

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA  
HIDRÁULICA Y TALUDES DE LA RED VIAL SECUNDARIA DEL TRAMO SAN  
JOAQUÍN – ALCALÁ, SECTOR PEREIRA

Auxiliares de investigación

ANDRÉS FELIPE ARIAS BERMÚDEZ  
DIEGO JULIÁN BORBÓN SEPÚLVEDA  
JONATHAN HOYOS CATAÑO  
DIEGO ANDRÉS MONTOYA GUANA

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL  
PEREIRA, RISARALDA  
2017

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA  
HIDRÁULICA Y TALUDES DE LA RED VIAL SECUNDARIA DEL TRAMO SAN  
JOAQUÍN – ALCALÁ, SECTOR PEREIRA

Auxiliares de investigación

ANDRÉS FELIPE ARIAS BERMÚDEZ  
DIEGO JULIÁN BORBÓN SEPÚLVEDA  
JONATHAN HOYOS CATAÑO  
DIEGO ANDRÉS MONTOYA GUANA

Investigador principal  
Ingeniero Alejandro Álzate Buitrago

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL  
PEREIRA, RISARALDA

2017

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

JURADO

---

JURADO

---

Pereira, julio del 2017

## DEDICATORIA

*Dedicamos este trabajo de grado a nuestros padres, porque fueron las personas que nos motivaron cada día a seguir adelante en esta meta, fueron las personas con quien siempre contamos, y siempre estuvieron a nuestro lado apoyándonos, y ha no renunciar en los momentos más difíciles.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios quien nos dio la suficiente fuerza y sabiduría para seguir en este largo camino.

A nuestros profesores que compartieron su conocimiento y que hoy eso permite alcanzar este logro de ser profesionales.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
5. MARCO REFERENCIAL .....	25
5.1 MARCO TEÓRICO .....	25
5.1.1 Criterios de diseño.....	25
5.1.2 Criterios de diseño hidrológico.....	26
5.1.3 Criterios hidráulicos .....	26
5.1.4 Control de agua superficiales. ....	26
5.1.4.1 Drenaje longitudinal.....	27
5.1.4.2 Drenaje transversal.....	27
5.1.5 Taludes.....	27
5.1.5.1 Inestabilidad de taludes .....	27
5.1.6 Tipos de movimiento.....	28
5.2 ANTECEDENTES.....	29
5.2.1 Relación de otros estudios referentes.....	35
5.2.2 Intervenciones técnicas en la vía de estudio. ....	36

5.3	MARCO LEGAL.....	38
5.4	MARCO CONCEPTUAL.....	39
6.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	44
6.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
6.2	MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO .....	45
6.3	FASES Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	46
7.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	48
7.1	INVENTARIO DE TALUDES Y PASOS DE AGUA, DE LA RED VIAL SECUNDARIA DEL TRAMO SAN JOAQUÍN – ALCALÁ, SECTOR PEREIRA..	48
7.1.1	Caracterización taludes. ....	49
7.1.1.1	Caracterización de los taludes .....	52
7.1.2	Caracterización de pasos de agua .....	59
7.2	EVALUACIÓN DEL ESTADO, CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO, TIPOLOGÍAS, PATOLOGÍAS Y FUNCIONALIDAD DE LOS PASOS DE AGUA EXISTENTES EN EL TRAMO VIAL SAN JOAQUÍN-ALCALÁ, SEGÚN LA METODOLOGÍA Y FICHAS TÉCNICAS DEL INVIAS. ....	77
7.2.1	Fracturas o desprendimientos. ....	78
7.2.2	Exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería.....	79
7.2.3	Socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solado y/o muro cabezal .....	79
7.2.4	Mantenimiento inadecuado.....	80
7.2.4.1	Invasión de maleza.....	80
7.2.4.2	Acumulación de escombros.....	81
7.2.4.3	Acumulación de basuras .....	82

7.2.4.4 Acumulación de tierra .....	83
7.2.4.5 Análisis de impacto del mal mantenimiento de los pasos de agua .....	84
7.2.5 Análisis de los resultados. ....	85
7.3 EVALUACIÓN GENERAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TALUDES OBJETO DE ESTUDIO Y RELACIÓN CON SU POTENCIAL ESTABILIDAD, EN TRAMO VIAL PEREIRA-ALCALÁ.....	86
7.4 PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN NECESARIAS PARA IMPLEMENTARSE EN LOS DIFERENTES PASOS DE AGUA Y TALUDES EVALUADOS .....	126
7.4.1 Mantenimiento y mitigación pasos de agua .....	129
7.4.2 Procesos de mitigación y estabilización de los taludes objeto de estudio .....	131
7.4.3 Construcción de obras de mitigación .....	131
7.4.3.1 Modificación de la geometría del talud. ....	132
7.4.3.2 Abatimiento de taludes por corte. ....	133
7.4.3.3 Construcción de drenajes para el manejo de aguas superficiales .....	134
7.4.3.4 Drenaje superficial. ....	134
7.4.3.5 Obras de bioingeniería para la protección y control de la erosión .....	137
7.4.4 Presupuesto total para los 8 taludes.....	138
8. CONCLUSIONES .....	140
9. RECOMENDACIONES.....	141
10. BIBLIOGRAFÍA.....	144

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Referente de antecedentes de estudios a nivel internacional .....	35
Tabla 2. Referente de antecedentes de estudios a nivel nacional .....	35
Tabla 3. Fase 1 de la investigación.....	46
Tabla 4. Fase 2 de la investigación.....	46
Tabla 5. Fase 3 de la investigación.....	47
Tabla 6. Fase 4 de la investigación.....	47
Tabla 7. Caracterización general de taludes vía San Joaquín – Alcalá sector Pereira .....	50
Tabla 8. Elementos detonantes y contribuyentes .....	51
Tabla 9. Caracterización general de los pasos de agua en la vía San Joaquín - Alcalá .....	61
Tabla 10. Tipo de entrega.....	74
Tabla 11. Características de la tubería .....	76
Tabla 12. Características de la fractura paso de agua con fracturas o desprendimientos.....	78
Tabla 13. Socavación del concreto en encofe .....	79
Tabla 14. Invasión de maleza .....	80
Tabla 15. Acumulación de escombros .....	82
Tabla 16. Acumulación de basuras pasos de agua .....	82
Tabla 17. Acumulación de tierra en pasos de agua .....	84
Tabla 18. Drenajes impactados por mal mantenimiento .....	85
Tabla 19. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 1. ....	87
Tabla 20. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). ....	88
Tabla 21. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 1.....	88
Tabla 22. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (LP) talud 1.....	89

Tabla 23. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 1.....	90
Tabla 24. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 1. ....	90
Tabla 25. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 1.....	90
Tabla 26. Resultados de prueba de laboratorio de densidad suelo húmedo talud 1 .....	90
Tabla 27. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 1 .....	91
Tabla 28. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 1...91	
Tabla 29. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 2. ....	91
Tabla 30. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). ....	92
Tabla 31. Pruebas de laboratorio Límite Líquido (LL) talud 2.....	93
Tabla 32. Resultados prueba de laboratorio Límite Plástico (LP) talud 2.....	94
Tabla 33. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 2.....	94
Tabla 34. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 2. ....	95
Tabla 35. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 2.....	95
Tabla 36. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 2...95	
Tabla 37. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 2 .....	95
Tabla 38. Densidad muestra de suelo seco talud 2. ....	96
Tabla 39. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 3. ....	96
Tabla 40. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). ....	97
Tabla 41. Pruebas de laboratorio Límite Líquido (LL) talud 3.....	97
Tabla 42. Resultados prueba de laboratorio Límite Plástico (Lp) talud 3. ....	98
Tabla 43. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 3.....	99
Tabla 44. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 3. ....	99
Tabla 45. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 3.....	99
Tabla 46. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 3..	100

Tabla 47. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 3 .....	100
Tabla 48. Densidad muestra de suelo seco talud 3. ....	100
Tabla 49. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 4. ....	101
Tabla 50. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). .....	102
Tabla 51. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 4 .....	103
Tabla 52. Valores límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 4.....	104
Tabla 53. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 4. ....	104
Tabla 54. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 4.....	104
.Tabla 55. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 4	104
Tabla 56. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 4 .....	105
Tabla 57. Densidad muestra de suelo seco talud 4. ....	105
Tabla 58. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 5. ....	105
Tabla 59.Tabla 59. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). ....	106
Tabla 60. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LI) talud 5.....	107
Tabla 61.Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 5 .....	108
Tabla 62.Valores límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 5.....	108
Tabla 63.Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 5. ....	109
Tabla 64. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 5.....	109
Tabla 65.Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 5..	109
Tabla 66. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 5 .....	109
Tabla 67. Densidad muestra de suelo seco talud 5. ....	110
Tabla 68.Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 6. ....	110
Tabla 69.Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). .....	111
Tabla 70.Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 6.....	112
Tabla 71.Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 6 .....	113

Tabla 72. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 6.....	113
Tabla 73. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 6. ....	114
Tabla 74. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 6.....	114
Tabla 75. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 6. ....	114
Tabla 76. Muestra de suelo seco talud 6. ....	115
.Tabla 77. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 7 .....	115
Tabla 78. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). .....	116
Tabla 79. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 7.....	116
Tabla 80. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 7 .....	117
Tabla 81. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 7.....	118
Tabla 82. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 7. ....	118
Tabla 83. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 7.....	118
Tabla 84. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 7. ....	119
Tabla 85. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 7 .....	119
Tabla 86. Tabla 87. Densidad muestra de suelo seco talud 7. ....	119
Tabla 87. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 8. ....	119
Tabla 88. Tabla 89. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). ....	120
Tabla 89. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 8.....	121
Tabla 90. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 8 .....	122
Tabla 91. T Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 8.....	122
Tabla 92. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 8. ....	122
Tabla 93. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 8.....	123
Tabla 94. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 8. ....	123
Tabla 95. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 8 .....	123
Tabla 96. Densidad muestra de suelo seco talud 8. ....	123

Tabla 97. Resumen general de las propiedades físicas obtenidas.....	124
Tabla 98. Presupuesto medidas de mitigación pasos de agua.....	131
Tabla 99. Presupuesto total intervención taludes .....	138

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Potenciales causas de inestabilidad taludes tramo San Joaquín – Alcalá Municipio de Pereira .....	58
Gráfica 2. Tipo de entrega pasos de agua .....	75
Gráfica 3. Numero de pasos de agua con socavación del concreto en encole.....	79
Gráfica 5. Estructuras averiadas en encole con socavación.....	80
Gráfica 5. Invasión de maleza en pasos de agua .....	81
Gráfica 6. Acumulación de escombros pasos de agua .....	82
Gráfica 7. Acumulación de basura en las infraestructuras de los pasos de agua..	83
Gráfica 8. Acumulación de tierra en la infraestructura de los pasos de agua .....	84
Gráfica 9. Estado de los drenajes por mal mantenimiento.....	85
Gráfica 10. Curva granulometría talud 1.13 .....	87
Gráfica 11. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	89
Gráfica 12. Resultados granulometría talud 2.....	92
Gráfica 13. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	93
Gráfica 14. Resultados granulometría talud 3.....	96
Gráfica 15. Determinación del límite liquido en la curva de flujo talud 3 .....	98
Gráfica 16. Resultados granulometría talud 4.....	101
Gráfica 17. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	103
Gráfica 18. Resultados granulometría talud 5.....	106
Gráfica 19. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	107
Gráfica 20. Resultados granulometría talud 6.....	111
Gráfica 21. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	112
Gráfica 22.Resultados granulometría talud 7.....	115
Gráfica 23. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	117
Gráfica 24.Resultados granulometría talud 8.....	120
Gráfica 25. Determinación del límite liquido en la curva de flujo.....	121

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Talud No 1. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	52
Figura 2. Talud No 2. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	53
Figura 3. Talud No 3. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	53
Figura 4. Talud No 4. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	54
Figura 5. Talud No 5. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	54
Figura 6. Talud No 6. Tramo San Joaquín – Alcalá en el Municipio de Pereira.....	55
Figura 7. Talud No 7. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	55
Figura 8. Talud No 8. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira.....	56
Figura 9. Causas potenciales inestabilidad de los taludes tramo San Joaquín -Alcalá .....	57
Figura 10. Drenaje en la vía de inspección.....	59
Figura 11. Paso de Agua 5. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira .....	69
Figura 12. Paso de Agua 10. Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	70
Figura 13. Paso de Agua 20 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	70
Figura 14. Paso de Agua 30 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	71
Figura 15. Paso de Agua 40 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	72
Figura 16. Paso de Agua 55 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	73
Figura 17. Paso de Agua 56 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	73
Figura 18. Paso de Agua 62 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira .....	74

Figura 19. Drenaje .....	75
Figura 20. Fracturas paso de agua ubicado en N 4° 45' 00.463" W 75° 46' 35.773". .....	78
Figura 21. Invasión de maleza pasos de agua vía San Joaquín - Alcalá .....	81
Figura 22. Acumulación de basuras en pasos de agua vía San Joaquín - Alcalá .	83
Figura 23. Esquema de proyección de cambio de pendiente de un talud.....	132
Figura 24.Cuneta trapezoidal.....	135
Figura 25.Contra cunetas típicas .....	136
Figura 26. Caja generando cambio de dirección de agua.....	136
Figura 27. Técnica rociada hidrosiembra en talud .....	138

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo entrega los resultados del diagnóstico del estado de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín–Alcalá, ubicado en el sur occidente de la ciudad de Pereira, en un tramo de intervención de 14,9 kilómetros, donde se pudo identificar y fueron objeto de análisis 8 taludes y 66 pasos de agua de alcantarilla simple circulares.

La vía Pereira–Alcalá, es una tramo vial que ha venido mostrando un deterioro progresivo especialmente después del corregimiento de Morelia, donde además de los huecos en la carretera, se puede apreciar la falta de cunetas, demasiadas curvas donde la malla vial está acabada y sectores muy angostos; situaciones que se agravan por el alto tránsito de vehículos pesados, que tienen esta vía como alternativa para llegar a los departamentos del Valle del Cauca y Quindío, obviando un par de peajes, además del alto flujo vehicular con turistas que utiliza esta vía para llegar al parque temático Panaca de Quimbaya y al parque del Café de Montenegro.

Para alcanzar el objetivo de análisis y diagnóstico de los taludes y pasos de agua se ajustó un formato acorde al manual de INVIAS, que permitió la caracterización de las obras de pasos de agua existentes en el tramo vial objeto del diagnóstico, estos factores permitieron determinar la metodología más adecuada según la inspección visual realizada como salida piloto. Para el diagnóstico del estado de los taludes se empleó un formato basado en el manual de INVIAS para la estabilización de taludes basado en la inspección visual de cada talud existente y posteriormente se realizó la toma de especímenes de suelo en cada talud para finalmente realizar los ensayos de laboratorio (granulometría, contenido de humedad, densidad y límites LL y LP) necesarios para realizar en diagnóstico de los mismos y poder obtener los resultados, con los cuales se pudo hacer el diagnóstico y análisis, base fundamental para impartir las recomendaciones adecuadas para el mejoramiento

de tramo de la vía Pereira-Alcalá sector Risaralda. Cada una de estas fases se presenta en el presente documento como un capítulo individual, con los respectivos análisis y cálculos.

Con base a los resultados obtenidos se logró identificar que existe un área de 8673,49 M2 de taludes afectados por amenaza de fenómenos de remoción en masa (FRM), y que se centra en erosión superficial, donde los signos de inestabilidad predominantes en los taludes son Grietas de tensión en corona, Presencia de negativos (concavidades), Presencia de surcos o carcavamientos, socavación de bases.

La base de los resultados fortalece las investigaciones realizadas por la Universidad Libre de Pereira dentro del semillero de investigación, que contribuye a los procesos de planificación de obras de los entes territoriales locales, de igual forma el referente académico permitirá contribuir a futuros estudios para aplicar la metodología empleada en otros tramos viales del departamento.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

La estabilidad de los taludes y los inadecuados controles de flujo de agua en las carreteras son uno de los mayores problemas que se presentan en el diseño y mantenimiento de las mismas en nuestro país, que muestran sus efectos especialmente en las temporadas de invierno. En Colombia cada temporada invernal deja daños cuantiosos en infraestructura vial y vidas humanas, siendo el informe más reciente de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) que entregó datos de la primera temporada de lluvias del año 2017 (marzo 17– mayo 17) donde han resultado afectadas 254 vías a nivel nacional, 87 puentes vehiculares y peatonales presentan averías y 57 acueductos municipales registraron daños en sus sistemas,

El panorama descrito es una consecuencia del mal estado de los taludes, y los drenajes de aguas que hacen parte de la malla vial del país donde los problemas que pueden presentar estas estructuras son, en su gran mayoría, los deslizamientos, meteorización, erosión y hundimiento, siendo el problema de deslizamiento el más grave de todos. La problemática erosiva que genera el agua y su capacidad de remover y transportar materiales sueltos de la superficie de los suelos, causando daños graves en las vías y por supuesto a las personas y vehículos que por ella transita.

En el caso concreto de este estudio en el municipio de Pereira se ha identificado un tramo vial que permite la conectividad de tres departamentos Risaralda, Valle del Cauca y Quindío, ha adquirido importancia en cuanto a su flujo vehicular y que merece que sea analizada en cuanto al estado de los taludes y drenajes para poder contar con información que permita la implementación de planes de mantenimiento, rediseño y control que eviten desastres en un futuro, siendo esta el tramo vial San Joaquín – Alcalá sector Pereira, que por su trayectoria vial aporta al desarrollo

económico de la región, por ella se transportan los diferentes productos agropecuarios de los productores de la zona, además aporta al desarrollo turístico, toda vez que es una vía visitada y transitada por sus paisajes, convirtiendo a este corredor vial en uno de importancia para el departamento de Risaralda.

Como vía secundaria y su ubicación geográfica, caracterizada por la presencia de la cordillera de los Andes, está sujeta a problemas topográficos y condiciones climáticas, que generan entre otros, que el agua de escorrentía genere socavaciones en la estructura de comunicación, inestabilidad en los terrenos por donde están trazadas las vías sobre todo en aquellas construidas antes del año 1996, requiriendo de un control puntual para los pasos de agua y las obras transversales complementarias de las vías y taludes.

Poder Caracterizar el estado de los taludes, y los pasos de agua de este tramo vial permitirá contar con un insumo técnico, que contenga una base de información para la secretaria de obras de la alcaldía de la ciudad de Pereira, que les permita diseñar planes de mantenimiento preventivo que puedan disminuir posibles derrumbes en épocas de invierno, mitigar desastres ambientales por erosión constante en una zona rural de orientación agrícola.

### **Pregunta de investigación**

¿Cuál es el estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira?

### 3. JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento del estado de la malla vial es una actividad prioritaria dentro de cualquier administración municipal o departamental, entre los elementos estructurales que requieren especial atención se encuentran los taludes y drenajes de agua que se encuentran a lo largo de las vías; esto dado la importancia que ellos adquieren por ser las principales estructuras que evitan los deslizamientos de tierra y disminuyen los problemas de erosión en las pendientes, que rodean la malla vial nacional. Pero a pesar de la importancia que representan estas estructuras, las administraciones municipales o departamentales se orientan más a la inversión en el mantenimiento del estado asfáltico o de concreto de las carreteras, dejando a un lado el seguimiento y control de los taludes y pasos de agua.

La situación antes descrita se evidencia en el trayecto San Joaquín- Alcalá donde por la importancia que este corredor vial ha adquirido, las autoridades municipales y departamentales han ejecutado obras desde al año 2012, todas orientadas a la recuperación de la capa asfáltica de la vía y parcheo de pavimentos, siendo las obras más destacadas las realizadas en el año 2012, con una inversión de 2000 millones de pesos donde se intervino el tramo entre el corregimiento de Altagracia y Morelia<sup>1</sup> y la más recientes en el año 2015 donde se invirtieron \$7.385 millones en la recuperación del tramo San Joaquín-La Iglesia-río Barbas, y el sector de La Palmilla y la Estrella<sup>2</sup>, donde no se evidenció una intervención directa en los taludes y pasos de agua.

---

<sup>1</sup> EL DIARIO. Peaje en vía Pereira- Alcalá, no suena en la comunidad.2017 [En línea] Disponible en < <http://www.eldiario.com.co/seccion/LOCAL/peaje-en-v-a-pereira-alcal-no-suena-en-la-comunidad1702.html>.> [Citado el: 9 de marzo de 2017.]

<sup>2</sup> CIUDAD REGIÓN. 2014. 1.000 metros de la vía Pereira - Alcalá ya han sido reparados.2014 [En línea] Disponible en < [http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados\\_1408937660](http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados_1408937660)> [Citado el: 20 de enero de 2017.]

La revisión de antecedentes de esta investigación no evidencio una intervención de mantenimiento programada para las estructuras de taludes y pasos de agua, por las autoridades municipales o departamentales, tampoco se registra un estudio del estado de los mimos, es por ello que esta investigación orienta su esfuerzo a Diagnosticar el estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín–Alcalá, sector Pereira, por la importancia de este tramo vial en la comunicación del departamento de Risaralda con los departamentos del Valle del Cauca y Quindío, además de que se ha convertido en un corredor turístico para los visitantes que llegan al eje cafetero impulsados por la declaratoria de Patrimonio de la Humanidad a esta zona del país.

Lograr establecer el estado de los taludes y pasos de agua en el tramo San Joaquín–Alcalá, del sector Pereira es una contribución a las secretarías de infraestructura tanto del departamento como de la alcaldía para que tengan un insumo con información técnica valida, producto de un proceso metodológico bajo los requerimientos de las indicaciones de INVIAS, para que puedan ser utilizados en los procesos de planeación presupuestal y acciones para la ejecución de las obras que se requieran para sus reparaciones y posteriores procesos de mantenimiento.

Contar con un diagnóstico del estado de los taludes y pasos de agua del tramo vial de estudio beneficiaria a la comunidad que lo rodea y los usuarios; en la medida que permitiría disminuir los riesgos de deslizamientos, bloqueos de la carretera, mayor deterioro de los pavimentos y contribuiría a la disminución del impacto negativo ambiental de la erosión en una zona de vocación agrícola.

Otros aspectos que dan mayor pertinencia a este estudio es el beneficio económico que este representa , dado que, para el Gobierno Nacional, la evaluación del estado de la infraestructura implica costos que en muchas ocasiones no hacen parte de la prioridad de los presupuestos gubernamentales, el diagnóstico de la vía es una

herramienta del estudio previo, documento primordial para cualquier intervención en la infraestructura vial, encontrando en la academia un aporte investigativo y económico para este tipo de proyectos.

Para la Universidad Libre Seccional Pereira, este proyecto tiene gran relevancia, hace parte de un semillero de investigación, además relaciona la academia con la práctica profesional, enfrentando al estudiante a la realidad; proporcionando el apoyo de un docente investigador y los recursos existentes en la institución.

## **4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar el estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Realizar el inventario de taludes y pasos de agua, de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.

Evaluar el estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua existentes en el tramo vial San Joaquín-Alcalá, según la metodología y fichas técnicas del INVIAS.

Evaluar en laboratorio el estado y condición de estabilidad de los taludes más críticos del tramo vial San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.

Proponer las medidas de mitigación necesarias para implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen diferentes aspectos teóricos, los cuales son de gran importancia dentro de la caracterización y diagnóstico de los pasos de agua y taludes, para lo cual es necesario conceptualizar sobre criterios de diseño, métodos para la recolección de información y el posterior análisis.

**5.1.1 Criterios de diseño.** Los criterios de diseño de pasos de agua son los que permiten determinar la metodología más adecuada para la toma de la información, objetivo del estudio y los resultados encontrados del estado actual de las obras transversales de la vía Pereira-Alcalá Sector Risaralda. Se deben definir criterios según al manual INVIAS para el diseño del formato para la caracterización de las obras de pasos de agua existentes en el tramo vial objeto del diagnóstico, estos factores permiten determinar la metodología más adecuada según la inspección visual realizada como salida piloto. Los segundos se basan en el diagnóstico del estado actual de los taludes mediante el diseño de un formato basado en el manual de INVIAS para la estabilización de taludes basado en la inspección visual de cada talud existente y posteriormente realizando la toma de especímenes de suelo en el talud para finalmente realizar los ensayos de laboratorio necesarios para realizar en diagnóstico de los mismos y poder obtener unos resultados finales esperados, con los cuales se ejecuta un análisis de resultados y poder impartir las recomendaciones adecuadas para el mejoramiento de tramo de la vía Pereira-Alcalá sector Risaralda.

**5.1.2 Criterios de diseño hidrológico.** De acuerdo a Vélez y otros el principal criterio para el diseño hidrológico corresponde a la definición de los períodos de retorno, sin que exista una normatividad que defina dichos períodos, siendo las entidades o el profesional quien los define de acuerdo a la experiencia. Para los proyectos viales, por lo general se realizan los cálculos para los periodos de 10, 25, 50, 100 y 200 años, partiendo de estimar el caudal máximo y definiendo las zonas de inundación asociadas a cada uno de los períodos de retorno. Con esta información es posible decidir frente al retorno para cada obra. Para las obras mayores se propone un período de 200 años, argumentado en su alto costo, para las obras menores se plantea un período de retorno de 25 años, para las obras atípicas depende del costo y vida útil de la misma<sup>3</sup>.

**5.1.3 Criterios hidráulicos.** Según Vélez y otros autores los principales criterios de diseño hidráulico que deben ser considerados comprenden:

El alineamiento de la obra con el cauce de la corriente, la pendiente de la obra debe ser en su valor mínimo aquella que asegure auto limpieza y en su valor máximo aquella para la cual se obtenga una velocidad máxima real permitida, la velocidad mínima real, que debe ser siempre mayor al valor que por normativa local se fije, la velocidad máxima, que debe ser siempre menor al valor que por normativa local se fije, según el tipo de material, la profundidad normal, que debe ser, como valor aceptable, un 75% de la profundidad de diseño disponible, la ubicación en altura, para la cual resulta deseable que el fondo del conducto se localice al mismo nivel del cauce.<sup>4</sup>

**5.1.4 Control de agua superficiales.** Para definir el drenaje superficial se consideran las obras que actúan directamente sobre la carretera y las obras para el control de erosión de taludes, las cuales son importantes en la estabilidad de la vía. Las obras de drenaje superficial que trabajan directamente sobre la carretera se consideran como longitudinales o transversales, según la posición que estas

---

<sup>3</sup> VÉLEZ, Julián; BOTERO, Adriana; PARRA, Juan; ARISTIZABAL, Víctor; MARULANDA, Alejandro. 2013. Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales. Manizales: Universidad Nacional, 2013. p. 6.

