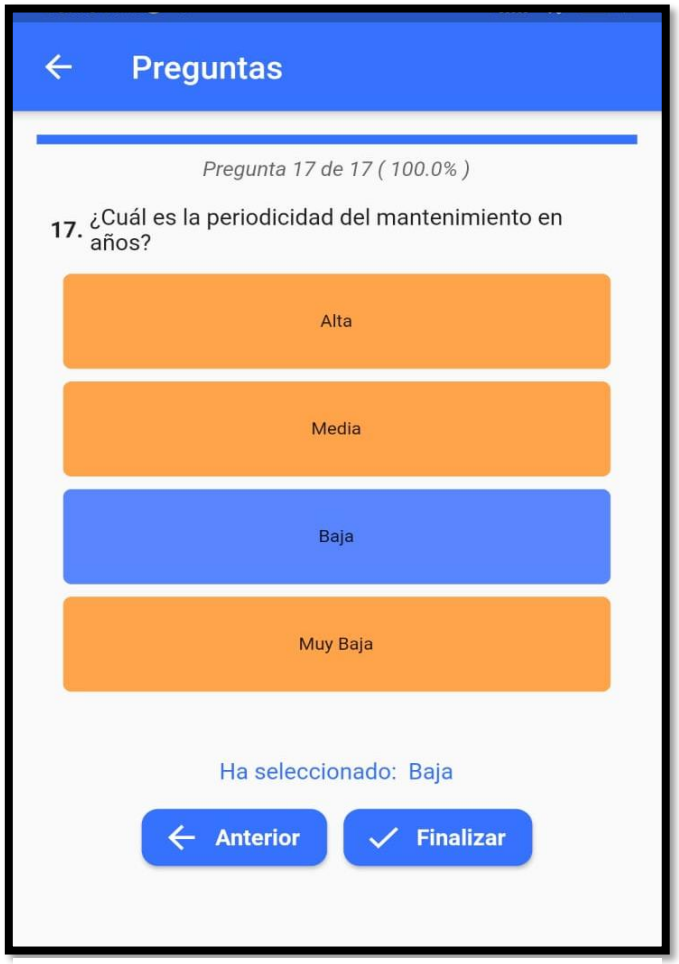
Ilustración 56. Pregunta de elección 16



Fuente. Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

k) disponibilidad de materiales de construcción y vida útil esperada

Ilustración 59 Pregunta de selección 17



Fuente. 3 Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

m) Resultados

Ilustración 58 Resultados sugeridos

Fuente. 2 Elaborado a partir de APP INVIAS RURAL

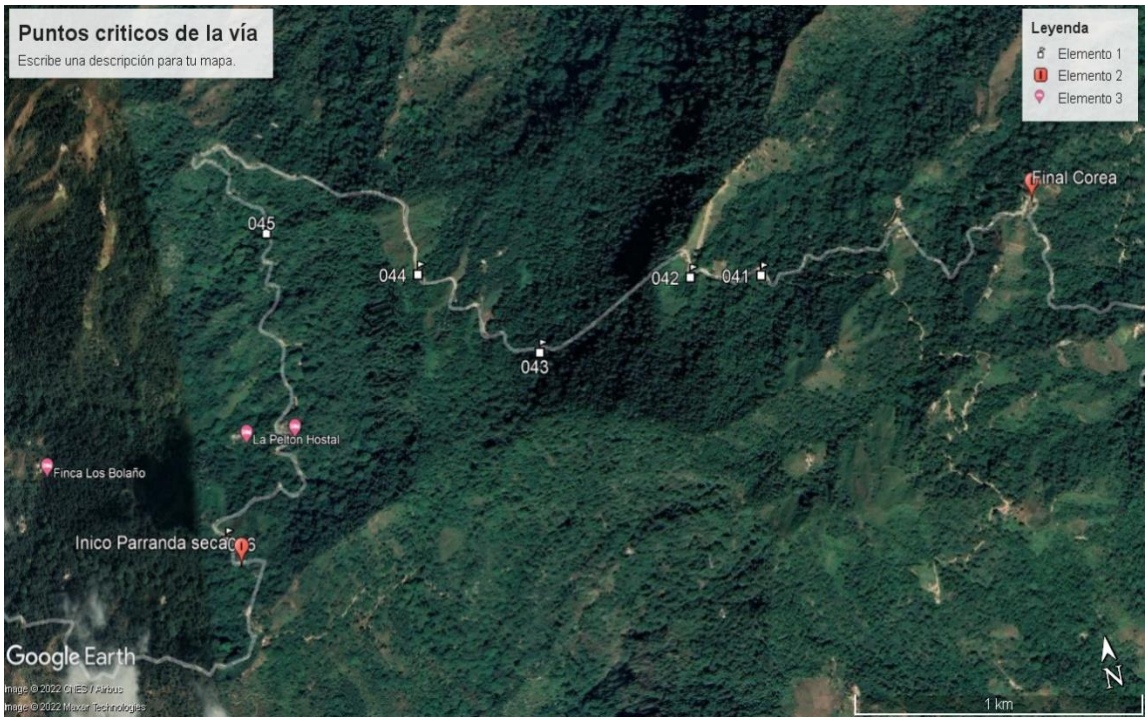
una vez elegido los métodos para la estabilización y mejoramiento de la vía se procede a realizar los diseños adaptados a las condiciones geográficas, climáticas, hidrográficas y de tránsito de la zona.

8.5.3.2 Diseño de la mezcla de suelo cemento para la estabilización de la vía.

8.5.3.2.1 Recolección de muestras

Teniendo claro el método de para el mejoramiento se procede a realizar la toma de muestras de suelo en un punto crítico de la zona el sitio se encuentra georreferenciado con las coordenadas 11° 0'20.06" N 74° 4'56.84" punto 41.

Ilustración 60 Puntos críticos vía Parranda seca - Corea



Fuente. 4 Elaboración propia a partir de levantamiento con GPS en Google Earth

Fueron tomadas tres muestras con la ayuda de herramientas manuales realizando apiques de 1.5 metros de profundidad.

Ilustración 61 Toma de muestras en campo.

Fuente. Autor

Una vez tomadas las muestras se procede a clasificarlas y roturarlas, para posteriormente realizar los ensayos en laboratorio.

8.5.3.3 Clasificación del suelo mediante ensayo de granulometría por tamizado INVE-213-07, INVE-125-07.

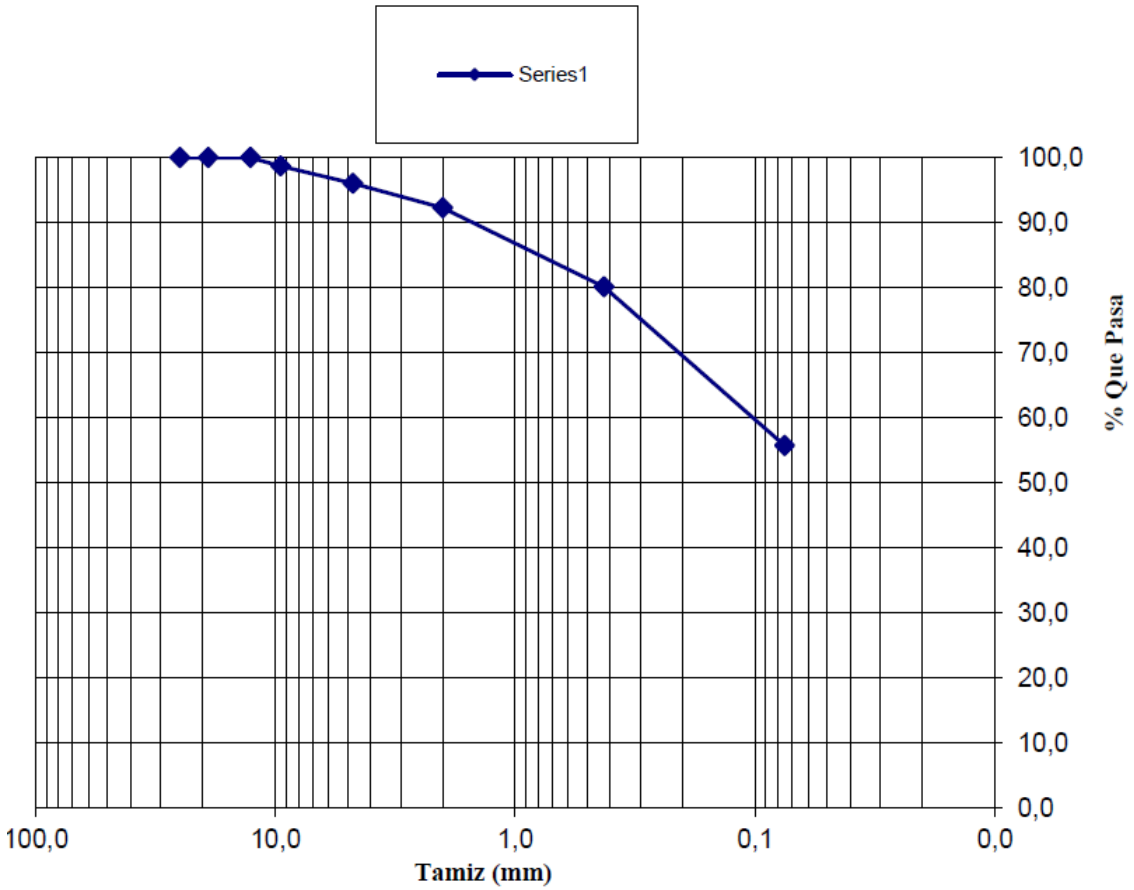
Siguiendo todo los pasos y procedimientos descritos en la normatividad se procedió a realizar la clasificación granulométrica de las muestras, las cuales fueron rotuladas previamente como M001, M002 y M003, cuyos resultados se muestran a continuación.

8.5.3.4 Granulometría por tamizado de la muestra uno (M001).

Tabla 19 Tabla análisis granulométrico por tamizado

Tamiz		Masa Retenida g B	Masa retenida corregida de la fracción (g) (BxM1/M2)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
milímetros	alterno				
76,2	3		0,0	0,0	100
64,0	2½	0,0	0,0	0,0	100,0
50,0	2	0,0	0,0	0,0	100,0
37,5	1½	0,0	0,0	0,0	100,0
25,0	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19,0	¾	0,0	0,0	0,0	100,0
12,7	½	0,0	0,0	0,0	100,0
9,5	⅜	27,0	27,0	1,3	98,7
4,8	No. 4	56,0	56,0	2,7	96,0
2,4	No. 8	0,0	0,0	0,0	96,0
2,00	No. 10	78,0	78,0	3,7	92,3
1,19	No. 16	0,0	0,0	0,0	92,3
0,60	No. 30	0,0	0,0	0,0	92,3
0,43	No. 40	255,0	255,0	12,2	80,1
0,30	No. 50	0,0	0,0	0,0	80,1
0,15	No. 100	0,0	0,0	0,0	80,1
0,075	No. 200	511,0	511,0	24,4	55,7

Ilustración 62 Curva granulométrica



Fuente. Autor

Tabla 20 Resultados

Masa total seca (gr)	2093
Gravas %	4
Arenas %	40,3
Finos	55,7
CLASIFICACIÓN	
USCS:	ML
AASHTO	A -4
INDICE DE GRUPO	2

Fuente. Autor

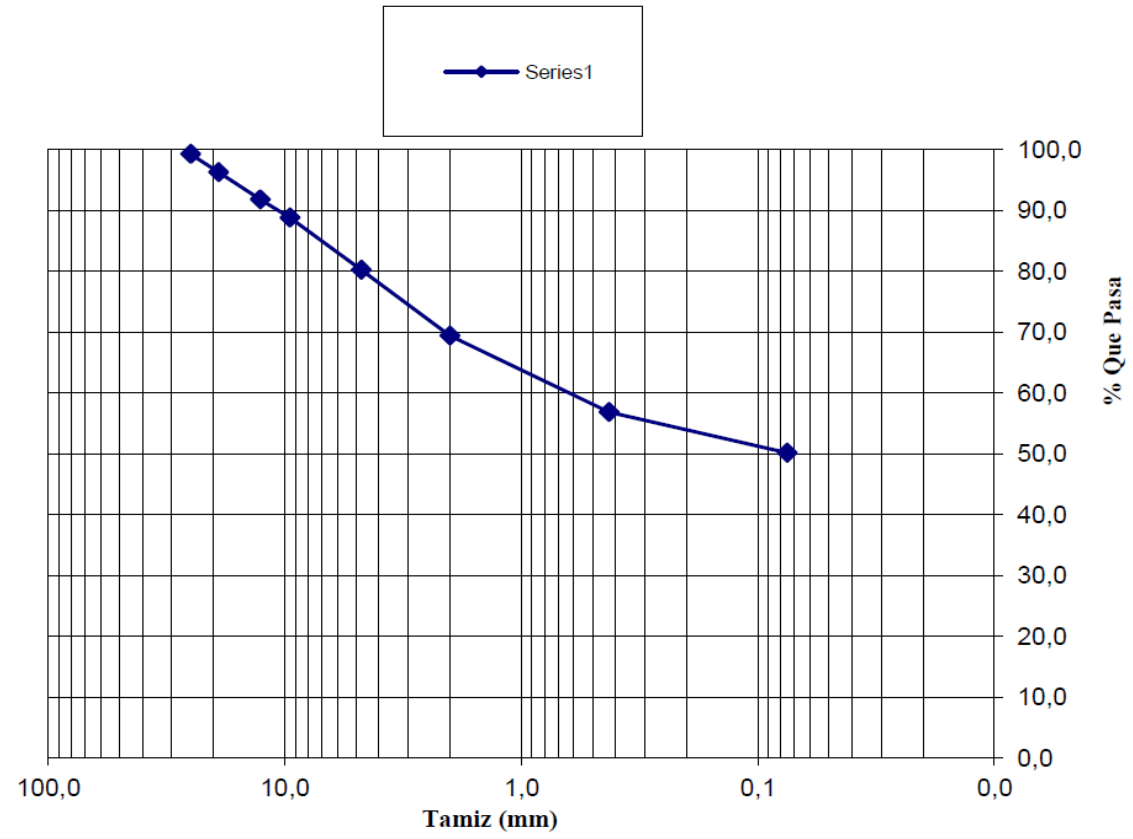
8.5.3.5 Granulometría por tamizado de la muestra dos (M002).

