

**ESTUDIO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA
DERIVADOS DE LA SOCAVACIÓN LATERAL DEL RÍO NEGRO Y LA
QUEBRADA PERDICES EN EL MUNICIPIO DE GUAYABETAL,
CUNDINAMARCA.**



Por:

LISBED KARINA RUIZ REY



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2021**

**ESTUDIO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA
DERIVADOS DE LA SOCAVACIÓN LATERAL DEL RÍO NEGRO Y LA
QUEBRADA PERDICES EN EL MUNICIPIO DE GUAYABETAL,
CUNDINAMARCA.**



Por:
LISBED KARINA RUIZ REY

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de Ingeniero Civil

Aprobado por:
Germán Chicangana Montón, Mg(c).
Director

Iván Darío Acosta Sabogal. IC. Esp. Mg(c).
Codirector

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2021**

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón, M.S.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

DEDICATORIA

A Dios porque sin el nada de esto hubiera sido posible, a mi madre Flor María Rey Rey por su apoyo incondicional, a mi padre José Donilo Ruiz Rojas, a mi compañero de vida Alejandro Laiton, a mi hijo Liam Laiton quien es mi motivación y a mis hermanos y compañeros.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradezco a Dios por hacer este sueño posible, a mi familia por su motivación, apoyo y comprensión, a el director de tesis Germán Ernesto Chicangana Montón por su dedicación, profesionalidad, orientación, ayuda y por su entrega para que en el proceso de esta investigación todo se realizara de la mejor manera, a todos los docentes y compañeros que hicieron parte de mi formación como profesional a todas las entidades que amablemente suministraron toda la información necesaria para el proyecto.

RESUMEN

El río Negro se origina en el Páramo de Chingaza al norte del municipio de La Calera. Este río fluye hasta el río Guayuriba en el municipio de Villavicencio y su cauce es paralelo a la vía Bogotá-Villavicencio desde el municipio de Quetame, Cundinamarca. Este río pasa por el Municipio de Guayabetal, donde confluye con el arroyo Perdices.

Este Proyecto realizó un análisis de riesgo de deslizamientos de tierra en las laderas y canales del Río Negro y el Arroyo Perdices que atraviesa el área urbana. Para ello, se construyeron varios mapas de amenazas y peligros con los que se espera reducir los riesgos en la población.

El proyecto de investigación comienza con una verificación de antecedentes, seguida de la identificación de áreas vulnerables a partir de un estudio de uso del suelo, pendientes, ocupación del margen de seguridad e inspección visual, además de una revisión del planeamiento territorial con los mapas de peligros y amenazas de los barrios del área urbana que se ubican a orillas del río Negro y el barrio central que se ubica en la margen derecha del Arroyo Perdices, para que de esta manera se trabaje la posible mitigación para enfrentar este fenómeno y como resultado final de se realiza la investigación, el informe, el mapeo y las recomendaciones.

Palabras clave: Amenazas, Hidrometeorología, Remoción en masa, Flujo de escombros, Planificación Territorial.

ABSTRACT

The Negro River originates in the Paramo de Chingaza to the north of the municipality of La Calera. This river flow until the Guayuriba River in the municipality of Villavicencio and its channel is parallel with the Bogotá-Villavicencio Road from the municipality of Quetame, Cundinamarca. This river passes through the Municipality of Guayabetal, where converges with the Perdices creek.

This Project realized a landslide hazard analysis in the slopes and channels of Negro River and the Perdices Creek which crosses the urban area. This Project realized a landslide hazard analysis in the slopes and channels of Negro River and the Perdices Creek which crosses the urban area. For it, was build several threat and hazard maps with which it is hoped to reduce the risks in the population.

The research project begins with a background check, followed by the identification of vulnerable areas from a study of land use, slopes, occupation of the safety margin and visual inspection, in addition to a review of the land planning with the hazard and threats maps of the urban area neighborhoods that are located on the banks of the Negro river and the central neighborhood that is located on the right bank of the Perdices Creek, so that in this way the possible mitigation works to deal with this phenomenon and as a final result of the investigation, the report, mapping and recommendations are made.

Keywords: *Hazards, Hydrology, Landslide, Debris flow, Land Planning.*

CONTENIDO

1	CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	18
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1.1	Descripción del problema	20
1.1.2	Formulación del problema	21
1.2	JUSTIFICACIÓN	21
1.3	OBJETIVOS	24
1.3.1	Objetivo general	24
1.3.2	Objetivos específicos	24
1.4	ALCANCE	24
1.4.1	Alineando objetivos y alcance	25
1.5	MARCO CONCEPTUAL	25
1.6	ESTADO DEL ARTE	26
1.7	MARCO NORMATIVO	28
1.8	MARCO GEOGRÁFICO	30
2	CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	32
2.1	GEOMORFOLOGÍA:	32
2.1.1	Remoción de masa	32
2.1.2	Desprendimientos	32
2.1.3	Caída	33
2.1.4	Volcamiento	33
2.1.5	Flujo del suelo	34
2.1.6	Socavación	34
2.1.7	Flujo de escombros	35
2.1.8	Indice RQD (rock quality designation)	36
2.1.9	Sismicidad	37
2.1.10	Geotecnia	37
2.1.11	Geología	37

2.1.12	Hidrometeorológica	38
2.1.13	Medidas de mitigación	38
3	CAPITULO III. METODOLOGIA	39
3.1	ETAPA 1: CARACTERIZACION	40
3.2	ETAPA 2: ELABORACION DE MAPAS	40
3.3	ETAPA 3: ENTREGABLES	40
4	CAPITULO IV. RESULTADOS	41
4.1	GEOLOGIA	41
4.1.1	Estratigrafía	41
4.1.2	Geología estructural	43
4.2	GEOTECNIA	45
4.2.1	Antecedentes	45
4.2.2	Sector quebrada Perdices	46
4.2.3	Sector rio Negro	52
4.3.	HIDROMETEOROLOGÍA	56
4.3.1.	Antecedentes	56
4.4.	SISMOLOGÍA.	72
5	CAPITULO V. ANALISIS DE RESULTADOS	74
5.1	ANTECEDENTES	74
5.1.1	Sector 1. Quebrada Perdices	74
5.1.2	Sector 2. Rio Negro	87
5.2	MAPA DE AMENAZAS POR REMOCION DE MASA	116
5.2.1	Antecedentes	116
5.3	MAPA DE RIESGO	118
5.4	SOLUCIONES DE INGENIERÍA	119
5.4.1	Medidas de mitigación de la quebrada Perdices.	119
5.4.2	Estabilización de talud en roca rio Negro	125
5.4.3	Evacuación de los habitantes de las casas afectadas.	126
6	CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
6.1	CONCLUSIONES	128

6.2	RECOMENDACIONES	128
7	CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA	130
8	ANEXOS	137
8.1	ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE GUAYABETAL, CUNDINAMARCA	137
8.2	MAPA DE LA GEOLOGÍA DE GUAYABETAL	137
8.3	MAPA DE AMENAZAS	137
8.4	MAPA DE RIESGOS	137

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación geomecánica RQD [24].....	36
Tabla 2 Obras de mitigación	38
Tabla 3. Valores de precipitación total mensual multianual del lugar de estudio (mm) [43].....	67
Tabla 4. Valores de precipitación máxima en 24hr mensual multianual del área de estudio (mm) [43].	69
Tabla 5. Estaciones que cubren el área de estudio para las Isotermas [43].	71
Tabla 6. valores de temperatura mensual promedio multianual (°C) [30].	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Inestabilidad del talud en el margen izquierdo del río Negro (año 2019) [6].	23
Figura 2. Inestabilidad del talud en el margen derecho de la quebrada Perdices (año 2019) [6].	23
Figura 3. Ubicación del mapa de Cundinamarca en Colombia [18].	30
Figura 4. Ubicación del mapa de Guayabetal en el de Cundinamarca [18].	30
Figura 5. Zona de estudio, Guayabetal 2012 [18].	31
Figura 6. Zona de estudio, Barrio Perdices-Guayabetal 2018 [18].	31
Figura 7. Derrumbe por caída [23].	33
Figura 8. Derrumbe por volcamiento [23].	33
Figura 9. Derrumbe ocasionado por el flujo del suelo [24].	34
Figura 10. Daños por flujo de escombros en la localidad de Caraballeda, ubicada al norte de la zona costera de Venezuela en 1999 [23].	36
Figura 11. Metodología del proyecto.	39
Figura 12. Mapa geológico preliminar de la región de Guayabetal, Cundinamarca.	43
Figura 13. Punto de medición de afloramientos de roca en el macizo rocoso de la quebrada Perdices.	47
Figura 14. Fracturas verticales y horizontales en la quebrada Perdices.	48
Figura 15. Fractura vertical en dirección hacia Villavicencio del macizo rocoso de la quebrada Perdices.	49
Figura 16. Fractura horizontal del macizo rocoso de la quebrada Perdices.	49
Figura 17. Fractura horizontal del macizo rocoso de la quebrada Perdices.	50
Figura 18. Fractura vertical del macizo rocoso de la quebrada Perdices.	51
Figura 19. Nivel de meteorización alto del macizo rocoso de la quebrada Perdices.	51
Figura 20. Punto de medición de afloramientos de roca en el macizo rocoso del río Negro.	52

Figura 21. Dos tipos de familias verticales en el macizo rocoso del río Negro.	53
Figura 22. Fallas horizontales del macizo rocoso del río Negro.....	54
Figura 23. Fallas verticales del macizo rocoso del río Negro.....	54
Figura 24. Fallas verticales del macizo rocoso del río Negro.....	55
Figura 25. Nivel de meteorización del macizo rocoso del río Negro.	55
Figura 26 Ubicación de las estaciones hidroclimáticas del lugar de estudio [42]...	57
Figura 27. Datos de precipitación total mensual en estación Monterredondo [29].	57
Figura 28. Datos de precipitación total mensual en estación Susumuco [29].	58
Figura 29. Valores de precipitación total anual de la estación Monterredondo [31].	59
Figura 30. Valores de precipitación total anual de la estación Susumuco [31].	60
Figura 31. Datos del número de días de precipitación en la estación Monterredondo [31].	61
Figura 32 Datos del número de días de precipitación en la estación Susumuco [31].	62
Figura 33. Valores de precipitación máxima en 24 horas mensual de la estación Monterredondo [31].	64
Figura 34. Valores de precipitación máxima en 24 horas mensual de la estación Susumuco [31].	64
Figura 35. Isoyetas de regionalización de la precipitación del área de estudio [31].	65
Figura 36. Ubicación de las estaciones pluviométricas que garantizan la cobertura del área de estudio [43].	66
Figura 37. Organización eventual de la precipitación total mensual multianual de la zona de estudio [32].	67
Figura 38. Organización eventual de la precipitación máxima en 24hr mensual multianual de la zona de estudio [32].	68
Figura 39. Isoyetas de la zona de estudio [43].	70
Figura 40. Isotermas para el área de estudio [30].	72