<sup>4</sup> Ibíd.

guarden con respecto al eje de la vía. El primero tiene por objeto captar los flujos de agua para evitar que lleguen a la vía (cunetas y bordillos), el segundo da paso al agua que cruza de un lado al otro lado de la vía.<sup>5</sup>

**5.1.4.1 Drenaje longitudinal.** Está constituido por aquellos elementos que se desarrollan en forma aproximadamente paralela al eje de la carretera, siendo uno de los más notorios la cuneta, canal que atrapa el caudal que discurre por la vía y lo canaliza, estos canales son abiertos construidos en los costados de la carretera con el objetivo de recoger las aguas de escorrentía procedentes de la calzada, evitando así encharcamientos en la vía y recoger las aguas de escorrentía procedentes de los taludes de cortes y laderas adyacentes.<sup>6</sup>

**5.1.4.2 Drenaje transversal.** Son aquellos elementos que transportan agua cruzando el eje de la carretera, por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular el eje y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía en dirección aguas abajo.<sup>7</sup>

**5.1.5 Taludes.** Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, cuando éstos se producen de forma natural se denomina ladera o ladera natural, cuando son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales.<sup>8</sup>

**5.1.5.1 Inestabilidad de taludes.** La época de invierno afecta los taludes, produciendo inestabilidad, esta se produce “cuando los esfuerzos cortantes aplicados superan la resistencia de la masa de suelo o roca a lo largo de una

---

<sup>5</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje. 2006 Bogotá : Universidad Nacional de Colombia.

<sup>6</sup> *Ibíd.*

<sup>7</sup> *Ibíd.*

<sup>8</sup> DE MATTEIS, Alvaro. Geología y Geotecnia 2003. [En línea] Disponible en <<http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>> [Citado el: 20 de Febrero de 2017.]

superficie de falla potencial.” El agua penetra en la masa de suelo y fluye a través de la misma, produciendo un efecto que influye en su estabilidad. Este efecto es la elevación del nivel piezométrico que tiene lugar como consecuencia del flujo, “generando aumento en las presiones neutras del agua en el suelo, con la correspondiente disminución de la resistencia al esfuerzo cortante de la masa. Como resultado de ello, se puede producir un deslizamiento menor del talud o su falla total.<sup>9</sup>

Los factores inherentes a la estabilidad de los taludes se clasifican en dos, factores internos y factores externos, entre los primeros se tienen los geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y la vegetación, en el segundo grupo se encuentran los climatológicos, sísmicos y antropogénicos.<sup>10</sup>

Evaluación de factores condicionantes de la estabilidad del terreno

Según el Manual para la inspección visual de obra de estabilización<sup>11</sup>, los siguientes criterios apoyan al inspector para la evaluación de los factores condicionantes de la estabilidad del terreno.

Señales de movimiento: grietas de tracción en carreteras o en los taludes, hundimiento de subrasante, detritos en la vía, abultamiento sobre o bajo la carretera, cambios de forma, deformación de estructura adyacentes, drenaje deficiente de agua superficial, drenaje deficiente de agua subsuperficial, erosión.<sup>12</sup>

**5.1.6 Tipos de movimiento.** Caídas: una masa rocosa de cualquier tamaño se desprende de un talud empinado o un acantilado, a lo largo de una superficie sobre

---

<sup>9</sup>, MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Manual de drenajes para carretera*. Bogotá : Instituto Nacional de Vías , 2009

<sup>10</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS *Manual para la inspección visual de obras de estabilización* . Bogotá : Universidad Nacional de Colombia , 2006.

<sup>11</sup> *Ibíd.*

<sup>12</sup> *Ibíd.*

la cual ocurre muy poco o ningún desplazamiento, descendiendo principalmente a través del aire por caída libre, a saltos, entre otros.<sup>13</sup>

Volcamientos: rotación hacia delante de una unidad o varias, con respecto a un punto en su parte inferior, por acción de la gravedad y de fuerzas ejercidas por unidades adyacente o por fluidos en las grietas.<sup>14</sup>

Deslizamiento: deformación por corte y desplazamientos, a lo largo de una o varias superficies que son visibles o pueden inferirse razonablemente, se dividen en desplazamientos rotacionales y translacionales.<sup>15</sup>

Flujos: movimiento espacialmente continuo, el límite inferior de la masa desplazada puede ser una superficie a lo largo de la cual tiene lugar un movimiento diferencia considerable o una zona alterada de gran espesor.<sup>16</sup>

Movimientos complejos: dada la posibilidad de que ocurra una combinación de los tipos básicos de movimiento.<sup>17</sup>

## 5.2 ANTECEDENTES

Para dar cumplimiento a los objetivos se realizó la revisión bibliográfica de estudios previos que tuvieran características específicas en la metodología, alcance con el estudio planteado encontrando:

A nivel nacional se encontraron diferentes estudios que se han interesado por la estabilidad de los taludes, entendiendo la importancia que esta condición significa

---

<sup>13</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS *Manual para la inspección visual de obras de estabilización* . Bogotá : Universidad Nacional de Colombia , 2006

<sup>14</sup> *Ibíd.*

<sup>15</sup> *Ibíd.*

<sup>16</sup> *Ibíd.*

<sup>17</sup> *Ibíd.*

para la seguridad de las construcciones Hernán José Morales y Mario Esaú Valiente en su investigación “Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano Barranquilla” donde se abordaron varios autores con estudios internacionales de carácter técnicos que contribuyen al entendimiento y desarrollo de los objetivos de esta investigación:

Un primer estudio mencionado en la investigación de Morales y Valiente es la realizada por Martha Roura Ingeniera Magister en geología aplicada y geotecnia, quien a partir de los estudios realizados en el Complejo Arqueológico Cojitambo (Ecuador) que se realizó con el fin de determinar las causas del colapso de la Ruinas, y a partir de ellas se entregaron las recomendaciones y medidas que permitieran estabilizar o mitigar el impacto en sucesos posteriores. La autora realizó una investigación que le permitiera determinar los valores que simularan el comportamiento real del suelo a partir de un número de golpes N, para lograr este objetivo la metodología empleada fue la Equilibrio Límite y Elementos Finitos, utilizado los programas STABLE, SLIDE y el PHASE2. Como parte de la metodología se plantaron tres modelos de perfiles en base a investigaciones de geología y geofísica, bajo cuatro condiciones: sin nivel freático sin sismo, sin nivel freático con sismo, con nivel freático sin sismo y con nivel freático con sismo<sup>18</sup>.

Como resultado el estudio permitió después de una comparación entre los factores de seguridad arrojados por los tres programas para las cuatro condiciones y para los tres perfiles deducidos llegaron a la conclusión que la cuarta condición es la más desfavorable por ende resulta con valores cercanos y por debajo de la unidad<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> ROURA, Marta. Estudio geológico - geotécnico de la inestabilidad del suelo que afecta al Complejo Arqueológico Cojitambo, estabilización y medidas de mitigación. 2010 [En línea] Disponible en < <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2523>.> [Citado el: 18 de marzo de 2017.]

<sup>19</sup> Ibíd.

En la misma línea de investigación el estudio Análisis experimental, analítico y teórico de estabilidad de taludes con diferentes materiales y métodos, realizado por Abdoullah Namdar & Azam Khodashenas, evaluaron la estabilidad de un talud, comparando la base experimental, con la teórica y métodos analíticos.

La metodología empleada y citada por Hernán José Morales y Mario Esaú Valiente en su investigación, los autores para modelar y estudiar el comportamiento del terraplén en condición saturada tomaron una caja de acrílico con paredes deflectoras en el fondo para regular uniformemente el agua y de esta forma saturar la arena en la caja, además usaron una mesa vibratoria para simular la actividad sísmica en una dirección, con una frecuencia de 1 Hz a 3 Hz y colocaron sensores de aceleración (A1-A3) que fueron usados para medir la aceleración durante la carga dinámica<sup>20</sup>.

El proceso experimental con la mesa vibratoria permitió calcular el coeficiente de Poisson del suelo igual a 0.5, resultado que se aproximó a losa arrojados por otros estudios lo que permitió a los autores validar su procedimiento; como conclusión, se determinó “que el coeficiente de Poisson del suelo que compone el terraplén se reduce durante la vibración y que además las fuerzas laterales en el subsuelo contribuyen a su disminución, pues es notable con máxima intensidad en distancias por debajo del subsuelo del terraplén, siendo esta una razón para la acelerada falla en los taludes” <sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> ABDOULLAH Namdar & AZAM Khodashenas. Citado en MORALES, Hernán y VALIENTE, Mario. Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano de Barranquilla. 2017[En línea] Disponible en <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/4152/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%28MARIO%20VALIENTE%20Y%20HERN%C3%81N%20MORALES%29.pdf> [Citado el: 10 de junio de 2017.].

<sup>21</sup> Ibíd.

En publicación de López Fernández, Pando & Madrigal titulado: “Estabilidad de taludes excavados en formaciones superficiales en el Occidente de Asturias (España) exponen las principales propiedades geológicas y geotécnicas de los depósitos y mantos de la zona, el objetivo de esta investigación fue determinar los parámetros para la modelación con el programa de análisis tenso-deformacional Phase2 versión 6.004, Rockscience. La metodología empleada fue tomar secciones de dieciséis taludes de la zona en estudio con pendientes estándar de (1H/1V, 2H/3V, 1H/2V y 1H/3V) con alturas de coronación de 5, 10, 15 y 20 m<sup>22</sup>.

El estudio concluyó que para taludes con alturas inferiores a 5 m se recomienda inclinaciones de 1H/3V (72°), mientras que a medida que va aumentando la altura la inclinación del talud se debe rebajar a 1H/1V.

Los parámetros para la modelación con el programa de análisis tenso-deformación” El procedimiento empleado en el análisis del talud en estudio ubicado en India se tomaron dieciséis secciones representativas típicas de los taludes, con pendientes estándar de (1H/1V, 2H/3V, 1H/2V y 1H/3V) con alturas de coronación de 5, 10, 15 y 20 m. Cabe destacar que estas secciones son de taludes existentes a lo largo de la autovía A-8 de Asturias.

“...En el estudio se relaciona la estabilidad del talud a la pendiente de este y se usa únicamente este parámetro como método de mitigación a problemas de estabilidad que generen deslizamientos en los taludes de la autopista en Asturias. Lo cual limita la formulación de obras conceptuales de mitigación, es por esto que el análisis de estabilidad pretende enfocar los resultados del estudio a establecer distintas alternativas para la mitigación del problema. El estudio concluyó que para taludes con alturas inferiores a 5 m se recomienda

---

<sup>22</sup> López Fernández, Pando, & Madrigal. “Estabilidad de taludes excavados en formaciones superficiales en el Occidente de Asturias (España). Citado en MORALES, Hernán y VALIENTE, Mario. Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano de Barranquilla. 2017[En línea] Disponible en <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/4152/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%28MARIO%20VALIENTE%20Y%20HERN%C3%81N%20MORALES%29.pdf> [Citado el: 10 de junio de 2017.].

inclinaciones de 1H/3V (72°), mientras que a medida que va aumentando la altura la inclinación del talud se debe rebajar a 1H/1V”<sup>23</sup>.

Otro estudio de carácter internacional relacionado con la estabilidad de los taludes es “Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales”, realizado en Santiago de Chile publicado por Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, donde se compararon los métodos de talud finito de Fellenius, Bishop y Janbú (método de las dovelas).

La base del estudio fueron los terremotos ocurridos en Chile en los años 1985 y 2010, la comparación se realizó mediante los factores de seguridad de las potenciales superficies de falla, usando el software GeoSlope. La conclusión a la que llegó el estudio fue que el talud es estable por que cumple con FS muy por sobre la unidad (FS > 1,000), lo que refleja que la ladera no debería sufrir desplazamientos bajo las condiciones de cálculo consideradas”.<sup>24</sup>

Otra conclusión del estudio fue que el efecto del sismo en la estabilidad del talud finito depende de la magnitud Richter y de los coeficientes horizontales y verticales de aceleración sísmica, También llegaron a la conclusión que el talud es estable debido a las características de suelo pues presenta altos valores de cohesión y fricción lo que se percibe en los valores del Factor de seguridad para los distintos métodos evaluados<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> Ibíd.

<sup>24</sup> SANHUEZA Plaza & Rodríguez Cifuentes, Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. Citado en MORALES, Hernán y VALIENTE, Mario. Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano de Barranquilla. 2017[En línea] Disponible en <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/4152/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%28MARIO%20VALIENTE%20Y%20HERN%C3%81N%20MORALES%29.pdf> [Citado el: 10 de junio de 2017.].

<sup>25</sup> Ibíd.

A nivel nacional el estudio de Hernán José Morales y Mario Esaú Valiente “Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano Barranquilla, se cita el estudio realizado en la vía vía entre Marinilla y Santuario específicamente los taludes ubicados en el km 41+500 y km 49+200 realizado por Luis Javier Escobar Toro & Yamile Valencia González titulado: “Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín – Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario, donde se evaluó la probabilidad de falla de taludes en el tramo de estudio.

Para este estudio fueron aplicados métodos probabilísticos y no solo determinísticos, que permitieron obtener el factor de seguridad y adicionalmente la probabilidad de falla, el índice de confianza y el parámetro del suelo de mayor peso en la estabilidad; para determinar el talud de corte más seguro en la ejecución de este tramo de vía”<sup>26</sup>.

Como logro destacado del estudio es que determinó que:

“La disminución en la resistencia al corte de los suelos que componen los dos taludes está dada por las pérdidas de cohesión y las pérdidas en el valor de succión al pasar del estado natural al estado saturado. Respecto a los métodos probabilísticos utilizados el estudio revela que el FOSM por sus siglas en inglés “First-order, second moment”, permite obtener el efecto de cada variable en el cálculo del factor de seguridad y de la probabilidad de falla. Los resultados corroboraron que para factores de seguridad por debajo de 1%, no significaba probabilidades de falla menores a 1%. Por todo esto se puede concluir que los métodos probabilísticos son más aplicables y tienen

---

<sup>26</sup> ESCOBAR L. J., & VALENCIA Y. Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín- Bogotá en el tramo de vía entre marinilla y santuario. Citado en MORALES, Hernán y VALIENTE, Mario. Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano de Barranquilla. 2017[En línea] Disponible en <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/4152/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%28MARIO%20VALIENTE%20Y%20HERN%3%81N%20MORALES%29.pdf> [Citado el: 10 de junio de 2017.].

un valor agregado por encima de los determinísticos, que solo se quedan con un simple valor de factor de seguridad<sup>27</sup>.

**5.2.1 Relación de otros estudios referentes.** En las tablas 1 y 2 se relacionan otros estudios que sirvieron de referentes investigativos o estado del arte para el logro de los objetivos del presente estudio.

Tabla 1. Referente de antecedentes de estudios a nivel internacional

Titulo	Autor	Tipo de documento	Producción	Año
Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay	Mendoza Loayza, Joel Arturo	Tesis de grado	Pontificia Universidad Católica de Perú	2016
Estabilidad de taludes en suelos	Alejo O. Sfriso	Estudio de Mecánica de Suelos y Geología	Universidad de Buenos Aires UBA	2007

Fuente: los autores

Tabla 2. Referente de antecedentes de estudios a nivel nacional

Titulo	Autor	Tipo de documento	producción	Año
Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín - Bogotá en el tramo de vía entre marinilla y SANTUARIO.	Luis Javier Escobar Toro, Yamile Valencia González	Publicación Revista Boletín Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia	Bol. Ciencias Tierra, Número 31, p. 51-64, 2012. ISSN electrónico 2357-3740.	2012
Estabilidad de taludes en suelos residuales evaluado en el corto y largo plazo	Karla María Orozco Olarte	Tesis de maestría para optar al título de magíster en ingeniería	Universidad EAFIT Escuela de Ingeniería	2013
Valoración de diferentes opciones para estabilización del talud ubicado en el k8 +600 en la vía doble calzada Bucaramanga Cúcuta.	Jesús Antonio Caballero Olarte	Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil.	Universidad Militar Nueva Granada	2014

Fuente: los autores

---

<sup>27</sup> Ibíd.

**5.2.2 Intervenciones técnicas en la vía de estudio.** En el corredor turístico vía Pereira – Alcalá, se han realizado varios estudios e intervenciones por parte de la Gobernación de Risaralda y el Municipio de Pereira, además se está analizando la posibilidad de una alianza pública privada para la intervención de la vía.

De acuerdo a un recorrido realizado por reporteros del periódico “El Diario”, en el año 2017, en la vía Pereira – Alcalá, se pudo constatar “el mal estado de la vía, especialmente después del corregimiento Morelia, donde además de los huecos en la carretera, se puede apreciar la falta de cunetas, demasiadas curvas donde la malla vial está acabada y sectores muy angostos por donde transitan vehículos pesados”, consecuencia de vehículos pesados que transitan por esta vía, buscando evitar el pago del peaje entre Pereira y Armenia. Esta vía tiene alto flujo vehicular, conecta los departamentos Risaralda y Valle del Cauca y es utilizada por los turistas para llegar al parque temático Panaca de Quimbaya y al parque del Café de Montenegro.<sup>28</sup>

En el año 2015, el Gobernador de Risaralda para el período 2015 – 2019, anunció a través de Caracol Radio, que recibió un propuesta informal para una posible alianza público privada para intervención de la vía Pereira – Alcalá, planteando un costo cercano a los 180 mil millones de pesos y la implementación de un peaje, la propuesta presentada al gobernador incluye la remodelación, rectificación y mantenimiento de 23 kilómetros de vía.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> EL DIARIO. Peaje en vía Pereira- Alcalá, no suena en la comunidad.2017 [En línea] Disponible en < <http://www.eldiario.com.co/seccion/LOCAL/peaje-en-v-a-pereira-alcal-no-suena-en-la-comunidad1702.html>.> [Citado el: 9 de Marzo de 2017.]

<sup>29</sup> CIUDAD REGIÓN . 2014. 1.000 metros de la vía Pereira - Alcalá ya han sido reparados .2014 [En línea] Disponible en <[http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados\\_1408937660](http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados_1408937660).>[Citado el: 20 de Enero de 2017.]

En el año 2014 la Gobernación de Risaralda destinó 5.000 millones de pesos para el proyecto que tuvo como objeto realizar obras de adecuación, estabilización y drenaje sobre la vía Pereira – Alcalá, en el tramo correspondiente a Risaralda”, logrando recuperar la carpeta asfáltica de por lo menos 10 kilómetros. En la primera fase del proyecto se realizó un estudio sobre la vía y se intervinieron 1.000 metros, en los cuales realizaron cunetas e instalaron filtros de drenajes para las aguas lluvias, en el estudio se dividió el tramo vial en siete sectores, dando como resultado que el sector San Joaquín y Morelia son los puntos del mayor daño del filtro de la vía.<sup>30</sup>

En el año 2014, estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Libre, Seccional Pereira, presentaron el trabajo de grado que tuvo como objetivo “Proponer alternativas de solución y manejo geotécnico del sitio crítico localizado en la vereda Morelia del municipio de Pereira Risaralda, en el tramo vial kilómetro 1, a partir del casco urbano, en la vía interdepartamental Pereira – Alcalá”, este trabajo se centró en la elaboración de un diseño para una obra de mitigación de inestabilidad de taludes, una conclusión para resaltar es que el estudio de taludes permite prever diferentes accidentes topográficos, para el alcance de los objetivos realizaron una investigación de tipo analítico<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> CIUDAD REGIÓN. 1.000 metros de la vía Pereira - Alcalá ya han sido reparados.2014 [En línea] Disponible en < [http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados\\_1408937660](http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados_1408937660). > [Citado el: 20 de enero de 2017.]

<sup>31</sup> CARDONA, Juan Pablo & HERRERA, Carolina. Propuestas de solución y manejo del punto geotécnico del sitio crítico en la vía interdepartamental (vía secundaria) Pereira - Alcalá, tramo vial vereda Morelia a partir del casco urbano, Km. 1. 2014 [En línea] Disponible en < <http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/585/PROPUESTA%20DE%20SOLUCI%C3%93N.pdf?sequence=1>.> [Citado el: 9 de Marzo de 2017.]

### 5.3 MARCO LEGAL

**Manual de drenaje para carreteras.** Elaborado por la República de Colombia, Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 2009. Es una guía para uso en el análisis hidrológico de las cuencas y áreas aferentes al corredor vial y en el diseño hidráulico de las estructuras componentes del sistema de drenaje superficial y subsuperficial. Su intención es suministrar una base para uniformizar la práctica de diseño para el drenaje típico de las carreteras nacionales.

**Manual para la inspección visual de las estructuras de drenaje.** Elaborado por la República de Colombia, Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 2006. Es una guía para la identificación de los componentes y en la evaluación de los daños presentes en este tipo de estructuras.

**Manual para la inspección visual de obras de estabilización.** Elaborado por la República de Colombia, Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 2006. Es una guía para para la inspección y el reporte de los daños que se puedan encontrar en las obras de estabilización.

**Norma Técnica Colombiana NTC 1486.** Tiene como objetivo orientar en la aplicación de la Normas Técnicas ICONTEC para la presentación de trabajos.

**Norma Técnica Colombiana NTC 5613.** Tiene como objetivo orientar a todos los estudiantes y profesionales a referenciar las citas bibliográficas de textos como: libros, revistas, monografías, artículos, entre otros.

**Guía para la presentación de propuestas y anteproyectos para proyectos de grado e investigación de la Universidad Libre.** Tiene como objetivo orienta al estudiante en la presentación de la propuesta de trabajo de grado.

## 5.4 MARCO CONCEPTUAL

El siguiente marco conceptual está basado en el manual publicado por la República de Colombia, Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías.

Asentamientos: es el desplazamiento vertical relativo del suelo ante la imposición de cargas, la disipación de presiones, la acción del drenaje, etc. Los asentamientos afectan de manera grave la estabilidad de las estructuras.<sup>32</sup>

Capacidad portante: es la capacidad del suelo de fundación de soportar las cargas sin que se produzca la falta de este<sup>33</sup>.

Coluvión: depósito de materiales transportados por la acción de diferentes mecanismos como la gravedad, el agua y el viento, o una combinación de ellos.

Diaclasa: discontinuidad de la roca originada por fuerzas tectónicas, que no implica desplazamientos significativos.

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<sup>34</sup>.

Estabilidad de deslizamiento: es la capacidad de una estructura de resistir las fuerzas que podrían originar un movimiento horizontal de ésta.

Estratificación: estructura de una roca sedimentaria originada por el depósito de las diferentes capas de sedimentos que la conforman<sup>35</sup>.

---

<sup>32</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006.

<sup>33</sup> *Ibíd.*

<sup>34</sup> *Ibíd.*

<sup>35</sup> *Ibíd.*

Llaves o espolones: elementos de los muros de contención construidos debajo de la placa de cimentación para mejorar la resistencia al desplazamiento de la estructura<sup>36</sup>.

Lloraderos: tuberías instaladas en las estructuras de contención, para drenar las aguas de infiltración y disipar los excesos de presión que puedan generar estas aguas en la masa de suelo contenido<sup>37</sup>.

Meteorización: proceso de degradación de una roca debido a la acción de factores físicos, químicos o biológicos.

Dren. Excavación en forma de zanja, rellena con materiales permeable cuya función es la captación de aguas freáticas o de infiltración<sup>38</sup>.

Obras de drenaje subterráneo. Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo con el fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos y haciendo descender el nivel freático<sup>39</sup>.

Sección transversal. Sección obtenida al cortar la carretera por un plano vertical y normal a la proyección horizontal del eje longitudinal, en un punto cualquiera del mismo<sup>40</sup>.

Socavación. Erosión del lecho o de las márgenes debido a corrientes de agua; frecuentemente se considera como localizada<sup>41</sup>.

---

<sup>36</sup> *Ibíd.*

<sup>37</sup> *Ibíd.*

<sup>38</sup> *Ibíd.*

<sup>39</sup> *Ibíd.*

<sup>40</sup> *Ibíd.*

<sup>41</sup> *Ibíd.*

Escorrentía superficial. Agua que escurre laminarmente sobre el suelo o sobre depresiones (canales o corrientes de agua)<sup>42</sup>.

Escorrentía. Agua que escurre por los terrenos de la hoya hidrográfica superficialmente (escorrentía superficial) o subterráneamente (escorrentía subterránea)<sup>43</sup>.

Escorrentía subterránea. Proceso por el cual el agua se mueve dentro Del suelo por debajo del nivel freático bajo la acción de un gradiente hidráulico<sup>44</sup>.

Dren horizontal. Tubería de poco diámetro con pequeñas perforaciones o ranuras, que se instala con una ligera inclinación ascendente en un talud de corte o terraplén para drenar aguas internas y aliviar presiones de poros, lo que trae como consecuencia un incremento en su estabilidad<sup>45</sup>.

Dren interceptor longitudinal. Dren longitudinal que se instala para cortar la filtración en taludes o abatir el nivel freático<sup>46</sup>.

Dren lateral de base. Dren longitudinal que se construye bajo la berma en las secciones en terraplén, cuya función es recoger las aguas infiltradas en la capa de base permeable, encauzarlas y conducir las longitudinalmente hasta un elemento adecuado de desagüe. Se conoce también como dren colector longitudinal<sup>47</sup>.

---

<sup>42</sup> *Ibíd.*

<sup>43</sup> *Ibíd.*

<sup>44</sup> *Ibíd.*

<sup>45</sup> *Ibíd.*

<sup>46</sup> *Ibíd.*

<sup>47</sup> *Ibíd.*

Dren longitudinal. Dren que se coloca en una dirección esencialmente paralela al eje de la carretera tanto horizontal como verticalmente<sup>48</sup>.

Dren transversal. Dren subsuperficial que atraviesan la carretera de un lado a otro, generalmente en sentido perpendicular<sup>49</sup>.

Dren vertical de arena. Perforación vertical a través de un terreno que se llena con un material permeable para facilitar la evacuación del agua<sup>50</sup>.

Drenaje. Remoción natural o artificial del agua superficial y subsuperficial de un área determinada<sup>51</sup>.

Box culvert. (Marcos): son estructuras autoportantes enterradas, de sección rectangular hueca, y que pueden estar compuestas por piezas monolíticas, o por dos piezas superpuestas. Su sencillo sistema de encaje de unas piezas con otras permite ejecutar con rapidez pasos para animales, pasos inferiores peatonales, canalizaciones hidráulicas, colectores de drenaje y galerías técnicas (electricidad, agua, gas, telecomunicaciones, etc.). Tiene unas características de rendimiento y resistencia que garantizan una larga vida útil<sup>52</sup>.

Encole. Estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la entrada de las obras de drenaje, y así entregar de manera segura el agua a la tubería de la alcantarilla<sup>53</sup>.

---

<sup>48</sup> *Ibíd.*

<sup>49</sup> *Ibíd.*

<sup>50</sup> *Ibíd.*

<sup>51</sup> *Ibíd.*

<sup>52</sup> *Ibíd.*

<sup>53</sup> *Ibíd.*

Descole: Es una estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la salida de obras de drenaje y así entregar de manera segura el agua a canales naturales u otros canales no erosionables<sup>54</sup>.

Aleta: Son elementos utilizados para contener los taludes que conforman el terraplén de la vía y/o el terreno natural<sup>55</sup>.

Muro cabezal: Elemento que tiene como finalidad contener el material que sirve como estructura de la vía, así como de protección de la tubería.<sup>56</sup>

Poceta o Lavadero: Estructura que recibe el agua recolectada por las diferentes estructuras de drenaje longitudinal, especialmente cunetas. Se utiliza como encole y en algunas ocasiones puede encontrarse en el descole acompañada de otras estructuras de conducción de agua<sup>57</sup>.

---

<sup>54</sup> Ibíd.