Tabla 21 Análisis granulométrico por tamizado

Tamiz		Masa Retenida g B	Masa retenida corregida de la fracción (g) (BxM1/M2)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
milímetros	alterno				
76,2	3		0,0	0,0	100
64,0	2½	0,0	0,0	0,0	100,0
50,0	2	0,0	0,0	0,0	100,0
37,5	1½	0,0	0,0	0,0	100,0
25,0	1	29,0	29,0	0,8	99,2
19,0	¾	113,0	113,0	3,0	96,3
12,7	½	169,0	169,0	4,4	91,8
9,5	⅜	116,0	116,0	3,1	88,8
4,8	No. 4	325,0	325,0	8,6	80,2
2,4	No. 8	0,0	0,0	0,0	80,2
2,00	No. 10	412,0	412,0	10,8	69,4
1,19	No. 16	0,0	0,0	0,0	69,4
0,60	No. 30	0,0	0,0	0,0	69,4
0,43	No. 40	476,0	476,0	12,5	56,8
0,30	No. 50	0,0	0,0	0,0	56,8
0,15	No. 100	0,0	0,0	0,0	56,8
0,075	No. 200	255,0	255,0	6,7	50,1

Fuente. Autor

Ilustración 63 Curva granulométrica



Fuente. Autor

Tabla 22 Resultados

Masa total seca (gr)	3800
Gravas %	19,8
Arenas %	30,1
Finos	50,1
CLASIFICACIÓN	
USCS:	ML
AASHTO	A -4
INDICE DE GRUPO	1

Fuente. Autor

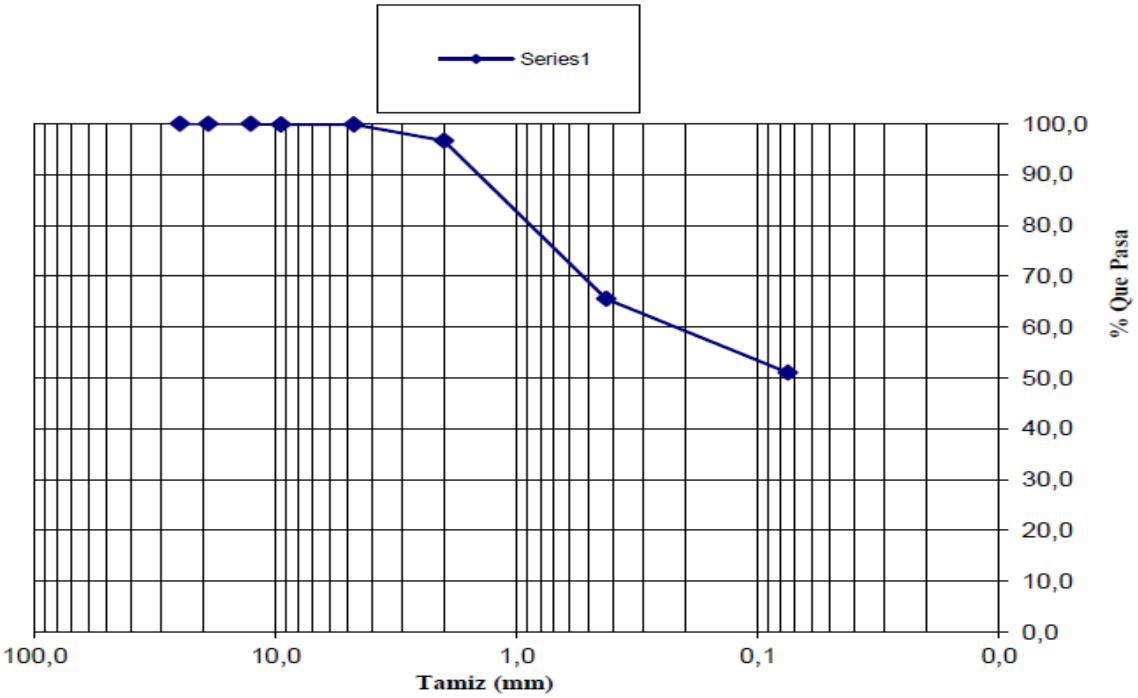
Granulometría por tamizado de la muestra tres (M003).

Tabla 23 Análisis granulométrico por tamizado

Tamiz		Masa Retenida g B	Masa retenida corregida de la fracción (g) (BxM1/M2)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
milímetros	alterno				
76,2	3		0,0	0,0	100
64,0	2½	0,0	0,0	0,0	100,0
50,0	2	0,0	0,0	0,0	100,0
37,5	1½	0,0	0,0	0,0	100,0
25,0	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19,0	¾	0,0	0,0	0,0	100,0
12,7	½	0,0	0,0	0,0	100,0
9,5	⅜	2,0	2,0	0,1	99,9
4,8	No. 4	0,0	0,0	0,0	99,9
2,4	No. 8	0,0	0,0	0,0	99,9
2,00	No. 10	82,0	82,0	3,2	96,7
1,19	No. 16	0,0	0,0	0,0	96,7
0,60	No. 30	0,0	0,0	0,0	96,7
0,43	No. 40	786,0	786,0	31,1	65,5
0,30	No. 50	0,0	0,0	0,0	65,5
0,15	No. 100	0,0	0,0	0,0	65,5
0,075	No. 200	366,0	366,0	14,5	51,0

Fuente. Autor

Ilustración 64 Curva granulométrica



Fuente. Autor

Tabla 24 Resultados Obtenidos

Gravas %	0,1
Arenas %	48,9
Finos	51,0
CLASIFICACIÓN	
USCS:	ML
AASHTO	A -4
INDICE DE GRUPO	0

Fuente. Autor

8.5.4 Ensayos para determinar la cantidad optima de cemento.

Una parte muy importante en la utilidad del suelo cemento como estabilizante, es la dosificación de cemento, con el fin de que se llegue a un determinado nivel de resistencia propuesto, el cual se mide mediante ensayos de comprensión simple.

Previo a la mezcla del suelo con cemento, se debe realizar los ensayos de límites de atterberg y Proctor, con el fin de conocer la humedad optima de compactación, ya que se conoce por la teoría que cada suelo tiene su propia humedad óptima de compactación.

En este caso de estudio se propuso estudiar la resistencia que se puede alcanzar para mezclas del 3%, 5% y 7% de contenido de cemento.

En el estado del arte se encontró que la humedad optima del suelo en estado natural comparadas con la obtenida con mezclas con altos porcentajes de cemento (mayores al 7%), se pudo demostrar que se tiene una variación mínima en el caso de limos y arcillas, de igual forma sucede con los limites líquido, plástico e índice de plasticidad. Por lo anterior para efectos de esta investigación se propuso realizar los ensayos de Proctor modificado y límites de Atterberg para la mezcla con contenido de 5% de cemento.

Para el ensayo de resistencia se realizaron un total de 27 briquetas de suelo cemento, ya que por muestras se realizaron tres mezclas y a cada mezcla se le realizaron tres especímenes para medir y obtener una resistencia promedio a cada mezcla, y poder definir así el contenido de cemento optimo.

8.5.4.1 Límites de Atterberg.

Una vez realizados los procedimientos descritos en las normas dispuestas por el INVIAS para este caso, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla con un 5% de cemento en cada una de las muestras.

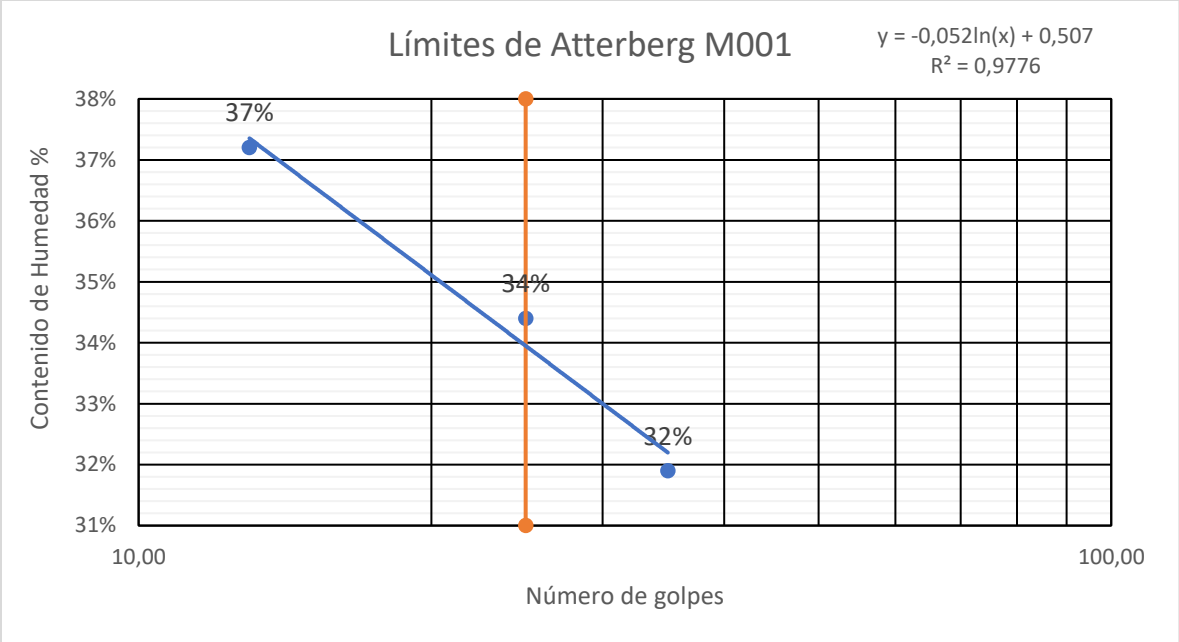
8.5.4.2 Límites de Atterberg para la muestra uno (M001)

Tabla 25 Procesamiento de muestra dos

ENSAYO DE LIMITES					
ITEMS	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
Nº DE GOLPES	35	25	13	N.A	N.A
Nº DE RECIPIENTE	7	8	9	A	B
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO (gr)	45,13	39,88	29,54	26,98	33,15
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (gr)	37,12	34,02	25,33	23,77	29,12
PESO DEL AGUA (gr)	*8,01*	*5,86*	*4,21*	*3,21*	*4,03*
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	12,00	17,00	14,00	10,50	12,50
% CONTENIDO DE HUEMEDAD	*31,9*	*34,4*	*37,2*	*24,2*	*24,2*

Fuente. Autor

Ilustración 65 Curva de fluidez para la muestra M001



Fuente. Autor

Tabla 26 Resultados de la muestra M001

Límite liquido	34,5
Límite plástico	24,2
Índice de plasticidad	10,3

Fuente. Autor

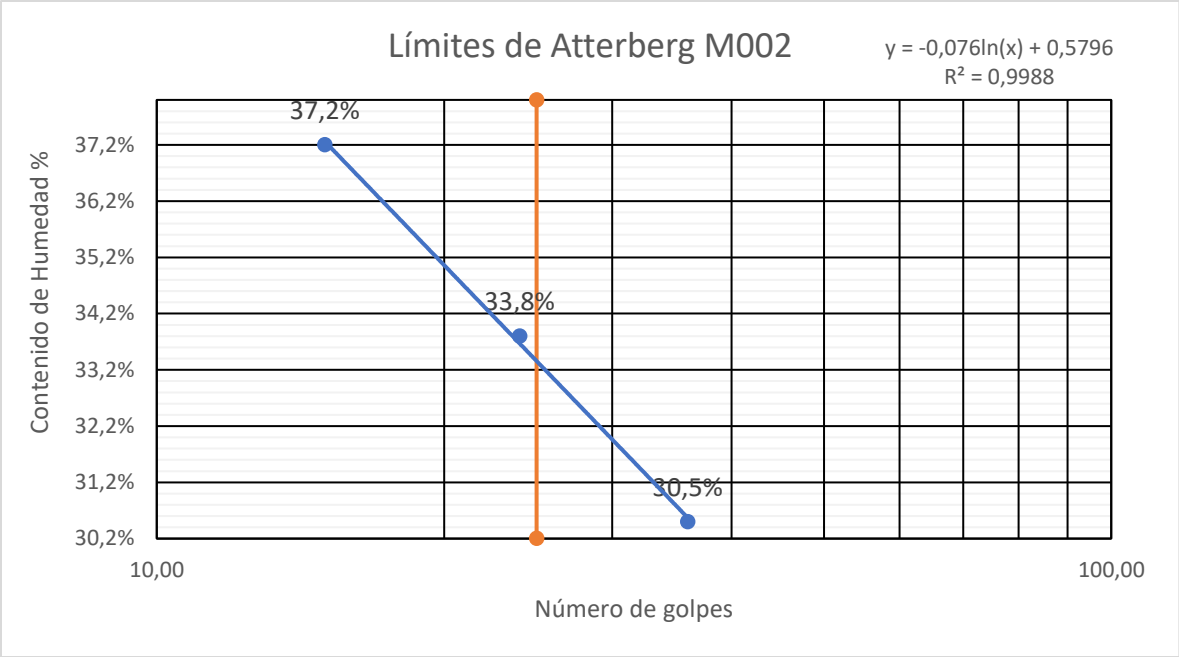
8.5.4.3 Límites de Atterberg para la muestra dos (M002)

Tabla 27 procesamiento muestra dos

ENSAYO DE LIMITES					
ITEMS	**LIMITE LIQUIDO**			**LIMITE PLASTICO**	
Nº DE GOLPES	**36**	**24**	**15**	**N.A**	**N.A**
Nº DE RECIPIENTE	**1**	**2**	**3**	**9**	**8**
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO (gr)	**37,68**	**38,15**	**42,17**	**25,13**	**26,97**
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (gr)	**30,98**	**31,55**	**33,59**	**21,55**	**23,32**
PESO DEL AGUA (gr)	*6,70*	*6,60*	*8,58*	*3,58*	*3,65*
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	**9,00**	**12,00**	**10,50**	**7,80**	**8,20**
% CONTENIDO DE HUEMEDAD	*30,5*	*33,8*	*37,2*	*26,0*	*24,1*

Fuente. Autor

Ilustración 66 Curva de fluides para la muestra M002



Fuente. Autor

Tabla 28 Resultados de la muestra M002

Límite liquido	33,8
Límite plástico	25,1
Índice de plasticidad	8,7

Fuente. Autor

8.5.4.4 Proctor modificado para mezcla del 5% en cada muestra.

Obtenidos los límites de atterberg se procede a ilustrar los resultados de los ensayos realizados de Proctor modificado acorde a lo especificado en las normas emanadas por el INVIAS en con el fin de obtener la humedad oprima de compactación.