Figura 41. Panorámica tomada del servidor Google Earth© que muestra un deslizamiento en la margen derecha de la cuenca alta de la quebrada Perdices, aguas arriba del casco urbano. Se observa que en este valle en forma de "V" favorece deslizamientos que generan avalanchas o flujos de escombros en esta cuenca.	75
Figura 42. Mapa de la ubicación de las imágenes del talud de la quebrada Perdices en el casco urbano de Guayabetal	77
Figura 43. Inestabilidad del talud del barrio Centro en el año 2018 [6].	78
Figura 44. Construcción de la obra de estabilización del talud del barrio Centro en el año 2019 [6].	78
Figura 45. Obra de estabilización del talud del barrio Centro en el año 2021.	79
Figura 46. Muro de contención en el año 2021.	79
Figura 47. Muro de contención en el año 2021.	80
Figura 48. Muro de contención en el año 2021.	80
Figura 49. Margen derecho de la quebrada Perdices.	81
Figura 50. Margen derecho de la quebrada Perdices.	81
Figura 51. Planta de tratamiento de aguas residuales del barrio Centro.	82
Figura 52. Viviendas sobre el margen derecho de la quebrada Perdices.	83
Figura 53. Viviendas sobre el margen derecho de la quebrada Perdices.	83
Figura 54. Unión de la quebrada Perdices con el río Negro.	84
Figura 55. Viviendas del barrio Perdices sobre el margen izquierdo de la quebrada Perdices.	84
Figura 56. Viviendas del barrio Perdices sobre el margen izquierdo de la quebrada Perdices (año 2021).	85
Figura 57. Estribo del puente de la vía Bogotá – Villavicencio en la quebrada Perdices. Se observa que estribo está enterrado por el material de arrastre de la quebrada. Este material compuesto principalmente por grandes bloques de rocas, gravas y escombros, indica que la quebrada es susceptible en épocas de alta pluviosidad de generarse en su cuenca el fenómeno de remoción de masa denominado flujos de escombros. La causa de los flujos de escombros en esta	

cuenca, son los deslizamientos en los taludes de la misma en su parte alta como el mostrado en la figura 42. Este proceso de remoción de masa producirá en el futuro muy probablemente el derrumbamiento del estribo.	86
Figura 58. El puente del retorno a la plaza de mercado que se encuentra paralelo al puente de la vía Bogotá – Villavicencio, ubicado en la quebrada Perdices.	87
Figura 59. Mapa de la ubicación de las imágenes del margen izquierdo del río Negro en el casco urbano de Guayabetal.	88
Figura 60. Talud del Kilometro 58 de la vía Bogotá – Villavicencio en el año 2019. [6].....	89
Figura 61. Talud del Kilometro 58 de la vía Bogotá – Villavicencio en el año 2019. [6]	90
Figura 62. Talud del Kilometro 58 de la vía Bogotá – Villavicencio en el año 2020.	92
Figura 63. Talud del Kilometro 58 de la vía Bogotá – Villavicencio en el año 2020.	93
Figura 64. Talud del Kilometro 58 de la vía Bogotá – Villavicencio en el año 2020.	93
Figura 65. Punto de desemboque de Caño Seco	94
Figura 66. Macizo rocoso fracturado.....	95
Figura 67. Macizo rocoso del talud de Barrio Nuevo.	95
Figura 68. Talud de la parte alta de Barrio Nuevo.	96
Figura 69. Talud de la parte media de Barrio Nuevo	96
Figura 70. Talud de la parte medea de Barrio Nuevo.	97
Figura 71. Orilla del río Negro por el margen izquierdo en el talud de la parte media de Barrio Nuevo.	97
Figura 72. Parte baja de Barrio Nuevo.....	98
Figura 73. Macizo rocoso del talud de la parte baja de Barrio nuevo.	98
Figura 74. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	99
Figura 75. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	99
Figura 76. Viviendas de la parte baja de.....	100

Figura 77. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	100
Figura 78. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	100
Figura 79. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	101
Figura 80. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	101
Figura 81. Estado de las estructuras de las viviendas de la parte baja de barrio Nuevo.	102
Figura 82. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	102
Figura 83. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.....	103
Figura 84. Talud de la parte baja de Barrio Nuevo.	103
Figura 85. Estructuras y manejo de aguas de las viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.	104
Figura 86. Mcizo rocoso fracturado del talud de la parte baja de Barrio Nuevo...104	
Figura 87. Talud del barrio centro.....	105
Figura 88. Macizo de rocas Filitas fracturado.	105
Figura 89. Talud del barrio Centro.	106
Figura 90. Margen izquierda del rio Negro del barrio Centro.	106
Figura 91.Tanque de almacenamiento de agua del casco urbano.	107
Figura 92.Tanque de almacenamiento de agua del casco urbano.	107
Figura 93. Viviendas del barrio Centro.....	108
Figura 94 Talud del barrio Centro.	108
Figura 95. Macizo rocoso fracturado del barrio Centro.	109
Figura 96. Puente de la quebrada Perdices por donde pasa la vía Bogotá – Villavicencio.	109
Figura 97. Talud del barrio Centro.	109
Figura 98. Viviendas de barrio perdices.....	110

Figura 99. Vegetación de las viviendas del barrio Perdices.....	111
Figura 100. Talud del barrio Perdices.	111
Figura 101. Macizo rocoso del barrio Perdices.	112
Figura 102. Vegetación del Barrio Perdices.....	112
Figura 103. Talud del barrio perdices	113
Figura 104. Estado del terreno donde en el 2018 hubo socabacio lateral del rio.	113
Figura 105. Inestabilidad del talud del barrio Perdices en el año 2018 [6].	114
Figura 106. Vista en planta de la inestabilidad del Talud del barrio perdices [6].	115
Figura 107 Inestabilidad del talud del barrio Perdices [6]	115
Figura 108. Viviendas en zona de alto riesgo. [6]	116
Figura 109. Mapa de amenazas por remoción de masa.	117
Figura 110. Represas Slit-SABO de Deblis Flow para la prevención de desastres [50].	119
Figura 111. Estructura de gaviones a lo largo de una vía [26].	121
Figura 112. Flujo de escombros [26].	122
Figura 113. Deslizamiento de flujo de tierra lento [26].	123
Figura 114. Desprendimiento de roca [26].	123
Figura 115 deslizamiento de tierra por rotación [26].	124
Figura 116. Deslizamiento de tierra traslacional [26].	125
Figura 117. Área afectada por socavación lateral del rio Negro.	127

1 CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Las crecientes de ríos se vuelven desastres naturales especialmente en lugares con precipitaciones altas, lo cual generalmente causa perjuicios a las comunidades y a la infraestructura económica. Una de las características de la crecida es su caudal máximo o pico, que es un parámetro esencial para el dimensionamiento de los trabajos de protección lineales o protecciones ribereñas. Durante el aumento de precipitación, el caudal de un recorrido de agua crece en tales proporciones que el lecho del afluente puede resultar escaso para contenerlo [1] y junto con los deslizamientos se produce un flujo de escombros al represarse el agua lo cual origina las avalanchas y por ende la desestabilidad del talud.

La subcuenca del río Negro es un cuerpo hídrico que nace en el páramo de Chingaza al norte del municipio de La Calera, desemboca en el río Guayuriba en el municipio de Villavicencio y viene en paralelo con la vía Bogotá/Villavicencio desde el municipio de Quetame, Cundinamarca, además, pasa por el Municipio de Guayabetal, donde, llega a desembocar la quebrada Perdices la cual se encuentra en el barrio perdices de dicho municipio.

La socavación lateral de estos afluentes de agua representa una gran amenaza para la población y la infraestructura económica que se encuentra en el margen izquierdo del río Negro y en el margen derecho de la quebrada Perdices del casco urbano de Guayabetal, ya que este fenómeno puede conseguir desestabilizar el terreno y, además, provocar el colapso de las estructuras que están conformadas en dicha zona de estudio. Tal como se ha venido presentando desde el año 2018 cuando el IDEAM tuvo que declarar alerta roja en la región, donde la ola invernal represento una gran amenaza para los municipios de Guayabetal, Villeta, Quetame y también para la vía Bogotá – Villavicencio donde se evidenciaron comportamientos erosivos [2].

Por otra parte, se ha comparado la última actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Guayabetal del año 2012 con las visitas en campo a la zona de estudio y según lo observado es un sector que se ha ido urbanizando con el paso de los años a orillas del río Negro, en algunos casos por el desalojo de las viviendas que intervenían con el proyecto de la doble calzada Bogotá/Villavicencio, lo cual hará que con el tiempo se torne más difícil instalar medidas de mitigación, además, se tiene que considerar que dicho proyecto ha tenido ciertas modificaciones debidas principalmente al derrumbe del kilómetro cincuenta y ocho (K58+000) y al colapso del puente de Chirajara, lo que quiere decir que con estas modificaciones se pueden presentar más desalojos de viviendas y por ende se seguirá urbanizando a orillas del cuerpo hídrico, lo cual simboliza un riesgo para la comunidad.

Inicialmente el proyecto contempla una revisión de antecedentes que tengan un aporte significativo para el proyecto, seguido de la identificación de zonas vulnerables a partir de un estudio de usos de suelo, pendiente, ocupación de margen de seguridad e inspección visual, además, de una revisión del esquema de ordenamiento territorial para así elaborar los mapas de amenazas y de riesgo de las zonas más vulnerables del casco urbano, para que de esta manera se puedan identificar las posibles obras de mitigación que hagan frente a este fenómeno y como resultado final de la investigación se realiza el informe, la cartografía y se dan las recomendaciones.

Cabe resaltar que este estudio puede ser de utilidad para los entes territoriales, los organismos de control, y de ordenamiento territorial, para poder hacer una distribución adecuada del punto crítico ya sea con una reubicación de las familias afectadas, o si bien es el caso buscar una solución creativa por medio de los métodos de la ingeniería.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

El municipio de Guayabetal ha sido afectado por la inestabilidad del terreno desde hace varias décadas, ya que el desarrollo de la vía Bogotá – Villavicencio a lo largo de su existencia con sus modificaciones, ha producido cambios geomorfológicos importantes en el paisaje del municipio, y ha hecho que la población cada vez se asiente en las orillas del río Negro, sin que las autoridades tanto municipal como departamental hayan tomado medidas con respecto a una reubicación adecuada y segura para dichas comunidades. Lo anterior porque Guayabetal es uno de esos caseríos que nació a orillas del Río Negro y por lo tanto no se tuvo medidas de contingencia frente a las amenazas de crecidas de los cauces durante el crecimiento del casco urbano.

En los últimos años el municipio de Guayabetal se ha encontrado en estado de alerta por los continuos deslizamientos que ocurren en épocas de lluvia, principalmente en el kilómetro 58 en la vía que comunica Villavicencio con Bogotá, ya que más de 2.000 personas habitan este sector y se encuentran en constante amenaza de riesgo a cargo de estos fenómenos naturales, estos han afectado de antemano el servicio de agua potable, la economía de Guayabetal y sectores adyacentes lo cual es preocupante para las personas ya que la mayoría de habitantes viven del comercio gastronómico y agrícola [3].

Se destaca como antecedente histórico en esta región la tragedia de Quebradablanca que ocurrió hace 47 años, y que para la carretera Bogotá – Villavicencio este tipo de eventos han sido constantes a lo largo de la historia de la misma, siendo los más recientes, hasta los deslizamientos en el kilómetro 58 y 64+200, en donde estos sucesos han cobrado la vida de varias personas. Por estos eventos como efecto colateral se ha afectado la población del municipio en sus aspectos económicos y sociales [4].

1.1.2 Formulación del problema

Guayabetal está ubicado en un área de condiciones geológicas y geomorfológicas inestables, con alta sismicidad y sumándole a estos, los efectos causados por la actividad humana afectando los procesos diagnósticos naturales [5].

En el municipio se han realizado variedad de estudios hechos por el Servicio Geológico Colombiano, pero hasta el momento no cuenta con una solución definitiva, por lo tanto se tienen diversas variables que son necesarias analizar ya que Guayabetal se ha visto vulnerable ante cualquier amenaza de riesgo, porque este no tiene planeación adecuada, debido a que el plan de desarrollo territorial tiene falencias en su diseño y sus estudios iniciales resultan ser antiguos y se ajustan a la normatividad vigente, por lo tanto este proyecto busca determinar de manera profunda las causantes de la problemática que se ha evidenciado a lo largo del tiempo, poniendo en marcha las fases requeridas para su desarrollo como lo es el estudio de la zona de alto riesgo y de esta manera identificar las posibles soluciones según las necesidades, con el fin de implementar el mejoramiento de estos desastres, identificando los puntos más críticos de esta zona teniendo en cuenta los antecedentes históricos con una visión positiva a mejorar los daños que han surgido [5].