<sup>55</sup> Ibíd.

<sup>56</sup> Ibíd.

<sup>57</sup> Ibíd.

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación que se llevará a cabo es de tipo mixta, toda vez que implica la investigación cuantitativa y cualitativa, en el primer caso se fundamenta como plantea Bernal, “en la medición de las características de los fenómenos sociales, lo cual supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado una serie de postulados que expresan relaciones entre las variables estudiadas de forma deductiva”, la investigación cualitativa, “se orienta a profundizar casos específicos y no generalizar”<sup>58</sup>.

La investigación es descriptiva, tal como afirma Salkind “se reseñan las características o rasgos de la situación o fenómeno objeto de estudio”. De acuerdo a Cerda la investigación descriptiva “tiene la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de ese objeto”<sup>59</sup>.

---

<sup>58</sup> BERNAL, César. Metodología de la Investigación Administración, Economía, humanidades y ciencias sociales. Bogotá: Tercera edición Pearson, 2010. p. 60

<sup>59</sup> *Ibíd.* p.112

## 6.2 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO

Pregunta de investigación	Objetivo	objetivos específicos	Metodología	Instrumentos	Variables	indicadores
¿Cuál es el estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira?	Diagnosticar el estado actual de la infraestructura a hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira	Realizar el inventario de taludes y pasos de agua, de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.	cualitativa	Observación	Ubicación geográfica	Numero de taludes y pasos de agua de la red vial San Joaquín - Alcalá
		Evaluar el estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua existentes en el tramo vial San Joaquín-Alcalá, según la metodología y fichas técnicas del INVIAS.	Cuantitativa	Manuales de inspección del Instituto Nacional de Vías (INVIAS)	falta de cunetas; obras de transversales, evacuación de aguas lluvias, deterioro por exceso de cargas y falta de mantenimiento	Numero de pasos de agua en mal estado
		Evaluar en laboratorio el estado y condición de estabilidad de los taludes más críticos del tramo vial San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.	Cuantitativa	Pruebas de laboratorio	pruebas de granulometría, contenido de humedad, densidad y límites LL y LP	% Contenido de humedad; Nivel de densidad; % Límites LL Y LP
		Proponer las medidas de mitigación necesarias para implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados	cualitativa			

### 6.3 FASES Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizará en cuatro fases, correspondientes al logro de los objetivos específicos planteados.

Tabla 3. Fase 1 de la investigación

Fase 1
<b>Objetivo</b> Realizar el inventario de taludes y pasos de agua, de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.
<b>Actividades</b> Actividad 1. Selección de fichas técnicas de obras transversales y taludes a partir de la consulta de los manuales de INVIAS. Actividad 2. Salida piloto de campo para hacer ajuste de fichas técnicas de obras transversales y taludes. Actividad 3. Salida de campo para identificación de pasos de agua y taludes existentes en el tramo vial objeto del estudio.

Fuente: los autores

Tabla 4. Fase 2 de la investigación

Fase 2
<b>Objetivo</b> Evaluar el estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua existentes en el tramo vial San Joaquín-Alcalá, según la metodología y fichas técnicas del INVIAS.
<b>Actividades</b> Actividad 1. Identificación de las características de diseño, topográficas de los diferentes pasos de agua en este tramo de la vía. Actividad 2. Tabulación de los datos obtenidos en la salida de campo para la caracterización de pasos de agua de acuerdo al manual de INVIAS Actividad 3. Análisis de resultados.

Fuente: los autores

Tabla 5. Fase 3 de la investigación

Fase 3
<p><b>Objetivo</b></p> <p>Evaluar en laboratorio el estado y condición de estabilidad de los taludes más críticos del tramo vial San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.</p>
<p><b>Actividades</b></p> <p>Actividad 1. En laboratorio se realiza la caracterización de las muestras de suelo tomados en campo de los taludes a estudiar.</p> <p>Actividad 2. Realizar los ensayos de laboratorio de suelos (Granulometría, compresión no confinada, Triaxial), para conocer la resistencia del suelo de los taludes de esta vía y posteriores</p>

Fuente: los autores

Tabla 6. Fase 4 de la investigación

Fase 4
<p><b>Objetivo</b></p> <p>Proponer las medidas de mitigación necesarias para implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados.</p>
<p><b>Actividades</b></p> <p>Actividad 1. De acuerdo al criterio y a los resultados hallados en campo y laboratorio recomendar diferentes medidas para el rediseño de los pasos de agua presentes en el tramo vial San Joaquín - Alcalá sector Pereira</p> <p>Actividad 2. Realizar las recomendaciones necesarias para la estabilización de los taludes críticos, basados en observado en campo, análisis de laboratorio y datos arrojados en las fichas técnicas diseñadas para taludes.</p>

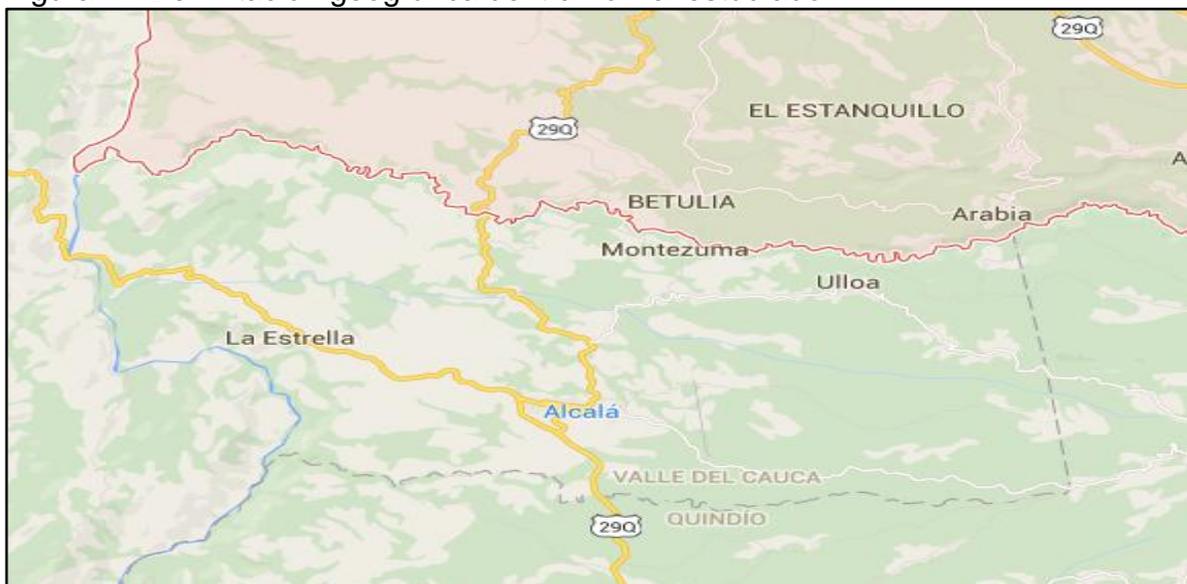
Fuente: los autores

## 7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 7.1 INVENTARIO DE TALUDES Y PASOS DE AGUA, DE LA RED VIAL SECUNDARIA DEL TRAMO SAN JOAQUÍN – ALCALÁ, SECTOR PEREIRA

La vía objeto de estudio es Pereira – Alcalá, sector Risaralda, la cual está ubicada en el sur occidente de la ciudad de Pereira, donde inicia dicho recorrido hacia el Departamento del Valle del Cauca, en sentido sur, al oriente, limita con las veredas El Estanquillo, Betulia, La Selva, y Montelargo, Vereda el Cóngolo y Morelia. Al occidente la vía, limita con la vereda Tres Puertas, Damasco y La Palmerita. Al Sur limita con el Rio Babas y la Vereda Dinamarca. Al norte Con el Barrio Montelibano, Barrio Bello Horizonte y La variante Condina.

Figura 1. Delimitación geográfica del tramo vial estudiado



Fuente: Google Maps

Figura 2. Ubicación tramo vial objeto de estudio



Fuente: Google Maps

**7.1.1 Caracterización taludes.** En el tramo San Joaquín – Alcalá en el municipio de Pereira se encontraron 8 taludes, en la Tabla 5. Se identifican las características encontrando aspectos como:

8673.49 M<sup>2</sup> de talud como área potencialmente afecta, El 100% de los taludes es de corte o excavación de vía, la amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM), se centra en erosión superficial. Se identificó como signos de inestabilidad predominantes Grietas de tensión en corona, Presencia de negativos (concavidades), Presencia de surcos o carcavamientos, socavación de bases.

Tabla 7. Caracterización general de taludes vía San Joaquín – Alcalá sector Pereira

No TALUD	TIPO DE TALUD	ÁREA TALUD	MEDIDA	CLASIFICACIÓN DEL F.R.M.	MORFOMETRÍA DEL TALUD					FORMA DE LA PENDIENTE
					Pendiente (ángulo)	Altura (m)	Longitud total L (m)	Longitud cara libre (m):	Área potencialmente afectable en m <sup>2</sup>	
TALUD 1	Corte excavación de vía	2079	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	66	11	189	12.04	143,45	Combinada
TALUD 2	Corte excavación de vía	2112,8	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	70	7,6	278	8.1	1626,86	Combinada
TALUD 3	Corte excavación de vía	459	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	75	4,5	102	4.70	266,22	Combinada
TALUD 4	Corte excavación de vía	4699,8	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	73	12,60	150	13.18	1926,92	Combinada
TALUD 5	Corte excavación de vía	3504,6	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	76	13,2	265,5	13.60	2372,61	Combinada
TALUD 6	Corte excavación de vía	1698,34	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	81	9,8	173,3	9.92	1137,90	Combinada
TALUD 7	Corte excavación de vía	1035,13	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	78	8,75	118,3	8.95	662,48	combinada
TALUD 8	Corte excavación de vía	4902,5	m <sup>2</sup>	Erosión superficial	82	13,25	370	13.38	980,5	Plana(lisa), combinada

Fuente: los autores

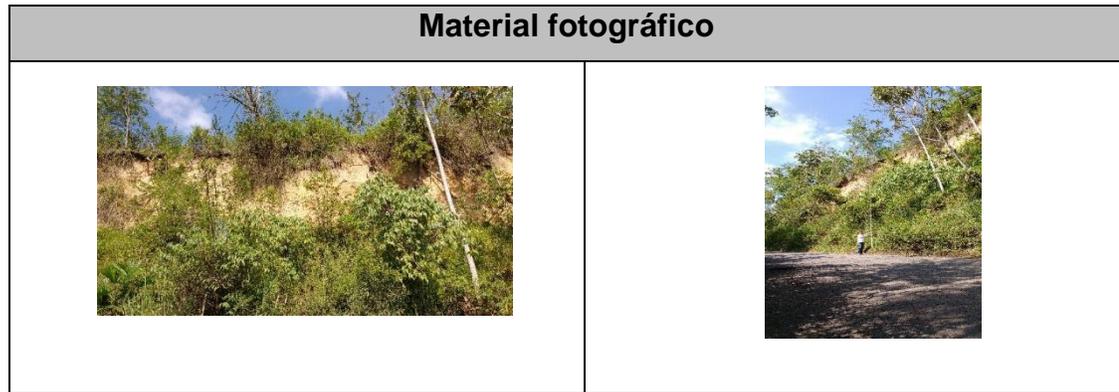
Tabla 8. Elementos detonantes y contribuyentes

No. TALUD	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN	DETONANTES (D) / CONTRIBUYENTES (C)													
			NATURALES							ANTRÓPICAS						
			Alta Precipitac	Sismo	Erosión hídrica	Sobrecarga vegetal	Sobrecarga a material	Socavación	Otras	Vertimientos	Obstrucción drenaje	Riegos	Deforestación	Sobrecarga llenos	Sobrecarga a edificación	Corte
TALUD 1	4°43'10.31' N 75° 47' 41.41 O	Talud con ausencia de todos los métodos de estabilización de taludes. Presenta estado crítico.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 2	4°44'5.25"N 75°47'21.94"O	Corte por la vía. No existen todos métodos de estabilización de taludes. Presenta estado crítico, en estado de abandono.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 3	4°44'12.66"N 75°47'23.74"O	No existen todos métodos de estabilización de taludes.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 4	4°44'11.91"N 75°47'6.14"O	No existen todos métodos de estabilización de taludes.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 5	4°44'42.22"N 75°46'52.93"O	No existen todos métodos de estabilización de taludes.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 6	4°44'49.90"N 75°46'50.15"O	No existen todos métodos de estabilización de taludes.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 7	4°46'13.93"N 75°45'47.87"O	No existen todos métodos de estabilización de taludes.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—
TALUD 8	4°46'32.97"N 75°45'23.04"O	No existen todos métodos de estabilización de taludes.	D	C		C	—	—	—	D	—	—	—	—	—	—

Fuente: los autores

### 7.1.1.1 Caracterización de los taludes

Figura 1. Talud No 1. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira

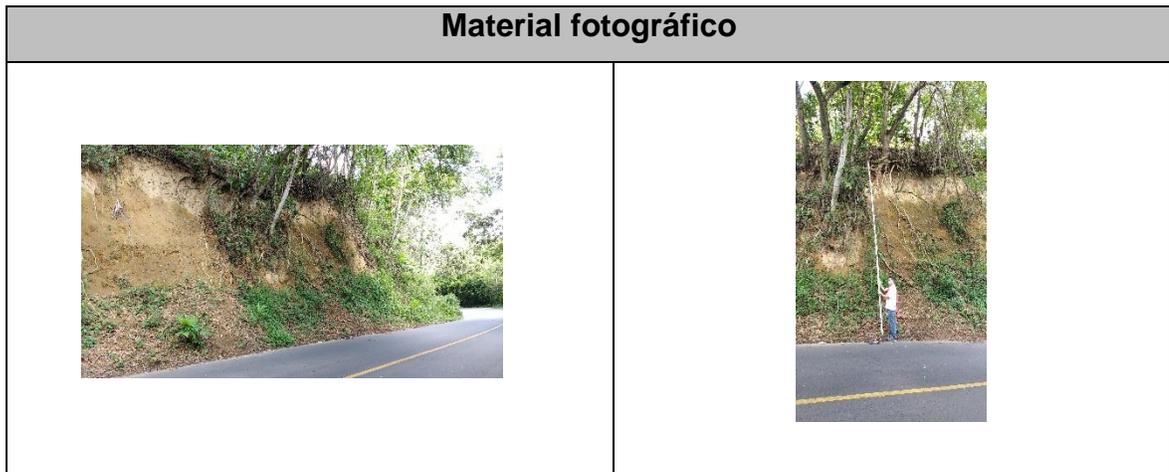


Fuente: los autores

De acuerdo a las imágenes que se observan en la figura 1. El talud 1, se puede determinar que no existe rastro de algún tipo de proceso de estabilización de taludes, también se ve el alto riesgo en que se encuentra de que pueda existir un deslizamiento grande de tierra causando un accidente en la vía o no menor una obstrucción a la misma o a sus obras complementarias como lo son las obras de arte y sus respectivos drenajes y entregas.

Igualmente, el talud, está localizado en el corredor vial Pereira-Alcalá, en inmediaciones de la vereda, presenta un área de afectación cercana a los 1400 m<sup>2</sup>. El talud corresponde a un corte subvertical asociado al desarrollo vial. En la actualidad se evidencian desprendimientos puntuales en la corona del talud, debido al inadecuado manejo de aguas de escorrentía en su corona y a los procesos de humedecimiento-secado al que están sometidos los materiales aflorantes. No obstante, la altura del talud (11 m), su condición de estabilidad está condicionada a las intervenciones antrópicas y a la variabilidad climática de la zona.

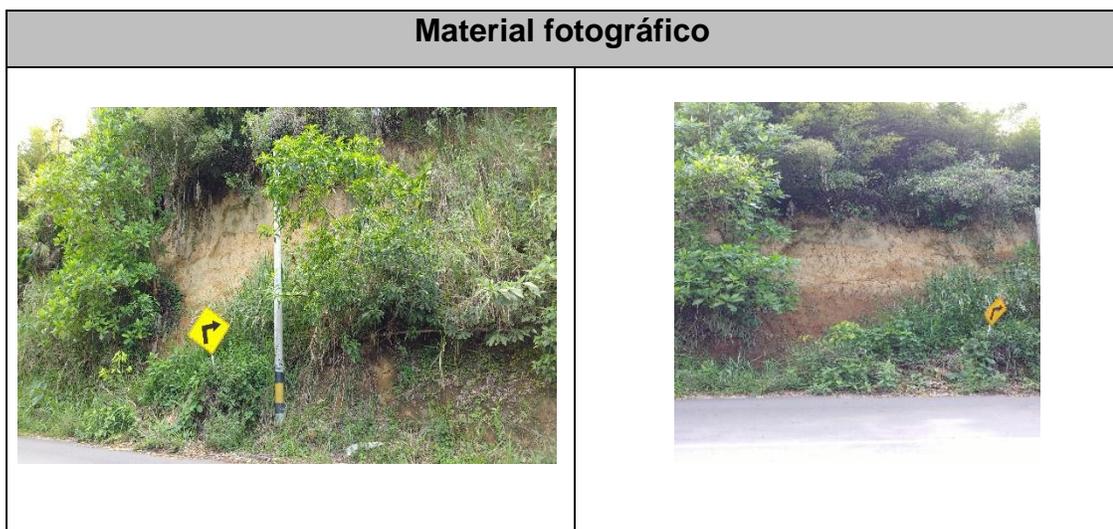
Figura 2. Talud No 2. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del talud N°. 2, se observa en la figura 2, que el mal estado del talud es latente, el alto riesgo que existe hace inminente la intervención para su adecuada estabilización para evitar accidentes o daños en la vía Pereira – Alcalá si llega la temporada de lluvias aumentando su intensidad y frecuencia causando deslizamientos en el talud.

Figura 3. Talud No 3. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del talud N°. 3 existe un menor riesgo de deslizamiento, pero como es factor común en este tramo vial no existe estabilización del talud, ni ninguna clase de tratamiento a este causando en el futuro que llegue a un alto grado de riesgo.

Figura 4. Talud No 4. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

En la figura N°. 4, talud N°. 4, existe menor riesgo de deslizamientos, ya que este talud tiene una menor pendiente y existe además mayor cantidad de vegetación dando una mayor estabilidad al talud haciendo este sector con menor riesgo de deslizamiento.

Figura 5. Talud No 5. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

El talud N°. 5 presenta un estado y comportamiento similar al talud N°. 4, al estar consecutivo a este.

Figura 6. Talud No 6. Tramo San Joaquín – Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

El estado que se observa en la Imagen N°. 6 del talud determina que ya existió un deslizamiento anterior haciendo que este sea aún más crítico que los anteriores de que se pueda presentar un movimiento de tierra en masa causando un cierre en la vía o más grave un accidente vehicular en este sector. Por esta razón requiere una intervención inmediata por parte de la entidad competente de esta región de Risaralda.

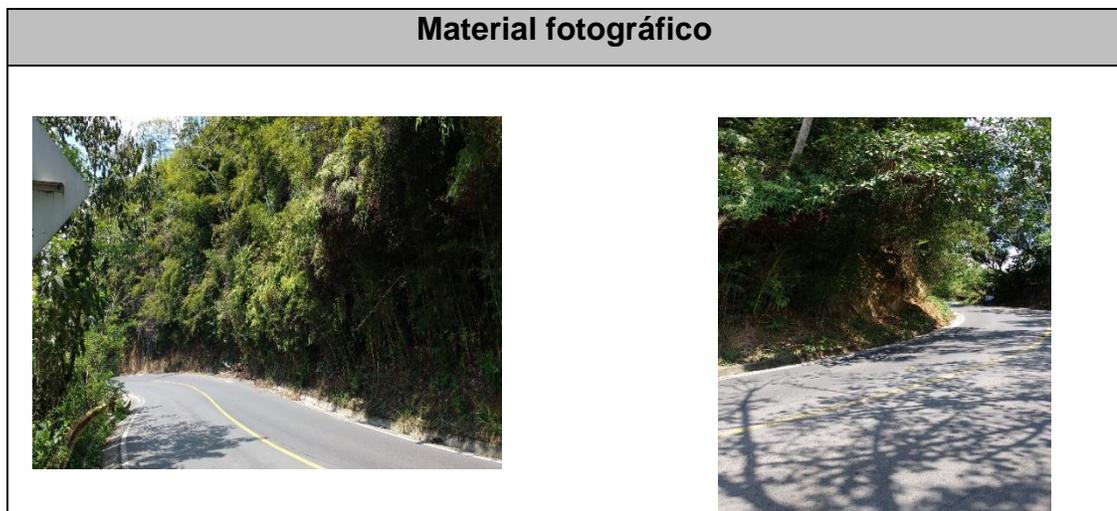
Figura 7. Talud No 7. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

El talud N° 7 que se puede ver en la figura N°. 7, presenta un deslizamiento y desprendimiento de la masa arbórea y de vegetación menor que produjo una obstaculización menor en la vía, lo más grave puede presentarse en el futuro si no se trata este talud de manera inmediata ya que puede generar un taponamiento vial mayor parcial o total de esta carretera o un accidente que sería más grave. Además, en este momento al estar este material obstruyendo la vía de manera menor se convierte en un artículo que pueda causar un accidente vehicular en este momento.

Figura 8. Talud No 8. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Este talud que indica la imagen es el Talud N°. 8, de acuerdo al orden que se le dio en la investigación muestra que está en un estado adecuado comparado con la mayoría que existen en la vía, muestra masa arbórea y vegetación los cuales le dan mayor estabilidad al talud haciendo menor el riesgo de deslizamiento, ya que se puede notar que tampoco en este talud existe método de estabilización de taludes.

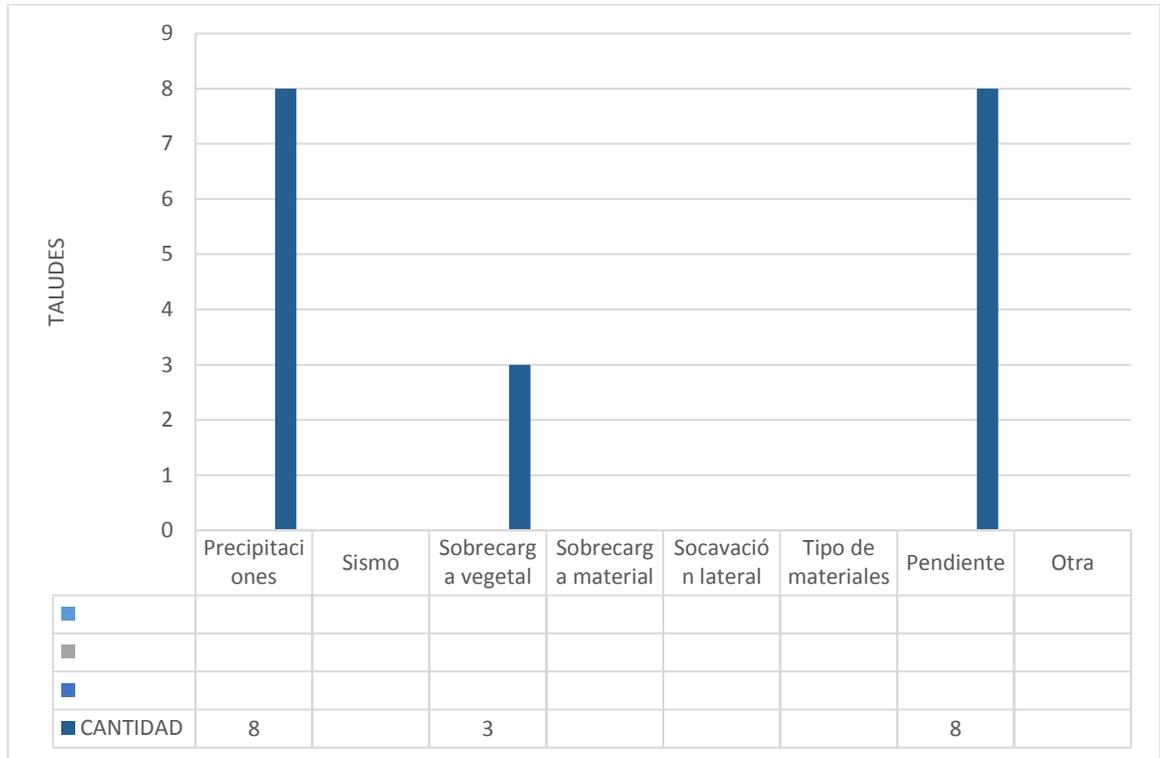
Figura 9. Causas potenciales inestabilidad de los taludes tramo San Joaquín -Alcalá

POTENCIALES CAUSAS NATURALES DE INESTABILIDAD	CANTIDAD
Precipitaciones	8
Sismo	-
Sobrecarga vegetal	3
Sobrecarga material	-
Socavación lateral	-
Tipo de materiales	-
Pendiente	8
Otra	-

Fuente: los autores

De acuerdo al cuadro de la figura N°. 9, el cual muestra las causas potenciales de inestabilidad de taludes que existen en la vía Pereira-Alcalá, se destaca la importancia que existe al estar en una zona de riesgo sísmico y de una intensidad de precipitaciones bastante importante de esta zona del departamento de Risaralda, haciendo que deba existir mejor tratamiento de estabilización de taludes y mejor mantenimiento de obras transversales en las vías del departamento y con mayor frecuencia en las vías secundarias y terciarias; también se presenta las altas pendientes en algunos tramos de la vía causando mayor riesgo de deslizamientos, el tiempo de materiales presentes en el tipo de suelo que existe en la zona, los cuales son más propensos a los deslizamientos si no existe estabilidad en ellos generando mayores problemas en la carretera Pereira-Alcalá. Teniendo en cuenta estas condiciones hacen más crítica la zona por donde pasa la vía y que las autoridades competentes pongan mayor atención a la zona y mejores inversiones en mantenimiento y limpieza las cuales cada día son más inminentes.

Gráfica 1. Potenciales causas de inestabilidad taludes tramo San Joaquín – Alcalá  
Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Al realizar la inspección visual se determinó que los taludes de mayor afectación son los siguientes taludes; los cuales fueron denominados de la siguiente forma talud 1, talud 2:

Talud 1: con ausencia de todos los métodos de estabilización de taludes y que presenta estado crítico.

Talud 2. Corte por la vía. No existen todos métodos de estabilización de taludes. Presenta estado crítico, en estado de abandono.

**7.1.2 Caracterización de pasos de agua.** Las obras de arte del tramo de la vía Pereira – Alcalá en el cual se realiza la investigación son de gran importancia para ella, ya que permite la correcta evacuación de las aguas de escorrentía que se pueden presentar durante momentos de lluvia de mayor intensidad. Estas obras permiten además que disminuya el peligro de accidentalidad de la carretera, al no presentar acumulación de aguas de escorrentía por la ausencia o mal funcionamiento de las obras transversales.

De igual forma la red vial secundaria del tramo san Joaquín–Alcalá, sector Pereira, cuenta con 66 pasos de agua de alcantarilla simple circulares, a lo largo de los 149 kilómetros analizados. (Ver anexo B. FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE DRENAJES - OBRAS TRANSVERSALES).