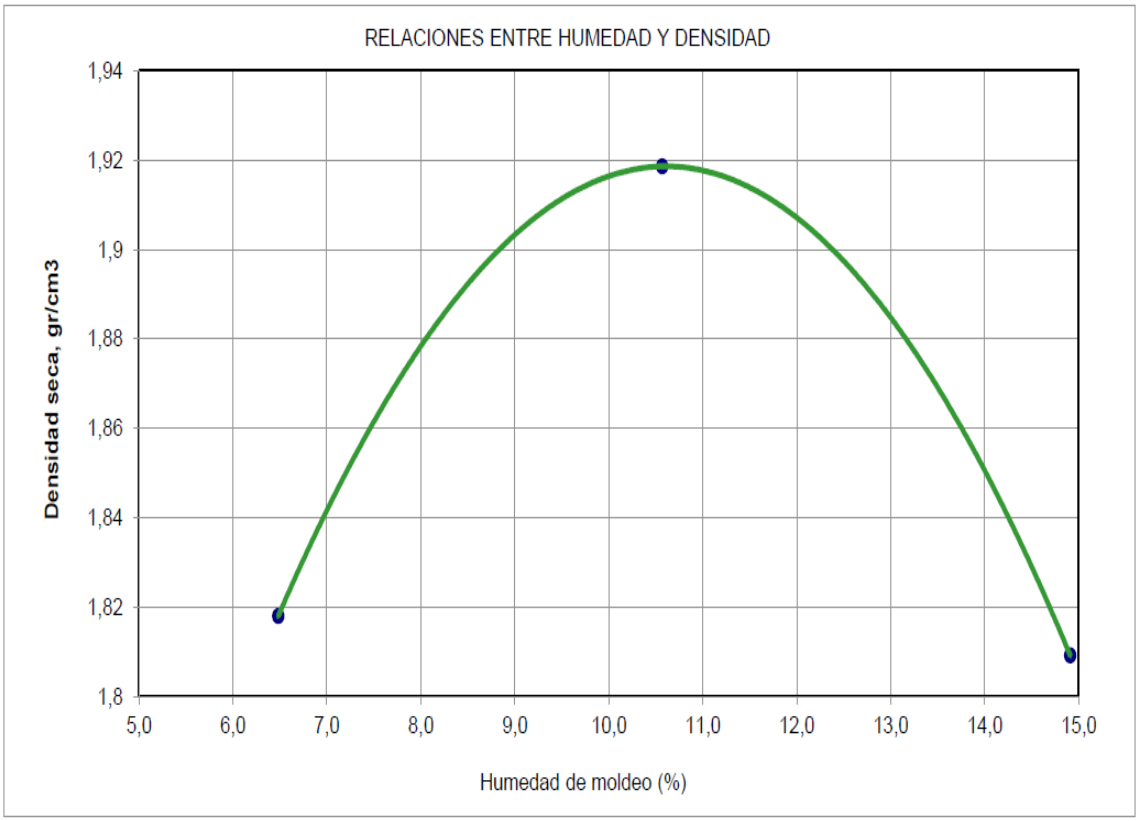
8.5.4.4.1 Proctor modificado para mezcla del 5% muestra uno (M001).

Tabla 29 Datos Proctor modificado muestra uno M001

PRUEBA	UNIDAD	1	2	3
Golpes	No	55	55	55
Numero De Capas	No	5	5	5
Peso De La Muestra Húmeda + Recipiente	%	200	200	200
Peso De La Muestra Seca + Recipiente	%	193	187	183
Peso Del Recipiente	g	85	64	69
Peso De La Muestra Húmeda + Molde	g	9834	10211	10125
Peso Del Molde	g	5900	5900	5900
Peso De La Muestra Húmeda	g	3934	4311	4225
HUMEDAD (Horno)	%	6,5	10,6	14,9
Peso De La Muestra Seca	g	3694,5	3898,9	3676,7
Volúmen Del Molde	cm3	2032,2	2032,2	2032,2
Densidad De La Muestra Seca	gr/cm3	1,82	1,92	1,81

Fuente. Autor

Ilustración 67 Humedad óptima para mezcla del 5% M001



Fuente. Autor

Del grafico anterior se pudo obtener que la humedad optima de compactación para la muestra uno (M001), con un contenido de cemento portland del 5% es de 10,6% y una densidad máxima de 1,92 gr/cm^3.

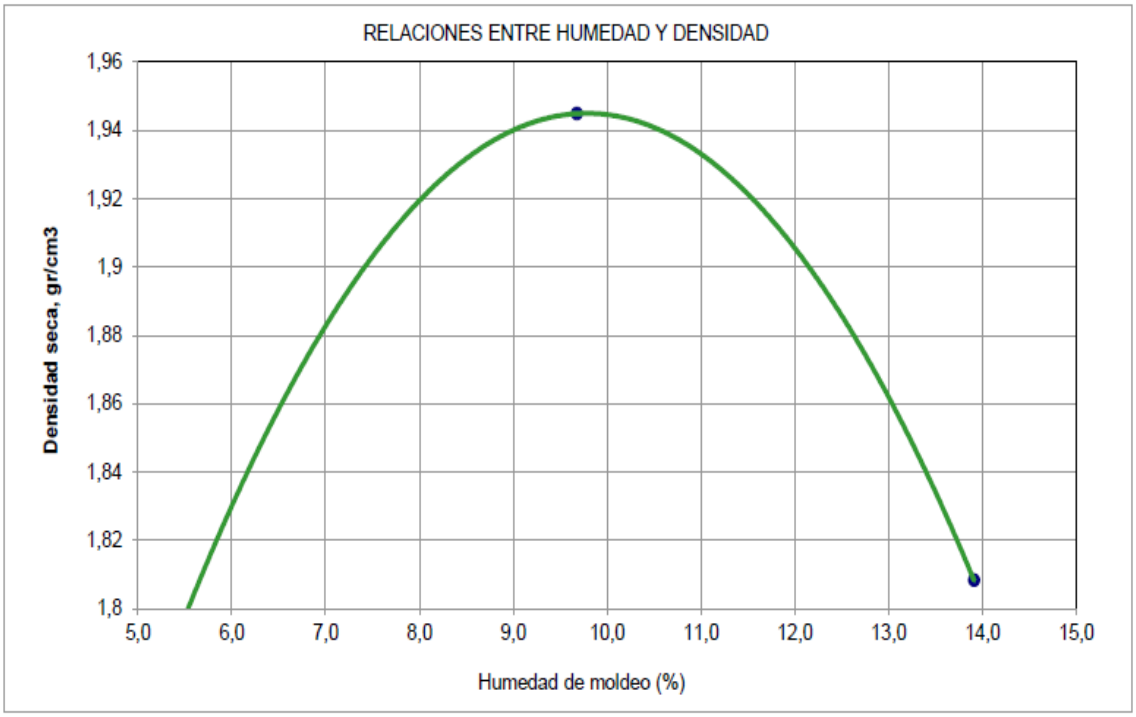
8.5.4.4.2 Proctor modificado para mezcla del 5% muestra dos (M002).

Listón 30Datos Proctor modificado muestra dos M002

PRUEBA	UNIDAD	1	2	3
Golpes	No	56	56	56
Numero De Capas	No	5	5	5
Peso De La Muestra Húmeda + Recipiente	%	200	200	200
Peso De La Muestra Seca + Recipiente	%	194	188	184
Peso Del Recipiente	g	85	64	69
Peso De La Muestra Húmeda + Molde	g	8755	10235	10086
Peso Del Molde	g	5900	5900	5900
Peso De La Muestra Húmeda	g	3855	4335	4186
HUMEDAD (Horno)	%	5,5	9,7	13,9
Peso De La Muestra Seca	g	3653,9	3952,5	3674,7
Volúmen Del Molde	cm3	2032,2	2032,2	2032,2
Densidad De La Muestra Seca	gr/cm3	1,8	1,94	1,81

Fuente. Autor

Ilustración 68 Humedad óptima para mezcla del 5% M002



Fuente. Autor

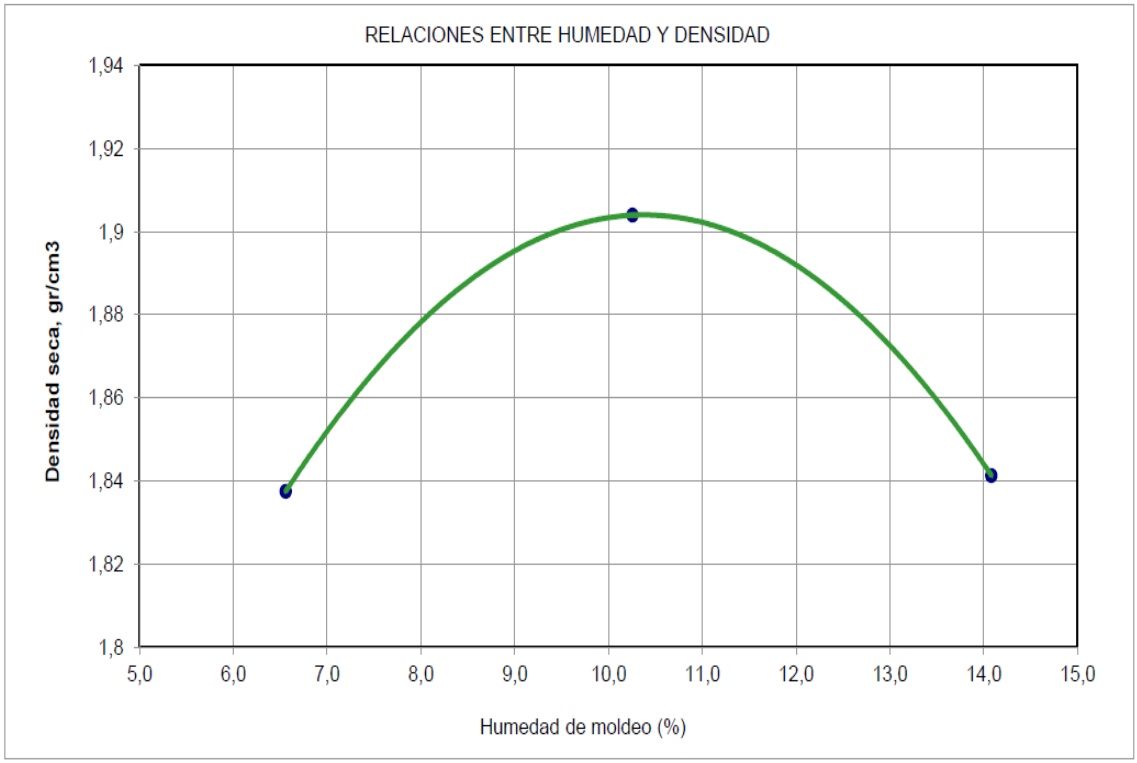
De la anterior ilustración se puede sustraer, que la humedad optima de compactación para la muestra uno (M001), con un contenido de cemento portland del 5% es de 9,7% y una densidad máxima de 1,94 gr/cm^3.

8.5.4.4.3 Proctor modificado para mezcla del 5% muestra tres (M003).

Tabla 31 Datos Proctor modificado muestra tres M003

PRUEBA	UNIDAD	1	2	3
Golpes	No	56	56	56
Numero De Capas	No	5	5	5
Peso De La Muestra húmeda + Recipiente	%	150	150	150
Peso De La Muestra Seca + Recipiente	%	146	142	140
Peso Del Recipiente	g	85	64	69
Peso De La Muestra Húmeda + Molde	g	9879	10166	10169
Peso Del Molde	g	5900	5900	5900
Peso De La Muestra Húmeda	g	3979	4266	4269
HUMEDAD (Horno)	%	6,6	10,3	14,1
Peso De La Muestra Seca	g	3734,1	3869,2	3742
Volúmen Del Molde	cm3	2032,2	2032,2	2032,2
Densidad De La Muestra Seca	gr/cm3	1,84	1,9	1,84

Ilustración 69 Humedad óptima para mezcla del 5% M003



De lo anterior, se obtuvo que la humedad optima de compactación para la muestra uno (M001), con un contenido de cemento portland del 5% es de 10,3% y una densidad máxima de 1,9 gr/cm^3.