1.2 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta las constantes afectaciones en las que se encuentra el municipio, por los efectos antrópicos, causantes de la socavación lateral de las fuentes hídricas, como se evidencia en Guayabetal, en donde sus habitantes conviven con la amenaza de volverse a ver afectados por esta clase de desastres naturales.

Es importante el desarrollo del estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa derivados de la socavación lateral y flujo de escombros del río Negro y la quebrada Perdices ya que es fundamental contar con la cartografía necesaria para identificar las amenazas y los riesgos de las zonas más vulnerables del casco urbano, previniendo calamidades y mejorando la calidad de vida en la comunidad.

Uno de los fenómenos más significativos en el municipio fue la emergencia de la ola invernal en agosto de 2018, en donde se presentó el colapso de una de las viviendas y el desalojo de 17 familias que habitaban sobre una terraza aluvial del río Negro, en el barrio Perdices. En este evento, se presentaron daños estructurales en ocho (8) viviendas. También, se vieron afectadas del mismo modo cuatro (4) viviendas del barrio Centro que se encontraban en el margen derecho de la quebrada Perdices lo que produjo el desalojo de estas por medidas de seguridad de los propietarios, no obstante, fue suspendido el servicio de agua en Barrio Nuevo a raíz de la avalancha que arrasó con las instalaciones del mismo en la quebrada Perdices [6].

Atentos al diseño y puesta en marcha del proyecto, se da inicio al salvamento de las laderas del río, o en este caso, proteger el terreno con técnicas de ingeniería que implican estabilidad y protección de taludes, para conseguir la mitigación de esta amenaza. Por lo anterior es necesario acoplarse al Esquema de Ordenamiento Territorial para así localizar y delimitar las zonas en riesgo y de esta manera hacer frente a cualquier tipo de emergencia que se pueda presentar en dichas zonas.



Figura 1. Inestabilidad del talud en el margen izquierdo del río Negro (año 2019) [6].



Figura 2. Inestabilidad del talud en el margen derecho de la quebrada Perdices (año 2019) [6].

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar el estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa derivados de la socavación lateral del río Negro y la quebrada Perdices en el municipio de Guayabetal, Cundinamarca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el alcance de las amenazas por fenómenos de remoción de masa en las zonas vulnerables del casco urbano conforme a los antecedentes históricos.
- Elaborar los mapas de amenaza, susceptibilidad y riesgo para aportar al Esquema de Ordenamiento Territorial.
- Recomendar soluciones de ingeniería para mitigar los efectos de la amenaza.

1.4 ALCANCE

El desarrollo del proyecto contempla definir los puntos más críticos de riesgo en el municipio de Guayabetal en el margen izquierdo del río Negro y el margen derecho de la quebrada Perdices debido a las constantes amenazas por socavación lateral, deslizamientos y flujo de escombros que afectan la tranquilidad de la población en épocas de invierno.

El alcance de este proyecto determinará los puntos más vulnerables con una visión de fortalecimiento pretendiendo realizar un análisis del estudio indicativo de la zonificación de amenazas en esta área, teniendo en cuenta los niveles de riesgos posibles a desarrollarse a partir de los antecedentes históricos.

Por ende, a partir de la cartografía se definirán las zonas más vulnerables a riesgos y amenazas en el casco urbano de Guayabetal para que los entes territoriales, los organismos de control, y de ordenamiento territorial puedan implementar las recomendaciones dadas en el estudio para que se logre mitigar estos factores de daño ya sea reubicando a la población o creando proyectos para dar soluciones de ingeniería.

1.4.1 Alineando objetivos y alcance

En la realización de los entregables se pretende analizar sucesos que han ocurrido a lo largo de la historia debido a los desastres naturales, teniendo cuenta la geología, geotecnia, sismicidad e hidrometeorología, para la identificación de las amenazas más críticas, y tomar medidas de orden geotécnico para buscar la remediación y/o mitigación de los efectos por socavación lateral en los taludes, y de esta manera conocer el grado de riesgo a la cual se enfrenta la población de Guayabetal por lo tanto poner en marcha los objetivos trazados.

1.5 MARCO CONCEPTUAL

La socavación lateral interpretada en este proyecto se define como el principal tema de estudio debido a que se evidencia constante remoción de materiales que tiene el cauce producido mediante el movimiento del agua por causa de la erosión del flujo socavando las migraciones laterales que se producen principalmente en zonas bajas inundables que desestabilizan las pilas de la estructura generando riesgos en las zonas aledañas.

Este fenómeno ha generado vulnerabilidad de las personas que habitan el municipio de Guayabetal debido a que existen puntos muy críticos en los cuales se evidencia los movimientos de masa constantes que corresponde a los desplazamientos de los materiales del suelo debido al exceso de agua que tiene reacción de la fuerza de la

gravedad ya que estos se componen de esfuerzos gravitatorios debido a que las fuerzas estabilizadoras son superadas por las fuerzas desestabilizadoras [7].

Otro factor relevante es la erosión del suelo presentada en esta zona que se entiende como las pérdidas físico-químicas del suelo que afecta los servicios ecosistémicos y por lo tanto reduce la producción de los mismos perdiendo la capa superficial de la corteza terrestre por la acción del agua o del viento [8].

Por lo tanto, se trata de definir e identificar las zonas más vulnerables a la amenaza, ya que la posibilidad de daño que, de llegarse a presentar, podría ser fatal. Los riesgos derivados de la ocurrencia de este evento, se pueden identificar anticipadamente y sus consecuencias pueden ser evitadas o atenuadas [9].

Por otro lado, existen zonas que son más probables a ser susceptibles de la ocurrencia de deslizamientos, a los cuales se les debe analizar diferentes aspectos en su área de influencia de manera directa o indirecta como lo son la topografía, sismicidad, pluviosidad y el grado de meteorización que presenta el macizo rocoso que conforma el talud. Todos estos aspectos, son importantes a la hora de analizar en la zonificación de la vulnerabilidad ante la socavación lateral que podría presentarse en la zona de estudio.

1.6 ESTADO DEL ARTE

Se han realizado informes con datos significativos para el estudio de amenazas por fenómenos de remoción en masa derivados de la socavación lateral del río Negro y la quebrada Perdices en el municipio Guayabetal, Cundinamarca debido a que en esta región son frecuentes dichos fenómenos naturales.

Como bien se evidencia, Sierra Garzón [10], quien propuso un estudio donde a partir de la geomática se utilizaron herramientas para determinar la susceptibilidad por socavación lateral en la subcuenca baja de la quebrada Perdices en Guayabetal,

Cundinamarca, y con el uso de modelos digitales de elevación (DEM) y figuras satelitales tipo LANDSAT.

Además, de un estudio realizado por el INGEOMINAS [11], sobre los fenómenos de inestabilidad a lo largo del valle de las quebradas Perdices y su amenaza para el pueblo de Guayabetal.

También se han realizado proyectos con un Sistema de Información Geográfica (SIG) [12], para el municipio de Guayabetal, el cual permite analizar y manejar la cartografía digital pertinente para la infraestructura vial.

Además de literaturas donde se propone una técnica de curvas de vulnerabilidad económica por precipitaciones como herramientas de gestión de infraestructura vial [13].

También existen trabajos como la tesis de grado de Yamid Castellanos Hernández [14], que trató sobre las medidas de mitigación al efecto de socavación que se presenta en el caño Buque, en la ciudad de Villavicencio, entre el puente ubicado en la vía Bogotá a 1 km del túnel Buenavista hasta el puente de la Avenida 40 cerca de la Calle 15, al cual aplicó soluciones de ingeniería.

Así como la tesis de grado de Juan Stheban Sánchez [15], que consistió en la modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta el sector de Kirpas.

Con respecto a los análisis de la estabilidad de taludes, haciendo consideración que en la margen izquierda del río, el casco urbano del municipio de Guayabetal se asienta sobre una terraza del río Negro, la cual tiene un talud con una altura promedio de 60 m, el cual forma parte de la ladera de Mesa Grande.

Hay como antecedentes los trabajos de Angie Natalia Cruz Castañeda [16], quien realiza un análisis de la amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la Ciudad de Villavicencio y el de Carolina Pineda Herrera con Lina Fernanda Sabogal Ríos [17], quienes también analizan la zona de remoción de masa del sector de la vereda Servitá, municipio de Villavicencio: alcance de la amenaza y soluciones de ingeniería.

Finalmente, se revisaron los estudios que el Servicio Geológico Colombiano (SGC), ha realizado sobre la región y el municipio con respecto a los problemas del río, y otros relacionados a procesos de remoción de masa de municipios del oriente del departamento de Cundinamarca.

Igualmente existen algunos informes de ingeniería, que abarcan aspectos relacionados con la geotecnia, geofísica y de estabilización de taludes con fundaciones restringidos a las pobras de la carretera Bogotá – Villavicencio, y la construcción de la doble calzada [18] [19] [20] [21] [22].

1.7 MARCO NORMATIVO

El reglamento y las normas que fueron usadas para diseñar e implementar la utilidad de este proyecto son:

La ley 1523 del 2012, la cual acoge y establece la política nacional de gestión del riesgo de catástrofes y se imponen otras disposiciones, desarrolladas por el congreso de Colombia. Por ende, se usa el plan de sistema de gestión del riesgo del municipio de Guayabetal, Cundinamarca.

El decreto 3573 del 2011, el que se origina la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) junto con otras resoluciones.

Decreto 1180 del 2003, en la cual se establece el titulo ocho (8) de la ley 99 de 1993 de licencias ambientales.

El decreto N°049 del 2000, donde se establece el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Guayabetal, Cundinamarca; por tanto, se tiene en cuenta la última actualización del documento de dicho municipio la cual fue publicada en el año 2011.

La Ley 491 de 1999, la cual se regula el titulo ocho (8) de la ley de 1993 de licencias ambientales.

La resolución 541 de 1994, en la que se reglamenta el cargue, el descargue, el transporte, el acopio y la última disposición de elementos, materiales, concretos, escombros, y agregados sueltos de demolición, construcción y capa de suelo, subsuelo y capa orgánica de excavación.

La ley 99 de 1993, en el cual se origina el Ministerio del Medio Ambiente, se reorganiza el sector publico delegado de los recursos naturales renovables y la conservación y gestión del medio ambiente, se ordena el Sistema Nacional Ambiental junto con otras prácticas.

La ley 1319 de 1993, en el que se rige la expedición de autorizaciones de lo que se refiere el capítulo seis (6) de la ley 9 de 1989 y de licencias de urbanización, construcción y parcelación.

La ley 9 de 1989, en donde se establecen normas sobre expropiación de bienes, planes de desarrollo municipal y compraventa, además, se decretan otras prácticas.

El decreto 2811 de 1974, por la cual se dicta el código nacional de recursos de protección al medioambiente y recursos naturales renovables.

1.8 MARCO GEOGRÁFICO

Guayabetal, hace parte de uno de los municipios del departamento de Cundinamarca en Colombia. El cual está localizado al límite del departamento del Meta en dirección sur y oriente, de los municipios de Fosca y Gutiérrez por el occidente y del Municipio de Quetame al norte.



Figura 3. Ubicación del mapa de Cundinamarca en Colombia [18].



Figura 4. Ubicación del mapa de Guayabetal en el de Cundinamarca [18].

El área de análisis se ubica en el casco urbano del municipio de Guayabetal, a orillas del río Negro el cual se encuentra al oriente y por el norte con la quebrada Perdices, tal como se muestra en las siguientes imágenes donde además se observa el

cambio del lecho superior derecho del cauce, debido a la socavación lateral del río Negro por la creciente del 2018.