Figura 10. Drenaje en la vía de inspección



Fuente: los autores

La estructura u obra transversal que se observa en la imagen 10. Se puede determinar que se encuentra en perfectas condiciones ya que esta en sector de la vía que fue rehabilitada recientemente, también se determina que se construyó con las especificaciones técnicas requeridas en el manual de INVIAS para drenajes.

Finalmente, esta obra de arte tiene una entrega en estructura de concreto; a continuación, en la tabla 9. Se presenta un resumen de las condiciones principales de los 66 pasos de agua a lo largo de la vía analizada.

Tabla 9. Caracterización general de los pasos de agua en la vía San Joaquín - Alcalá

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
1	4° 47' 21.39" 75° 44' 25.98"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se puede evidenciar que carece de mantenimiento, con acumulación de basuras y materia vegetal impidiendo así el buen funcionamiento de este paso de agua.
2	4° 47' 14.30" 75° 44' 40.31"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	En este paso de agua es evidente la acumulación de hojas y maleza necesitando así un adecuado mantenimiento para su buen funcionamiento.
3	4° 47' 4.85" 75° 44' 51.57"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	En esta obra se puede observar que solo tiene sedimentos de tierra, al parecer le han hecho algún mantenimiento ya que se encuentra dentro de una propiedad privada.
4	4° 47' 2.23" 75° 44' 57.62"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se puede observar la gran cantidad de maleza que rebosa la caja del descole
5	4° 46' 58.93" 75° 45' 2.38"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	se evidencia gran cantidad de maleza acumulada en la caja de descole, aunque la estructura está en buenas condiciones no funcionara bien en época de lluvia debido al taponamiento que tiene.
6	4° 46' 56.84" 75° 45' 4.04"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	A esta obra aunque le falta mantenimiento no esta tan saturada de basuras ni de maleza.
7	4° 46' 55.72" 75° 45' 4.82"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se evidencia poca materia orgánica y basura en el encole y descole de este paso de agua.
8	4° 46' 53.83"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se evidencia gran acumulación de maleza aunque la estructura se encuentra en perfecto estado

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA				OBSERVACIÓN	
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)		PROFUNDIDAD DESCOLE (m)
	75° 45' 7.83"								
9	4° 46' 50.07" 75° 45' 12.15"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	En este paso de agua se puede observar que tiene poca basura acumulada aunque sería conveniente hacerle mantenimiento y limpieza.
10	4° 46' 48.03" 75° 45' 17.01"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	En esta obra se evidencia solo acumulación de sedimentos igualmente es recomendable hacer limpieza en ella.
11	4° 46' 46.08" 75° 45' 16.78"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	En este paso de agua es evidente que empieza a acumularse materia orgánica como tierra y maleza necesitando mantenimiento para un buen funcionamiento.
12	4° 46' 45.59" 75° 45' 19.75"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Al observar el encole se evidencia acumulación de maleza aunque la estructura está en perfecto estado, es necesario un adecuado mantenimiento.
13	4° 46' 45.01" 75° 45' 16.30"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se evidencia acumulación de basuras y maleza, necesitando mantenimiento.
14	4° 46' 32.93" 75° 45' 18.47"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Al observar el encole de esta obra se evidencia gran cantidad de maleza y sedimentos acumulados, saturándolo completamente y evitando así su buen funcionamiento en épocas de lluvia.
15	4° 46' 33.56" 75° 45' 20.08"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se observa acumulación de maleza y tierra haciendo falta mantenimiento para su buen desagüe en caso de fuertes lluvias.
16	4° 46' 33.26" 75°45'22. 23"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Aunque tiene poca sedimentación acumulada es necesario hacerle mantenimiento para evitar más acumulación de maleza.

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
17	4° 46' 26.45" 75° 45' 47.27.53'	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Presenta poca acumulación de basuras y sedimentos, la estructura está en buenas condiciones.
18	4° 46' 20.70" 75° 45' 47.22"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Presenta acumulación de maleza y basura, la estructura como tal está en buenas condiciones.
19	4° 46' 18.53" 75° 45' 45.14"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Esta es una de las pocas obras de arte que se encontraron en buen estado, tanto la estructura como el mantenimiento. Llevado en ella.
20	4° 46' 19.53" 75° 45' 46.37"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se presenta acumulación de poca maleza pero necesitando mantenimiento.
21	4° 46' 14.63" 75° 45' 76.40"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Se evidencia poca acumulación de maleza y sedimentos pero si se recomienda un mantenimiento preventivo.
22	4° 46' 15.86" 75° 45' 50.10"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
23	4° 46' 14.39" 75° 45' 53.95"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
24	4° 46' 11.83" 75° 45' 52.21"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
25	4° 46' 2.73" 75° 45' 52.72"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
26	4° 45' 58.46" 75° 46' 6.88"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
27	4° 45' 53.42" 75° 46' 8.58"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
28	4° 45' 48.97" 75° 46' 15.09"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
29	4° 45' 49.08" 75° 46' 17.66"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
30	4° 45' 41.09" 75° 46' 16.77"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	Ninguna
31	4° 45' 27.579" 75° 46' 07.923"	X		0,76		9,75	1,3	1,5	Encole en buenas condiciones. Falta limpieza y mantenimiento general. Descole no se puede observar porque está en propiedad privada y la vegetación esta alta.
32	4° 45' 22.716" 75° 46' 08.610"	X		0,76		9,75	1,3	1,6	Encole alcantarilla se encuentra tapada en su totalidad, debido a que se encuentra ubicada al pie de un talud no controlado, del cual se despendio una porción de tierra causando su taponamiento. Descole en buen estado, pero requiere limpieza y mantenimiento general, es entrega abierta.
33	4° 45' 05.172" 75° 46' 30.884"	X		0,76		9,0	1,1		Encole se encuentra en buen estado, requiere limpieza. Descole se encuentra en buen estado, requiere limpieza.
34	4° 45' 05.095" 75° 46' 33.878"	X		0,76		9,0	1,4	1,5	En el encole pasan dos tuberías sin ningún tipo de descarga. Requiere limpieza general. El descole se observa en buen estado, requiere limpieza general.
35	4° 45' 00.463"	X		0,76		9,8	1,45	0,9	Encole en buen estado, necesita mantenimiento y limpieza. Descole

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
	75° 46' 35.773"								en buen estado, requiere mantenimiento general y limpieza.
36	4° 44' 55.303" 75° 46' 38.080"	X		0,76		9,00	1,50	1,24	El muro cabezal en el encole presenta fracturas superficiales y se observa gran cantidad de escombros. El muro cabezal del descole presenta fracturas superficiales y gran cantidad de escombros.
37	4° 44' 55.345" 75° 46' 41.129"	X		0,76		9,00	1,50	1,24	El encole buen estado, requiere de mantenimiento general. En el descole se encuentran gran cantidad de escombros y contiene muro cabezal. Requiere mantenimiento.
38	4° 44' 55.329" 75° 46' 42.722"	X		0,76		9,8		1,32	Encole alcantarilla se encuentra tapada en su totalidad, debido a que se encuentra ubicada al pie de un talud no controlado, del cual se despendio una porción de tierra causando su taponamiento.
39	4° 44' 53.448" 75° 46' 45.771"	X		0,76		9,75	1,15	1,45	El encole se encuentran dos tuberías que hacen su descarga de aguas negras. Buen estado, requiere mantenimiento general. El descole cuenta con dos aletas. Requiere mantenimiento general.
40	4° 44' 52.318" 75° 46' 48.105"	X		0,76		9,8	1,05		El encole se hay entrega de tres tuberías de aguas negras. Requiere mantenimiento general. El descole no se puede tomar daros debido por la densa vegetación y la topografía del terreno lo dificulta más.
41	4° 44' 51.180" 75° 46' 49.451"	X		0,76		10,5	1,28	1,61	El encole falta de mantenimiento. Requiere mantenimiento general. El descole contiene dos aletas y requiere mantenimiento general.
42	4° 44' 40.903"	X		0,76		1,16			El encole se encuentra en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole no se pudo

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
	75° 46' 53.626"								tomar datos debido a que se encuentra después de un cerco y está en propiedad privada. Se puede observar que cuenta con dos aletas.
4 3	4° 44' 34.146" 75° 46' 51.868"	X		0,76		9,0	1,02	1,4	El encole no presenta deterioro estructural, pero si deterioro por el tiempo de uso. Requiere mantenimiento general. El descole presenta deterioro por el tiempo y los años de uso.
4 4	4° 44' 20.460" 75° 46' 55.082"	X		0,76		9,0	1,32		El encole no presenta daños estructurales, pero si deterioro por el tiempo de uso y fisuras. Requiere mantenimiento general. El descole no se pueden tomar datos debido a que se encuentra en propiedad privada.
4 5	4° 44' 17.485" 75° 47' 01.399"	X		0,76		9,0	1,2		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole no se pudo tomar datos debido a que está ubicado en propiedad privada sin fácil acceso.
4 6	4° 44' 16.504" 75° 47' 05.409"	X		0,76		8,25	0,95	1,2	El encole la tubería se encuentra tapada casi en su totalidad debido a que se encuentra al pie de un talud no controlado. El descole buen estado. Requiere mantenimiento general.
4 7	4° 44' 14.932" 75° 47' 09.529"	X		0,76		8,25	1,5	1,75	El encole se encuentra en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole se encuentra en buen estado. Requiere mantenimiento general.
4 8	4° 44' 14.505" 75° 47' 16.066"	X		0,76		9,0	1,2	1,4	El encole no cuenta con muro cabezal. Requiere mantenimiento general. El descole cuenta con muro cabezal el cual se encuentra por debajo del nivel de la vía. Requiere mantenimiento general.

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
49	4° 44' 12.146" 75° 47' 21.202"	X		0,76		9,0		1,7	El encole se encuentra tapado debido a que está ubicado al pie de un talud no controlado, del cual se desprendió una cantidad de tierra causando el taponamiento de la alcantarilla. El descole cuenta con un muro cabezal y una sola aleta, igualmente un deslizamiento de tierra hacia la entrega causando un taponamiento parcial de la tubería.
50	4° 44' 08.299" 75° 47' 22.905"	X		0,76		1,2	1,9	0,5	El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
51	4° 44' 07.063" 75° 47' 22.850"	X		0,76		8,25	1,7	1,55	El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole cuenta con muro cabezal y una sola aleta, su entrega es controlada en concreto.
52	4° 44' 03.022" 75° 47' 22.575"	X		0,76		8,25	1,15	1,6	El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
53	4° 43' 55.145" 75° 47' 28.645"	X		0,76			0,75		El encole presenta daños en el lavadero aproximadamente en un 15% de su estructura. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
54	4° 43' 50.742" 75° 47' 31.584"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
55	4° 43' 47.617" 75° 47' 32.902"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole se prolonga hasta una quebrada cercana, no es posible tomar datos debido a que se encuentra en propiedad privada
56	4° 43' 44.737"	X		0,76			0,75		El encole se encuentra acumulación crítica de tierra debido a que se encuentra junta de un talud no

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
	75° 47' 36.116"								controlado. El descole en mal estado. Requiere mantenimiento general.
57	4° 43' 42.400" 75° 47' 36.281"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
58	4° 43' 37.141" 75° 47' 37.159"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole cuenta con muro cabezal y una sola aleta, su pendiente es negativa debido a su alta acumulación de tierra.
59	4° 43' 32.904" 75° 47' 40.428"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole no cuenta con ninguna estructura, la tubería hace la entrega directamente sobre el terreno.
60	4° 43' 29.418" 75° 47' 36.857"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado, pero contiene una acumulación de basura considerable. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
61	4° 43' 29.373" 75° 47' 36.390"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
62	4° 43' 18.586" 75° 47' 35.319"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole va directo a un rio, debido a la vegetación y topografía no es posible tomar datos.
63	4° 43' 16.004" 75° 47' 39.384"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.
64	4° 43' 10.666" 75° 47' 39.320"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole en buen estado. Requiere mantenimiento general.

Numero	UBICACIÓN PASO DE AGUA	TIPO DE ALCANTARILLA		CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA					OBSERVACIÓN
		SIMPLE	SIMPLE	DÍAMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)	
65	4° 43' 10.537" 75° 47' 39.714"	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general. El descole va directo a un rio, debido a la vegetación y topografía no es posible tomar datos.
66	4° 43' 10.919" 75° 47' 37.27'	X		0,76			0,75		El encole en buen estado. Requiere mantenimiento El descole va directo a un rio, debido a la vegetación y topografía no es posible tomar datos.

Fuente: los autores

Como referenciales se caracterizaron ocho pasos de agua de los 66 que hacen parte de las obras transversales de la vía de intervención:

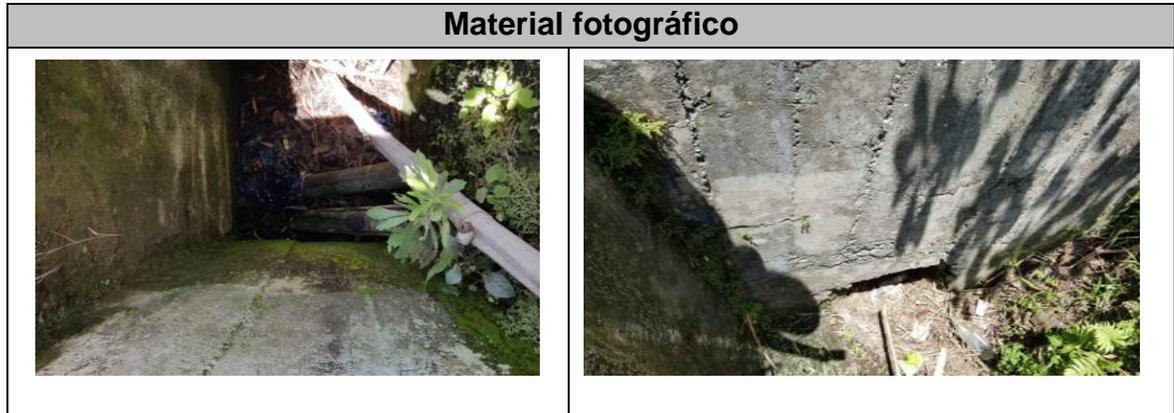
Figura 11. Paso de Agua 5. Tramo San Joaquín - Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 5 ubicado en las coordenadas N 4° 46' 58.93" y W 75° 45' 2.38" Abscisa K 1 + 982 se observa que gran cantidad de maleza acumulada en la caja de descole, aunque la estructura está en buenas condiciones no funcionara bien en época de lluvia debido al taponamiento que tiene.

Figura 12. Paso de Agua 10. Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 10 ubicado en las coordenadas N 4° 46' 48.03", W 75° 45' 17.01", abscisa K 2 + 544, en esta obra se evidencio solo acumulación de sedimentos igualmente es recomendable hacer limpieza en ella.

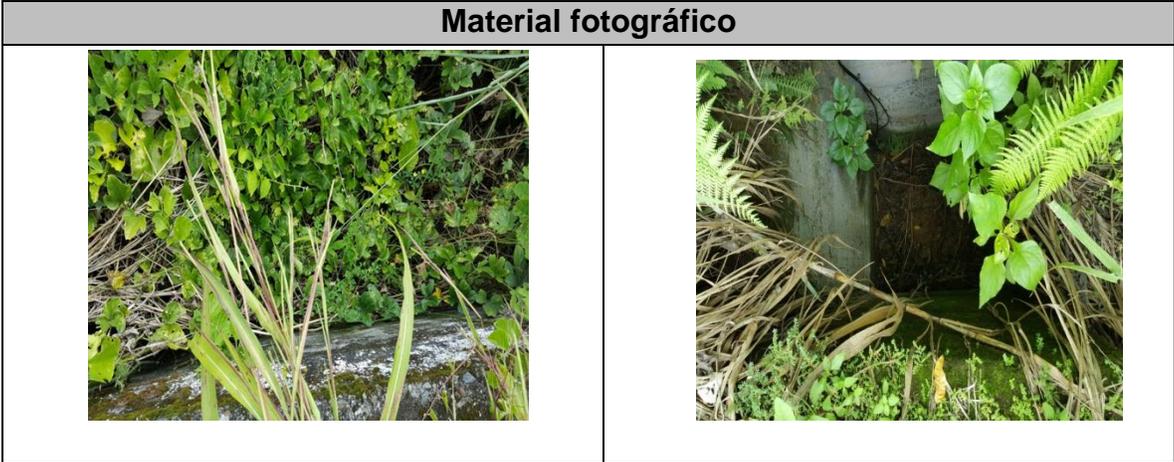
Figura 13. Paso de Agua 20 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 20 ubicado en las coordenadas N 4° 46' 19.53", W 75° 45' 46.37", abscisa K 4 + 565 se presenta acumulación de poca maleza, pero necesitando mantenimiento.

Figura 14. Paso de Agua 30 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 30 ubicado en las coordenadas N 4° 45' 41.09", W 75° 46' 16.77", abscisa K 7 + 019 se presenta acumulación de maleza, necesitando mantenimiento.

Figura 15. Paso de Agua 40 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 30 ubicado en las coordenadas N 4° 44' 52.318", W 75° 46' 48.105", El encole se hay entrega de tres tuberías de aguas negras. Requiere mantenimiento general, El descole no se puede tomar datos debido por la densa vegetación y la topografía del terreno lo dificulta más.

Figura 16. Paso de Agua 55 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 55 ubicado en las coordenadas N 4° 43' 47.617", W 75° 47' 32.902", El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general y El descole se prolonga hasta una quebrada cercana, no es posible tomar datos debido a que se encuentra en propiedad privada.

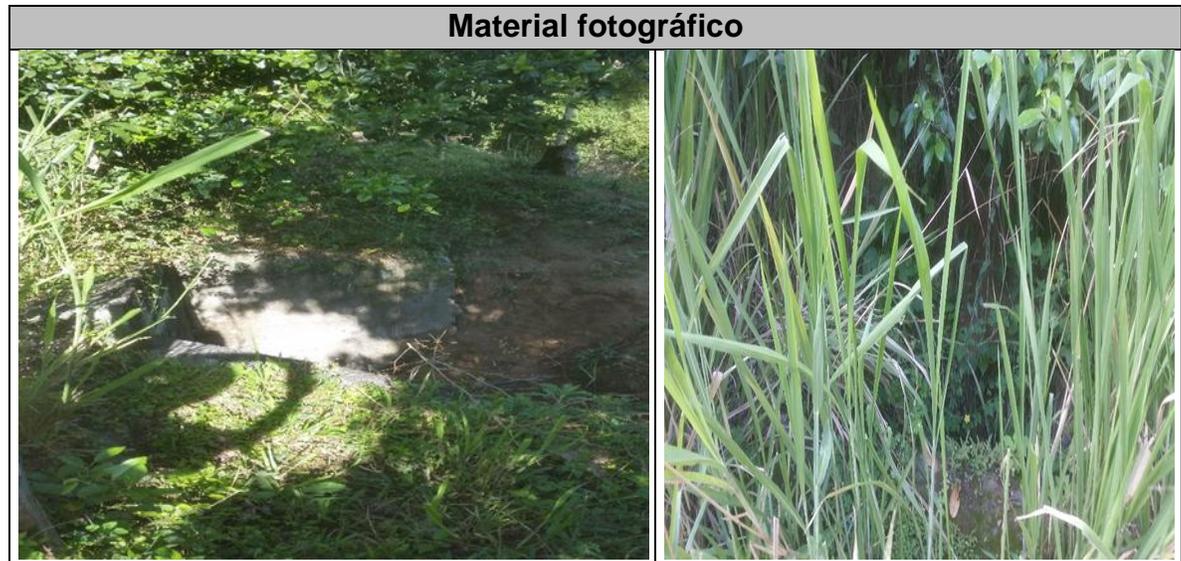
Figura 17. Paso de Agua 56 Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 56 ubicado en las coordenadas N 4° 43' 44.737", W 75° 47' 36.116" , El encole se encuentra acumulación critica de tierra debido a que se encuentra al lado de un talud no controlado. El descole en mal estado. Requiere mantenimiento general.

Figura 18. Paso de Agua 62Tramo San Joaquín- Alcalá en el Municipio de Pereira



Fuente: los autores

Para el caso del paso de agua No 62 ubicado en las coordenadas N 4° 43' 18.586", W 75° 47' 35.319". El encole en buen estado. Requiere mantenimiento general, y en El descole va directo a un rio, debido a la vegetación y topografía no es posible tomar datos.

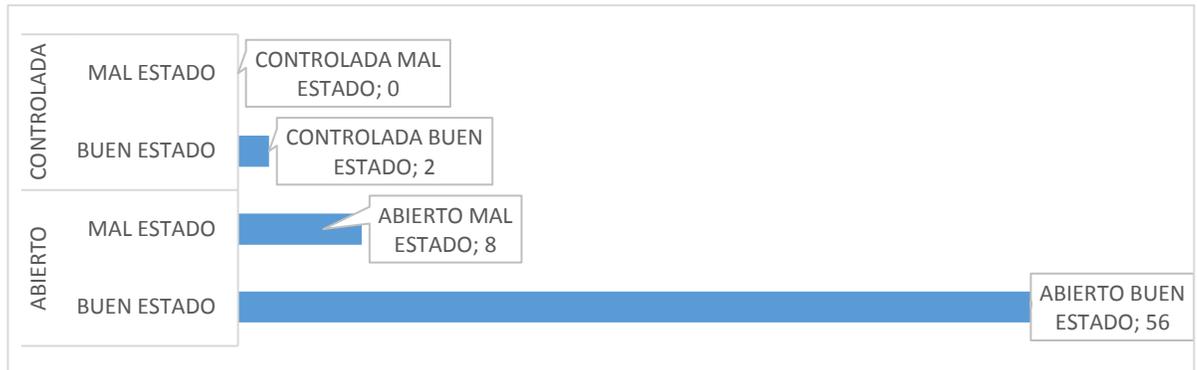
La tabla 10. Muestra la relación del estado y tipo de entrega que hacen los pasos de agua del tramo.

**Tabla 10. Tipo de entrega**

ABIERTO		CONTROLADA	
BUEN ESTADO	MAL ESTADO	BUEN ESTADO	MAL ESTADO
55	8	2	0

Fuente: los autores

Gráfica 2. Tipo de entrega pasos de agua



Fuente: los autores

En cuanto a la entrega se encuentran 2 pasos de agua controlados con concreto; el 88% equivalente a 56 de los pasos de agua se encuentran en buen estado, en lo que hace relación a la entrega.

Figura 19. Drenaje



Fuente: los autores

Tabla 11. Características de la tubería

DIÁMETRO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD ENCOLE (m)	PROFUNDIDAD DESCOLE (m)
0,76		Min. 8,25 - Max. 1,2	Min. 1,40 – 1,70	Min. 0,9 –Max. 1,75

Fuente: los autores

El estado actual general de las obras de arte de la vía San Joaquín – Alcalá, - Sector Risaralda, se encuentran en un estado notable de abandono y deterioro por el paso de los años y la falta de mantenimiento periódico preventivo y correctivo que permitan a este tipo de estructuras un óptimo funcionamiento para el cual fueron diseñadas y mantengan una buena imagen de la vía. También se puede precisar que en casos especiales de las obras transversales de esta vía que comunica los departamentos de Risaralda-Valle-Quindío presentan inestabilidad en muchos de los taludes que la conforman al no haber realizado obras de estabilización de estos durante el tiempo de vida de la carretera generando obstrucción de la tubería de drenaje, encole y descole de las estructuras u obras de arte.

En algunos tramos de la vía San Joaquín – Alcalá han sido intervenidos y rehabilitados se observan en buen estado general las obras de arte, ya que no hace mucho tiempo se realizó la rehabilitación de dichos tramos viales, lo que permite el correcto funcionamiento de estas estructuras.

## **7.2 EVALUACIÓN DEL ESTADO, CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO, TIPOLOGÍAS, PATOLOGÍAS Y FUNCIONALIDAD DE LOS PASOS DE AGUA EXISTENTES EN EL TRAMO VIAL SAN JOAQUÍN-ALCALÁ, SEGÚN LA METODOLOGÍA Y FICHAS TÉCNICAS DEL INVIAS.**

Se realiza una evaluación sobre los daños superficiales, inestabilidad de los taludes, poca señalización y obras transversales, basados en las fichas técnicas obtenidas de los manuales de inspección del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), lo que permite determinar cuáles tramos son los más afectados, debido a la falta de cunetas, obras de transversales, evacuación de aguas lluvias, deterioro por exceso de cargas y falta de mantenimiento, lo anterior se expresa ante la presencia de deterioros notorios como fisuras, baches, desgaste, deterioro, entre otros.

El tramo comprende el trayecto entre la glorieta ubicada en el sector de San Joaquín en el barrio Cuba, (PR0+000) ó (K0+000) y el puente del río Barbas en el (PR14+100) ó (K14+100), la calzada existente tiene un ancho promedio de 6 metros, con dos carriles, uno por cada dirección, carece de bermas, cunetas y sistemas de drenaje adecuados.

Para la evaluación de cada paso de agua se diligencio el formato de inspección visual de drenajes (obras transversales), el cual contempla los campos identificación de tipo de alcantarilla, tipo de entrega, características de la tubería, fracturas o desprendimientos, grietas o fracturas en canales disipadores, la exposición del acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería, la socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solado y/o muro cabezal, los aspectos generados por el mantenimiento inadecuado, además se registra fotografías del encole y descole.

**7.2.1 Fracturas o desprendimientos.** En la inspección solo se encontró un paso de agua con fracturas o desprendimientos visibles en el encole y descole ubicado en N 4° 45' 00.463" W 75° 46' 35.773".

Tabla 12. Características de la fractura paso de agua con fracturas o desprendimientos

MURO CABEZAL			
	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD(m)
Encole	0,3	0,15	0,14
Descole	0.38	0.15	0.20

Fuente: los autores

Figura 20. Fracturas paso de agua ubicado en N 4° 45' 00.463" W 75° 46' 35.773".



Fuente: los autores

**7.2.2 Exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería.** No se presenta ninguna exposición de acero en ninguna de las estructuras de los 66 pasos de agua inspeccionados.

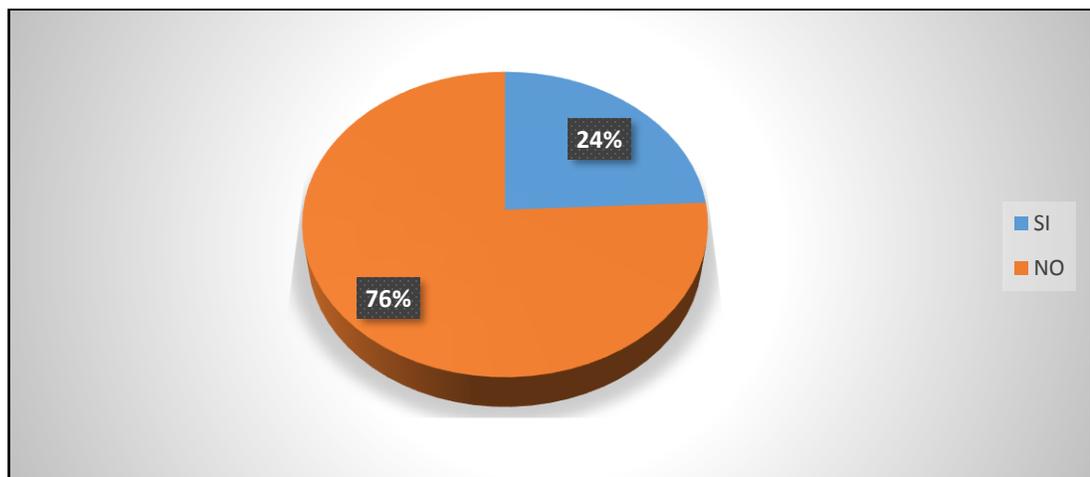
**7.2.3 Socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solado y/o muro cabezal.** Solo se encontró socavación del concreto en el encole de los pasos de agua. Donde el 76% de los pasos de agua presentan algún tipo de socavación del concreto y suelo de fundación como lo muestra la tabla 10.