8.5.4.5 Pruebas de resistencia a la comprensión simple.

Posterior a las pruebas anteriores se procede a realizar la mezcla de suelo cemento para la elaboración de briquetas que serán sometidas a prueba de resistencia a compresión simple a los siete días de curado.

Por cada una de las muestras se hicieron tres mezclas de suelo cemento (3% 5% y 7%), y por cada porcentaje de mezcla se elaboraron tres cilindros. A continuación se muestran los resultados, el procedimiento realizado e información referente a las briquetas.

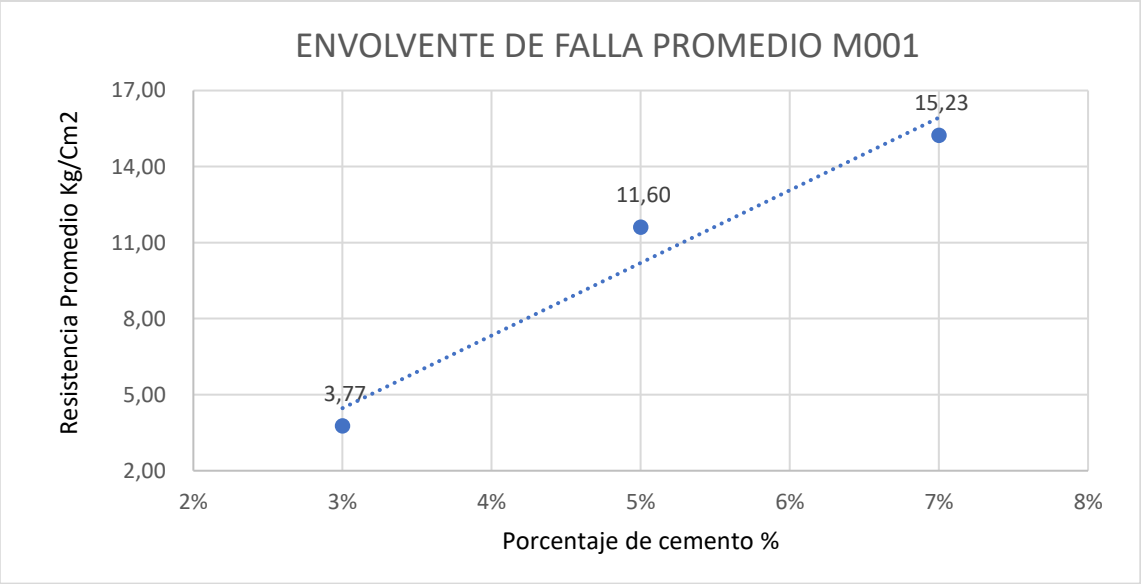
8.5.4.5.1 Resultados de prueba a compresión simple

A continuación se muestra un promedio de las briquetas falladas a compresión simple para cada muestra.

Tabla 32 Promedio de datos M001

PROMEDIOS DE BRIQUETAS M001			
Variable / porcentaje de cemento	**3%**	**5%**	**7%**
Masa (gr)	1.747,67	1.935,67	2.229,67
Diámetro (Cm)	9,00	9,00	9,00
Área (Cm2)	63,62	63,62	63,62
Altura (Cm)	18,00	18,00	18,00
Peso unitario gr/cm3	1,52	1,69	1,95
Carga aplicada (kg)	261,67	690,33	1.064,33
Resistencia a compresión promedio (Kg/cm2)	4,10	10,83	16,70

Fuente. Autor



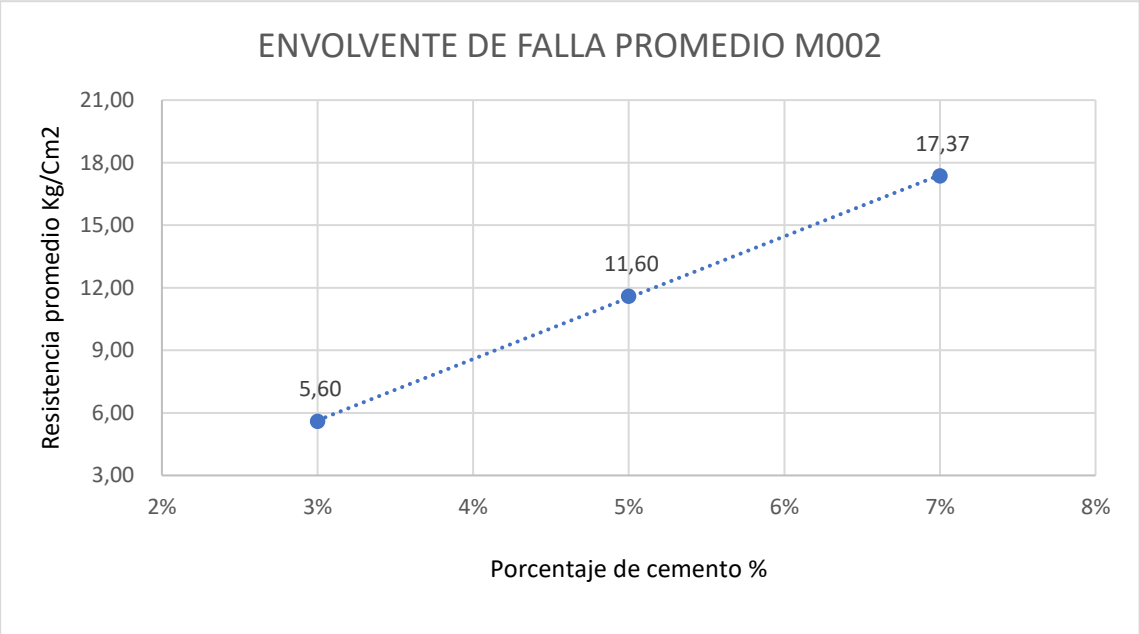
Fuente. Autor

Tabla 33 Promedio de datos muestra 2

PROMEDIOS DE BRIQUETAS M002			
VARIABLE	**3%**	**5%**	**7%**
Masa (gr)	1.859,67	2.165,33	2.284,00
Diámetro (Cm)	9,00	9,00	9,00
Area (Cm2)	63,62	63,62	63,62
Altura (Cm)	18,00	18,00	18,00
Peso unitario gr/cm3	1,63	1,89	2,00
Carga aplicada (kg)	357,00	765,00	1.105,00
Resistencia a compresión promedio (Kg/cm2)	5,60	11,60	17,37

Fuente. Autor

Tabla 34 Envolvente de falla muestra dos (M002)



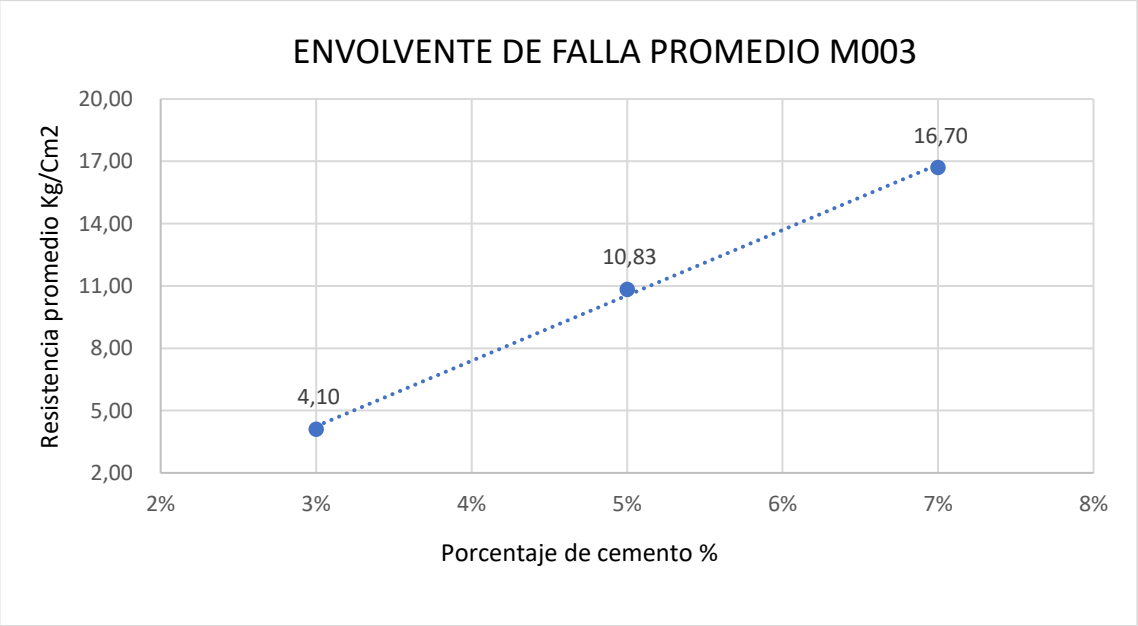
Fuente. Autor

Tabla 35 Promedio de datos muestra tres (M003)

PROMEDIOS DE BRIQUETAS M003			
VARIABLE	**3%**	**5%**	**7%**
Masa (gr)	1.747,67	1.935,67	2.229,67
Diámetro (Cm)	9,00	9,00	9,00
Área (Cm2)	63,62	63,62	63,62
Altura (Cm)	18,00	18,00	18,00
Peso unitario gr/cm3	1,52	1,69	1,95
Carga aplicada (kg)	261,67	690,33	1.064,33
Resistencia a compresión promedio (Kg/cm2)	4,10	10,83	16,70

Fuente. Autor

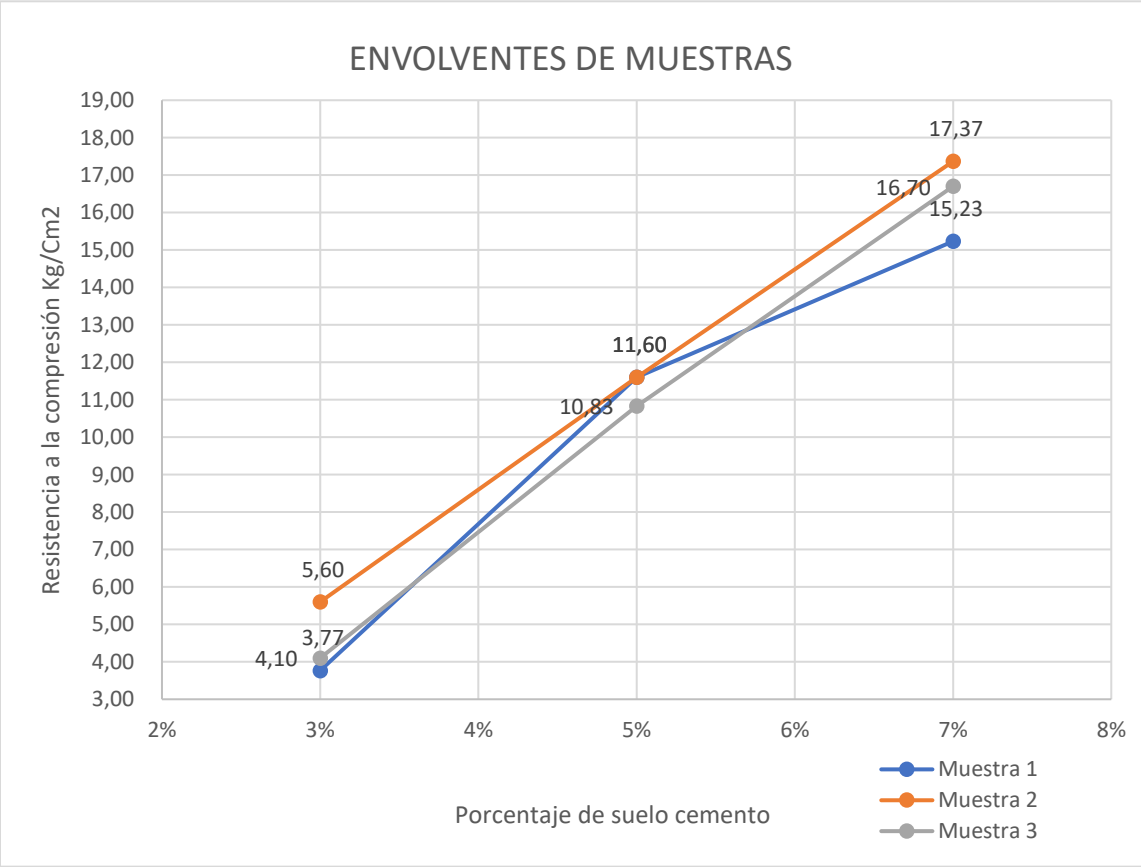
Ilustración 70 Envolvente de falla muestra tres (M003)



Fuente. Autor

Aunque los resultados obtenidos nos muestran una información clara sobre las tres muestras analizadas, se procede a realizar un análisis comparativo de las muestras mediante un diagrama de envolvente similar a los anteriores en aras de observar el comportamiento que tuvieron las muestras mezcladas con cemento.

Ilustración 71 Envolvente De Falla De Las Tres Muestras



Fuente. Autor

8.5.4.6 Análisis de resultados y recomendaciones.

En cuanto a la granulometría del suelo de estudio correspondiente a un limo arcilloso color café cuyas podemos ver que para la muestra uno la presencia de gravas es menor al cinco por ciento mientras que el contenido de arena esta al redor del 40% y finos es cercano al 55%, en la muestra dos encontramos presencia de gravas cercana al 20%, mientras que el de arenas y finos alrededor del 30% y 50% respectivamente, la muestra tres presenta muy bajos contenidos de grava mientras que el de arena y finos onda el rededor del 50%, según la clasificación dada por el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS corresponde a limos inorgánicos , arenas muy finas (ML) en todas las muestras procesadas.