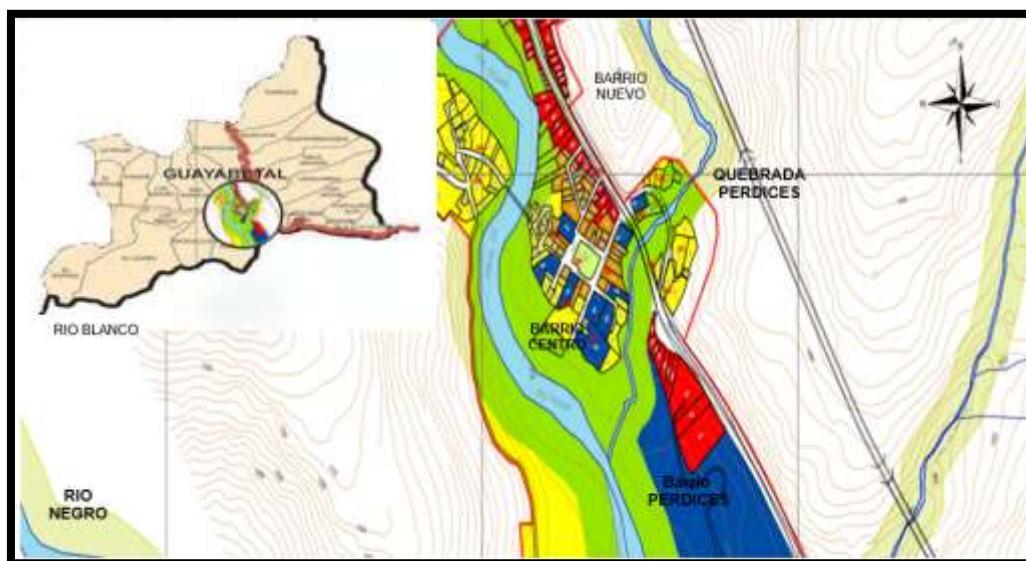


Figura 5. Zona de estudio, Guayabetal 2012 [18].

En la siguiente imagen se encerró con rojo las dos afectaciones más significativas que tuvo el municipio durante los eventos de lluvia en el 2018, una de ellas fue en el margen derecho de la quebrada Perdices en el barrio centro y la otra en el margen izquierdo del río negro en el barrio Perdices.

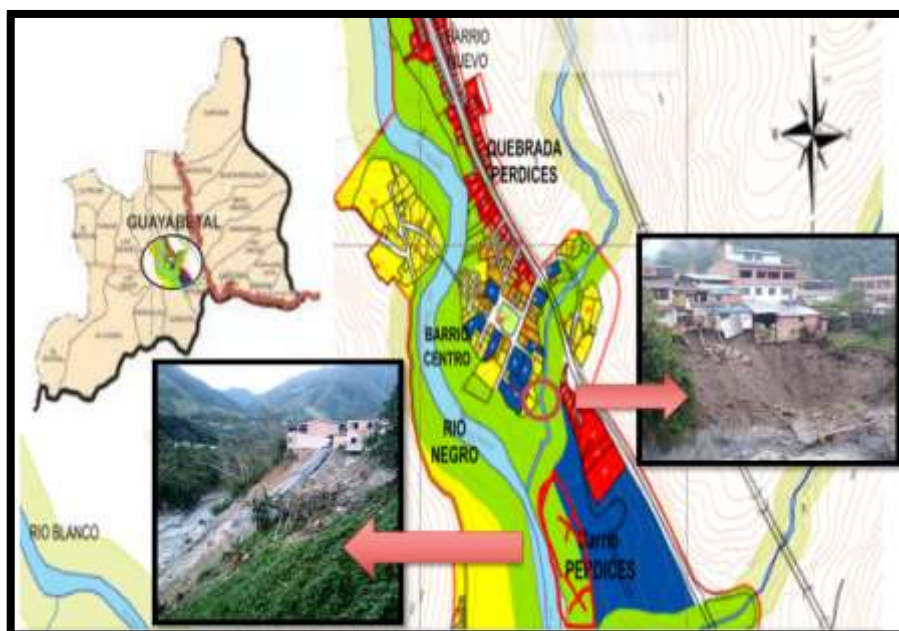


Figura 6. Zona de estudio, Barrio Perdices-Guayabetal 2018 [18].

2 CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 GEOMORFOLOGÍA:

La geomorfología se entienda como una de las ramas de la geología que tiene como fin el estudio de las diferentes formas de la superficie terrestre teniendo en cuenta el origen y la evolución de la tierra firme emergida, de esta manera describir los procesos el comportamiento actual [23].

2.1.1 Remoción de masa

Se entiende como los desplazamientos del terreno en dirección de la pendiente debió a la fuerza de gravedad desencadenando varios factores como el agua, sismicidad, excavaciones, cargas excesivas produciendo de esta forma características físicas como agrietamientos, sumideros, desprendimiento de materiales del terreno como la roca [24]. El movimiento de masa corresponde a los desplazamientos de los materiales del suelo debido al exceso de agua que tiene reacción de la fuerza de la gravedad ya que estos se componen de esfuerzos gravitatorios debido a que las fuerzas estabilizadoras son superadas por las fuerzas desestabilizadoras [25].

2.1.2 Desprendimientos

Es un movimiento que se genera debido a la inestabilidad del terreno por parte del carecimiento de apoyo del terreno ya que se cuenta con un escaso material desprendiéndose del talud teniendo un recorrido mediante el aire. Debido a la pérdida del material de apoyo [22].

2.1.3 Caída

Se evidencia cuando se efectúa el desprendimiento del suelo y las rocas en una ladera inclinada descendiendo el material a través del aire ya sea rebotando o rodando en un determinado tiempo eventualmente de forma rápida [23].



Figura 7. Derrumbe por caída [23].

2.1.4 Volcamiento

Se entiende como la relación del suelo con un punto o eje debajo del centro del material en desplazamiento debido a la acción de la gravedad o presiones ejercida por el agua [23].

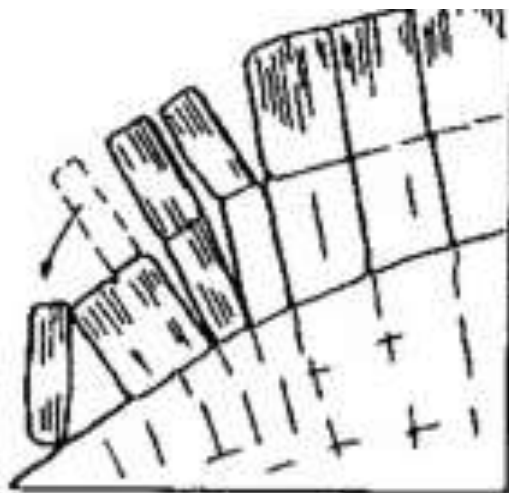


Figura 8. Derrumbe por volcamiento [23].

2.1.5 Flujo del suelo

Se evidencia cuando el suelo fluye de manera lenta ladera abajo es un proceso que de legarse a dar puede producir la pérdida total de la capa vegetal dejando la roca expuesta esto debido a que en la zona carece de sistemas de drenajes naturales y se da acumulación de agua, también, ocurre en las laderas que tienen poca inclinación con suelos arcillosos húmedos o potentes [24].

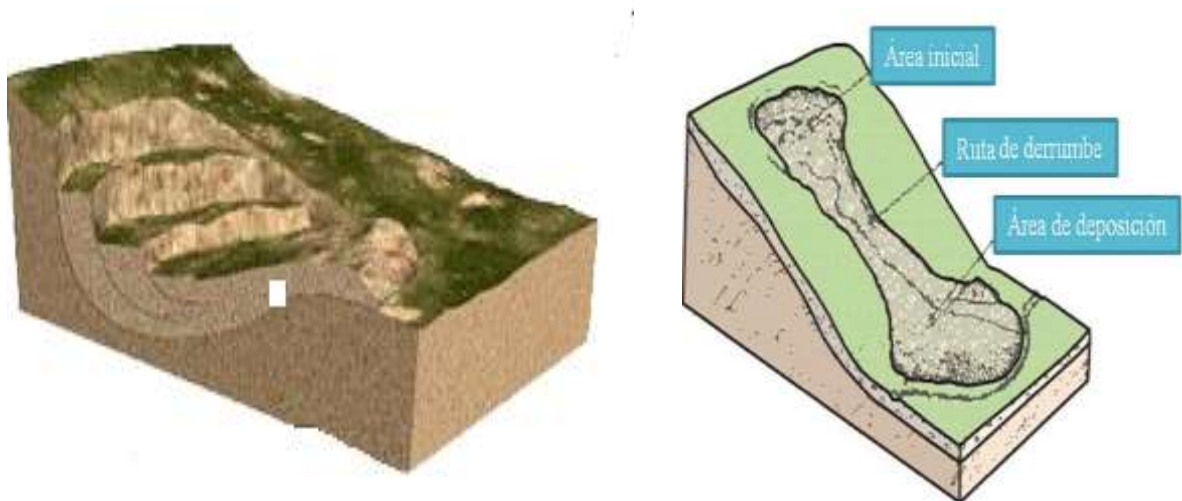


Figura 9. Derrumbe ocasionado por el flujo del suelo [24].

2.1.6 Socavación

Se define como socavación a la excavación profunda causada por el agua regida por el equilibrio entre el aporte sólido que contiene el agua y la mayor parte de material que es removido por el agua en la zona debido a la reacción erosiva del flujo alrededor de la estructura [25].

2.1.6.1 Socavación a largo plazo

Es la degradación que presenta el lecho a medida que pasa el tiempo debido a causas externas dadas naturalmente o por la acción del hombre, es decir, esta no

presenta manifestaciones de crecidas ya que se da de manera permanente a lo largo del cauce [[25].

2.1.6.2 Socavación por migración lateral

Ocurre en las zonas bajas inundables de las laderas ya que carecen de apoyos estables afectando las pilas estríbales y zonas de aproximación teniendo como fin el cambio del ángulo del flujo [25].

2.1.6.3 Socavación general

Se da en el fondo del río debido a que en tiempos de crecientes existe una gran capacidad de transportar y arrastrar los sedimentos que se encuentran en el lecho de suspensión [25].

2.1.6.4 Socavación por contracción

Causada por la reducción del ancho del flujo debido a causas a naturales, artificiales o por el cambio de control de aguas debajo de la inclinación de la superficie del agua, la más frecuente es la reducción del ancho del flujo ya que una disminución del flujo debe aumentar la velocidad media del agua y el esfuerzo cortante [25].

2.1.7 Flujo de escombros

Una manera de movimiento de masa ligero en el que la tierra suelta, las rocas y el material se combina con el agua para crear un yeso que fluye ladera abajo. También llamados "deslizamientos de tierra" por su gran número de material que puede estar presente en el flujo. Ocasionalmente, como traslacional o rotacional el arrastre de tierra gana velocidad y la masa interna gana agua o pierde cohesión, puede progresar en un flujo de escombros. Los flujos secos a veces pueden presentarse

en arena sin cohesión (flujos de arena). Los flujos de escombros pueden ser mortales, ya que pueden ser extremadamente rápidos y pueden presentarse sin advertencia [26].



Figura 10. Daños por flujo de escombros en la localidad de Caraballeda, ubicada al norte de la zona costera de Venezuela en 1999 [27].

2.1.8 Índice RQD (rock quality designation)

Este parámetro indica la calidad del macizo rocoso in situ según el grado de fracturación del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo. Fue desarrollado en 1964-1967 para diseños y obras de túneles como también para clasificaciones geomecánicas [28].