Tabla 13. Socavación del concreto en encole

SI	NO	ALETAS	MURO CABEZAL	SOLADO
16	50	0	15	16

Fuente: los autores

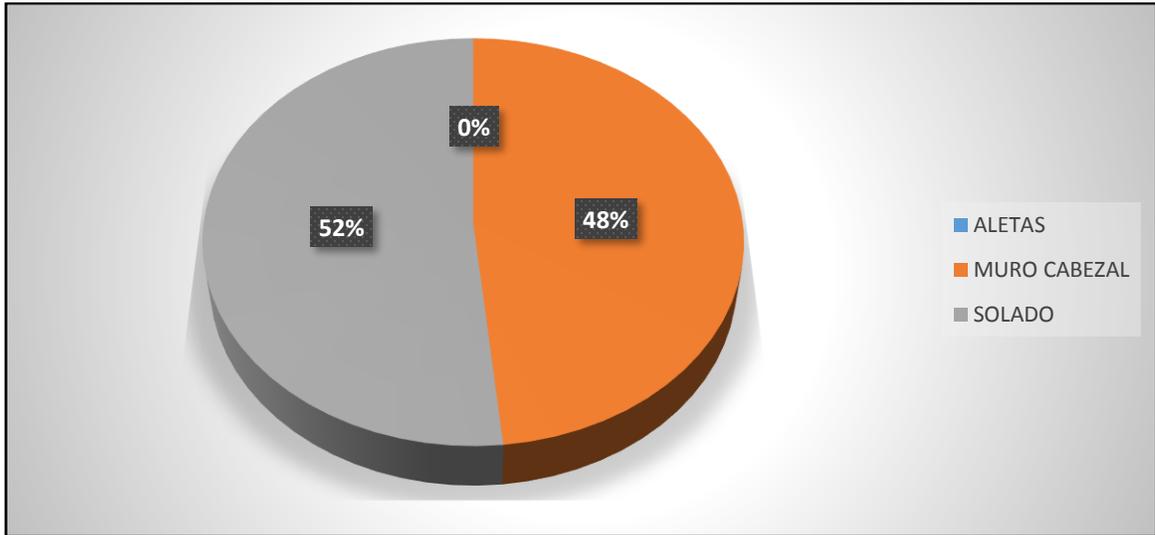
Gráfica 3. Numero de pasos de agua con socavación del concreto en encole



Fuente: los autores

La grafica 5 muestra la participación de las averías en encole donde el 52% de socavación en el encole están en el solado, y un 48% en el muro cabezal.

Gráfica 4. Estructuras averiadas en encole con socavación



Fuente: los autores

**7.2.4 Mantenimiento inadecuado.** El mantenimiento inadecuado fue la mayor causa del mal estado de los pasos de agua en el tramo vial San Joaquín – Alcalá, encontrando en el 99% alguna de estas condiciones: invasión de maleza, acumulación de escombros, acumulación de tierra.

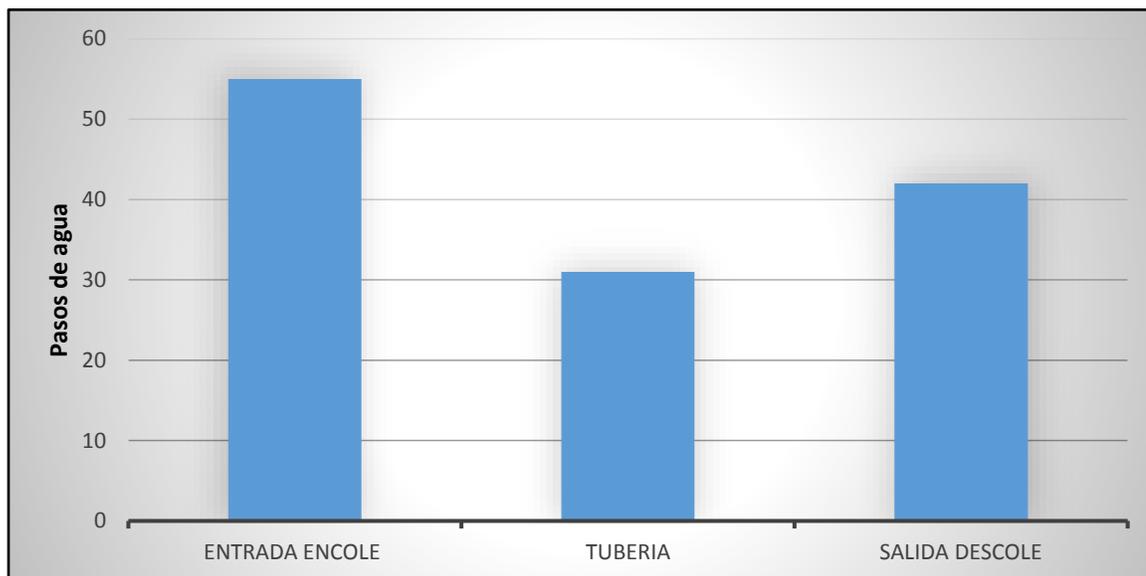
**7.2.4.1 Invasión de maleza.** El 83% de los pasos de agua presentan maleza en la entrada del encole, el 47% en la tubería y un 63.6% en la salida del descole, como se muestra en la tabla 11. Siendo esta situación la más representativa en el estado de los pasos de agua.

Tabla 14. Invasión de maleza

ENTRADA ENCOLE NUMERO DE PASOS DE AGUA	TUBERÍA NUMERO DE PASOS DE AGUA	SALIDA DESCOLE NUMERO DE PASOS DE AGUA
55	31	42

Fuente: los autores

Gráfica 5. Invasión de maleza en pasos de agua



Fuente: los autores

Figura 21. Invasión de maleza pasos de agua vía San Joaquín



Fuente: los autores

**7.2.4.2 Acumulación de escombros.** El 62% de los pasos de agua presentan acumulación de escombros en algunas de las infraestructuras de los pasos de agua, equivalentes a 41 de ellos; siendo la entrada del encole la más afectada por esta situación. En la tabla 8 y la figura 9 se muestra la afectación frente a esta falta

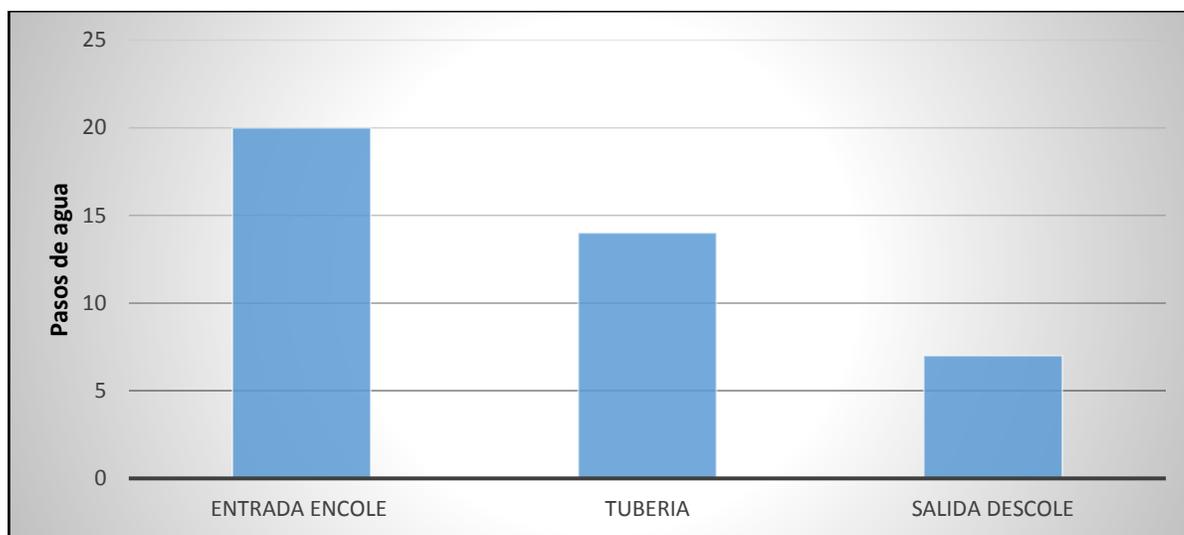
de mantenimiento y falta de cultura por parte de la ciudadanía, que encuentra en estos espacios una opción para arrojarlos.

Tabla 15. Acumulación de escombros

ENTRADA ENCOLE	TUBERÍA	SALIDA DESCOLE
20	14	7

Fuente: los autores

Gráfica 6. Acumulación de escombros pasos de agua



Fuente: los autores

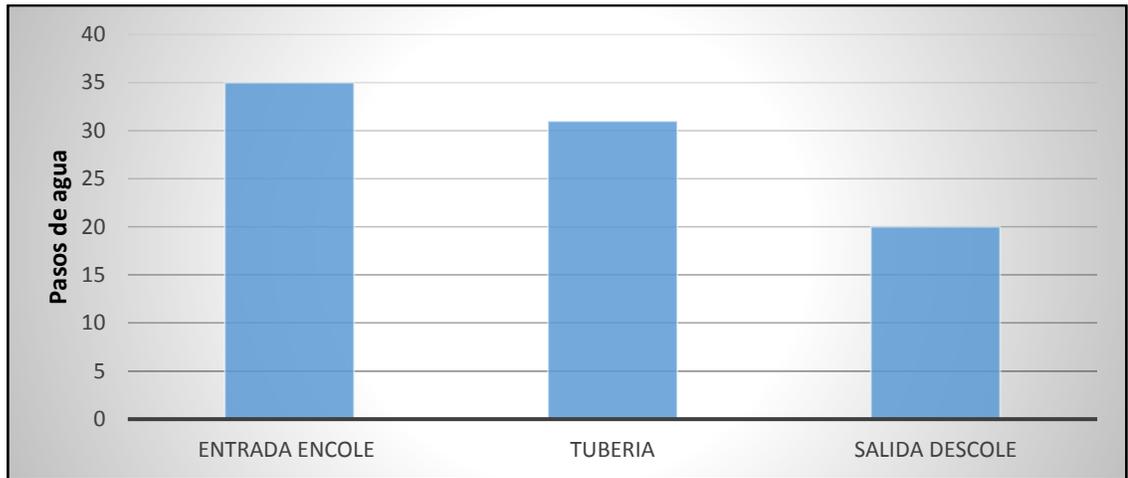
**7.2.4.3 Acumulación de basuras.** EL 53% de los pasos de agua presentan acumulación de basuras en la entrada del encole, el 31% en la tubería y el 30% en la salida del descole. En la tabla 13 y la gráfica 8 se presentan los resultados de la inspección.

Tabla 16. Acumulación de basuras pasos de agua

ENTRADA ENCOLE	TUBERÍA	SALIDA DESCOLE
35	31	20

Fuente: los autores

Gráfica 7. Acumulación de basura en las infraestructuras de los pasos de agua



Fuente: los autores

Figura 22. Acumulación de basuras en pasos de agua vía San Joaquín - Alcalá



Fuente: los autores

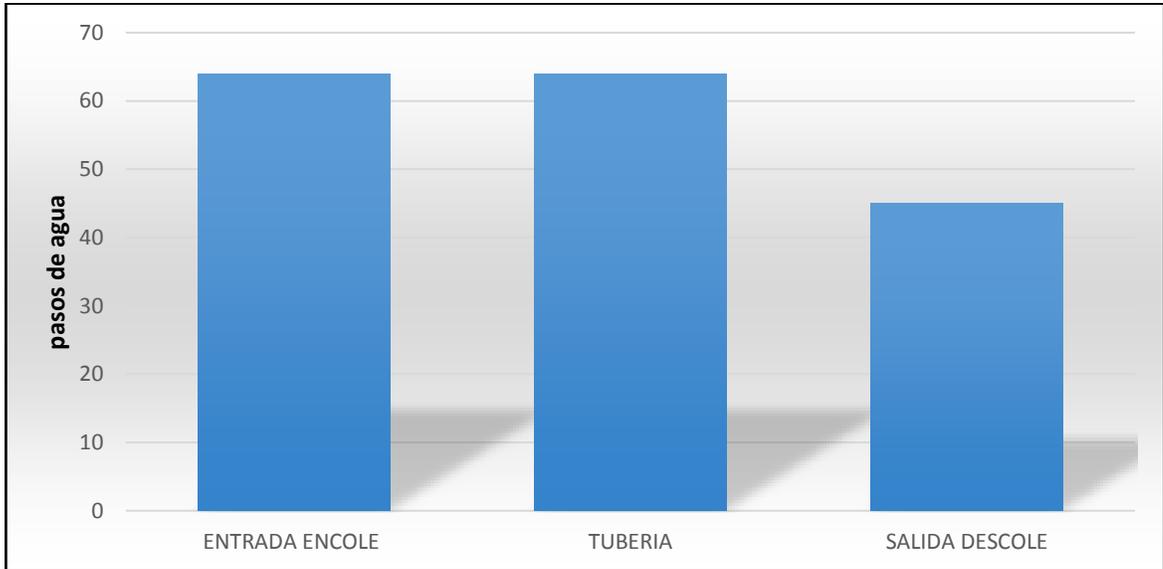
**7.2.4.4 Acumulación de tierra.** En el 97% de los pasos de agua se observó acumulación de tierra en la entrada encole y en la tubería, entre tanto en la salida descole se presenta acumulación de tierra en el 68% de ellos. En la tabla 14 y figura 9. Se encuentran los resultados en número de pasos de agua.

Tabla 17. Acumulación de tierra en pasos de agua

ENTRADA ENCOLE	TUBERÍA	SALIDA DESCOLE
64	64	45

Fuente: los autores

Gráfica 8. Acumulación de tierra en la infraestructura de los pasos de agua



Fuente: los autores

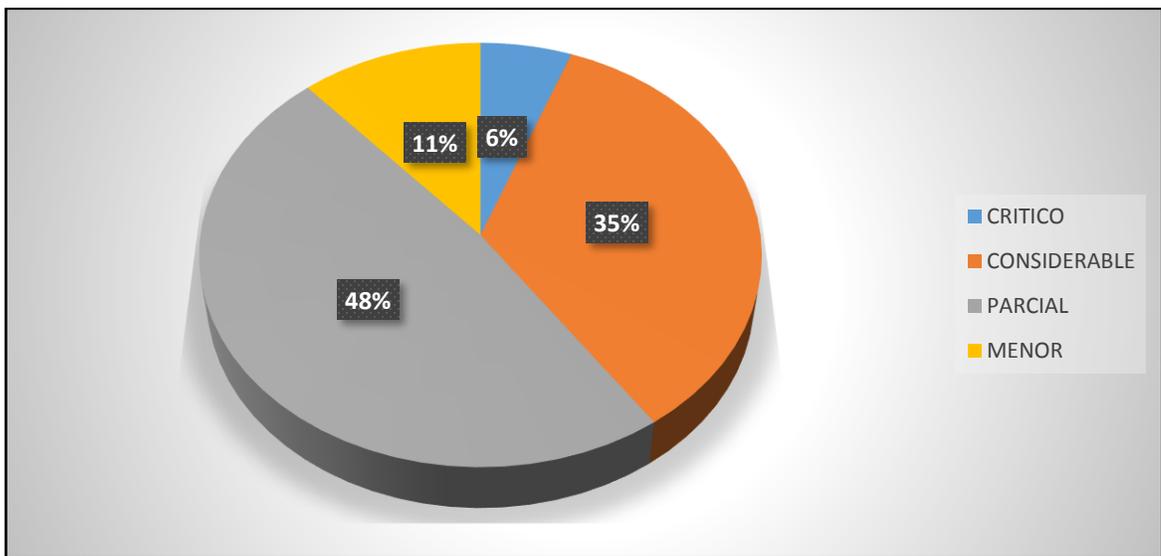
**7.2.4.5 Análisis de impacto del mal mantenimiento de los pasos de agua.** La acumulación de materiales, escombros y tierra alrededor o dentro de las estructuras de los pasos de agua impactan en el funcionamiento de los mismos, disminuyendo su capacidad de drenaje de las aguas, para el sector de estudio y de acuerdo a la inspección visual se determinó que el 6% de los drenajes tienen un estado crítico por mal mantenimiento, el 35% están en estado considerable de obstrucción, un 48% tienen una obstrucción parcial y el 11% es menor. La Tabla 15 y grafica 9 resumen el número de drenajes impactados por mal mantenimiento.

Tabla 18. Drenajes impactados por mal mantenimiento

CRITICO	CONSIDERABLE	PARCIAL	MENOR
11	66	92	22

Fuente: los autores

Gráfica 9. Estado de los drenajes por mal mantenimiento



Fuente: los autores

**7.2.5 Análisis de los resultados.** En forma genérica se evidencio que existe un bajo nivel de mantenimiento del estado de los pasos de agua, que se evidencia en l excesiva acumulación de maleza y basura al interior o en los alrededores de los drenajes; donde la intervención de la alcaldía no se evidencia y lo que se suma la falta de cultura de las personas al dar un uso de botadero a estas obras.

Existen algunos drenajes que están en propiedades privadas donde en ellos si se observa su mantenimiento y buen funcionamiento resultado de la intervención de particulares.

Se observa encoles de alcantarilla que se encuentran tapados en su totalidad, debido a que se encuentran ubicados al pie de taludes no controlado, de los cuales se han desprendido porciones de tierra causando su taponamiento.

No se evidencia deterioros estructurales en los encoles y descoles, entre tantos las tuberías se ven afectadas por obstrucciones por elementos externos como escombros y tierra, producto de derrumbes.

### **7.3 EVALUACIÓN GENERAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TALUDES OBJETO DE ESTUDIO Y RELACIÓN CON SU POTENCIAL ESTABILIDAD, EN TRAMO VIAL PEREIRA-ALCALÁ.**

Se realizaron pruebas de laboratorio de granulometría, contenido de humedad, densidad, límite líquido (LL) y Límite Plástico (LP), para ocho taludes, los cuales se clasificaron de acuerdo a los suelos que se encontraron en la zona, además se utilizó el sistema unificado de suelos (S.U.C.S) arrojando los siguientes resultados:

Talud 1: Se encuentra ubicado en  $4^{\circ}43'10.31''N$   $75^{\circ}47'41.41''O$

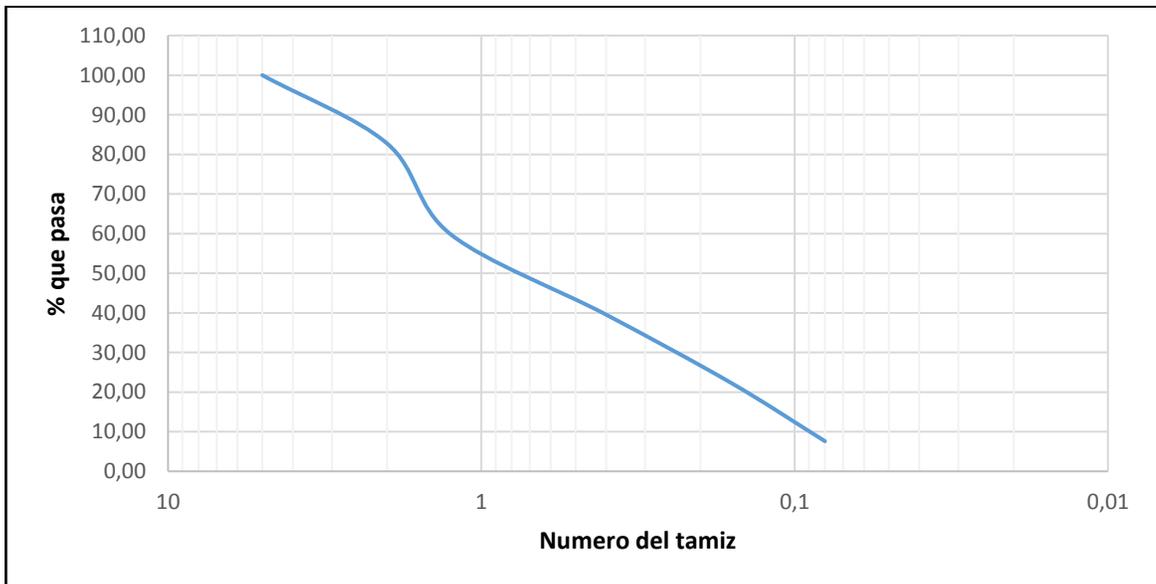
En la Tabla 19 y gráfica 10 se muestra los resultados de la prueba de granulometría para la muestra de suelo del talud 1.

Tabla 19. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 1.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #1					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	34,38	17,23	17,23	82,77
20	1,25	45,9	23,00	40,23	59,77
40	0,4	40,3	20,20	60,43	39,57
100	0,16	34,3	17,19	77,62	22,38
200	0,08	29,5	14,78	92,40	7,60
FONDO		15,16	7,60	100	0
TOTAL		199,54	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 10. Curva granulometría talud 1.13



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #1 (tabla 20 y gráfica 10), se puede determinar que el suelo objeto de estudio posee características de suelo grueso; ya que al pasar el material por el tamiz N°. 200, más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz

n°4, también se observa que el porcentaje de finos presente en la muestra es de 7,60% lo que nos lleva a concluir que el suelo es una arena.

Tabla 20. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,09
D30	0,27
D60	1,26
Cu	14,00
Cc	0,64

Fuente: los autores

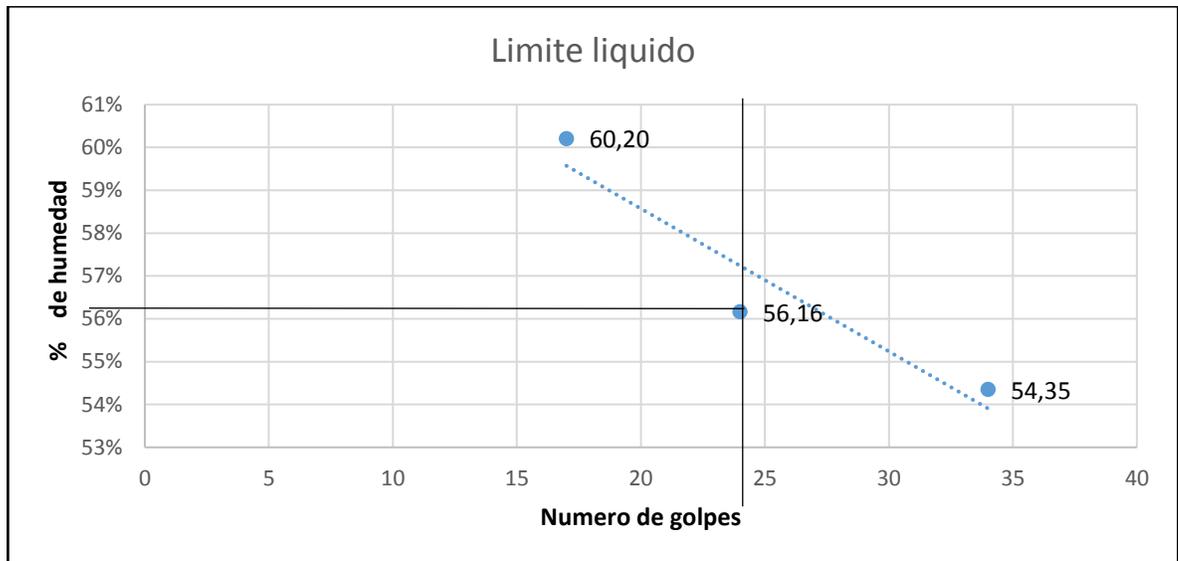
La tabla 21, muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $Cu > 6$  y  $1 < Cc < 3$  para que el suelo sea considerada bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 21, Se pude concluir que es un suelo mal gradado, ya que el coeficiente de curvatura no cumple las condiciones mostradas en el libro anteriormente mencionado la cual indica que está por debajo de 1.

Tabla 21. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 1.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE HUMEDAD	Nº GOLPES	PESO TARA (gr)	TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO HUM. (gr)	TARA + SUELO SECO (gr)	PESO SECO (gr)	% W
15-20	17	39,4	55,1	15,7	49,2	9,8	60,20
20-25	24	37	48,4	11,4	44,3	7,3	56,16
25-35	34	39,3	53,5	14,2	48,5	9,2	54,35

Fuente: los autores

Gráfica 11. Determinación del límite líquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

La grafica 11, muestra el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 56,9%.

Tabla 22. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (LP) talud 1.

LIMITE PLÁSTICO						
Nº	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	37,6	42,9	5,3	44,3	6,7	20,90
2	42,3	45,1	2,8	44,5	2,2	27,27
3	38,2	42,2	4	41,1	2,9	37,93
PROMEDIO						28,70

Fuente: los autores

La tabla 23 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 28,70%.

Tabla 23. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 1.

Límite líquido (Ll)	56,9
Límite plástico (Lp)	28,70
Índice de plasticidad (Ip) = límite líquido – límite plástico	28,20

Fuente: los autores

Con los datos de la tabla 22, se llega a la conclusión que el porcentaje de finos presentes en el suelo es una arcilla ya que el índice de plasticidad (Ip) se encuentra por encima de la línea A en la figura 1.5 (Gráfica de plasticidad) del libro fundamento de ingeniería de cimentaciones.

Tabla 24. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 1.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD N° 1	64,4	191,8	127,4	146,6	82,2	54,99

Fuente: los autores

Tabla 25. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 1.