De los límites de Atterberg obtenidos de la mezcla de suelo más cemento con un contenido del 5%, encontramos que para la muestra uno encontramos que el límite liquido es de un 34,5% para la muestra dos 33,8% y para la tres una de 33,3%, se puede notar como el límite liquido no presenta gran variación, lo mismo sucede con el límite plástico el cual tuvo un comportamiento similar con un 24,2 para la muestra uno, 25,1% y 23,8%, para las muestras dos y tres respectivamente. Ya que el suelo extraído de la zona de ladera es muy similar al del talud de la carretera podemos ver como el cemento controla los índices de plasticidad, haciendo que el suelo pase de un estado plástico a un estado sólido de forma rápida, disminuyendo los índices de plasticidad del suelo.

Del ensayo del Proctor realizado a las tres muestras, se puede extraer que aunque el suelo sea muy parecido se demuestra una vez más que los suelos cada uno tiene su propia humedad optima de compactación, si bien las variaciones no son muy distantes sin embargo es un parámetro que se debe cumplir y respetar al momento de la estabilización de la vía, ya que esto podría afectar el comportamiento y el resultado esperado del suelo.

Los ensayos de resistencia a la compresión simple podemos ver como para la muestra de suelo con un contenido del 4% adquiere resistencias cercanas a los 5 kg/cm2 mientras que una mezcla de cemento del 5% duplica esta resistencia alcanzando por muestra más de 10 Kg/Cm2 con resistencias de; 11.6; 11,.6; 10,83 Kg/Cm2 correspondientes a las muestras 1, 2 y 3. Se puede observar como la mezcla de suelo cemento en la ilustración xxx la muestra 2 obtiene un excelente desempeño alcanzando una resistencia con una mezcla del siete por ciento de 17,37 Kg/Cm2 aproximadamente un punto porcentual por encima de la

muestra tres y dos de la muestra uno. En la mezcla con contenido de cemento del cinco por ciento se puede notar como las muestras dos y uno alcanzan la misma resistencia, sin embargo la muestra tres no difiere mucho de estas, mostrando así una resistencia bastante en dicho punto.

8.5.4.7 Proceso constructivo del suelo cemento.

Dada las condiciones del sitio se propone un sistema de construcción adaptado el cual cumple con los requisitos emanados por el INVIAS para la construcción de vías. Antes de iniciar la construcción en firme es necesario que se realice un tramo de prueba con el fin de evaluar el comportamiento del diseño inicial y realizar los ajustes acordes al comportamiento en campo a los que exista lugar. Para la construcción es necesario emplear equipos o herramientas que permitan la escarificación del suelo, humectación y compactación.

8.5.4.8 Pasos para la construcción.

a) **Escarificación.** Se procede a romper el material de base existente, retirando los materiales con sobre tamaño que puedan existir en la vía, como rocas, cantos entre otros, con previo retiro de la capa orgánica.
b) **Humectación.** Se humedece el suelo con el fin de que este llegue a su humedad optima de compactación, la cual se obtuvo en la etapa de diseño para cada tramo. Es necesario aclarar que se demandara una mayor cantidad de agua una vez le sea adicionado el cemento al suelo.
c) **Disposición de cemento.** Dado que el sitio puede ser compleja la llegada de un equipo esparcidor, este se puede realizar de manera manual con la ayuda de herramientas como palas. Se colocan los bultos de cemento sobre la rasante de la vía acorde a la dosificación final establecida.
d) **Mezcla de suelo.** Se realiza la mezcla del suelo más el cemento, hasta llegar a una mezcla homogénea; se debe tener en cuenta que el material mezclado tiende a expandirse en cuanto a su volumen respecto al material compactado (aproximadamente un 30%).

e) **Control de humedad.** Una vez mezclado y obtenida la mezcla, se realiza la verificación del contenido de humedad del suelo mezclado, ya que durante este proceso se tiende a perder humedad y realizar los ajustes de ser necesario. En caso de hacer ajustes se recomienda volver a realizar la mezcla.

f) **Perfilamiento y nivelación.** Se perfila el suelo y distribuye la mezcla de suelo cemento en toda la longitud del talud vial en capas homogéneas hasta llegar a la nivelación deseada, cuyo control se lleva a cabo con ayuda de una comisión topográfica.

g) **Compactación.** Con ayuda de un equipo vibro compactador se procede a compactar el suelo dando el número de pasadas necesarias hasta llegar a la densidad requerida.

h) **Curado.** Durante siete días, se debe realizar el proceso de curado a la mezcla, con el objetivo de hidratar el cemento y la mezcla logre desarrollar las propiedades de resistencia.

8.5.4.9 Diseño tipo y recomendaciones para placa huella en puntos críticos.

Como se había propuesto anteriormente en la sección, 8.4.3.1.1. se propuso la placa huella como una de las soluciones para mejorar la estabilidad y la transitividad de la vía y aporte, se procede a sugerir un diseño tipo de placa huella desde el punto estructural y geométrico según lo dispuesto por el INVIAS a través del programa Colombia rural.

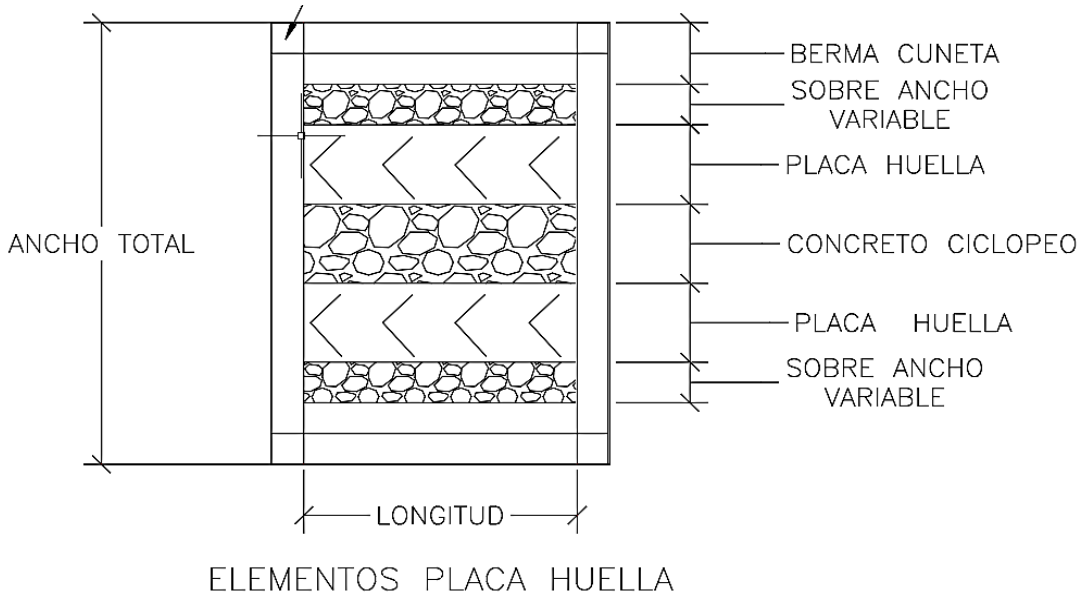
8.5.4.9.1 Consideraciones de diseño:

I. Se diseña para volúmenes bajos de transito
II. El ancho de la calzada para este diseño será de máximo 5,5 metros.
III. Velocidad de diseño de 30 Km/h
IV. El diseño tipo presentado, se elabora a partir de un vehículo de diseño tipo C3.

8.5.4.9.2 Elementos de la placa huella.

La placa huella está compuesta por elementos o partes similares a las de un pavimento en concreto, sin embargo la placa huella se compone de otros elementos y materiales que la caracterizan. A continuación se muestran los elementos que la integran.

Ilustración 72 Elementos de Placa huella



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

8.5.4.9.3 Especificaciones del concreto

- Resistencia a la compresión a los 28 día de f 'c=210 Kg/cm^2
- Tamaño máximo de agregados Tmax= 38 mm.
-

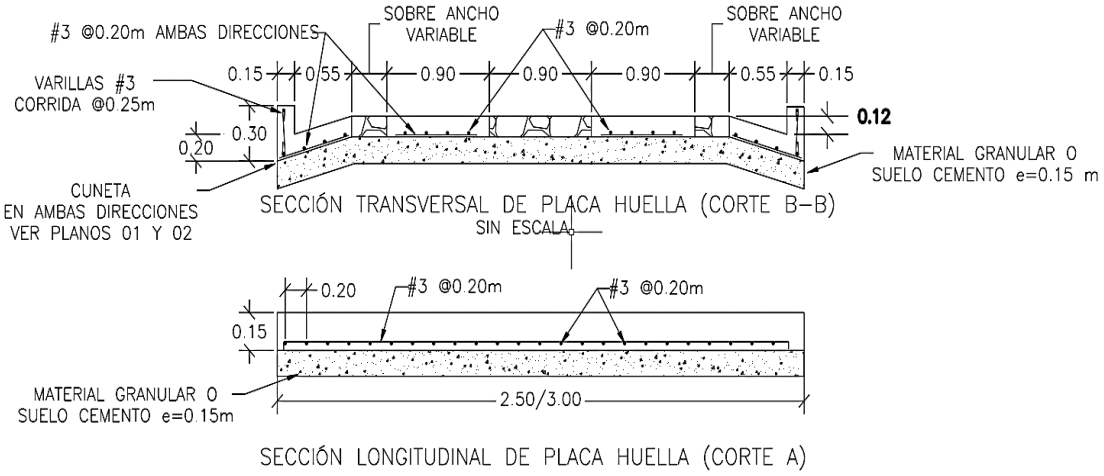
8.5.4.9.4 Especificaciones del Acero.

Las recomendaciones entregadas por el INVIAS establecen que se debe emplear acero corrugado de baja aleación según NTC-228 desestimando el uso de acero corrugado de refuerzo hecho bajo la norma NTC 245, ni que se hayan trabajado en frio y sugiere seguir lo indicado en la Norma Colombia de sismo resistencia del 2010 (NSR 10). Se propone el uso de acero con resistencia a la tracción de 4200 Kg/Cm^2 o 5200 Kg/Cm^2.

8.5.4.9.5 Dimensiones y refuerzo del pavimento.

- **Longitud.** La longitud de la losa debe tener un valor minimo de un metro (1,00 m) y un valor máximo de dos metros con ochenta centímetros (2,8m).
- **Ancho.** La guía de diseño de pavimentos con placa huella establece que estas pueden ser de tres anchos, de noventa centímetros, un metro con treinta y cinco centímetros y de un metro con ochenta centímetros.
- **Espesor.** se propone un espesor minimo de 15 cm con el objetivo de lograr un recubrimiento del acero en la parte superior e inferior de siete con cinco centímetros (7,5 cm).

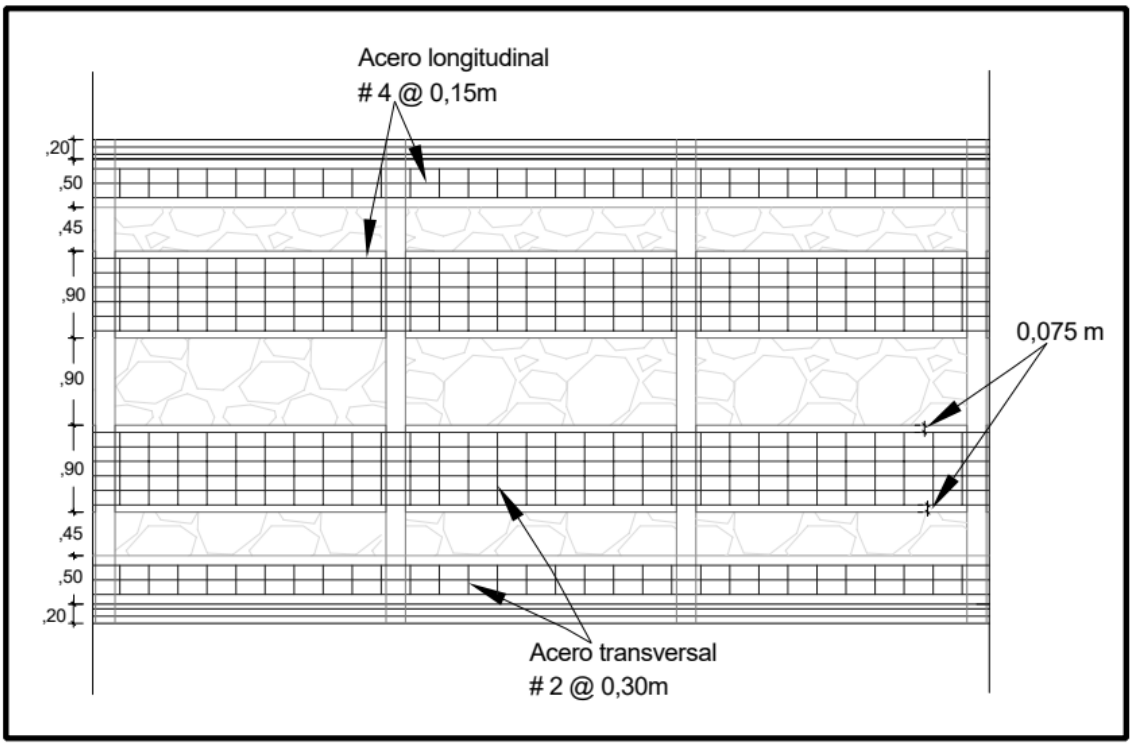
Ilustración 73 Secciones



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

- **Refuerzo longitudinal.** se recomienda emplear una barra de media pulgada cada quince centímetros (1 #4 @ 0.15m)
- **Refuerzo transversal.** Se emplea el uso de una barra número dos cada treinta centímetros (1 #2 @ 0.3m).