Tabla 1. Clasificación geomecánica RQD [24].

RQD	CALIDAD DE ROCA
< 25 %	Muy pobre
25 – 50 %	Pobre
50 – 75 %	Aceptable
75 -90 %	Buena
> 90 %	Excelente

2.1.9 Sismicidad

La sismicidad es una amenaza que se define como la posibilidad de que una variable como la aceleración del suelo generada por un sismo, iguale o supere una línea de referencia, un porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre ($g=980 \text{ cm/s}^2$). Según el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 1996), la zona afectada por el sismo, se localice en un área que pertenece a un nivel de amenaza sísmica alta, establecido para aquellos territorios donde se es común que se generen temblores muy fuertes, con datos de aceleración máxima efectiva (A_e) de $0.25g$ a $0.40g$ en una base rocosa. [29]

2.1.10 Geotecnia

Es una actividad que abarca el estudio del subsuelo, la visita a campo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para la construcción y el diseño de las obras ejecutadas sobre el suelo, de tal modo que se cumpla con un comportamiento adecuado de las estructuras (subestructura y superestructura) para puentes, torres, edificaciones y demás obras, que le den importancia a la vida humana, y que además evite la afectación o deterioros a construcciones aledañas [30].

2.1.11 Geología

Es una ciencia o estudio de la tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para descubrir su vida, su historia y su evolución con lo grabado en las rocas; abarca el análisis de particularidad geológica de una zona, como la geometría de las formaciones rocosas, la sedimentación, la erosión y la meteorización [31]. Además, trata de entender el motivo de los fenómenos exógenos y endógenos [31].

2.1.12 Hidrometeorológica

Para la World Meteorological Organization, la hidrometeorológica es el estudio de los cambios terrestres y atmosféricos del ciclo hidrológico y en específico de sus interrelaciones. También se podría decir que esta ciencia estudia los procesos atmosféricos que afecten los recursos hídricos de la tierra [32].

2.1.13 Medidas de mitigación

Son aquellas que conforman el conjunto de acciones de control, prevención, restauración, compensación de impactos negativos que se deben desarrollar para la realización de cualquier proyecto con el fin de asegurar un uso sostenible de los recursos humanos de manera óptima [26]. En cuanto la medida de mitigación por socavación se tiene como fin la disminución de cuerpos hídricos en las laderas por lo tanto se deben implementar obras de ingeniería que mitiguen estos posibles impactos como margen de protección de la ciudadanía como las que se ven en la tabla 1.

Tabla 2 Obras de mitigación

OBRA DE MITIGACIÓN	DESCRIPCIÓN
Muro de contención	Tiene como función soportar esfuerzos horizontales producidos por el empuje de tierras [33].
Diques en gaviones	Compuesto de malla de alambre y piedra, destinada para lechos compuesto por materiales granulares como margas, arcillas y arenas, son revestidos en concretos para aumentar su vida útil [34].
Banco	Un banco es una serie de "escalones" tallados en el suelo o en la pared de la roca para reducir la fuerza de empuje.

Fuente. Autor

3 CAPITULO III. METODOLOGIA

Para realizar el estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa derivados de la socavación lateral del río Negro y la quebrada Perdices en el municipio Guayabetal, Cundinamarca, se tienen en cuenta todas las variables necesarias consideradas pertinentes para determinar las amenazas por remoción de masa y sus posibles riesgos en el casco urbano, de manera que para realizar el proyecto y cumplir con los objetivos se muestran a continuación las siguientes etapas del proyecto:



Figura 11. Metodología del proyecto.
Fuente: Autor.

3.1 ETAPA 1: CARACTERIZACION

En esta etapa se realiza todo lo relacionado a la búsqueda de información necesaria y que sea relevante para el proyecto, se recolectara información geológica, geotécnica, sísmica, hidrometeorológica, cartográfica solicitada al IGAC, bibliográfica, se solicita información a la veeduría de la vía Bogotá -Villavicencio y a la administración municipal de Guayabetal, además de la información recolectada en campo la cual contribuye a la determinación de los puntos críticos de la zona de estudio. Se revisan los antecedentes que tengan un aporte más significativo para el proyecto y luego se identifican las zonas vulnerables a partir de usos de suelo, pendiente, ocupación, margen de seguridad e inspección visual, seguido de la revisión al Esquema de Ordenamiento Territorial EOT.

3.2 ETAPA 2: ELABORACION DE MAPAS

Con la información de la etapa anterior, se elaborarán los mapas de amenazas y de riesgo de las zonas más vulnerables del casco urbano, en especial en los escenarios donde ya se ha presentado fenómenos de remoción de masa y ocurrencia por socavación lateral, con la ayuda del software ArcGIS, para que de esta manera se puedan plantear las diferentes medidas de mitigación y obras civiles que logren hacer frente a la socavación y eviten daños con el tiempo.

3.3 ETAPA 3: ENTREGABLES

Finalmente, se llevará a cabo la elaboración del informe final del proyecto de investigación, incluyendo las conclusiones necesarias según los resultados obtenidos de la fase anterior y del software ArcGIS donde se ejecutará la cartografía pertinente de la zona de estudio y las recomendaciones de las obras civiles que se pueden implementar para poder mitigar los impactos que se generan por medio de las crecidas de estos cauces.

4 CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 GEOLOGIA

La geología de la región de Guayabetal en el Departamento de Cundinamarca (Figura 13), se compone de:

4.1.1 Estratigrafía

4.1.1.1 Filitas y cuarcitas de Guayabetal (PFCGU)

Esta unidad aflora cerca al casco urbano de Guayabetal en la izquierda del río Negro y conforma el macizo rocoso principal que define el paisaje de Guayabetal desde su casco urbano hacia el norte, y representa las rocas que constituyen la ladera montañosa sobre la cual se asienta este. Los afloramientos de esa unidad de roca se exponen en la margen izquierda del río Negro, y la Quebrada Perdices este macizo rocoso en dirección NO – SE. Este macizo rocoso en Guayabetal se compone principalmente de Filitas y esquistos de color gris verdoso con un grado de meteorización alto, y está bastante cizallado, con al menos tres familias de fracturas. Eventualmente presenta la roca cataclasis.

En este sector esta unidad que forma parte del Grupo Quetame con edad Neoproterozoico indeterminado [35] [36], aflora cerca al casco urbano de Guayabetal en ambos márgenes del río Negro y conforma el macizo rocoso principal que define el paisaje de Guayabetal desde su casco urbano hacia el norte, y representa las rocas que constituyen la ladera montañosa sobre la cual se asienta este casco urbano.

Los mejores afloramientos de esa unidad de roca se exponen en la margen izquierda del río Negro, y la Quebrada Perdices. Este macizo rocoso en Guayabetal se compone principalmente de cuarcitas muy fragmentadas, filitas y esquistos de

color gris verdoso con un grado de meteorización alto, y está bastante cizallado. Muestra aparentemente dos familias de foliaciones con al menos tres familias de fracturas. Eventualmente presenta la roca cataclasis. Esta litología es la que gobierna los fenómenos de remoción de masa en el casco urbano de Guayabetal.

4.1.1.2 Formaciones areniscas de Gutiérrez (PDG).

Esta unidad que pertenece al Grupo Farallones y es de edad Devónico Superior [35], aflora en la margen derecha del río Blanco al sur de la cabecera de Guayabetal, y continua hacia el oriente de Guayabetal aflorando en la margen derecha del río Negro. Su litología tipo es descrita por Pulido y Gómez (2001) como un paquete estratificado de areniscas cuarzosas y conglomerados compuestos de gravillas cuarzosas. En la región esta litología se destaca por presentar deslizamientos traslacionales y con predominio de caída de roca, los cuales se presentan en la margen derecha del Río Negro hacia el oriente de Guayabetal.

4.1.1.3 Cuaternario (Q)

Se limita a una combinación de materiales entremezclados de procedencia coluvial (fenómenos de remoción de masa) y aluvial (sedimentos de los ríos y quebradas). Se indica aquí entremezclados, ya que obedecen a esa dinámica fluvio - torrencial debido al clima con alta tasa pluviosidad imperante en esta región. Esos depósitos compuestos de gravas, arenas y en baja proporción lodos, han crecido debido a la combinación de este factor con la actividad tectónica de esta región durante el crecimiento orogénico de la cordillera en los últimos tres millones de años [37] [38].

De acuerdo con los estudios geofísicos y de geología hechos a nivel local por empresas consultoras de ingeniería (tanto en el sector de la Quebrada Quebradablanca y Mesa Grande), se destacan grandes coluviones que definen un horizonte meteorizado de la Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal [19] [22]

[21]. En las laderas altas de la montaña, la alta permeabilidad y la baja consolidación de estos sedimentos, hacen que cuando se incremente la alta saturación de estos macizos se generen flujos de escombros, detonando fenómenos de remoción de masa.

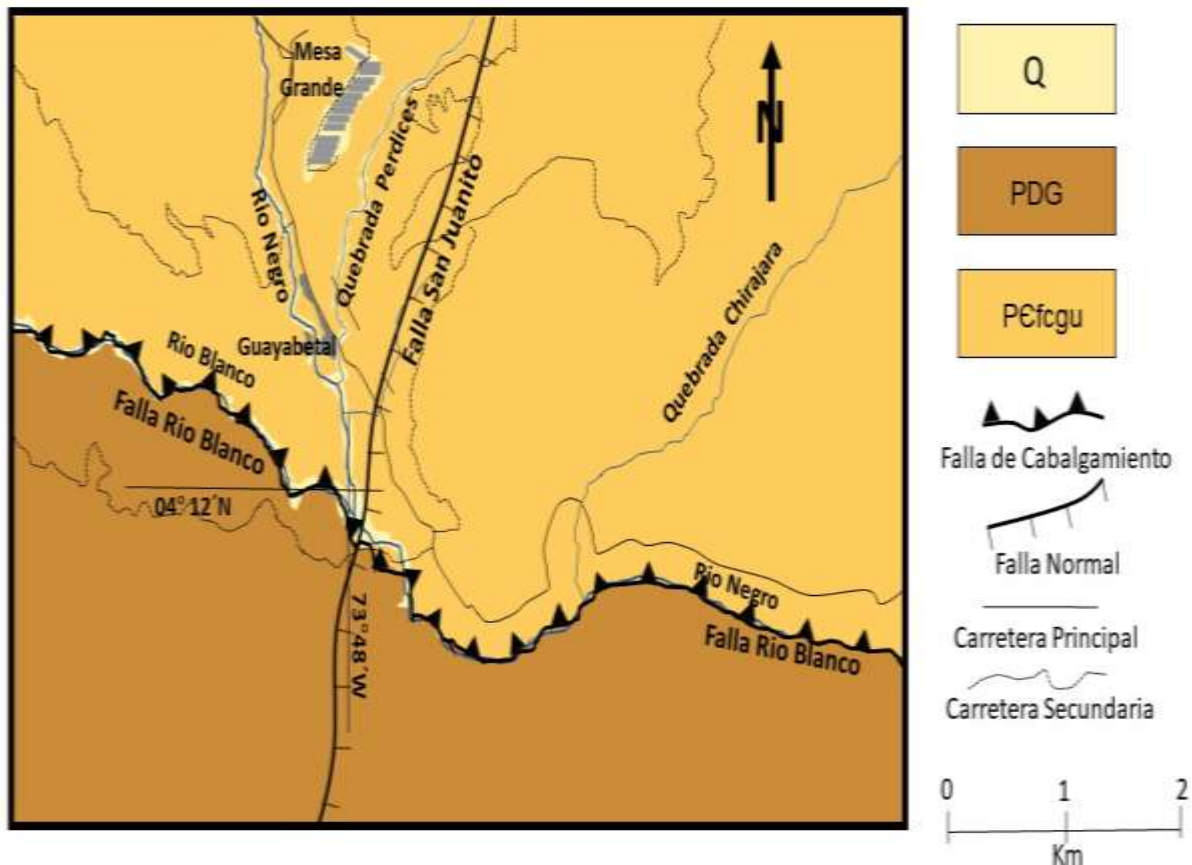


Figura 12. Mapa geológico preliminar de la región de Guayabetal, Cundinamarca. Tomado de Chicangana (En Prep.) [38].