Medida (mm)	MUESTRA TALUD N°1	
	Altura	Diámetro
1	42,77	32,76
2	41,6	45,44
3	41,95	44,57
PROMEDIO	42,11	40,92

Fuente: los autores

Tabla 26. Resultados de prueba de laboratorio de densidad suelo húmedo talud 1

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
43	139,2	96,2	55382,17	0,00174

Fuente: los autores

Tabla 27. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 1

Medida (mm)	muestra talud n°1	
	Altura	Diámetro
1	43,11	43,22
2	41,39	43,85
3	40,86	41,55
PROMEDIO	41,79	42,87

Fuente: los autores

Tabla 28. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 1.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
43	107,9	64,9	60323,88	0,00108

Fuente: los autores

Talud 2: ubicación 4°44'5.25"N 75°47'21.94"O

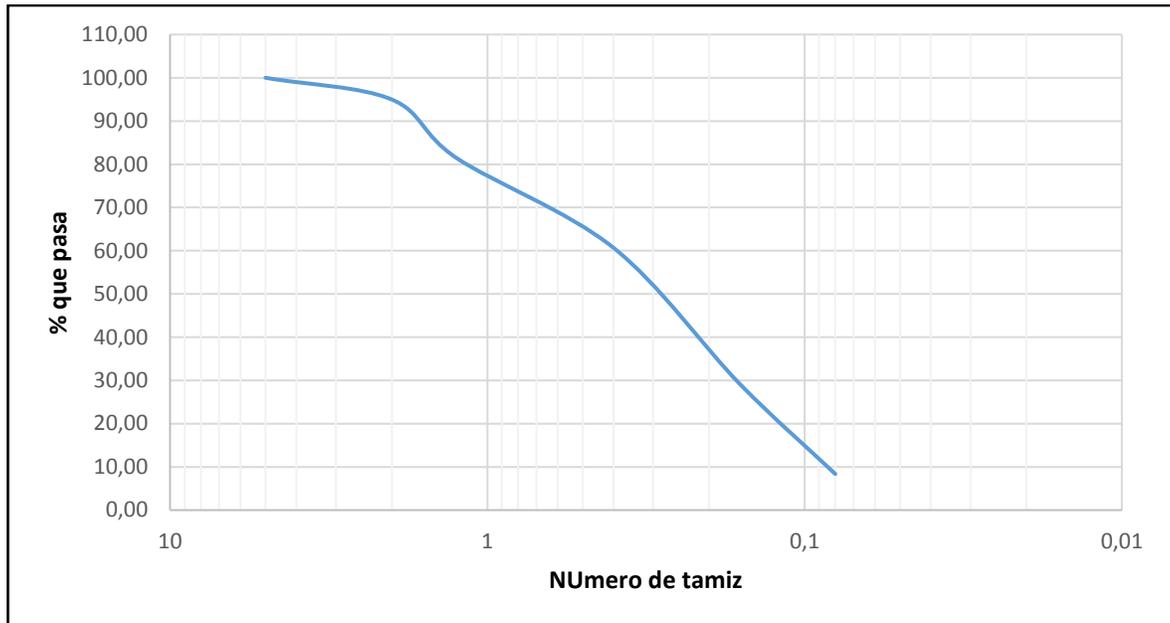
En la Tabla 28 y gráfica 13 se muestra los resultados de la prueba de granulometría para la muestra de suelo del talud 2.

Tabla 29. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 2.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #2					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	10	5,03	5,03	94,97
20	1,25	26,9	13,53	18,56	81,44
40	0,4	41,3	20,77	39,34	60,66
100	0,16	62,6	31,49	70,82	29,18
200	0,08	41,4	20,82	91,65	8,35
FONDO		16,6	8,35	100	0
TOTAL		198,8	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 12. Resultados granulometría talud 2.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #1 (tabla 30 y gráfica 12) pone en evidencia que el suelo objeto de estudio poseen características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 8,35% lo que nos lleva a concluir que el suelo es una arena.

Tabla 30. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,09
D30	0,17
D60	0,39
Cu	4,33
Cc	0,82

Fuente: los autores

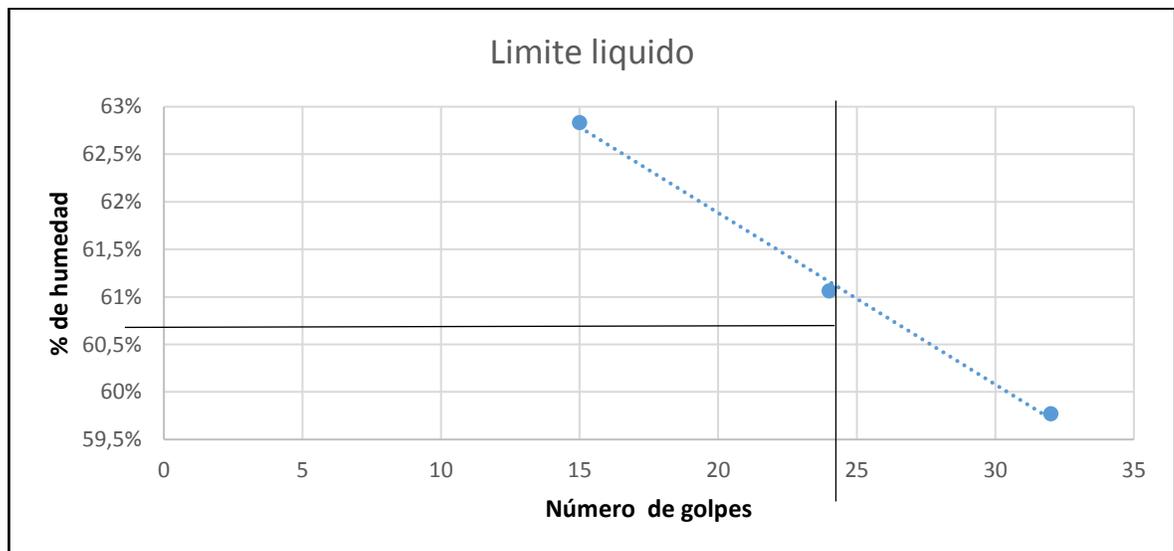
La tabla 31, representa los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $C_u > 6$  y  $1 < C_c < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 29 podemos observar que ninguno de los dos coeficientes cumple con la especificación requerida, lo que determina que es un suelo mal graduado.

Tabla 31. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 2.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE	Nº GOLPES	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
HUMEDAD		(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
15-20	15	38,9	57,3	18,4	50,2	11,3	62,83
20-25	24	42,1	60,3	18,2	53,4	11,3	61,06
25-35	32	37,5	51,4	13,9	46,2	8,7	59,77

Fuente: los autores

Gráfica 13. Determinación del límite liquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

En la grafica 13, se puede observar que el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 61%.

Tabla 32. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (LP) talud 2.

Limite plástico (Lp)						
Nº	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	38,4	42,8	4,4	41,3	2,9	51,72
2	37,4	42,8	5,4	41,1	3,7	45,95
3	37,1	42,8	5,7	40,8	3,7	54,05
PROMEDIO						50,57

Fuente: los autores

La tabla 32 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 50,57%.

Tabla 33. Valores límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 2

Limite liquido	61
Limite plástico	50,57
Índice de plasticidad	10,43

Fuente: los autores

de la tabla 33, se llega a la conclusion que el porcentaje de finos presentes en el suelo es un limo ya que el indice de plasticidad (Ip) se encuentra por debajo de la linea A en la figura 1.5 (Grafica de plasticidad) del libro fundamento de ingeniria de cimentaciones.

Tabla 34. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 2.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD N° 2	62,1	159,6	97,5	115,2	53,1	83,62

Fuente: los autores

Tabla 35. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 2

Medida (mm)	muestra talud n°2	
	Altura	Diámetro
1	39,21	44,95
2	32,05	44,94
3	39,2	44,95
PROMEDIO	36,82	44,95

Fuente: los autores

Tabla 36. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 2.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
42,2	98,9	56,7	58419,23	0,00097

Fuente: los autores

Tabla 37. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 2

Medida (mm)	muestra talud n°2	
	Altura	Diámetro
1	39,4	43,28
2	35,85	39,4
3	39,23	43,43
PROMEDIO	38,16	42,04

Fuente: los autores

Tabla 38. Densidad muestra de suelo seco talud 2.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
42,2	73,5	31,3	52959,27	0,00059

Fuente: los autores

Talud 3: Ubicación 4°44'12.66"N 75°47'23.74"O

Tabla 39. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 3.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #3					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	4,7	2,34	2,34	97,66
20	1,25	26,9	13,42	15,76	84,24
40	0,4	54,2	27,03	42,79	57,21
100	0,16	61,3	30,57	73,37	26,63
200	0,08	35,9	17,91	91,27	8,73
FONDO		17,5	8,73	100	0
TOTAL		200,5	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 14. Resultados granulometría talud 3.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #3 (tabla 39 y gráfica 14) pone en evidencia que el suelo objeto de estudio posee características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 8,73% lo que lleva a concluir que el suelo es una arena.

Tabla 40. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,09
D30	0,19
D60	0,49
Cu	5,44
Cc	0,82

Fuente: los autores

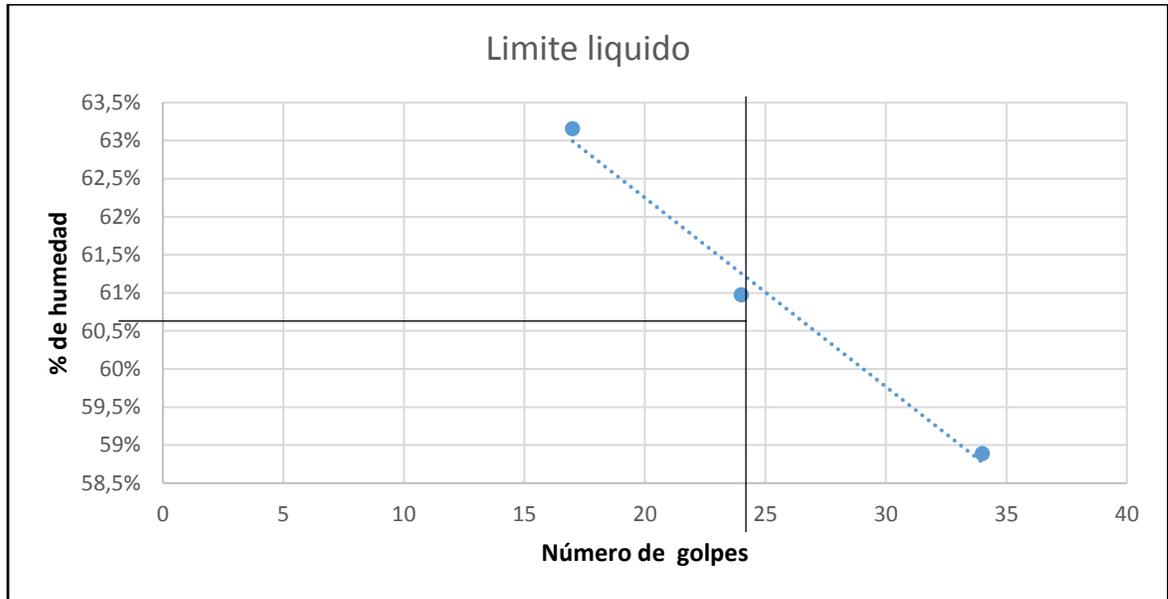
La tabla 40 muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $Cu > 6$  y  $1 < Cc < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 39 podemos observar que ninguno de los dos coeficientes cumple con la especificación requerida.

Tabla 41. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 3.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE	Nº GOLPES	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
HUMEDAD		(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
15-20	17	39,4	54,9	15,5	48,9	9,5	63,16
20-25	24	39,2	52,4	13,2	47,4	8,2	60,98
25-35	34	39	53,3	14,3	48	9	58,89

Fuente: los autores

Gráfica 15. Determinación del límite líquido en la curva de flujo talud 3



Fuente: los autores

La gráfica 15, se muestra el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 61%.

Tabla 42. Resultados prueba de laboratorio Límite Plástico (Lp) talud 3.

Límite plástico (Lp)						
Nº	PESO TARA (gr)	TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO HUM. (gr)	TARA + SUELO SECO (gr)	PESO SECO (gr)	% W
1	42,1	48	5,9	45,2	3,1	90,32
2	37,7	42	4,3	41,3	3,6	19,44
3	37,9	42,7	4,8	41,1	3,2	50,00
PROMEDIO						53,26

Fuente los autores

La tabla 42 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 53,26%.

Tabla 43. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 3

Límite líquido	61
Límite plástico	53,26
Índice de plasticidad	7,74

Fuente los autores

En la tabla 43 se puede concluir que el porcentaje de finos presentes en el suelo es un limo ya que el índice de plasticidad (Ip) se encuentra por debajo de la línea A en la figura 1.5 (Gráfica de plasticidad) del libro fundamento de ingeniería de cimentaciones.

Tabla 44. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 3.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD N° 3	60,8	191,5	130,7	154,8	94	39,04

Fuente: los autores

Tabla 45. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 3

Medida (mm)	muestra talud n°3	
	Altura	Diámetro
1	41,31	44,3
2	41,11	45,76
3	40,71	45,72
PROMEDIO	41,04	45,26

Fuente: los autores

Tabla 46. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 3.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
37,8	131,9	94,1	66031,14	0,00143

Fuente: los autores

Tabla 47. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 3

Medida (mm)	muestra talud n°3	
	Altura	Diámetro
1	40,89	42,46
2	41,99	42,86
3	40,16	44,18
PROMEDIO	41,01	43,17

Fuente: los autores

Tabla 48. Densidad muestra de suelo seco talud 3.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
37,8	101,1	63,3	60020,44	0,00105

Fuente: los autores

Talud 4: ubicación 4°44'12.66"N 75°47'23.74"O

Tabla 49. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 4.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #4					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. acumulado	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	11,4	5,71	5,71	94,29
20	1,25	36,4	18,24	23,95	76,05
40	0,4	50,8	25,45	49,40	50,60
100	0,16	56,8	28,46	77,86	22,14
200	0,08	38	19,04	96,89	3,11
FONDO		6,2	3,11	100	0
TOTAL		199,6	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 16. Resultados granulometría talud 4.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #4 (tabla 48 y gráfica 17) pone en evidencia que el suelo objeto de estudio

poseen características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 3,11%, al ser menor al 5% se considera como una arena limpia.

Tabla 50. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,09
D30	0,19
D60	0,49
Cu	5,44
Cc	0,82

Fuente: los autores

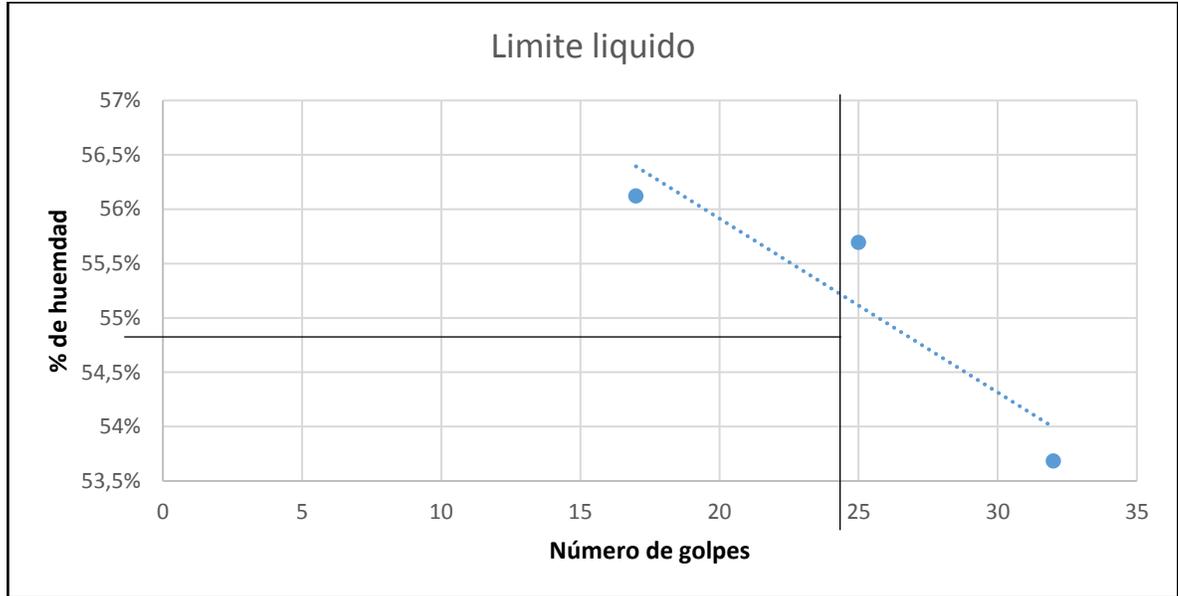
La tabla 50, muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $Cu > 6$  y  $1 < Cc < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 49 podemos observar que ninguno de los dos coeficientes cumple con la especificación requerida.

Tabla 50. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 4.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE	Nº GOLPES	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
HUMEDAD		(gr)	HUMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
15-20	17	38,3	53,6	15,3	48,1	9,8	56,12
20-25	25	39,3	51,6	12,3	47,2	7,9	55,70
25-35	32	37,3	51,9	14,6	46,8	9,5	53,68

Fuente: los autores

Gráfica 17. Determinación del límite líquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

La grafica 17 expresa el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 56,9%.

Tabla 51. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 4

Limite plástico (Lp)						
N°	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	39,2	44,3	5,1	42,8	3,6	41,67
2	38,5	43,9	5,4	42,3	3,8	42,11
3	37,6	44,4	6,8	42,3	4,7	44,68
PROMEDIO						42,82

Fuente: los autores

La tabla 51 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 42,82%.

Tabla 52. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 4

Límite líquido	55,1
Límite plástico	42,82
Índice de plasticidad	12,28

Fuente: los autores

Al ser el pasante de finos en el tamiz n° 200 menor al 5% no se toma en consideración realizarle la clasificación con la gráfica de plasticidad.

Tabla 53. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 4.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTR A	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD N° 4	57,2	181,5	124,3	142,5	85,3	45,72

Fuente: los autores

Tabla 54. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 4

Medida (mm)	muestra talud n°4	
	Altura	Diámetro
1	54,04	43,86
2	56,88	45,44
3	56,52	46,13
PROMEDIO	55,81	45,14

Fuente: los autores

Tabla 55. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 4

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA + MUESTRA	PESO MUESTRA	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	(gr)	(gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
37,8	176,9	139,1	89331,02	0,00156

Fuente: los autores

Tabla 56. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 4

Medida (mm)	muestra talud n°4	
	Altura	Diámetro
1	53,76	44,39
2	54,81	41,44
3	55,44	42,87
PROMEDIO	54,67	42,90

Fuente: los autores

Tabla 57. Densidad muestra de suelo seco talud 4.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
37,8	130,3	92,5	79020,67	0,00117

Fuente: los autores

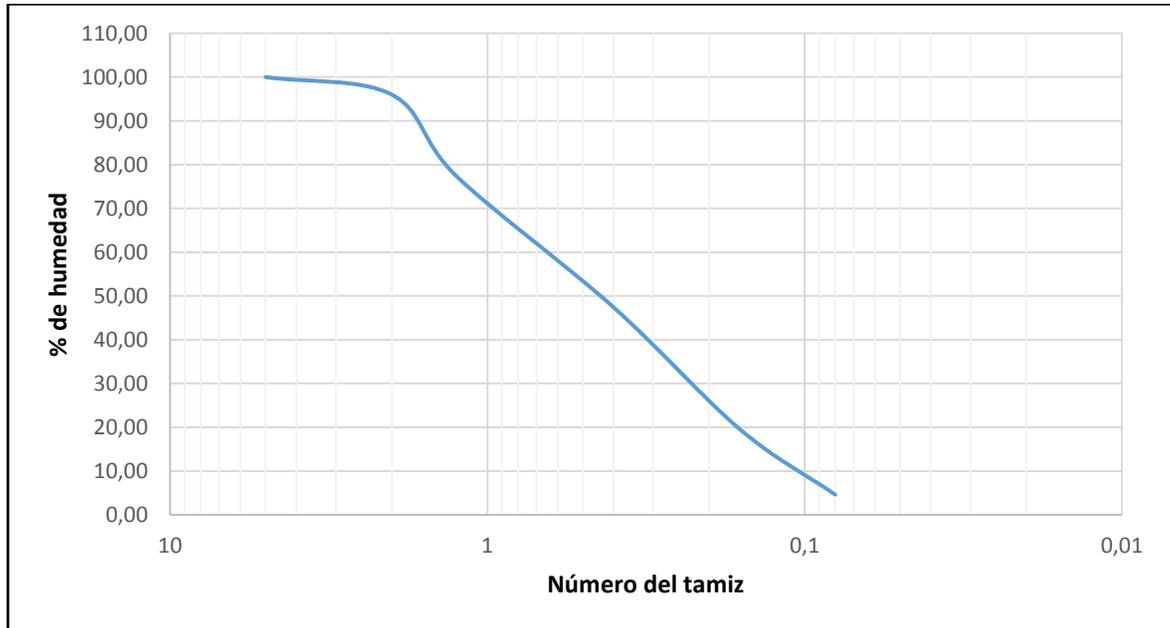
Talud 5: ubicación 4°44'42.22"N 75°46'52.93"O

Tabla 58. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 5.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #5					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. acumulado	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	8	4,01	4,01	95,99
20	1,25	37,2	18,65	22,66	77,34
40	0,4	59,7	29,92	52,58	47,42
100	0,16	55,6	27,87	80,45	19,55
200	0,08	29,8	14,94	95,39	4,61
FONDO		9,2	4,61	100	0
TOTAL		199,5	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 18. Resultados granulometría talud 5.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #1 (tabla 58 y gráfica 18) determina que el suelo objeto de estudio poseen características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 4,61%, al ser menor al 5% se considera como una arena limpia.

Tabla 59. Tabla 59. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,11
D30	0,25
D60	0,76
Cu	6,91

Cc	0,75
----	------

Fuente: los autores

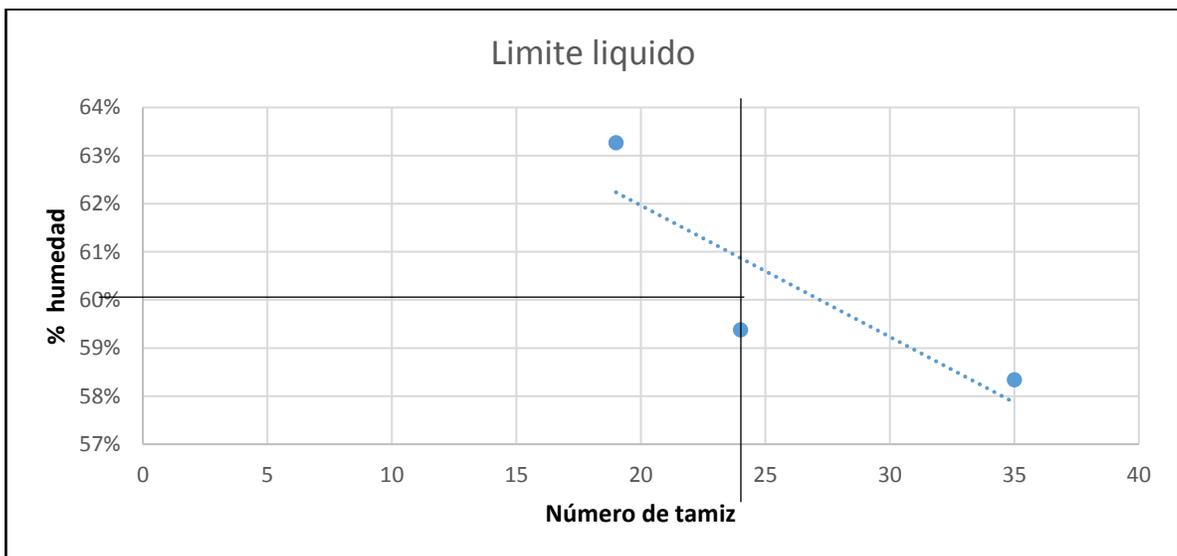
La tabla 59, muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $Cu > 6$  y  $1 < Cc < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 19 se concluye que es un suelo mal graduado ya que el coeficiente de curvatura no cumple con el rango de aceptación.

Tabla 60. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LI) talud 5.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE	Nº GOLPES	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
HUMEDAD		(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
15-20	19	37,6	53,6	16	47,4	9,8	63,27
20-25	24	37,6	52,9	15,3	47,2	9,6	59,37
25-35	35	42,5	55,8	13,3	50,9	8,4	58,33

Fuente: los autores

Gráfica 19. Determinación del límite liquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

La grafica 19 muestra el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 60,7%.

Tabla 61.Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 5

Limite plástico (Lp)						
Nº	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HUMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	45,7	54,5	8,8	51,6	5,9	49,15
2	46,8	54,6	7,8	52,1	5,3	47,17
3	46,3	56,8	10,5	53,5	7,2	45,83
PROMEDIO						47,39

Fuente: los autores

La tabla 61 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 47,39%.

Tabla 62.Valores límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 5

Limite liquido	60,7
Limite plástico	47,39
Índice de plasticidad	13,31

Fuente: los autores

Al ser el pasante de finos en el tamiz n° 200 menor al 5% no se toma en consideracion realizarle la clasificacion con la grafica de plasticidad.

Tabla 63. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 5.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD Nº 5	61,6	190,8	129,2	151,1	89,5	44,36

Fuente: los autores

Tabla 64. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 5

	muestra talud n°5	
Medida (mm)	Altura	Diámetro
1	62,69	44,55
2	61,96	46,25
3	59,89	44,21
PROMEDIO	61,51	45,00

Fuente: los autores

Tabla 65. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 5.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
37,4	195,2	157,8	97844,34	0,00161

Fuente: los autores

Tabla 66. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 5

	muestra talud n°5	
Medida (mm)	Altura	Diámetro
1	60,6	44,16
2	60,71	44,22
3	60,91	42,06
PROMEDIO	60,74	43,48

Fuente: los autores

Tabla 67. Densidad muestra de suelo seco talud 5.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
37,4	145,3	107,9	90184,30	0,00120

Fuente: los autores

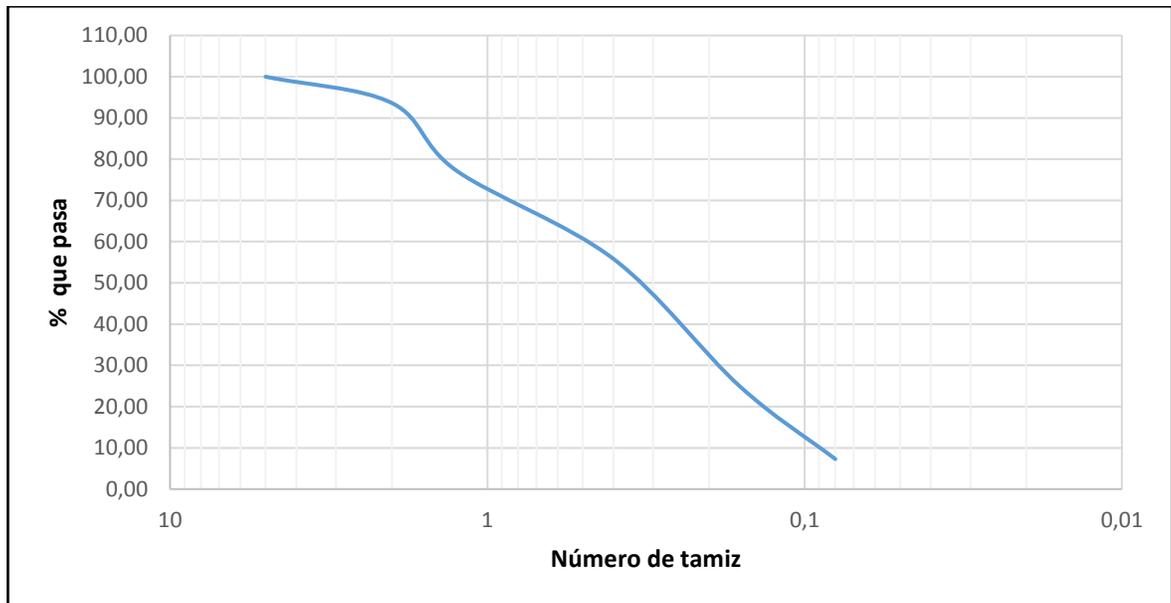
Talud 6: Ubicación 4°44'49.90"N 75°46'50.15"O

Tabla 68. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 6.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #6					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	12,7	6,38	6,38	93,62
20	1,25	32,7	16,42	22,80	77,20
40	0,4	42,6	21,40	44,20	55,80
100	0,16	61,5	30,89	75,09	24,91
200	0,08	35,1	17,63	92,72	7,28
FONDO		14,5	7,28	100	0
TOTAL		199,1	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 20. Resultados granulometría talud 6.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #6 (tabla 68 y gráfica 20) pone en evidencia que el suelo objeto de estudio poseen características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 7,28% lo que nos lleva a concluir que el suelo es una arena.