Ilustración 74 Planta distribución del refuerzo (guía de diseño)



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

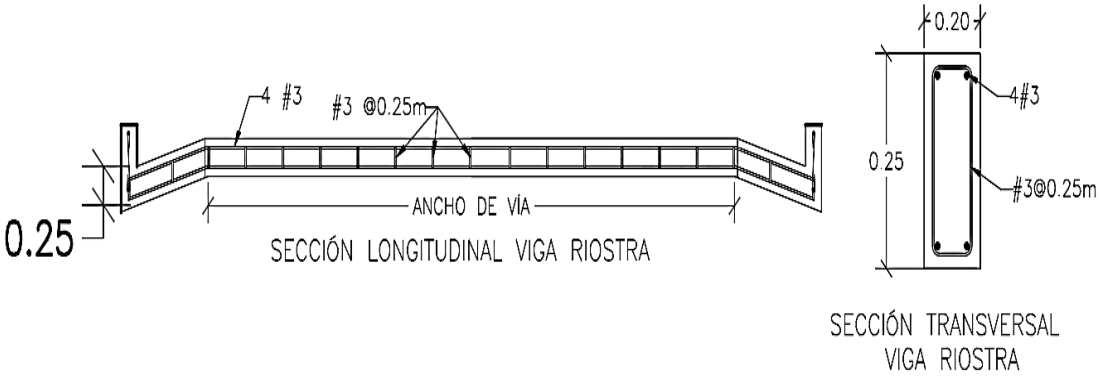
8.5.4.9.6 Diseño de la viga riostra.

la viga riostra encargada de brindar confinamiento a la losa, debe tener un ancho de 20 centímetros (0.2m) y una longitud no superior a los 6,8 metros y un peralte de treinta centímetros. la riostra debe ir reforzada longitudinalmente con cuatro varillas de 4/8” (4b #4) y en los estribos con una barra de acero numero dos cada quince centímetros (1b #2 @ 0.15cm).

La guía del INVIAS para el diseño de placa huellas estable que la longitud de desarrollo de las varillas longitudinales #4 es de mínimo sesenta centímetros (0.6m). El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de siete con cinco

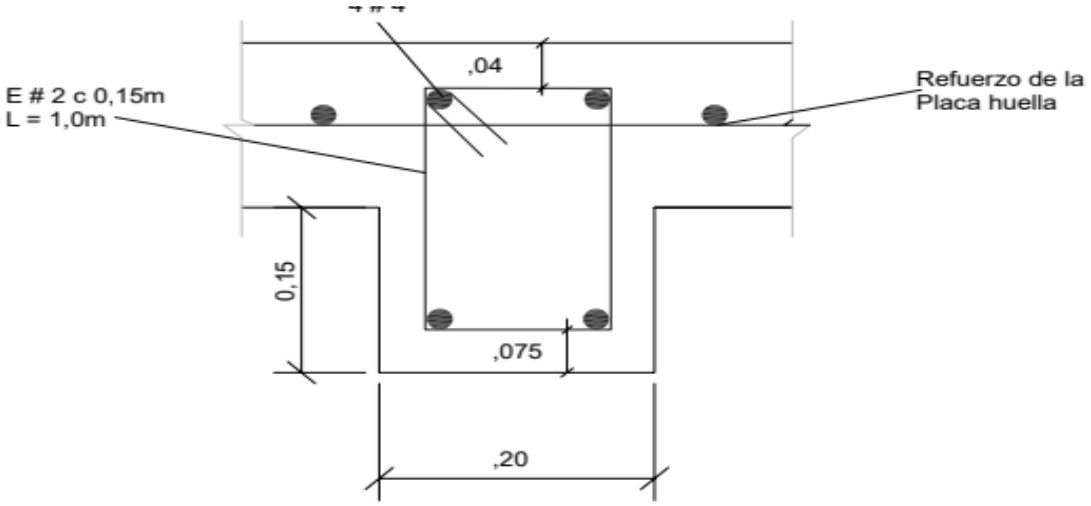
centímetros (0,075 m) centímetros en la parte inferior y de cuatro centímetros (0,04 m) en la parte superior

Ilustración 75 Refuerzo viga riostra



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

Ilustración 76 Corte transversal sección placa huella (guía)



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

8.5.4.9.7 Juntas.

Para este proceso se recomienda seguir los pasos y especificaciones descritas en el ítem 2.6.1 de la guía de diseño de pavimentos de placa huella emanada por el INVIAS. Ya que la modelación realizada tuvo en cuenta diferentes elementos estructurales del pavimento en Placa-huella como una estructura monolítica, por lo que se recomienda que durante la construcción se garantice la adecuada transmisión de los esfuerzos y deformaciones a lo largo y ancho de estos elementos.

8.5.4.9.8 Piedra pegada

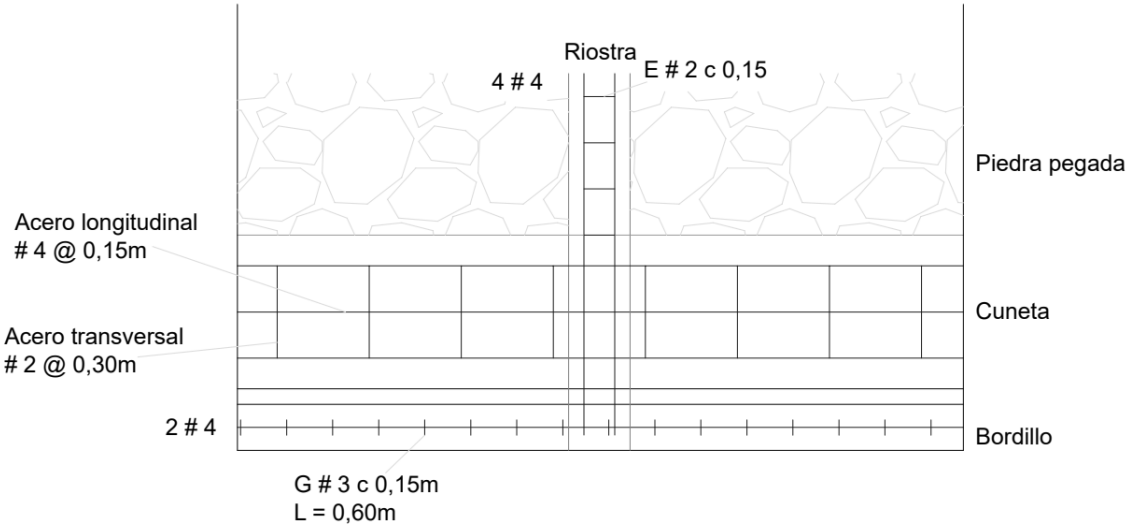
Esta parte del pavimento con placa huella se hace con el objetivo de disminuir costos, ya que esta sección de la placa huella no tiene capacidad estructural y por esto no requeriría de mecanismos de transmisión de refuerzos con otros elementos de la placa huella.

La piedra se utiliza como agregado en la elaboración de concreto ciclópeo, siendo parte de un 40% de los agregados. El concreto ciclópeo debe ser diseñado para resistir un esfuerzo de 210 Kg/Cm^2 el agregado grueso (60% del agregado) debe tener un tamaño máximo de 38 milímetros mientras que el agregado ciclópeo debe estar entre los ocho y doce centímetros.

8.5.4.9.9 Berma/cuneta y Bordillo

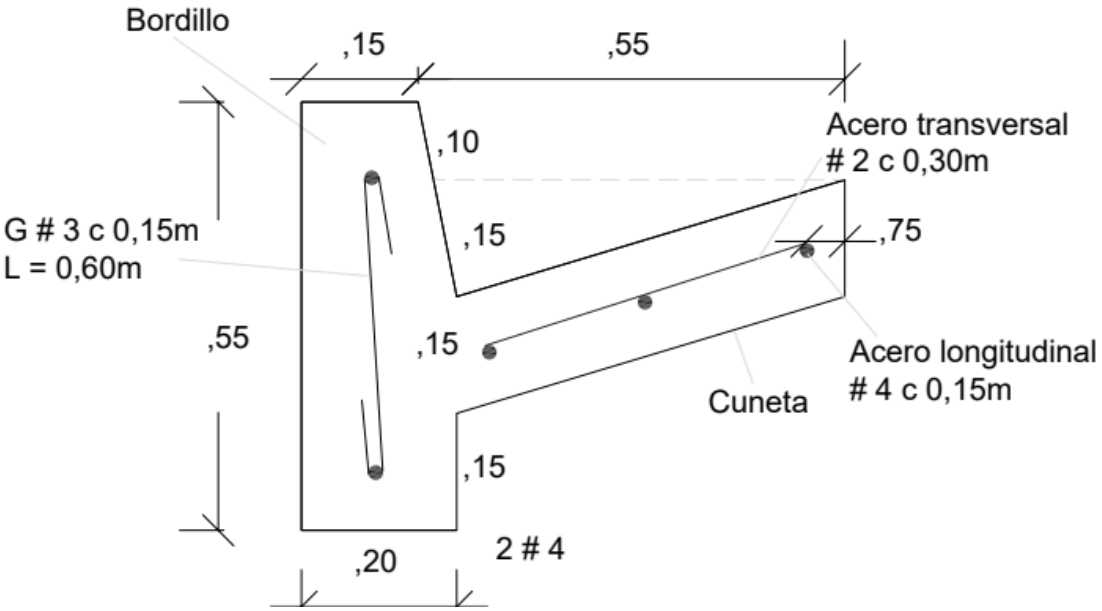
La berma se diseña para que soporte los esfuerzos que se producen por el vehículo de diseño, que para nuestro caso es un C3, lo que hace que el espesor y refuerzo requerido así como las características de los materiales sean similares a lo de la placa huella como tal. Con lo que respecta a la berma esta tiene contiguo el bordillo de confinamiento, lo que hace que su geometría se diferencie de la placa huella.

Ilustración 77 Planta de cuneta



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

Ilustración 78 detalle de cuneta y bordillo



Fuente. Elaborado a partir del manual de Colombia rural.

8.5.4.10 Proceso constructivo y recomendaciones

8.5.4.10.1 Recomendaciones.

El concreto para la construcción de la berma-cuneta así como el de las riostras debe contar con una resistencia a los 28 días de 21 mega pascales y cumplir las condiciones del articulo INV-630-13. Mientras que el concreto ciclópeo debe tener una resistencia de 14 Mpa.

La cartilla del manual de Colombia rural manifiesta que cuando la base este conformada por material de suelo cemento este deberá tener una resistencia a la comprensión de 3 Mpa a los siete días. En el caso de estudio y resultado de los diseños de mezclas propuestos no se alcanza dicha resistencia por lo que se recomienda emplear mezclas en los puntos críticos con contenido de cemento mayor al 10% en aras de alcanzar la resistencia recomendada o evaluar otras mezclas.

En cuanto al diseño geométrico se debe propender por conservar la geometría existente, sin embargo se permite la realización de pequeños ajustes a la rasante con el objetivo de obtener un perfil longitudinal uniforme.

8.5.4.10.2 Proceso constructivo.

El proceso constructivo que se describe se realiza pensando en la utilización del suelo cemento como base., una vez este ha sido compactado y nivelado.

a) **Excavaciones.** Con la ayuda de herramientas manuales se procede a realizar las excavaciones para la colocación de riostras, bordillos y berma-cuneta de ser necesaria para efectos de la evacuación de agua por precipitaciones.
b) **Colocación de formaletas para placa-huella.** Para la construcción de la placa huella, se instalarán formaletas que pueden ser de madera o metálica, con el fin de que la placa cumpla con las medidas requeridas. Se debe tener especial cuidado con los espacios destinados para la viga de confinamiento. Se debe procurar porque las formaletas queden bien instaladas para que puedan contener la mezcla de concreto sin que existan deflexiones, esto se logra apuntalando y amarrando las formaletas y de esta forma prevenir posibles movimientos.
c) **Colocación de acero transversal y longitudinal.** Previo a esto se debe retirar cualquier material extraño presente. **se** procede entonces con la colocación del acero

longitudinal colocando las barras #4 cada quince centímetros lo mismo con el acero transversal colocando las barras número dos cada treinta centímetros, el acero debe quedar separado del suelo a 7,5 cm como minimo, para esto se recomienda la colocación de pequeñas briquetas o semicindros de mortero en ciertos puntos cuya altura sea igual a la del recubrimiento inferior.

d) **Disposición del concreto.** Se procede a elaborar el concreto de 210 kg/cm2 con la ayuda de mezclador móvil o herramientas manuales, este debe verterse y vibrarse, posterior a esto se procede a realizar el alisado de la superficie y realizar el proceso de marcación de la placa huella, con ayuda de un molde elaborado en acero.

e) **Construcción de berma-cuneta y bordillos.** El bordillo se funde a una profundidad de desplante de quince centímetros, el mismo espesor de recubrimiento se procede a colocar el acero inferior y superior el cual consta de barras #4 de forma paralela y separadas 30 centímetros. Para los estribos se colocarán ganchos en forma de "s" los cuales tendrán una longitud de 60 centímetros colocados de forma longitudinal cada quince centímetros. Para la berma cuneta se hace la colocación del acero longitudinal separado del bordillo a aproximadamente diez centímetros, con acero número cuatro cada 15 centímetros, dejando al final entre la placa huella y bemacuneta un recubrimiento de 7.5 cm, para el transversal se emplearán barras de aproximadamente 0,6m de numero dos puestas cada quince centímetros, previo al vertimiento del concreto se procede a colocar las formaletas de tal forma que queden firmes y bien ajustada. Se procede a vaciar y vibrar el concreto diseñado para soportar esfuerzos a la comprensión de 210 kg/cm^2.

f) P**iedra pegada.** Una vez fundida y fraguada la placa huella, la riostra y la berma-cuneta, la piedra sajón se coloca sobre la subbase, primero se coloca una pequeña capa de cinco centímetros de concreto directamente sobre la subbase y posteriormente se coloca la piedra bola de forma manual y distribuido de manera uniforme. posterior a esto se vacía concreto simple procurando que se cumpla la relación 40% de agregado ciclópeo y 60% de concreto simple, procurando que la capa quede de manera uniforme

9 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

9.1 CONCLUSIONES

Los métodos de manejo y estabilización de taludes usados ampliamente en el mundo son de gran aplicabilidad en el tramo objeto de estudio, ya que se evidencia acorde al tipo de relieve, clasificación de suelos y sistemas de falla descritos, que pueden ser un gran aporte en el problema que se presenta.