4.1.2 Geología estructural

4.1.2.1 Pliegues

No fue posible en campo determinar en los alrededores del casco urbano de Guayabetal, pliegues asociados a la deformación de la Formación Cuarcitas y filitas de Guayabetal. Los datos recogidos por Pulido y Gómez (2001) [35], indican que la

dirección de las foliaciones son variables y no hay un patrón definido que indique alguna herencia de un plegamiento o plegamientos previos al metamorfismo que afectó al protolito, el cual al parecer fue un paquete sedimentario interestratificado con gran espesor (¿varios centenares de m.?).

4.1.2.2 Falla San Juanito

La única estructura que se reconoce en la región circundante al casco urbano de Guayabetal, por verificación con imagen radar tipo ALOS PALSAR es una gran falla con rumbo N 35° E. Esta falla la cual, siguiendo en sentido sur - norte, cruza desde el municipio de Acacías en el sur, hasta el municipio de San Juanito al norte, se relaciona con la Falla San Juanito [39].

De acuerdo con Pulido y Gómez (2001) [35], este trazo hacía el sur corresponde a la Falla Trueno, la cual la ponen como una falla fotogeológica. El trazo de falla descrito aquí cruza casi la cabecera de Guayabetal siguiendo el curso de la Quebrada Perdices hacía el NE, y luego cruza la montaña y se conecta con el cauce alto de la Quebrada Quebradablanca. Con el seguimiento combinado por fotogeología de imágenes ALOS PALSAR y LANDSAT 8 se observa que entre estas dos cuencas se ve una alineación estructural que da continuación a la falla. Esta falla de acuerdo con Mora et al. (2006) [39] es normal.

En el subcapítulo de geotecnia se menciona de nuevo la influencia de esta falla, la cual al parecer es la responsable de la alta fracturación de la Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal a nivel local, lo cual es confirmado con sondeos con método magnetoteléxico, y tomografías eléctricas de resistividad realizadas en el sector de Mesa Grande en la margen derecha de la Quebrada Perdices y hacía el sector de la Quebrada Quebradablanca [22] [21].

Es de anotar que Gabriel París en 2007 [19] indicó elementos estructurales asociados a una falla en el sector de Quebradablanca cerca a la confluencia de la

Quebrada del mismo nombre con el río Negro. Este autor denominó esta estructura como la Falla Quebradablanca con un rumbo N21°E y buzamiento al oeste. Para Mora et al. (2006) [39] la Falla San Juanito buza al este.

En resumen, esta es la estructura más importante desde el punto regional en este sector en donde confluye el río Blanco con el río Negro. Ni en campo, ni con observación de imágenes de satélite, se encontraron aquí evidencias de la Falla Jabonera indicada por *Ulloa et al. (1988)*, en Pulido y Gómez (2001) [35]. En la plancha 247 - Cáqueza, los geólogos del INGEOMINAS indican a la Falla Quebrada Grande [36], que se cartografía unos 10 km al NE de esta zona, y cuyo trazo coincide como la falla que aquí identificamos mediante chequeo satelital.

4.1.2.3 Falla río Blanco

Es una falla de cabalgamiento según Pulido y Gómez (2001) [35], sigue el curso del río Blanco y continua el curso del río Negro hacia el oriente de Guayabetal con un rumbo E - O. El bloque cabalgante está al norte en donde aflora la Formación Filitas y Cuarcitas de Guayabetal, que cabalga sobre rocas de la Formación Areniscas de Gutiérrez.

De destacar de su actividad tectónica es la erosión tectónica de la actividad de la falla y que ha ayudado a desarrollar estas cuencas, la cual se manifiesta en los procesos de remoción de masa que afectan principalmente la margen izquierda de los ríos Blanco y Negro, y directamente la carretera Bogotá - Villavicencio.

4.2 GEOTECNIA

4.2.1 Antecedentes

Con base en informes previos de perforaciones realizados por contratistas de La Concesionaria Vial de los Andes (COVIANDES) en el año 2008 [18] [20] [19], se ha determinado un índice de Calidad de la Roca de Deere (RQD) < 25% en las rocas

aflorantes en la quebrada Quebradablanca por lo que su calidad es muy mala es decir que en general el macizo rocoso representado por las Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal es muy malo debido a que está fuertemente fracturado y meteorizado.

Tales informes contienen información geológica, estudios de suelos para fundaciones y estudios de estabilidad de taludes para los Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los sectores: El Tablón - Puente Téllez, Puente Quetame, Quebrada Naranjal - Quebradablanca y Guayabetal, de la carretera Bogotá – Villavicencio, donde se puede evidenciar que los valores del estudio de dicho índice de calidad fueron realizados en el 2008, antes de que construyeran los túneles bajo Mesa Grande.

4.2.1.1 Sector quebrada Perdices

Desde el puente que atraviesa la quebrada Perdices por la vía Bogotá- Villavicencio, aproximadamente a 100 metros aguas arriba de la quebrada se tomaron mediciones de afloramiento de roca en la formación filitas y cuarcitas de Guayabetal (PÉfcgu).

Aquí se encuentran dos tipos de fracturas verticales, las primeras fracturas verticales con dirección NO-SE tienen una separación promedio de aproximadamente 3,8 cm, el segundo tipo de fracturas verticales se encuentra con dirección N-S con separaciones de aproximadamente 10 cm y como un tercer tipo de falla se encuentran las horizontales con dirección NE-SO con separaciones de aproximadamente 19,3 cm y con un estado de meteorización de la roca alto, tal como se puede analizar de las siguientes figuras.

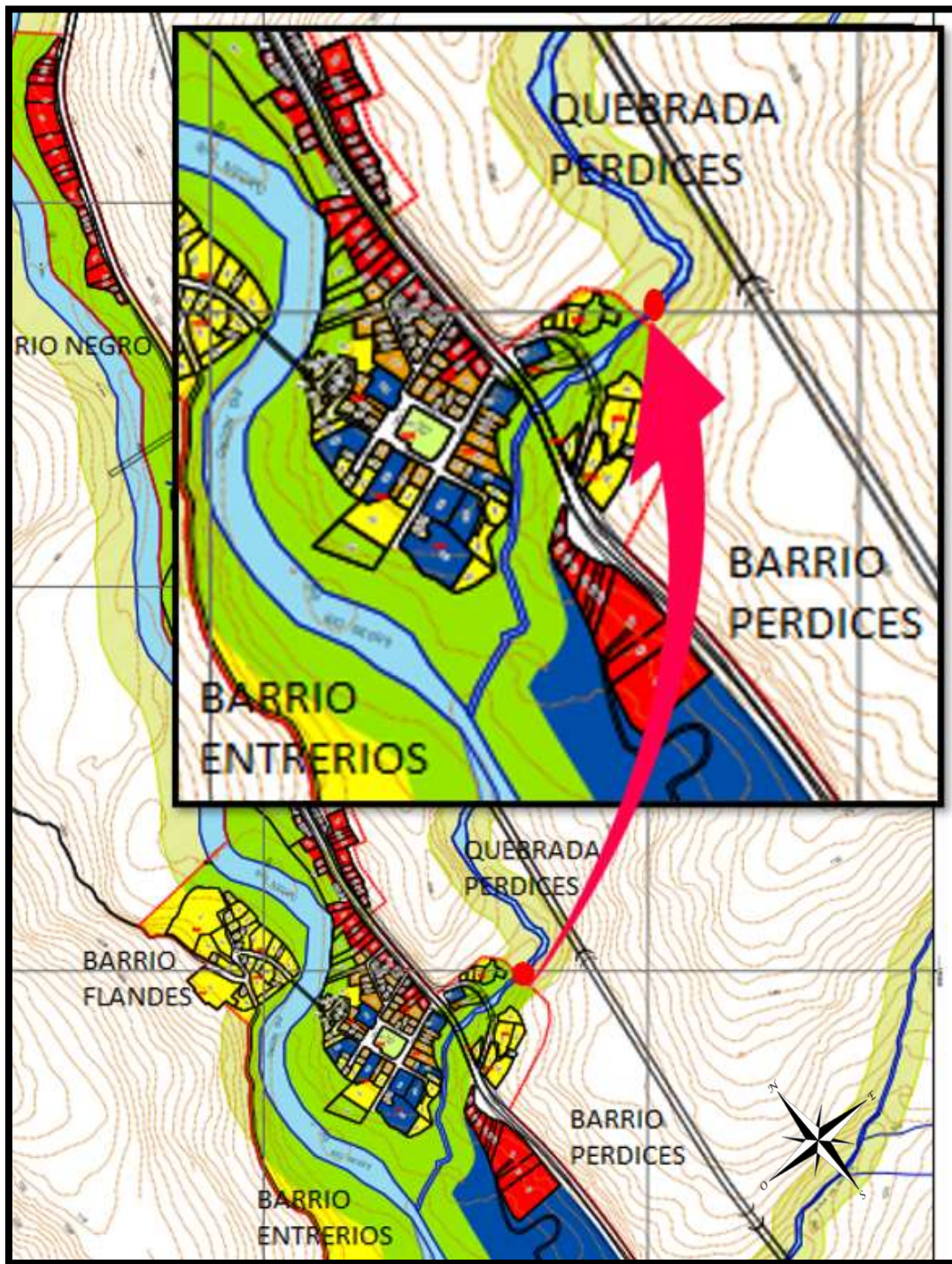


Figura 13. Punto de medición de afloramientos de roca en el macizo rocoso de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

En la figura 15 se puede evidenciar que el promedio de separación de fracturas verticales con dirección NO-SE es aproximadamente de 2.5 cm y que la separación de fracturas horizontales con dirección NE-SO es de aproximadamente 30 cm y que el grado de meteorización es alto.



Figura 14. Fracturas verticales y horizontales en la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

En la figura 16 se puede observar otro tipo de fractura, la cual se encuentra en una zona motorizada con vegetación y color oscuro, en dirección N-S. La separación

entre estas fracturas es de aproximadamente 10 cm y también cuenta con un grado de meteorización alto.



Figura 15. Fractura vertical en dirección hacia Villavicencio del macizo rocoso de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

La figura 17 muestra una separación promedio de fisuras horizontales con dirección NE-SO de 10.7 cm aproximadamente con un alto nivel de meteorización.



Figura 16. Fractura horizontal del macizo rocoso de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

En la figura 18 se observa una separación promedio entre fallas horizontales con dirección NE-SO de aproximadamente 17.3 cm.



Figura 17. Fractura horizontal del macizo rocoso de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

La figura 19 muestra una separación entre fallas verticales con dirección NO-SE de aproximadamente 15 cm.



Figura 18. Fractura vertical del macizo rocoso de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

De la figura 20 se puede analizar que al tomar una muestra de roca del macizo rocoso de la quebrada Perdices y ejercer presión sobre ella esta se va quebrando sin tener que hacer mucho esfuerzo, por ende, se puede decir que el grado de meteorización del macizo rocoso es alto.



Figura 19. Nivel de meteorización alto del macizo rocoso de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

4.2.1.2 Sector río Negro

Desde el puente que atraviesa el río Negro para comunicar Barrio Nuevo con la Vereda Sanroque, ubicado en el Kilómetro 58 (K58+000), aproximadamente 200 metros aguas abajo del río se tomaron mediciones de afloramiento de roca en la formación filitas y cuarcitas de Guayabetal (PCfcgu).