Tabla 69. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,11
D30	0,25
D60	0,76
Cu	6,91
Cc	0,75

Fuente: los autores

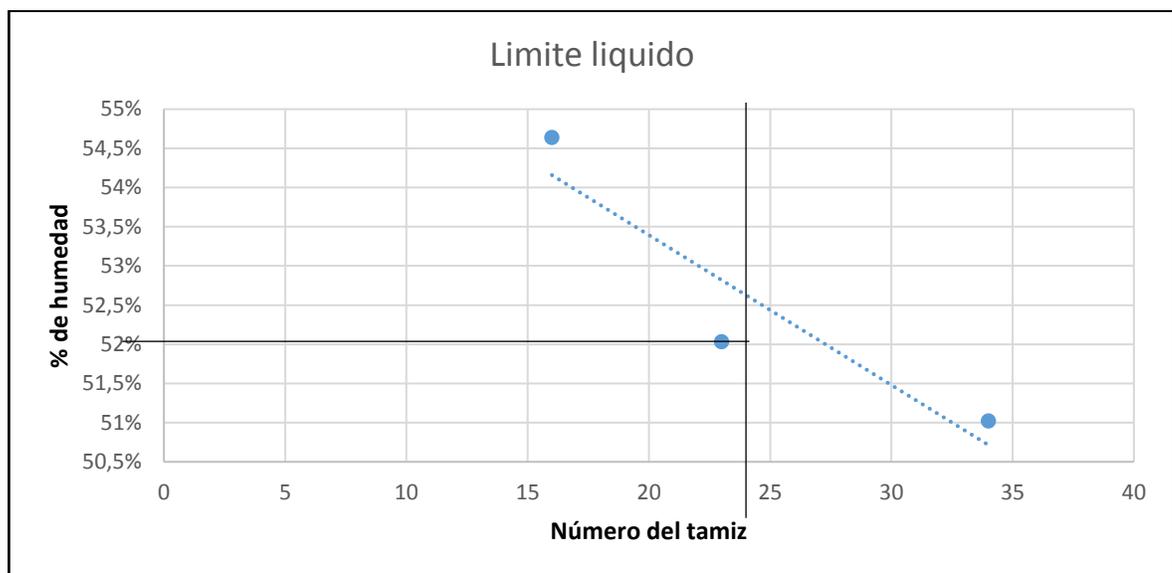
La tabla 69 muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $C_u > 6$  y  $1 < C_c < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 69 podemos observar que ninguno de los dos coeficientes cumple con la especificación requerida.

Tabla 70. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 6.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE	Nº GOLPES	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
HUMEDAD		(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
15-20	16	35,4	50,4	15	45,1	9,7	54,64
20-25	23	33,9	52,6	18,7	46,2	12,3	52,03
25-35	34	24,9	39,7	14,8	34,7	9,8	51,02

Fuente: los autores

Gráfica 21. Determinación del límite liquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

La grafica 21 Indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 52,4%.

Tabla 71.Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 6

Limite plástico (Lp)						
N o	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	1,5	6,2	4,7	4,7	3,2	46,88
2	1,4	6,1	4,7	4,4	3	56,67
3	1,4	7,3	5,9	5,5	4,1	43,90
PROMEDIO						49,15

Fuente: los autores

La tabla 71 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 49,15%.

Tabla 72.Valores límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 6

Limite liquido	52,4
Limite plástico	49,15
Índice de plasticidad	3,25

Fuente: los autores

Con los datos de la tabla 72 se puede llegar a la conclusion que el porcentaje de finos presentes en el suelo es un limo ya que el indice de plasticidad (Ip) se encuentra por debajo de la linea A en la figura 1.5 (Grafica de plasticidad) del libro fundamento de ingeniria de cimentaciones.

Tabla 73. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 6.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD N° 6	58	176,5	118,5	138,1	80,1	47,94

Fuente: los autores

Tabla 74. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 6

Medida (mm)	muestra talud n°6	
	Altura	Diámetro
1	52,16	45,27
2	51,34	44,88
3	50,43	44,75
PROMEDIO	51,31	44,97

Fuente: los autores

Tabla 75. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 6.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
38,1	185,8	147,7	81481,77	0,00181

Fuente: los autores

Tabla 76. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 6

Medida (mm)	muestra talud n°6	
	Altura	Diámetro
1	49,71	43,5
2	50,16	43,53
3	49,94	43,63
PROMEDIO	49,94	43,55

Fuente: los autores

Tabla 76. Muestra de suelo seco talud 6.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
38,1	121,7	83,6	74394,26	0,00112

Fuente: los autores

Talud 7: Ubicación 4°46'13.93"N 75°45'47.87"O

.Tabla 77. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 7

GRANULOMETRÍA MATERIAL #7					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	9,8	4,91	4,91	95,09
20	1,25	20,1	10,07	14,98	85,02
40	0,4	41,6	20,84	35,82	64,18
100	0,16	70,4	35,27	71,09	28,91
200	0,08	44,7	22,39	93,49	6,51
FONDO		13	6,51	100	0
TOTAL		199,6	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 22. Resultados granulometría talud 7.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #7 (tabla 78 y gráfica 24) pone en evidencia que el suelo objeto de estudio poseen características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 6,51% lo que nos lleva a concluir que el suelo es una arena.

Tabla 78. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

D10	0,09
D30	0,17
D60	0,37
Cu	4,11
Cc	0,87

Fuente: los autores

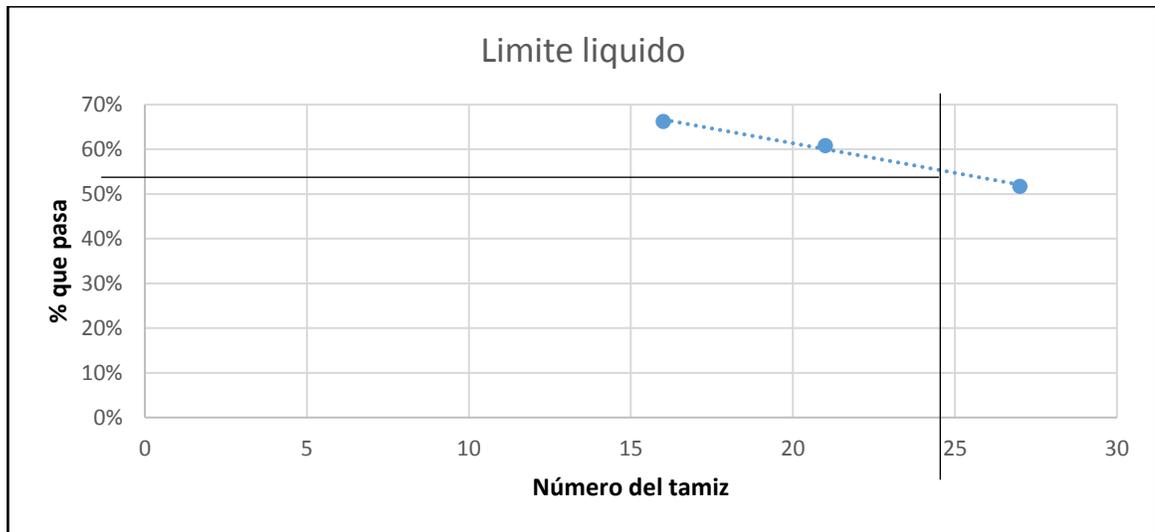
La tabla 80 muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $Cu > 6$  y  $1 < Cc < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 79 podemos observar que ninguno de los dos coeficientes cumple con la especificación requerida.

Tabla 79. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 7

Limite liquido (LL)							
RANGO DE HUMEDA D	Nº GOLPES	PESO TARA (gr)	TARA + SUELO HUMEDO (gr)	PESO HUM. (gr)	TARA + SUELO SECO (gr)	PESO SECO (gr)	% W
15-20	16	43	55,3	12,3	50,4	7,4	66,22
20-25	21	42,3	54,2	11,9	49,7	7,4	60,81
25-35	27	1,5	14,7	13,2	10,2	8,7	51,72

Fuente: los autores

Gráfica 23. Determinación del límite líquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

La grafica 12, Se muestra el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 55%.

Tabla 80. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 7

Limite Plástico (Lp)						
Nº	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	1,4	8,2	6,8	6,1	4,7	44,68
2	1,4	8,6	7,2	6,3	4,9	46,94
3	1,4	6,8	5,4	5	3,6	50,00
PROMEDIO						47,21

Fuente: los autores

La tabla 81 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 47,21%.

Tabla 81. Valores límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 7

Límite líquido	55
Límite plástico	47,21
Índice de plasticidad	7,79

Fuente: los autores

de la tabla 82 Se llega a la conclusión que el porcentaje de finos presentes en el suelo es un limo ya que el índice de plasticidad (Ip) se encuentra por debajo de la línea A en la figura 1.5 (Gráfica de plasticidad) del libro fundamento de ingeniería de cimentaciones

Tabla 82. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 7.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD N° 7	56,9	158,3	101,4	115,5	58,6	73,04

Fuente: los autores

Tabla 83. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 7

Medida (mm)	muestra talud n°7	
	Altura	Diámetro
1	35,84	43,63
2	35,09	46,6
3	35,16	43,98
PROMEDIO	35,36	44,74

Fuente: los autores

Tabla 84. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 7.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
38,2	111,8	73,6	55584,99	0,00132

Fuente: los autores

Tabla 85. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 7

Medida (mm)	muestra talud n°7	
	Altura	Diámetro
1	32,7	43,97
2	32,35	42,63
3	32,81	42,25
PROMEDIO	32,62	42,95

Fuente: los autores

Tabla 86. Tabla 87. Densidad muestra de suelo seco talud 7.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
38,2	80,6	42,4	47259,31	0,00090

Fuente: los autores

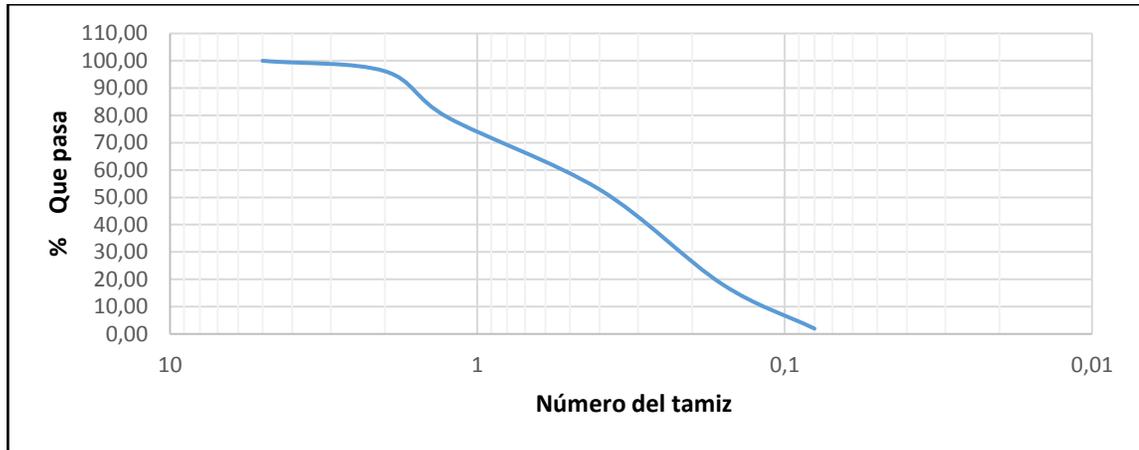
Talud 8: Ubicación 4°46'32.97"N 75°45'23.04"O

Tabla 87. Resultados prueba de laboratorio granulometría talud 8.

GRANULOMETRÍA MATERIAL #1					
TAMIZ #	TAMAÑO TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
4	5	0	0	0	100,00
10	2	7,6	3,82	3,82	96,18
20	1,25	33,6	16,88	20,70	79,30
40	0,4	52,6	26,43	47,14	52,86
100	0,16	68,8	34,57	81,71	18,29
200	0,08	32,5	16,33	98,04	1,96
FONDO		3,9	1,96	100	0
TOTAL		199	100	-	-

Fuente: los autores

Gráfica 24. Resultados granulometría talud 8.



Fuente: los autores

Los resultados obtenidos luego de realizar la granulometría de la muestra de suelo del talud #1 (tabla 88 y gráfica 26) pone en evidencia que el suelo objeto de estudio poseen características de suelo grueso; pues al pasar el material por el tamiz N°.200 más del 50% del material queda retenido y más del 50% pasa el tamiz n°4, el porcentaje de finos presente en la muestra es de 1,96%, al ser menor al 5% se considera como una arena limpia.

Tabla 88.Tabla 89. Valores del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Tamaño que pasa del material	%
D10	0,12
D30	0,24
D60	0,63
Cu	5,25
Cc	0,76

Fuente: los autores

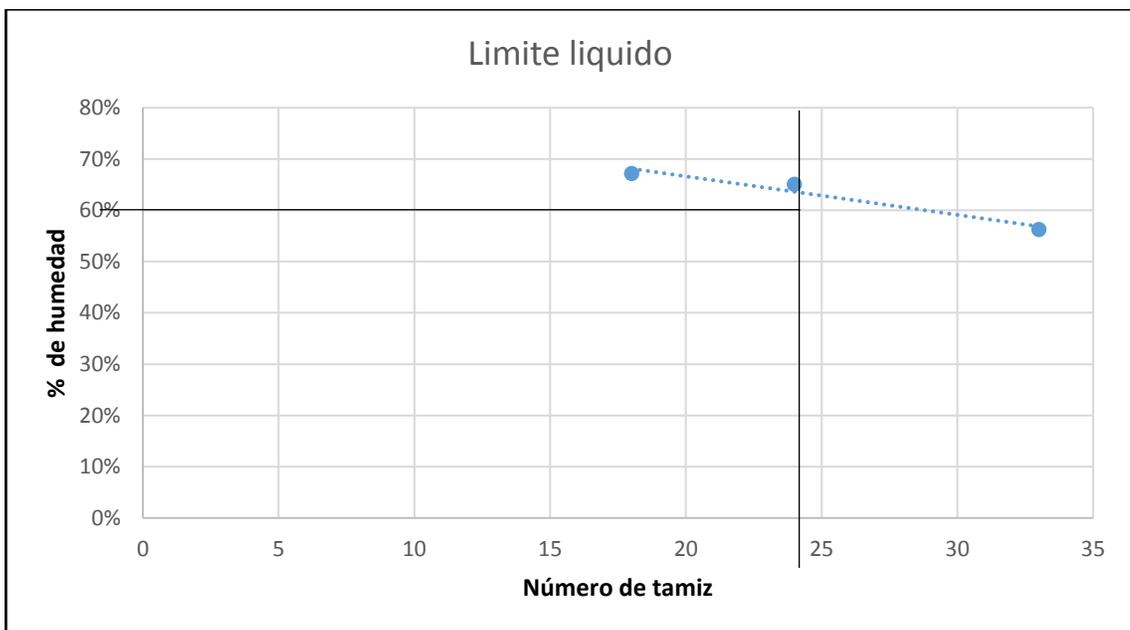
La tabla 89 muestra los resultados del coeficiente de uniformidad y de coeficiente de curvatura, según la tabla 8.1 de libro fundamentos de ingeniería de

cimentaciones estos deben cumplir con la siguiente condición  $Cu > 6$  y  $1 < Cc < 3$  para que el suelo este bien graduado. Al analizar los resultados de la tabla 89 podemos Tabla 89. Pruebas de laboratorio Limite Liquido (LL) talud 8.

Limite liquido (LL)							
RANGO DE HUMEDAD	Nº GOLPES	PESO TARA (gr)	TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	PESO HUM. (gr)	TARA + SUELO SECO (gr)	PESO SECO (gr)	% W
15-20	18	37,7	58,1	20,4	49,9	12,2	67,21
20-25	24	38,1	55,6	17,5	48,7	10,6	65,09
25-35	33	38,2	55,7	17,5	49,4	11,2	56,25

Fuente: los autores

Gráfica 25. Determinación del límite liquido en la curva de flujo



Fuente: los autores

La grafica 25 muestra el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico, el cual fue del 63%.

Tabla 90. Resultados prueba de laboratorio Limite Plástico (Lp) talud 8

Limite plástico (Lp)						
Nº	PESO TARA	TARA + SUELO	PESO HUM.	TARA + SUELO	PESO SECO	% W
	(gr)	HÚMEDO (gr)	(gr)	SECO (gr)	(gr)	
1	37,7	41,1	3,4	40,1	2,4	41,67
2	42,2	48,7	6,5	46,3	4,1	58,54
3	37,3	41,5	4,2	40,9	3,6	16,67
PROMEDIO						38,96

Fuente: los autores

La tabla 90 indica el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico, que tiene un valor de 38,96%.

Tabla 91.T Valores límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo talud 8

Limite liquido	63
Limite plástico	38,96
Índice de plasticidad	24,04

Fuente: los autores

Tabla 92. Resultados de laboratorio de contenido de humedad talud 8.

CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA	PESO TARA	PESO HÚMEDO + TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO + TARA	PESO SECO	W%
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	
TALUD Nº 8	69,1	190,1	121	149,2	80,1	51,06

Fuente: los autores

Tabla 93. Alturas y diámetros muestra húmeda inalterada de suelo talud 8

Medida (mm)	muestra talud n°8	
	Altura	Diámetro
1	40,4	46,93
2	39,84	43,18
3	40,5	45,05
PROMEDIO	40,25	45,05

Fuente: los autores

Tabla 94. Resultados de laboratorio de prueba de densidad suelo seco talud 8.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO HÚMEDO				
PESO TARA	TARA +	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUESTRA (gr)	MUESTRA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
42,3	136,4	94,1	64159,48	0,00147

Fuente: los autores

Tabla 95. Alturas y diámetros muestra seca inalterada de suelo talud 8

Medida (mm)	muestra talud n°8	
	Altura	Diámetro
1	39,58	42,34
2	39,7	41,72
3	39,41	44,88
PROMEDIO	39,56	42,98

Fuente: los autores

Tabla 96. Densidad muestra de suelo seco talud 8.

DENSIDAD MUESTRA DE SUELO SECO				
PESO TARA	TARA +	PESO MUES.	VOLUMEN	DENSIDAD
(gr)	MUES. SECA (gr)	SECA (gr)	(mm <sup>3</sup> )	(gr/mm <sup>3</sup> )
42,3	103,7	61,4	57398,79	0,00107

Fuente: los autores

Tabla 97. Resumen general de las propiedades físicas obtenidas.

Propiedad física del suelo	TALUD							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de suelo	Arena arcillosa	Arena limosa	Arena limosa	Arena limpia	Arena limpia	Arena limosa	Arena limosa	Arena limpia
Gradacion del suelo	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	mala
Limite liquido %	56,9	61	61	55,1	60,7	52,4	55	63
Limite plastico %	28,27	50,57	53,26	42,82	47,39	49,15	47,21	38,96
Indice de plasticidad %	28,20	10,43	7,74	12,28	13,31	3,25	7,79	24,04
Contenido de humedad %	54,99	83,62	39,04	45,72	44,36	47,94	53,04	51,06
Densidad humeda gr/cm3	0,00174	0,00097	0,00143	0,00156	0,00161	0,00181	0,00132	0,00147
Densidad seca gr/cm3	0,00108	0,00059	0,00105	0,00117	0,00120	0,00112	0,0090	0,00107

Fuente: los autores

Como denominador común en los taludes objeto de estudio tenemos que el suelo por el cual están conformados es arena, al ser este un suelo friccionante o no cohesivo, la estabilidad de un talud es una consecuencia de la resistencia al corte que se desarrolla entre las partículas constituyentes, la cual se define como la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla por los esfuerzos y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de éste.<sup>60</sup>

<sup>60</sup> PINEDA, Jaime; ADAMES Cristian; RODRÍGUEZ Cesar. Parámetros de resistencia al corte para interfaces de arena-concreto: propuesta de investigación. 2014 [En línea] Disponible en <<http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/StudentPapers/SP051.pdf>> Pereira, Risaralda. [junio 10 de 2017].

La resistencia al corte depende de las características propias del material tales como forma de los granos, distribución granulométrica, resistencia individual de las partículas, tamaño de las partículas, entre otras.<sup>61</sup>

Igualmente, es preciso mencionar que el suelo al ser una arena arcillosa no cuenta con la suficiente cohesión entre las partículas lo que aumenta la posibilidad de inestabilidad en el talud. Otro de los aspectos a tener en cuenta fue que al consultar en la Secretaría de Infraestructura no se encontraron documentos o soportes técnicos relacionados con la conformación de taludes en el tramo de vía comprendido entre San Joaquín Pereira y el municipio de Alcalá; situación que indica que la conformación de los taludes se hicieron de manera empírica sin fundamento técnico alguno; lo cual se pudo constatar al efectuar inspección visual de los taludes observando fallencias en la conformación de la pendiente, falta de vegetación en la cara del talud, no existe manejo de aguas, de igual forma no hay vegetación que proteja la corona del talud.

Tomando como referencia las secciones y pendientes típicas ilustradas en el libro de Jaime Suarez “Estabilidad de taludes en zonas tropicales”, se encontraron diferencias técnicas significativas que prueban una conformación inadecuada del talud.

El componente ambiental cumple una labor determinante para la conservación y estabilidad de los taludes en las vías; es por ello que el talud al no contar con cobertura vegetal apropiada, la cara de corte queda expuesta ante las lluvias periódicas generadas en la zona. Esta interacción con el agua crea erosión al no existir retención previa de las partículas de agua disminuyendo la capacidad de infiltración, aumenta los esfuerzos desestabilizantes, crea grietas por disecación y se pierde resistencia al corte al no haber raíces que ayuden a reforzar la

---

<sup>61</sup> JUARES, Badillo; RODRIGUEZ, Rico. Mecánica de Suelos. Tomo 2. México, D.F, México. 2007.

resistencia por cizalladura. Otra de las evidencias negativas es la presencia pasto y cercas las cuales crean efectos desestabilizantes en la cresta del talud.

Con las características descritas anteriormente es evidente que el talud no cuenta control o manejo de aguas, lo cual trae como consecuencia la disminución de la resistencia a la rotura en la superficie, la aparición de grietas de tracción las cuales reducen las fuerzas que tienden a provocar deslizamientos, saturación de la masa de suelo; lo cual hace que se incremente el peso del terreno, erosión en surcos y cárcavas ocasionadas por el agua de escorrentía.

#### **7.4 PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN NECESARIAS PARA IMPLEMENTARSE EN LOS DIFERENTES PASOS DE AGUA Y TALUDES EVALUADOS**

Como hemos visto hasta ahora, la construcción y el mantenimiento de carreteras incluyen obras y actividades con potencial de producir desequilibrio ecológico y para obtener su autorización se requiere de una evaluación de impacto ambiental, de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas.

Además, posterior a la construcción de la obra y durante la operación de carreteras hechas durante años anteriores donde no existían controles sobre las obras viales y obras complementarias, se hace necesario la intervención de estas, ya que el paso del tiempo y el poco mantenimiento de las obras de arte y taludes de la vía San Joaquín – Alcalá han generado modificaciones y desestabilización del terreno en el sector de influencia de la carretera.

Generalmente, durante los proyectos viales solo se tiene en cuenta el objeto central del proyecto carretero, las obras y actividades dentro del trazo del derecho de vía: desmonte, despalme, movimientos de tierra, excavaciones, rellenos, cortes, compactación, tendido de la superficie de rodamiento, construcción de puentes y túneles, drenaje, edificios, y su conservación mínimos. Sin embargo, cabe señalar que no todas las actividades del proyecto generadoras de impacto quedan ubicadas dentro de dicho trazo y algunas son susceptibles de causar un impacto significativo sobre el medio natural, que en algunos casos puede ser incluso superior al previsto para el objeto central del proyecto, el cual solo se hace visible con el paso del tiempo y se hace más importante si existe falta de mantenimiento preventivo. Por tanto, dichas actividades deben ser analizadas en la obtención de los permisos, concesiones y autorizaciones necesarias que han sido asignadas dentro de las responsabilidades de la empresa constructora que ha resultado ganadora de la adjudicación del contrato para ejecutar el proyecto carretero, también es importante tener en cuenta el mantenimiento de la vía y sus obras complementarias durante el tiempo los cuales pueden mitigar el impacto ambiental negativo que se genera con la ejecución de dichas obras viales.

De acuerdo a todos estos impactos ambientales que se han producido durante el paso del tiempo en la vía San Joaquín – Alcalá y ya que sus obras complementarias como son los pasos de agua y taludes no fueron diseñadas de acuerdo a las normas que existen actualmente se tienen que realizar algunas obras de mitigación para reducir los peligros latentes que se han evidenciado durante el estudio se hacen necesarias las siguientes intervenciones:

- 1) Estabilización y control de taludes críticos en la vía Pereira – Alcalá mediante estudios previos para realizar la intervención más adecuada a cada uno de los taludes de forma específica y según sea el tipo del suelo, estado actual, geometría, entre otras características que existen.

Modificación de la geometría del talud si es necesario para cada uno de los taludes para lograr su estabilidad. Con esta medida se corrige y se hace control de erosión.

Construcción de Berma y drenaje, corona combinada con recubrimiento vegetal. Se hace necesario en los taludes más críticos mencionados para el control de erosión, desprendimiento de masa vegetal y arbórea para la estabilidad del terreno y control de escorrentía.

En los casos que ya existe alta cantidad erosiva se hace necesario el control y mitigación de estos taludes con el corte de la parte superior del talud para disminuir el peso del talud, además se recomienda la instalación de mallas geotextiles, obras de drenaje e instalación de cubrimiento vegetal para generar una estabilización del talud y mitigar el riesgo inminente que ya existe.

- 2) Para el caso específico de las obras de arte se debe realizar de manera prioritaria el mantenimiento y limpieza de las obras transversales del esta vía. En los tramos de la carretera que no han sido rehabilitados y rediseñados de la vía Pereira-Alcalá sector Risaralda las obras transversales deben ser rediseñados y modificados estructuralmente de acuerdo a las normas de INVIAS vigentes actualmente en Colombia porque ya son obsoletas estas obras.

Específicamente para el caso de cajas de recolección deben ser limpiadas, sellar grietas y en los casos más graves deben ser rediseñadas.

Para el caso de alcantarillas deben ser limpiadas, revisadas, selladas sus grietas y rediseñadas de acuerdo a su tamaño de acuerdo a las normas de INVIAS vigentes.