Para búsqueda de la solución a la problemática abordada se optó por realizar un análisis de los diferentes métodos de solución planteados en diferentes trabajos y proyectos para el manejo y estabilidad de taludes y así como la mitigación de los problemas que se derivan de este fenómeno.

En cuanto a la elección de la solución a la problemática se optó por aquellas que fuese viable desde el punto de vista técnico, económico y social.

Con respecto a la identificación y causas de inestabilidad en la vía.

Para la aplicación de cualquier método de solución para el control de inestabilidad en taludes y/o laderas presentadas, se identificaron varios problemas que producen la inestabilidad del área de estudio, así como también las condiciones climáticas, geología y geografía, logrando realizar los análisis pertinentes a las alternativas existentes para poder dar manejo y una solución sea parcial o definitiva al problema.

Se pudo notar en las diferentes inspecciones de campo problemas ocasionados por factores antrópicos y climáticos lo que detonó un serio problema de inestabilidad en las zonas de ladera y en la banca de la vía.

Se identificó que la falta de obras de drenaje en la vía, han ocasionado que las corrientes de agua ocasionen sobre la esta cárcavas, socavación y estancamiento de aguas, provocando saturación en los suelos existentes, según la clasificación de suelos obtenida se encontró que en los suelos presentes en la vía objeto de estudio está conformado por arcillas limosas las cuales tienden a perder su capacidad de soporte cuando en estado de saturación, lo que se deriva en un serio problema de estabilidad para la vía.

En la investigación de campo se constató que, la acción humana en la vía también ha ocasionado problemas de inestabilidad en los taludes y laderas ya que se han realizado una serie de cortes indebidos en el pie de estas, lo cual es un detonante de los problemas erosivos.

Con respecto a la evaluación de alterativas para la estabilidad, manejo de taludes y laderas así como el mejoramiento de la vía.

Para los taludes muy susceptibles, se ha seleccionado el método de revestimiento con fajinas anclad al suelo con especies propias de la región como las descritas en la table 17 en el apartado 8.5.1., sembradas en época previa a la temporada lluviosa y teniendo cuidado de realizar el mantenimiento y cuidados propios de este tipo de solución.

Para el manejo de los taludes, se describen algunas alternativas adicionales que la comunidad debe propender por ejecutar para minimizar los deterioros de algunos taludes, y adicionalmente controlar las excavaciones sobre la parte inferior del talud que pudieran perjudicar la estabilidad de este, así como la ejecución de obras de canalización y/o contención de las pequeños afluentes o escorrentías superficiales.

De igual forma, se propone para mejorar la transitividad del tramo crítico del sector Parranda Seca Corea, construir un mejoramiento vial tipo placa huella acorde a la solución implementada en el manual de “Colombia Rural – INVIAS” del cual se adaptaron los planos tipo de diseño los cuales se anexan como productos de esta investigación.

Para los tramos con pendientes suaves pero que requieran mejoramiento vial, se propone utilizar una estabilización con suelo cemento, con un porcentaje de cemento minimo del 7% pero no mayor al 10% (contenidos mayores al 10% incrementan los costos de implementación de esta solución) mezclado con material del sitio, nivelado y con pendiente transversal para drenaje, lo cual permita mejorar las condiciones de paso de vehículos livianos en los tramos que lo requieran, y se indican cuáles son los procedimientos para su implementación y/o ejecución.

Las soluciones de tipo mezcla asfáltica o pavimento en concreto, no se descartan para el desarrollo de investigaciones o estudios más detallados, estos podrían tener un impacto mayor sin embargo requieren de inversiones cuantiosas las cuales son difíciles de cubrir por estas comunidades ya que han sido olvidades y relegadas con el paso del tiempo

por parte del estado, el cual es un objetivo intrínseco de este Proyecto de investigación; al traer procedimiento innovadores pero sencillos que la misma comunidad o asociaciones veredales puedan ejecutar por sus propios medios.

Para la elección del método de estabilización se optó por separar los métodos de solución en dos problemas específicos, los cuales fueron la inestabilidad de las laderas y la inestabilidad de la vía, ya que este último debía involucrar al menos una solución que contribuya a mejorar el estado de servicio y transitividad de la vía.

Para el análisis de la problemática de estabilidad de taludes se realizó una revisión practica y sistemática de distintos métodos de estabilidad, los cuales fueron analizados desde diferentes enfoques, técnico, ambiental y financiero. Para esto se realizó una búsqueda con la ayuda de diferentes herramientas informáticas, con el fin de conocer proyectos que se hayan implementado de forma exitosa en Colombia, cuyas condiciones fuesen muy parecidas a la del sitio de estudio.

Se realizó un cuadro comparativo en el cual se plantearon ventajas y desventajas de los métodos de solución investigados. En cuanto a la evaluación financiera para la solución a la inestabilidad de la vía, las comparaciones fueron basadas en precios suministrados por el INVIAS a corte del año 2022 de su catálogo de precios, de éste fueron tomados algunos ítems de precios para el análisis económico de las soluciones al fenómeno de inestabilidad, en algunos casos fue necesario referenciarse en proyectos ejecutados entre el año 2020 y 2022 sin embargo el estado del arte permitió conocer algunos costos aproximados, y de esta manera conocer la viabilidad financiera de cada método evaluado. En cuanto a la viabilidad técnica se tuvo en cuenta que estas soluciones garantizaran condiciones de estabilidad y seguridad y que fuesen de fácil implementación por parte de las comunidades. Para la viabilidad ambiental se tuvo en cuenta el impacto que la solución evaluada generara en el ecosistema y biodiversidad de la zona.

Para el diseño del suelo cemento se realizaron ensayos de granulometría, límites de consistencia, y pruebas monotónicas de resistencia, en base a estos se puede concluir que para la estabilización y/o mejoramiento de la vía es necesario que se empleen mezclas de suelo cemento por debajo del diez por ciento (10%) pero no uno inferior al 7% . Por lo anterior una mezcla con contenido de 7% de cemento como minimo sin el uso de aditivos

estabilizantes sería una mezcla ideal para la estabilidad del talud vial. Se recomienda que en la implementación de este método, realice un perfilamiento adecuado a la vía, con un bombeo del dos por ciento, junto con la colocación y/o construcción de canaletas para evacuación de aguas especialmente en el costado donde la vía limita con la ladera o pie del talud.

Si bien en los sitios donde se ha empleado el suelo cemento se puede observar como este presenta una superficie plana y resistente, lo que hace pensar que podría emplearse como capa de rodadura, si bien no existe en Colombia una normativa que lo impida, sin embargo para efectos de durabilidad y mejor servicio se recomienda el uso de una delgada capa de rodadura en material granular superficial.

El diseño de placa huella sugerido por el manual de Colombia rural y el cual ha sido adaptado a las condiciones de la zona de estudio, evitaran el atascamiento de vehículos, grandes socavaciones, entre otras ya que estas contaran con sistemas de bombeo que permitirá la correcta evacuación de las aguas de quebrada y escorrentía, el sistema estructural sugerido para la placa huella permitirá que por estas puedan transitar camiones hasta tipo C3.

9.2 RECOMENDACIONES.

Tener presente para estudios de estabilidad de taludes las condiciones geológicas y climáticas y en especial pensar la manera en cómo se implementaría o construiría en el sitio las soluciones que se evalúen o viabilicen.

Se recomienda siempre tener en cuenta varios métodos y estudiarlos a detalle, con la ayuda de simuladores y/o programas de diseños, así como no escatimar en estudios de suelo requeridos, lo que ayudará a optar por una alternativa confiable, y no proponer un solo método de solución para así tener al menos dos planes de intervención.

Para futuras investigaciones en cuanto al material de suelo cemento, realizar minimo entre cinco y siete mezclas, con una diferencia porcentual menor a las empleadas en esta investigación, con el fin de conocer a profundidad el comportamiento de este material por para la estabilización y/o mejoramiento de vías, en especial las de uso terciario.

De igual forma se sugiere evaluar el comportamiento de la mezcla de suelo cemento con el uso de aditivos para así poder realizar un comparativo del comportamiento de la mezcla con otros productos y de esta forma alcanzar resistencias tempranas. Se puede

proponer una investigación que evalúe este comportamiento atravez del tiempo y en condiciones muy similares a la que se encuentre la vía que se desee intervenir, ya que en el presente trabajo se realizó una evaluación a los siete días y en condiciones controladas.

A futuros estudios que involucren la solución a un problema de una población, realizar un correcto estudio del ambiente, conocer la cultura, idiosincrasia y demás variables que permitan conocer la zona de estudio y que la solución que se aporte en casos de ser ejecutada sea bien recibida por la comunidad, en especial cuando estas gozan de protección especial como es el caso del corregimiento de Siberia, el cual es un sujeto de reparación colectiva por parte del estado.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALCALDIA DE CIENAGA . (29 de JUNIO de 2022). *ALCALDIA DE CIENAGA*. Obtenido de https://www.cienaga-magdalena.gov.co/: https://www.cienaga-magdalena.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx

Arellano Murcia, D. F. (2015). *Rehabilitación de Vías Terciarias con el Sistema de Placa Huella.* Bogotá. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13145/INGENIERIA%20DE%20PAVIMENTOS%20REHABILITACI%c3%93N%20DE%20VIAS%20TERCIARIAS%20CON%20EL%20SISTEMA%20PLACA%20HUELLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Buitrago, L. (2019). *Propuesta para el Mejoramiento de las Vías Terciarias en el Municipio de Sáchica- Boyacá.* Universidad Militar Nueva Granada, Cundinamarca, Bogotá. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32189/BuitragoMedina Luis Felipe2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Mejoramiento de vías terciarias - vías de tercer orden.* Bogotá: DNP.

Fundación Pro sierra Nevada de Santa Marta . (s.f.). *ProSierra*. Obtenido de http://www.prosierra.org/: http://www.prosierra.org/index.php/la-sierra-nevada/la-sierra-parte-1/geografias

Gallardo Amaya, R., & Córdoba Arias, J. A. (2010). *Manage of Gives Uncertainty Gives Taluedes in the Road that Communicates the Populations Gives Samoré (North of Santander) and Cubara (Boyacá); sector vial that corresponds to the axis gives communication Cucuta Arauca, Colombia* . Universidad Francisco de Paula Santander, Universidad Tecnológica del Chocó. Obtenido de https://revistas.utch.edu.co/index.php/revinvestigacion/article/view/314/303

Gallardo Amaya, R., & Córdoba Arias, J. A. (2010). Manejo de Inestabilidad De Taludes En la Via Que Comununica Las Poblaciones De Samoré (Norte de Santander) y Cubará

(Boyacá); Sector Vial Que Corresponde Al Eje De Comunicación Cúcuta - Arauca, Colombia. *nvestigación, Biodiversidad Y desarrollo* , 62.

García, J. (2019). *Estudio de la Técnica de Suelo-Cemento para la Estabilización de Vías Terciarias en Colombia Que Posean un Alto Contenido de Caolín.* Universidad Catolica de Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23731/1/Suelo cemento-Tesis.pdf

Gobierno de España; Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación;. (s.f.). *Caminos Naturales.* Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación secretaría genral técnica, centro de publicaciones.

GRAY, D., & SOTIR, R. (1996). *Biotechnical and soil Bioengineering Slope Stabilization .A Practical Guide.* NEW YORK: John Wiley and Sons.

Gross, J., & Adaska, W. (2020). *Guide to Cement-Stabilized Subgrade Soils. Portland Cement Association, Washington, DC, and National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.* Washington DC. Obtenido de https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sr1007p-guide-to-cement-stabilized-subgrade-soils.pdf?sfvrsn=8656fdbf_2

Hernandez, A. C. (2021). *Análisis integral de las alternativas técnicas para el mejoramiento de las vías terciarias en las zonas de ladera de los municipios de la antigua zona de distención en el departamento del Meta.* Universidad Santo Tomás, Villavicencio. Obtenido de http://hdl.handle.net/11634/34383

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. (2020). *Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales.* Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación. España: Secretaria General Técnica Centro de Publicaciones. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/

Morales Muñoz, B. O. (2012). *Metodología de Estabilización de Taludes de Carreteras.* Pontificia Universidad Catolica del Ecuador, Quito. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7878

Navarrete, D., & Duarte, C. (2020). *Propuesta Técnica Para el Mejoramiento de la Vía Terciaria, Localizada Entre el barrio Villa Paúl y la Vereda La Punta, En El*

Municipio De Funza, Cundinamarca. Universidad Catolica de Colombia, Cundinamarca, Bogotá. Obtenido de TG_Propuesta_Tecnica_Villa-Paul_La-Punta.pdf (ucatolica.edu.co)

Ordóñez Gonzalez, M. A. (2021). *Alternativas Para el Mejoramiento de Vías Terciarias en Putumayo.* Universidad de los Andes. Bogotá: Uniandes. Obtenido de uniandes: http://hdl.handle.net/1992/55495

Programa colombia Rural. (2020). *Cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural.* Medellin: Universidad De Medellin - Centro de Comunicación Gráfica Publicitaria - Invitro.