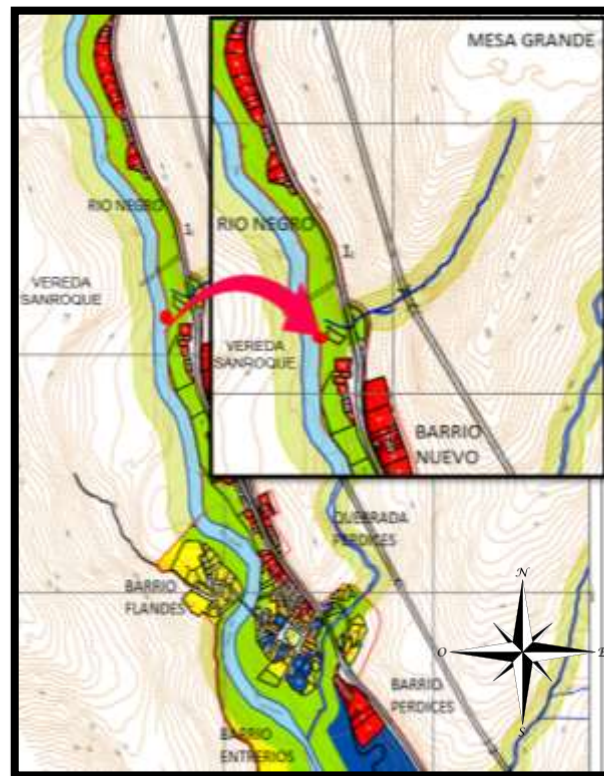


Figura 20. Punto de medición de afloramientos de roca en el macizo rocoso del río Negro.

Fuente: Propia.

Aquí se encuentran cuatro familias o tipos de fracturas dos verticales que son cerradas y se interceptan entre ellas en forma de X y dos horizontales que son cerradas. La separación de las fracturas verticales con dirección NE-SO es de aproximadamente 7,4 cm, el otro tipo de fractura vertical con dirección E-O tiene una separación entre fracturas de 15 cm y las fracturas horizontales, una con dirección N-S tienen separaciones de aproximadamente 2 cm y la otra fractura

horizontal con dirección NO-S tiene una separación de aproximadamente 6,3 cm. Además, el macizo rocoso cuenta con un estado de meteorización de la roca alto.

Cabe resaltar que las fracturas verticales con dirección E-O son las que siguen el tiempo geológico y se pueden caracterizar por que la fractura es oscura es decir la zona meteorizada con vegetación es de color oscuro, este tipo de fracturas son más recientes y activas. Por otro lado, en estas fracturas es por donde se está infiltrando el agua de manera que está generando la meteorización del macizo rocoso, tal como se puede observar en las siguientes imágenes.

En la figura 22 se muestran dos familias de fracturas, las verticales que van en dirección E-O que tienen una separación promedio de aproximadamente de 15 cm y las fracturas verticales en dirección NE-SO que tienen una separación promedio de aproximadamente 5.2 cm, las cuales están entrelazadas en forma de X.



Figura 21. Dos tipos de familias verticales en el macizo rocoso del río Negro.
Fuente: Propia.

En la figura 23 se observan fracturas horizontales que están muy inclinadas hacia el norte con un buzamiento aparente de 40° hacia el norte. Las fracturas horizontales con dirección N-S tienen un promedio de separación entre ellas de aproximadamente 2 cm, mientras que las fallas horizontales con dirección NO-S tienen una separación promedio de aproximadamente 6.3 cm.

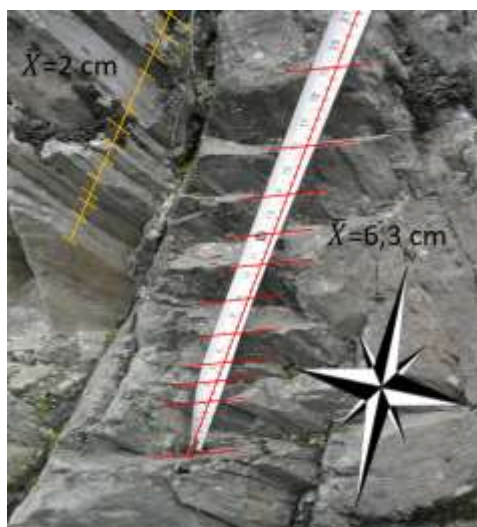


Figura 22. Fallas horizontales del macizo rocoso del río Negro.
Fuente: Propia.

La figura 24 muestra fallas verticales con dirección E-O que tienen una separación promedio de aproximadamente 15 cm y que su grado de meteorización es alto.



Figura 23. Fallas verticales del macizo rocoso del río Negro.
Fuente: Propia.

En la figura 25 se muestran fracturas verticales con dirección NE-SO las cuales tienen una separación promedio entre ellas de aproximadamente 9,5 cm.



Figura 24. Fallas verticales del macizo rocoso del río Negro.
Fuente: Propia.

De la figura 26 se puede analizar que al tomar una muestra de roca del macizo rocoso del río Negro y ejercer presión sobre ella esta se va quebrando sin tener que hacer mucho esfuerzo, por ende, se puede decir que el grado de meteorización del macizo rocoso es alto (grado IV) de acuerdo con la clasificación ISRM de 1981.



Figura 25. Nivel de meteorización del macizo rocoso del río Negro.
Fuente: Propia.

4.3. HIDROMETEOROLOGÍA

En cuanto a la hidrometeorológica se encontraron estudios que permiten analizar que los fenómenos de remoción de masa en el casco urbano son inducidos por la variación climática.

4.3.1. Antecedentes

El primer estudio es realizado por la Concesionaria Vial de los Andes (COVIANDES), donde realizan una investigación de la estabilidad global, hidrogeológico, hidrología e hidráulica e informe técnico de la contingencia en la Meseta de Mesa Grande Kilometro 58 - Sector Guayabetal, realizado en el año 2019.

El segundo es realizado por el docente de la facultad de ingeniería civil de la universidad Santo Tomas de Villavicencio, Iván Darío Acosta Sabogal. IC. Esp. Mg(c) quien realizó un análisis geológico y geotécnico del macizo de Quetame, departamentos de Cundinamarca y Meta, sector trayecto vial Villavicencio - Quetame: procesos de remoción de masa inducidos por clima y tectónica, realizado en el 2020.

4.3.1.1 Estudio de la Concesionaria Vial de los Andes (COVIANDES)

Este estudio analiza la precipitación del lugar de interés según la precipitación máxima en 24 horas y la precipitación total mensual tomados de las estaciones Susumuco y Monterredondo (Figura 27).



Figura 26 Ubicación de las estaciones hidroclimáticas del lugar de estudio [42].

4.3.1.1.1 Precipitación total mensual de las estaciones Monterredondo y Susumuco.

A continuación, se muestran los datos de Precipitación Total Mensual (PTM) para cada estación.

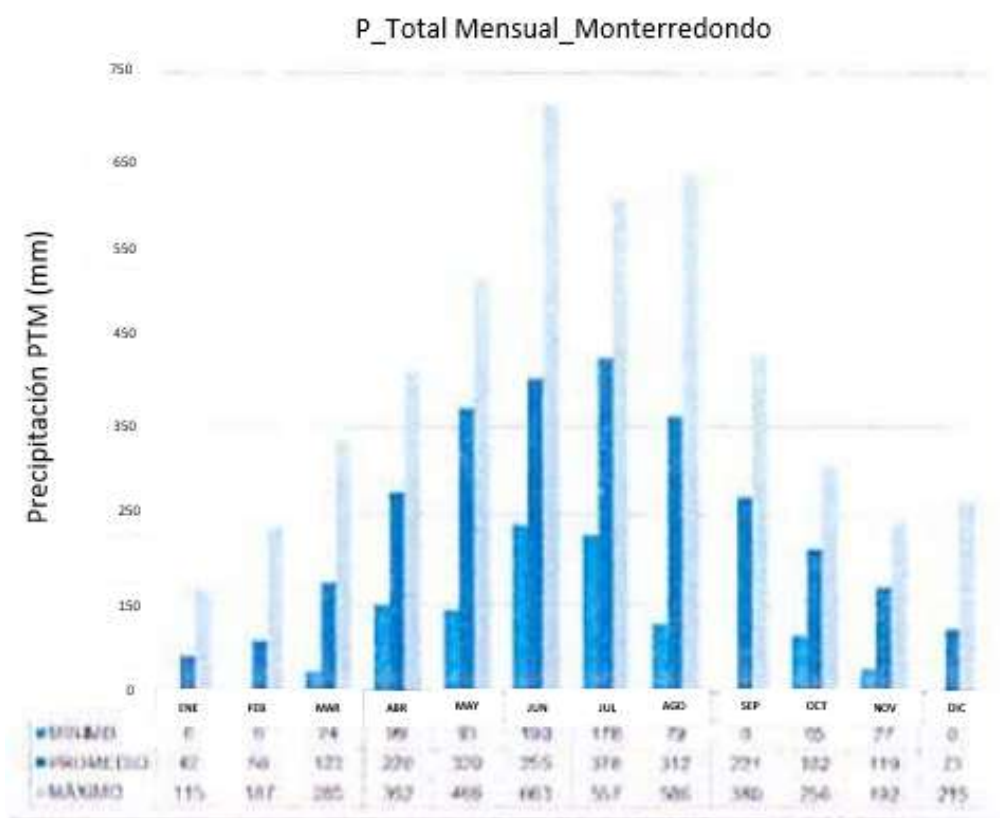


Figura 27. Datos de precipitación total mensual en estación Monterredondo [29].

De la figura 28, se puede observar que en la estación Monterredondo, el mes de junio la PTM mínima es de 240mm, en el mes de julio la PTM promedio es de 440mm y en el mes de junio la PTM máxima es de 700mm.