Posteriormente para el caso de descole se hace necesario la limpieza, sellamiento de grietas y en los casos más críticos el rediseño de estas cajas de acuerdo a su estado y las normas vigentes de INVIAS.

Finalmente, para la entrega se hace necesario la revisión si existe, si no existe diseñarlas y realizar su construcción de acuerdo a la norma vigente de INVIAS, si existe hacer su limpieza y mantenimiento, sellamiento de grietas y rediseño si es necesario tomando como criterio la norma vigente de INVIAS para el caso de obras transversales y drenajes.

Teniendo en cuenta estas condiciones y estas prioridades para la mitigación de riesgos potenciales, se debe diseñar un programa estratégico de conservación vial, proyectada para detener deterioros leves, retardar fallas progresivas y reducir la necesidad de obras de rehabilitación y reconstrucción, para el caso de obras de rehabilitación y reconstrucción, reconstrucción que ya se hacen inminentes deben colocarse en dicho programa como prioritarios para detener su avance.

Con base en estos criterios se diseñan las fichas específicamente para taludes y pasos de agua, con las cuales se identifica el estado actual de estas obras complementarias; para determinar la intervención específica que requieren las obras de arte y los taludes presentes en el tramo vial San Joaquín – Municipio de Alcalá.

**7.4.1 Mantenimiento y mitigación pasos de agua.** Las medidas necesarias para la mitigación del riesgo en tramo de vía estudiado se basan principalmente en el mantenimiento y limpieza de los pasos de agua existentes en la carretera. Esta medida no ocasiona un desequilibrio ambiental que el producido por los residuos generados tras la limpieza en estas obras.

El correcto funcionamiento de los pasos de agua se compone principalmente de la inspección y limpieza de los amontonamientos y de los taponamientos detectados.

A la fecha las obras de drenaje cumplen un papel importante para el entorno que las rodea; pues facilita el flujo de las aguas superficiales producidas por las lluvias y permite la libre permeabilidad transversal de la fauna. Es por ello que un adecuado control y mantenimiento de las obras de drenaje logran ayudar a la conservación de las vías y beneficia al medio ambiente.

Igualmente mantener en buenas condiciones cada uno de los elementos que conforman todas las redes de drenaje permite el adecuado funcionamiento la red.

Con relación a las basuras y escombros transportados por lluvias o por acción humana; las tareas de limpieza y recolección deberán tratarse de manera adecuada; así mismo cuando se efectúan labores de reposición y/o construcción de obras por ningún motivo el material sobrante se debe dejar en los terrenos colindantes donde se han ejecutado las actividades.

Entre las principales operaciones se encuentran:

Limpiezas de cunetas o bajantes.

Construcción o reposición de elementos de drenaje (cunetas, tubos transversales y/o bordillos)

Tabla 98. Presupuesto medidas de mitigación pasos de agua

DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Limpieza de alcantarillas (circular y de cajón) incluye descole y retiro manual	Un	66	\$ 91.115	\$ 6.013.590
Reparaciones menores en alcantarillas (concreto 2500 psi)	M3	2,1	\$ 291.153	\$ 611.421
Total				\$ 6.625.011

Fuente: los autores

#### **7.4.2 Procesos de mitigación y estabilización de los taludes objeto de estudio.**

Al conocer la importancia de cada factor de riesgo, se debe iniciar a la mitigación de los aspectos que pueden ser más notables.

Estas obras de mitigación colaboraran a asegurar los sectores del tramo de vía estudiado que han sufrido estos fenómenos por deslizamiento de masas.

Conforme a las diferentes medidas de mitigación que se pueden realizar como sistemas de estabilización que aminoran los riesgos por deslizamientos en el sector, se busca la forma de reducir al máximo los tipos de movimiento de tierra presentes y por otra parte lograr incrementar la resistencia del terreno.

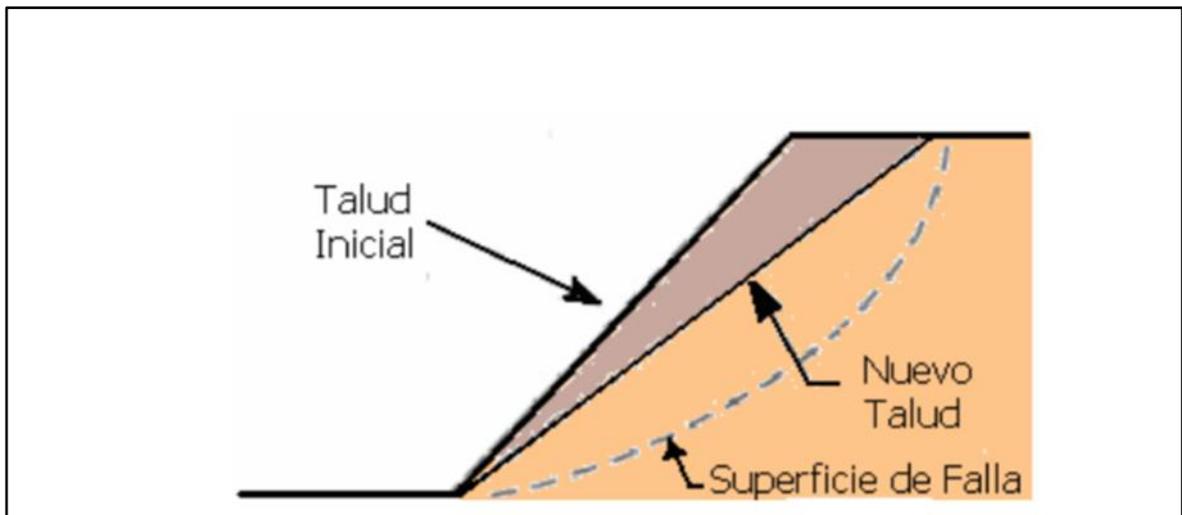
**7.4.3 Construcción de obras de mitigación.** Las elecciones de obras, son iguales para los 8 taludes objeto de estudio de acuerdo a los estudios y diseños, comprendiendo así la realización de obras tales que den cumplimiento a la normatividad vigente, entre estas se pueden mencionar:

- Modificación de la geometría del talud.
- Construcción de drenajes para el manejo de aguas superficiales.
- Obras de movimientos de tierra.
- Obras de bioingeniería para la protección y control de la erosión.

**7.4.3.1 Modificación de la geometría del talud.** Mediante la modificación de la geometría de los taludes se logra redistribuir las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable.

El abatimiento de taludes es la modificación de su pendiente con el fin de lograr que esta sea menor para aumentar su estabilidad; este método puede ser aplicado tanto a taludes de corte como de relleno. Este método funciona tanto para materiales sueltos como rocosos, aunque resulta más efectivo en suelos fricciantes. Su uso no es recomendado para taludes de gran altura debido al elevado costo que esto implicaría<sup>62</sup>.

Figura 23. Esquema de proyección de cambio de pendiente de un talud.



Fuente: Técnicas de mitigación para el control de deslizamiento en taludes y su aplicación a un caso específico. p. 104

<sup>62</sup> ALBERTI A., José R., CANALES B., Rodolfo E. y HAZEL S., Brenda E. Técnicas de mitigación para el control de deslizamiento en taludes y su aplicación a un caso específico. 2006 [En línea] Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/4514/1/T%C3%A9cnicas%20de%20mitigaci%C3%B3n%20para%20el%20control%20de%20deslizamientos%20en%20taludes%20y%20su%20aplicaci%C3%B3n%20a%20un%20caso%20espec%C3%ADfico.pdf> > [Citado el: 28 de junio de 2017.].

Al disminuir la pendiente del talud, el círculo crítico de falla se hace más largo y profundo para el caso de un talud estable, aumentándose en esta forma el factor de seguridad<sup>63</sup>.

Cuando su aplicación sea en taludes de relleno el objeto del trabajo será:

- a. Aumentar la estabilidad del relleno.
- b. Alejar de la corona el pie del talud, disminuyendo el peligro de la erosión al reducir la velocidad de escurrimiento del agua.

**7.4.3.2 Abatimiento de taludes por corte.** La operación de abatir taludes por medio de cortes es una labor difícil y costosa, por lo que para su ejecución deberá estudiarse a fondo el problema; datos como la frecuencia, número y volumen de los derrumbes, pueden normar el criterio para proceder a la ejecución.

Este método es aplicado con mayor éxito en deslizamientos en el cuerpo del talud, aunque su eficiencia no es de alcance universal, ya que se debe tener presente que el comportamiento del talud abatido es diferente al original, por lo que con los resultados del factor de seguridad determinado se deberá hacer un nuevo análisis de estabilidad del talud abatido<sup>64</sup>.

Si el terreno que constituye el talud es clasificado como suelo puramente friccionante, la estabilidad aumenta con la inclinación del talud; pero si el suelo es cohesivo los beneficios de este método serán escasos ya que la estabilidad de estos taludes está condicionada por la altura de los mismos. En suelos cohesivos y

---

<sup>63</sup> Ibid.

<sup>64</sup> Ibid.

friccionantes el abatimiento de taludes produce un aumento de la estabilidad en general<sup>65</sup>.

**7.4.3.3 Construcción de drenajes para el manejo de aguas superficiales.** Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por lo tanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción. Estas medidas son generalmente las más efectivas, ya que el agua es el principal agente desencadenante de los problemas de inestabilidad en taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionándolo, etc.

**7.4.3.4 Drenaje superficial.** Se llama drenaje superficial a todas las obras civiles que captan el agua que corre por la superficie para conducir las a lugares donde su propia ubicación ya no es considerada como dañina a la estabilización del talud.

Los drenajes superficiales deben ser diseñados para evitar la llegada y acumulación de agua en el talud, sobre todo en la zona de la cabecera y en el caso de los taludes escalonados, en las bermas, ya que es frecuente que se produzcan encharcamientos de la época de lluvia en estas zonas planas.

Al construir un drenaje se debe constatar que el diseño y el procedimiento de ejecución sean los adecuados, para evitar en lo posible problemas.

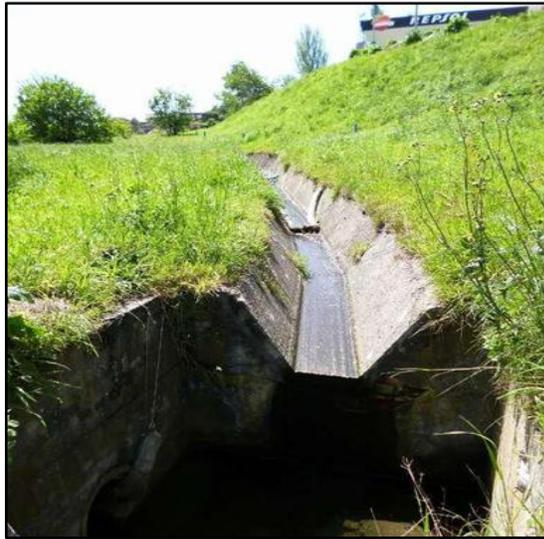
A continuación, se mencionan las obras para la mitigación del riesgo en los taludes objeto de estudio:

---

<sup>65</sup> *Ibíd.*

Cuneta: Las cunetas son las zanjas de sección determinada construidas a uno o ambos lados de la corona del talud en los cortes. También se pueden definir como un conducto abierto, revestido o no revestido de concreto, que sirve para conducir aguas de plataforma a las cajas o arroyos naturales, puede ser de sección triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular.

Figura 24. Cuneta trapezoidal.

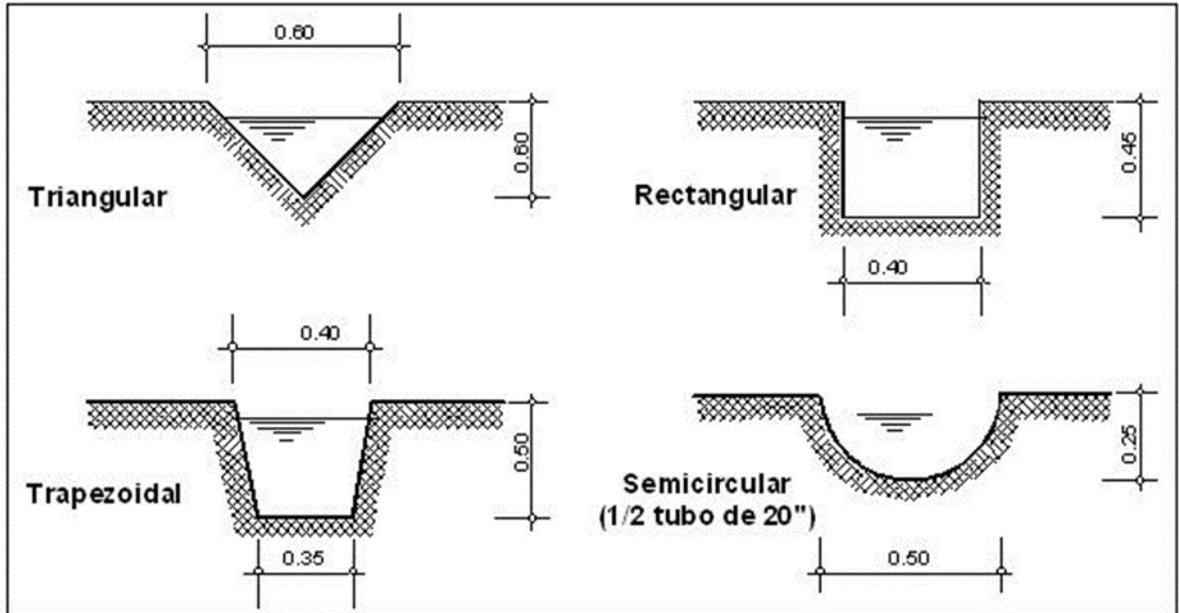


Fuente: imagen: <http://fotos01.laopinioncoruna.es/2015/05/06/646x260/gasolinera-o-1.jpg>

Contra cuneta: Contra cunetas son zanjas, generalmente paralelas al eje de la vía, construidas a una distancia mínima de 1,50 metros de la parte superior de un talud en corte. Su sección transversal es variable, siendo comunes las de forma triangular o cuadrada. Su ubicación, longitud y dimensiones deben ser indicadas por personal con experiencia en el campo de las carreteras.

Se acostumbra a construir las cunetas cuando el agua que llega al talud es abundante, y para taludes que sobrepasan los 4 metros de alto. Las contra cunetas tienen la función de evitar que las aguas superficiales se desplacen por el talud de corte, erosionando y recargando a su vez la capacidad de la cuneta.

Figura 25. Contra cunetas típicas



Fuente: imagen en

[http://1.bp.blogspot.com/\\_hRZGKGVwUis/RqUxAKMVsy/AAAAAAAAARA/p6O0A-BkjTk/w1200-h630-p-k-no-nu/cuneta.JPG](http://1.bp.blogspot.com/_hRZGKGVwUis/RqUxAKMVsy/AAAAAAAAARA/p6O0A-BkjTk/w1200-h630-p-k-no-nu/cuneta.JPG)

**Cajas:** Son estructuras hechas de material resistente, ya sea de mampostería o concreto, que tienen por finalidad cambiar la dirección del agua que conduce una cuneta, canal disipador o contra cuneta.

Figura 26. Caja generando cambio de dirección de agua



Fuente: Tesis de grado "técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico". p.133

#### **7.4.3.5 Obras de bioingeniería para la protección y control de la erosión.**

Protección de la superficie: Las técnicas de protección de la superficie o revestimiento de taludes, es utilizada para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad. Estas estructuras de revestimiento son aplicables a taludes geotécnicamente estables.

Las obras para el control de la erosión buscan la adecuada evacuación de las aguas de escorrentía, un mejoramiento de la infiltración, la disminución de la velocidad de escurrimiento, la protección de los suelos al impacto de la lluvia y el restablecimiento de coberturas vegetales. Los revestimientos de las superficies de los taludes con concreto lanzado, suelo cemento o mampostería, se utilizan cuando las pendientes de los mismos son mayores al 100% (45°), así como es posible utilizarlos en la parte baja de las estructuras de contención y requieren ser complementadas con obras de control de drenaje superficial.

A continuación, se describe las prácticas de protección de la superficie de un talud que se utilizara para la mitigación de riesgos en los taludes:

Hidrosiembra: La hidrosiembra es un tipo de actuación que se realiza en aquellas zonas donde existe un riesgo potencial de erosión y donde no pueden ser utilizados las técnicas convencionales de siembra, debido a la dificultad de acceso o a las fuertes pendientes. También se realizan para minimizar el impacto ambiental que producen las grandes obras de infraestructuras<sup>66</sup>.

---

<sup>66</sup> MERA, William M. 2017. Hidrosiembra para estabilidad de taludes. 2017 [En línea] Disponible en < <https://prezi.com/b6xekib5ao8w/hidrosiembra-para-estabilidad-de-taludes/>.> 16 de marzo de 2017. [Citado el: 15 de junio de 2017.]

Figura 27. Técnica rociada hidrosiembra en talud



Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/10/04/hidrosiembra/>

**7.4.4 Presupuesto total para los 8 taludes.** En la tabla 99 se presenta el presupuesto de obras de la intervención en los taludes.

Tabla 99. Presupuesto total intervención taludes

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Descapote y limpieza	m <sup>2</sup>	25.190,86	3.428	\$863.54.268,1
2	Localización y replanteo	m <sup>2</sup>	21.826	816	\$17.810.016
3	Excavación material común maquina	m <sup>3</sup>	31.071,6	5.811	\$180.557.068
4	Excavación material común manual	m <sup>3</sup>	1.290,012	28.329	\$36.544.749,9
5	Cuneta en concreto vaciado in situ, no incluye conformación de la superficie de apoyo (3000 psi)	m <sup>3</sup>	748,4	487.868	\$365.120.411

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
6	Canal disipador de energía en concreto (3000 psi)	m <sup>3</sup>	133,17	776.915	\$103.461.771
7	Protección de taludes con hidrosiembra	m <sup>2</sup>	25.190,86	4.037	\$101.695.502
8	Caja de inspección de 1x1x1 m en concreto de 17,2 mpa, tapa reforzada en concreto 20,7 mpa (3000 psi)	un	16	475.646	\$7.610.336
TOTAL					\$899.154.121

Fuente: los autores

## 8. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se logró identificar que el tramo vial de 14,9 kilómetros entre la vereda de San Joaquín y Alcalá hay 8 taludes y 66 drenajes de agua.

Existe un área de 8673,49 M<sup>2</sup> de taludes afectados por amenaza de fenómenos de remoción en masa (FRM), y que se centra en erosión superficial.

Se identificó como signos de inestabilidad predominantes en los taludes Grietas de tensión en corona, Presencia de negativos (concavidades), Presencia de surcos o carcavamientos, socavación de bases.

La evaluación identificó daños superficiales al pavimento asfáltico, inestabilidad de los taludes, poca señalización y obras transversales.

El mantenimiento inadecuado fue la mayor causa del mal estado de los pasos de agua en el tramo vial San Joaquín – Alcalá, encontrando en el 99% alguna de estas condiciones: invasión de maleza, acumulación de escombros, acumulación de tierra.

## 9. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el proceso de la investigación y después de realizar ensayos a varias muestras de suelo alteradas e inalteradas, las cuales contenían diferentes porcentajes de humedad, teniendo en cuenta que se trabajó con humedades inferiores al 10%, ya que el terreno no permite compactación, y sin exceder humedades de 30% para evitar que la muestra de suelo se convierta en un estado viscoso o fluido, también hace más difícil su manejo.

Debido a las condiciones encontradas en el terreno para la conformación de los taludes objeto de investigación en la vía San Joaquín – Municipio de Alcalá, se recomienda que se realicen ensayos más especializados con algún tipo de aditivo para ver qué resultados se pueden obtener y así realizar una comparación con los resultados ya determinados en esta investigación.

También se recomienda que al inicio del proceso experimental realizado en el laboratorio, se debe elaborar una serie de ensayos como compresión no confinada, ensayo triaxial a los cilindros de suelo inalterados del sector de la vía Pereira-Alcalá (alrededor de 7 cilindros), con la misma muestra de suelo y aplicando los mismos porcentajes de humedad y adicionando un aditivo químico, con la intención de realizar el ensayo de compresión inconfiada y triaxial a un sólo cilindro diariamente, respectivamente y así al final de la semana establecer por medio del equipo de investigación, una comparación entre las resistencias a través de una gráfica (resistencia vs tiempo) para determinar el día exacto donde uno de los siete cilindros tienen su máxima resistencia; dicho proceso con la intención de establecer los días que deben estar almacenadas las probetas antes de ser ensayadas.

Para investigaciones la conformación o estabilización de dichos taludes, se recomienda utilizar cal como aditivo químico o cemento para la estabilización de dichos suelos, además se recomienda para nuevas investigaciones; se deben

extraer varios cilindros con distintos grados de pureza, aplicando determinada cantidad de sustancia a la muestra de suelo y realizando el ensayo de compresión inconfiada; de esta manera determinar el cilindro con cierto grado de pureza posee la mayor resistencia y así utilizar la misma dosificación de cal o cemento para todas las probetas a realizar con el mismo producto. De esta forma tener un mayor criterio para la estabilización de los taludes presentes en esta vía.

Otra recomendación que se debe tener en cuenta es la combinación de empedrar los taludes y obras de drenaje para conformar cada uno de los taludes y evitar la erosión de los mismos por la circulación de agua de escorrentía; es importante destacar que es una alternativa económica y arroja excelentes resultados si se incluye un corte en el talud para quitarle peso a la parte superior de este.

Para el caso de las obras de drenaje (obras de arte) se recomienda principalmente realizar limpieza del encoche, descoche, tubería de drenaje y la entrega para que el agua fluya sin ningún tipo de inconveniente causando láminas de agua en la vía o inundaciones que puedan causar daños estructurales o accidentes.

Para la parte estructural de estas estructuras se hace necesario realizar resanes al concreto en donde se encuentran grietas que no comprometen en gran proporción ya sea el encoche, descoche, tubería de drenaje o entrega de las obras transversales de la vía Pereira-Alcalá sector Risaralda para evitar posteriores daños de mayor gravedad que comprometan la parte estructural.

De acuerdo a este criterio en los casos más críticos que comprometen estas obras de drenaje, los cuales ya está comprometida la parte estructural realizar una intervención de reforzarla o construirla nuevamente con las especificaciones técnicas de la norma INVIAS para drenajes viales.

Finalmente se invita a verificar las distancias mínimas entre estas para las obras de arte de la vía reiterando los tramos de la carretera San Joaquín – Municipio de Alcalá donde no ha sido rehabilitada, ya que en estos tramos no existen estructuras de drenaje o si existen no son suficiente y sus especificaciones técnicas no aplican para las normas actuales de INVIAS para drenajes.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

ALBERTI A., José R., CANALES B., Rodolfo E. y HAZEL S., Brenda E.. Tecnicas de mitigación para el control de deslizamiento en talaudes y su aplicación a un caso específico . [En línea] octubre de 2006. [Citado el: 28 de junio de 2017.] <http://ri.ues.edu.sv/4514/1/T%C3%A9cnicas%20de%20mitigaci%C3%B3n%20para%20el%20control%20de%20deslizamientos%20en%20taludes%20y%20su%20aplicaci%C3%B3n%20un%20caso%20espec%C3%ADfico.pdf>.

BERNAL, César. *Metodología de la Investigación*. Bogotá : Pearson , 2010.

CARACOL RADIO. Gobernador de Risaralda analiza APP para la vía Pereira - Alcalá. [En línea] 7 de Marzo de 2017. [Citado el: 9 de Marzo de 2017.] [http://caracol.com.co/emisora/2017/03/07/pereira/1488909918\\_735602.html](http://caracol.com.co/emisora/2017/03/07/pereira/1488909918_735602.html).

CARDONA, Juan Pablo & HERRERA, Carolina . Propuestas de solución y manejo del punto geotécnico del sitio crítico en la vía interdepartamental (vía secundaria) Pereira - Alcalá, tramo vial vereda Morelia a partir del casco urbano, Km. 1. [En línea] 2014. [Citado el: 9 de Marzo de 2017.] <http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/585/PROPUESTA%20DE%20SOLUCI%C3%93N.pdf?sequence=1>.

CIUDAD REGIÓN . 1.000 metros de la vía Pereira - Alcalá ya han sido reparados . [En línea] 24 de Agosto de 2014. [Citado el: 20 de Enero de 2017.] [http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados\\_1408937660](http://www.ciudadregion.com/risaralda/metros-via-pereira-alcala-ya-han-sido-reparados_1408937660).

DE MATTEIS, Alvaro . Geología y Geotecnia . [En línea] 2003 . [Citado el: 20 de Febrero de 2017.] <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>.

EL DIARIO . Peaje en vía Pereira- Alcalá, no suena en la comunidad. [En línea] 20 de Febrero de 2017. [Citado el: 9 de Marzo de 2017.] <http://www.eldiario.com.co/seccion/LOCAL/peaje-en-v-a-pereira-alcal-no-suena-en-la-comunidad1702.html>.

I.N.V.I.A.S. I.N.V.E. -123- 07 Análisis de granulometría por tamizados. [En línea] [Citado el: 12 de abril de 2017.] [tp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-123-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-123-07.pdf).

INVIAS. Determinación de la gravedad específica de suelos y del llenante mineral. [En línea] 2007. [Citado el: 16 de abril de 2017.] [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-128-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-128-07.pdf).

INVIAS. Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezcla de suelo - agregado I.N.V. E – 122 – 07. [En línea] 2007. [Citado el: 16 de mayo de 2017.] [http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/Norma%20INV%20E-122-07\\_0.pdf](http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/Norma%20INV%20E-122-07_0.pdf).

—. I.N.V.E - 125- 07 Determinación del Límite líquido de los suelos. [En línea] [Citado el: 28 de abril de 2017.] [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-125-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-125-07.pdf).

INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. [En línea] 2009. [Citado el: 28 de abril de 2017.] <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>.

INVIAS. Manual de inspección visual de obras de estabilización. [En línea] 2003. [Citado el: 25 de abril de 2017.] <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/977-manual-para-la-inspeccion-visual-de-obras-de-estabilizacion/file>.

MERA, William M. hidrosiembra para estabilidad de taludes. [En línea] 16 de marzo de 2017. [Citado el: 15 de junio de 2017.] <https://prezi.com/b6xekib5ao8w/hidrosiembra-para-estabilidad-de-taludes/>.

MORALES, Hernán y VALIENTE, Mario. Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: institución social jardín infantil lipaya, casco urbano de Barranquilla. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de junio de 2017.]

<http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/4152/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%28MARIO%20VALIENTE%20Y%20HERN%C3%81N%20MORALE S%29.pdf>.

ROURA, Marta. Estudio geológico - geotécnico de la inestabilidad del suelo que afecta al Complejo Arqueológico Cojitambo, estabilización y medidas de mitigación. [En línea] 2010. [Citado el: 18 de marzo de 2017.] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2523>.

VELEZ, Julian; BOTERO, Adriana; PARRA, Juan Camilo; ARISTIZABAL, Víctor; MARULANDA, Alejandro. *Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales*. Manizales : Univerisdad Nacional, 2013. ISBN: 978-958-761-287-5.