Reyes, Y. (2019). *Analisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetación.* Tesis de grado, Universidad pedagogica y tecnologica de Colombia, Tunja. Obtenido de http://hdl.handle.net/11634/34383

Reyes, Y. (2019). *Análisis de Estabilidad de Taludes Aplicando Diferentes Técnicas de Revegetalización.* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

Robert, J., & Soto, J. (2011). *Protección y estabilización de taludes para evitar deslizamientos.* Valvdivia: Universidad Austral de Chile.

Romero Castro, D. A., & Galviz Rojas, W. (2015). *Viabilidad de la Implementación de Fajinas para la Estabilización de Taludes en Colombia.* Universidad Catolica de Colombia. Bogotá: universidad catolica. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1703/1/ESTUDIO%20DE%20VIABILIDAD%20T%C3%89CNICA%20DE%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DEL%20POLIETILENO%20TEREFTALATO%20COMO%20MATERIAL%20PARA%20ESTABILIZACI%C3%93N%20DE%20TALUD~1.pdf

Sanchez Sierra, M. Á., & Paredes Quiroga, P. A. (2014). *Estudio de Viabilidad Técnica de la Implementación del Polietileno Tereftalato Como Material para Estabilización de Taludes.* Bogotá: Universidad Catolica. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1703/1/ESTUDIO%20DE%20VIABILIDAD%20T%C3%89CNICA%20DE%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DEL%20POLIETILENO%20TEREFTALATO%20COMO%20MATERIAL%20PARA%20ESTABILIZACI%C3%93N%20DE%20TALUD~1.pdf

Soto, A., & Robert, J. (2011). *Protección y Estabilización de Taludes para Evitar Deslizamientos.* Universidad Austral de Chile, Chile, Valdivia. Obtenido de http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcij.65p/doc/bmfcij.65p.pdf

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales.* Bucaramanga: Publicaciones UIS (Universidad Industrial de Santander).

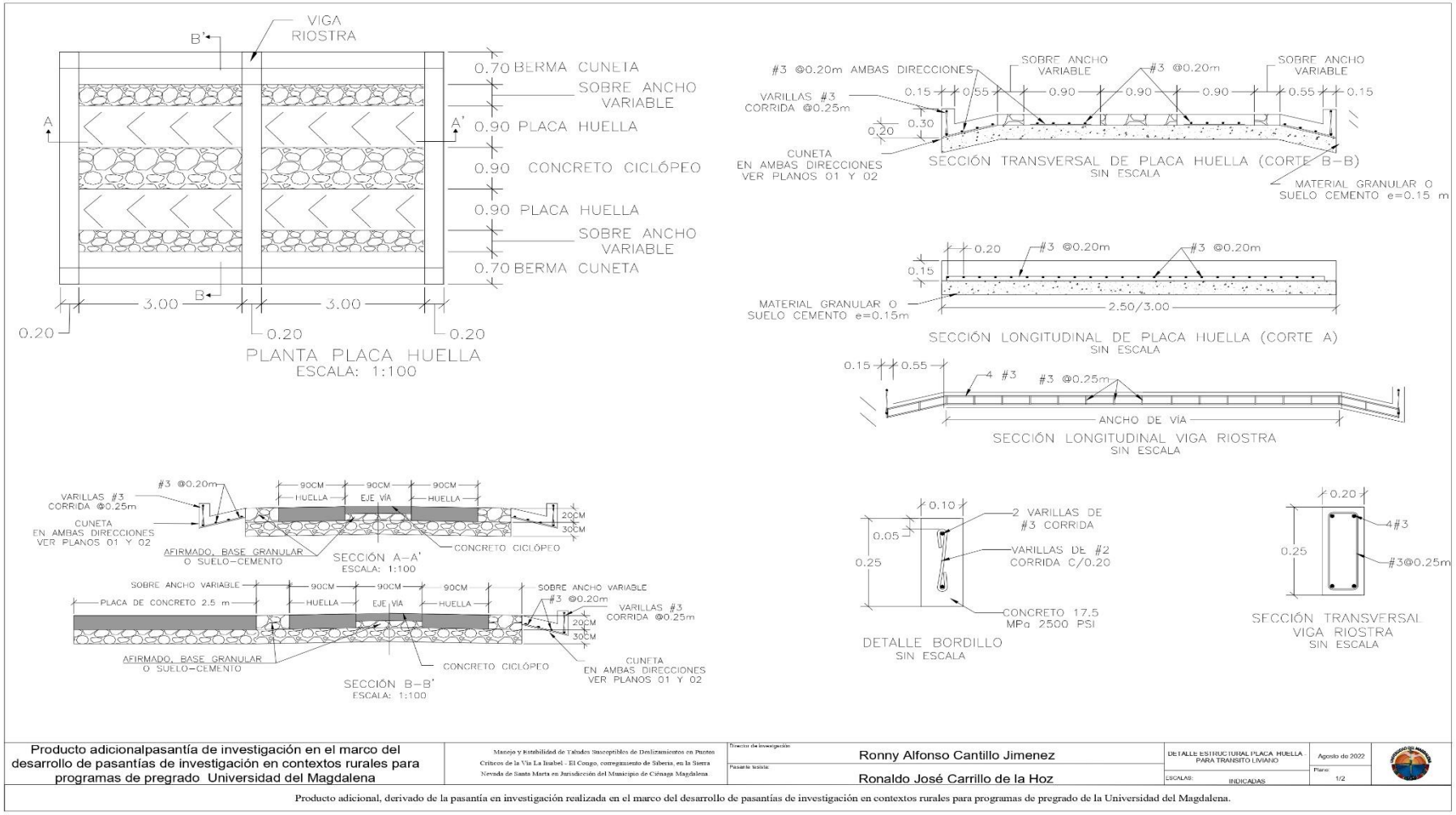
Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de los Taludes en Zonas Tropicales.* Bucaramanga: Publicaciones UIS (Universidad Industrial de Santander).

TORO, J. R. (2019). ESTABILIZACIÓN, STUDIO DE LA TÉCNICA DE SUELO-CEMENTO PARA LA. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías ;. (octubre de 2006). *Manual para la inspección visual de obras de estabilización.* Bogotá.

Universidad Nacional de Colombia ; Instituto Nacional de Vías. (octubre de 2006). *Manual para la inspección visual de obras de estabilización.* Bogotá.

Anexo 1. Plano de detalle y especificaciones



Anexo 2. Plano de detalle y estructura.

CON MATERIAL GRANULAR

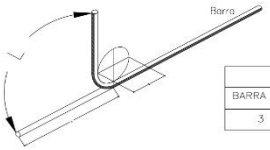
LONGITUD DE LA PLACA (m)	ESPESOR DE LA PLACA	BARRA #	SEPARACIÓN ENTRE BARRAS	CONCRETO PLACAS (m3)	ACERO DE REFUERZO (KG)	CONCRETO CICLÓPEO (m3)	MATERIAL GRANULAR O SUELO CEMENTO (m3)
3	0.15	4	0.15	51	3024	13	130
	0.20	4	0.20	60	2745	13	130

CANTIDADES DE OBRA POR CADA 100 m DE VÍA (ANCHO DE BANCA 4.3 m)	
CONCRETO F'c=21 Mpa (m3)	57.0
CONCRETO CICLÓPEO (m3)	13.0
ACERO DE REFUERZO (kg)	2625
MATERIAL GRANULAR COMPACTADO O SUELO CEMENTO (m3)	65

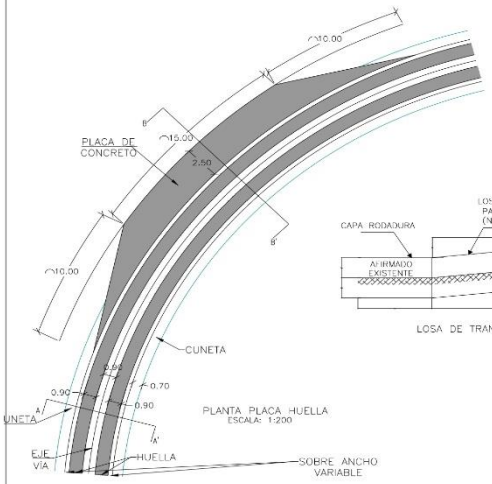
SIN MATERIAL GRANULAR

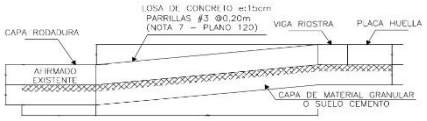
LONGITUD DE LA PLACA (m)	ESPESOR DE LA PLACA	BARRA #	SEPARACIÓN ENTRE BARRAS	CONCRETO PLACAS (m3)	ACERO DE REFUERZO (KG)	CONCRETO CICLÓPEO (m3)
3	0.15	5	0.10	51	4579	13
	0.20	5	0.20	60	3244	13

GANCHO A 135°



DETALLES GENERALES – REFUERZO LONGITUDINAL				
BARRA NO.	LONGITUD TRASLAPO (m)	L (m)	D (m)	PESO (kg/m)
3	0.54	0.16	0.06	0.56





LOSA DE TRANSICIÓN EN CORTE LONGITUDINAL

NOTAS

1. EL CONCRETO PARA LA BERMA CUNETA, VIGAS RIOSTRA Y EN LOS RIELES O PLACAS HUELLAS TENDRÁ UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE 21 MPA, Y DEBERÁ CUMPLIR LAS EXIGENCIAS DEL ARTÍCULO INV–630–13 DE LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DEL INVIAS.
2. EL CONCRETO CICLÓPEO TENDRÁ UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE 14 MPA Y DEBERÁ CUMPLIR LAS EXIGENCIAS DEL ARTÍCULO INV–630–13 DE LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DEL INVIAS.
3. EL ACERO DE REFUERZO DE LAS ESTRUCTURAS Y LA PLACAS DEBERÁ TENER UN FY=420 MPA Y ATENDERÁ TODOS LOS REQUERIMIENTOS DEL ARTÍCULO INV–640–13 DE LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DEL INVIAS.
4. EL SUELO CEMENTO DEBERÁ TENER UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA SUPERIOR A 3 MPA A LOS 7 DÍA DE CURADO Y DEBERÁ CUMPLIR LAS CUMPLIR LAS EXIGENCIAS DE LOS ARTÍCULOS INV–350–13 DE LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DEL INVIAS.
5. LOS MATERIALES DE BASE GRANULAR, SUBBASE GRANULAR O AFIRMADO DEBERÁN CUMPLIR LAS EXIGENCIAS DE LOS ARTÍCULOS INV–330–13, INV–320–13 E INV–311–13 DE LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DEL INVIAS.
6. PARA EL SELLO DE LAS JUNTAS ENTRE PLACAS HUELLAS SE EMPLEARÁ MATERIAL ASFÁLTICO O PREMOLDEADO, CUYAS CARACTERÍSTICAS SE ESTABLECEN EN LAS ESPECIFICACIONES AASHTO M–89, M–33, M–153 Y M–30.
7. TANTO AL INICIO COMO AL FINAL DE LOS TRAMOS DEL PROYECTO PARA CONSTRUCCIÓN DE PLACA HUELLA SE DEBE GENERAR UN ÁREA DE TRANSICIÓN DEL SUELO A LA ESTRUCTURA RÍGIDA. PARA ESTOS CASOS EL CONSTRUCTOR DEBERÁ CONSIDERAR UN TRATAMIENTO ESPECIAL QUE PUEDE CONSISTIR EN LA ESCARIFICACIÓN Y COMPACTACIÓN ADICIONAL, CUANDO SE TRATA DE MATERIALES GRANULARES COMO AFIRMADOS O SUBBASES, O DE LA CONFORMACIÓN DE UN REEMPLAZO DE MATERIAL GRANULAR COMPACTADO CON UN ESPESOR MÍNIMO DE 0.15 M EN LAS ZONAS EN CONTACTO POR FUERA DE LA PLACA HUELLA. ESTE TRATAMIENTO SE DEBE REALIZAR EN UNA LONGITUD DE AL MENOS 2 M.
8. PARA GARANTIZAR EL CUMPLIMIENTO DE LA VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, ES NECESARIO EJECUTAR LABORES PERIÓDICAS DE MANTENIMIENTO, ENMARCADAS EN LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES.

8.1. LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE DE RODADURA: REMOCIÓN DE ESCOMBROS, MATERIAL VEGETAL, SUSTANCIAS LÍQUIDAS Y DERRUMBES.
8.2. REALIZACIÓN DE BACHEOS, PARCHEOS Y SELLADO DE FISURAS SUPERFICIALES.
8.3. MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL.
8.4. LIMPIEZA DE CUNETAS Y ALCANTARILLA.

SIN ESCALA

Producto adicionalpasantía de investigación en el marco del desarrollo de pasantías de investigación en contextos rurales para programas de pregrado Universidad del Magdalena	Manejo y Estabilidad de Taludes Susceptibles de Deslizamientos en Puntos Críticos de la Vía La Isabel - El Congo, corregimiento de Sibaria, en la Sierra Nevada de Santa Marta en Jurisdicción del Municipio de Ciénaga Magdalena.	Director de investigación: Ronny Alfonso Cantillo Jimenez Pasante tesista: Ronaldo José Carrillo de la Hoz	DETALLE Y ESPECIFICACIONES PLACA HUELLA HUELLA - PARA TRANSITO LIVIANO ESCALAS: INDICADAS	Agosto de 2022 Plano: 2/2	

Producto adicional, derivado de la pasantía en investigación realizada en el marco del desarrollo de pasantías de investigación en contextos rurales para programas de pregrado de la Universidad del Magdalena.