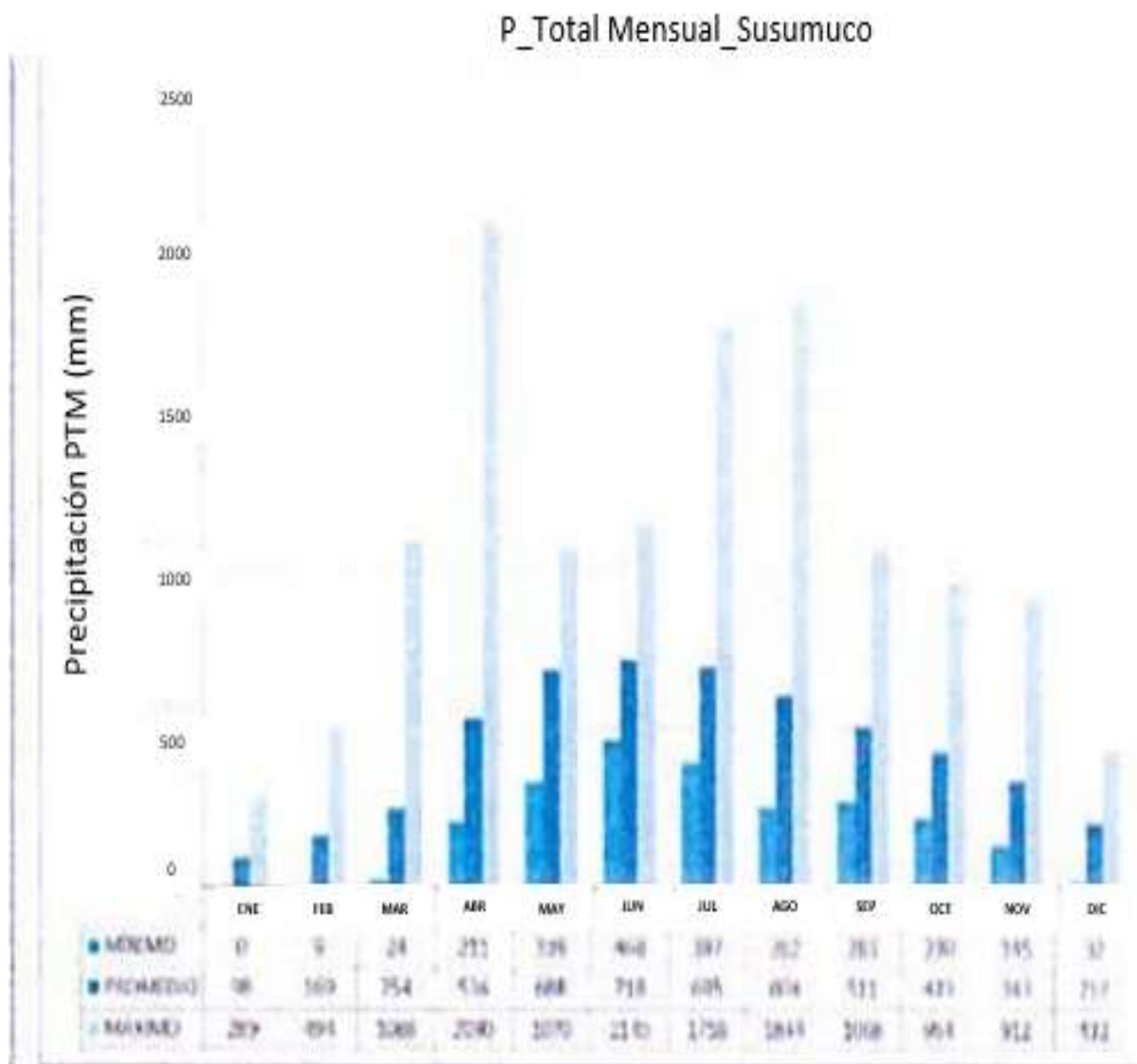


Figura 28. Datos de precipitación total mensual en estación Susumuco [29].

En cuanto a la figura 29, se puede observar que en la estación Susumuco, en el mes de junio la PTM mínima es 500mm, en ese mismo mes la PTM promedio es de 750mm y en el mes de abril la PTM es de 2100mm.

4.3.1.1.2 Precipitación total anual (PTA) de las estaciones Monterredondo y Susumuco.

Con el fin de reconocer la existencia de cualquier tendencia de la precipitación en el área de interés se estudian los datos anuales inscritos en cada estación.

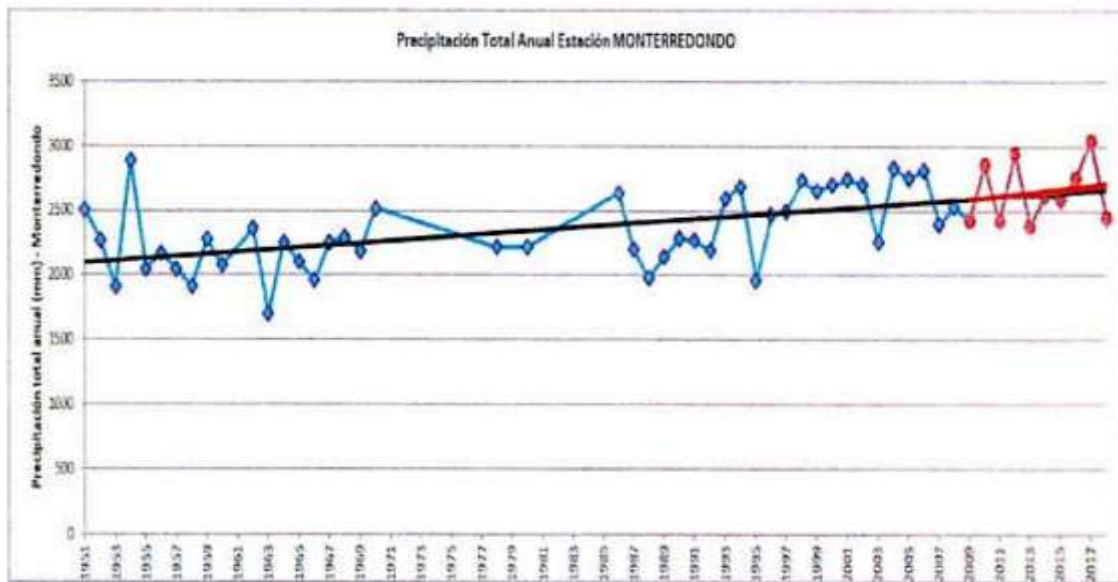


Figura 29. Valores de precipitación total anual de la estación Monterredondo [31].

De la figura anterior (figura 30), se observó la Precipitación Total Anual en la estación Monterredondo, donde se indica que en el año de 1955 la PTA es de 2900mm, luego la precipitación fue disminuyendo hasta el año 1963 con un valor de 1700mm, pero así mismo fue aumentando hasta el año 2017, en el cual la PTA es de 3100 mm.

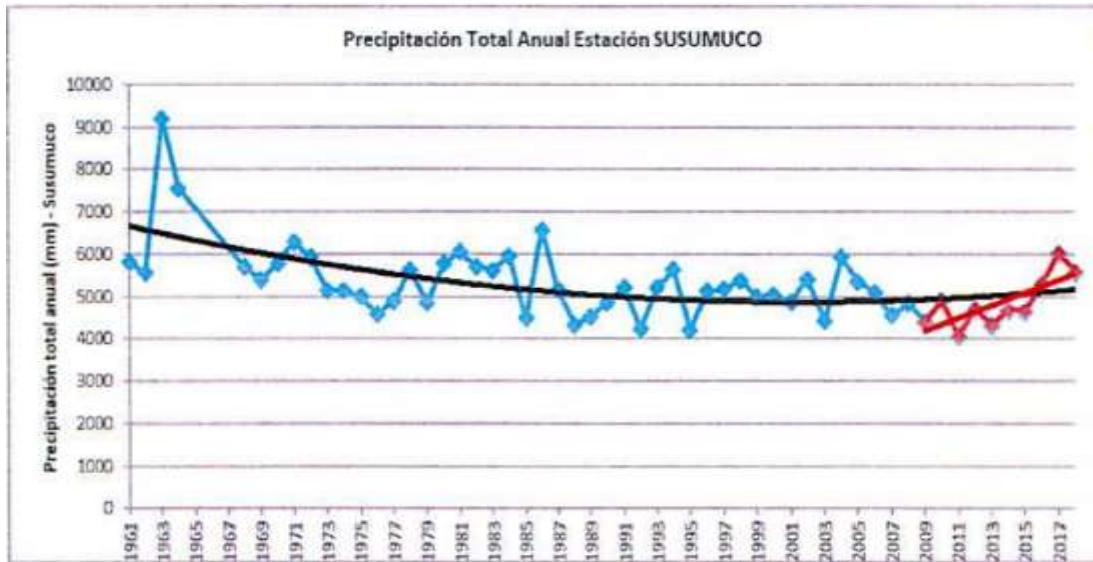


Figura 30. Valores de precipitación total anual de la estación Susumuco [31].

De igual forma se observa en la figura 31 la Precipitación Total Anual de la estación Susumuco, donde se obtuvo una PTA de 9200mm en el año de 1963, en los siguientes años la PTA fue disminuyendo hasta los años 1992 y 1995 con un valor de 4000mm, luego se observa un aumento en cada año hasta el 2017 donde la precipitación alcanzo los 6000mm.

4.3.1.1.3 Número de días de precipitación de las estaciones Monterredondo y Susumuco.

Aquí se identifican los valores de la cantidad de lluvias que se presentan en el área, con base en las estaciones Monterredondo y Susumuco.

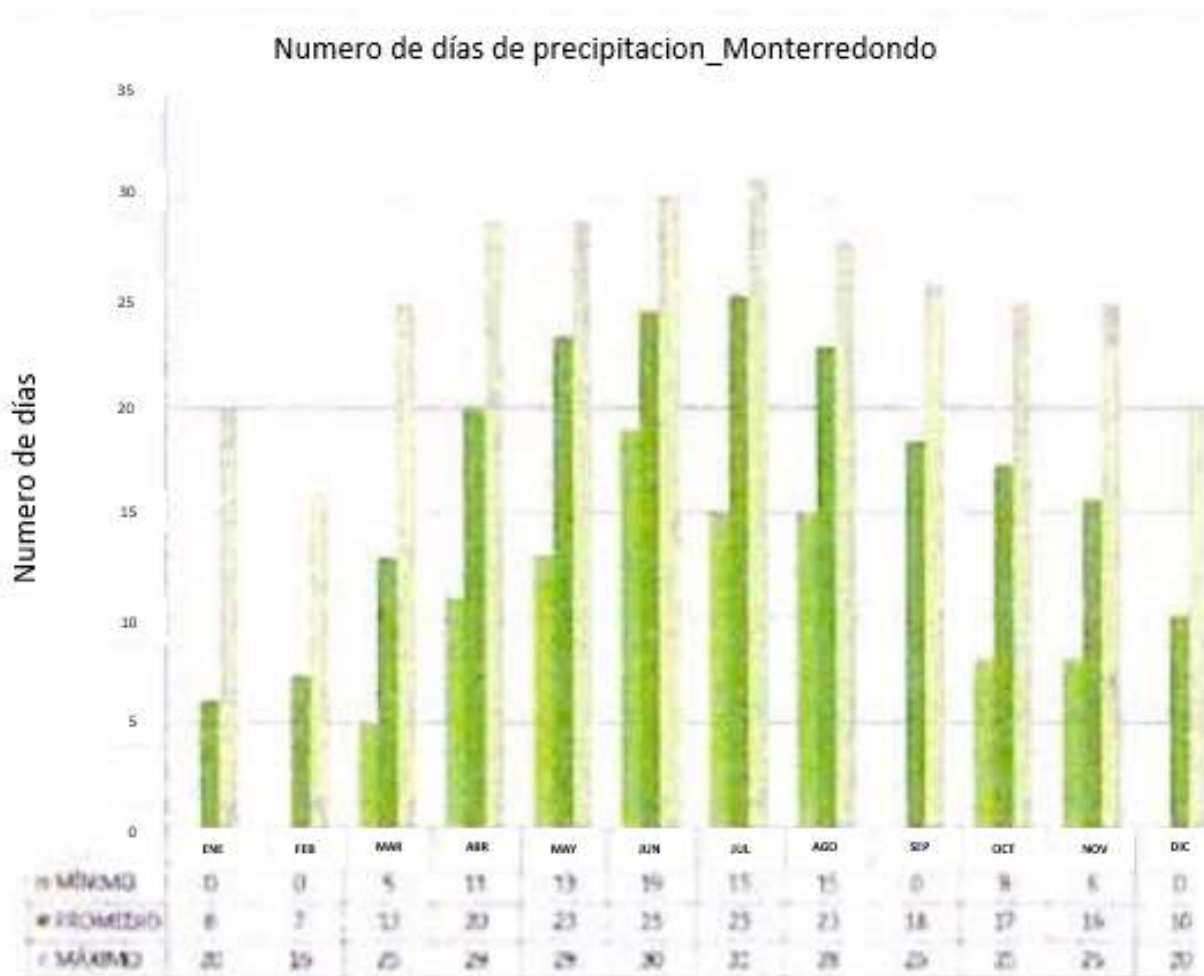


Figura 31. Datos del número de días de precipitación es la estación Monterredondo [31].

En cuanto a la figura 32, se puede observar que en la estación Monterredondo, en el mes de junio el número de días de precipitación mínimo es 19 días, en el mes de julio el valor promedio es de 25 días y en ese mismo mes el número de días máximo fue de 32 días.

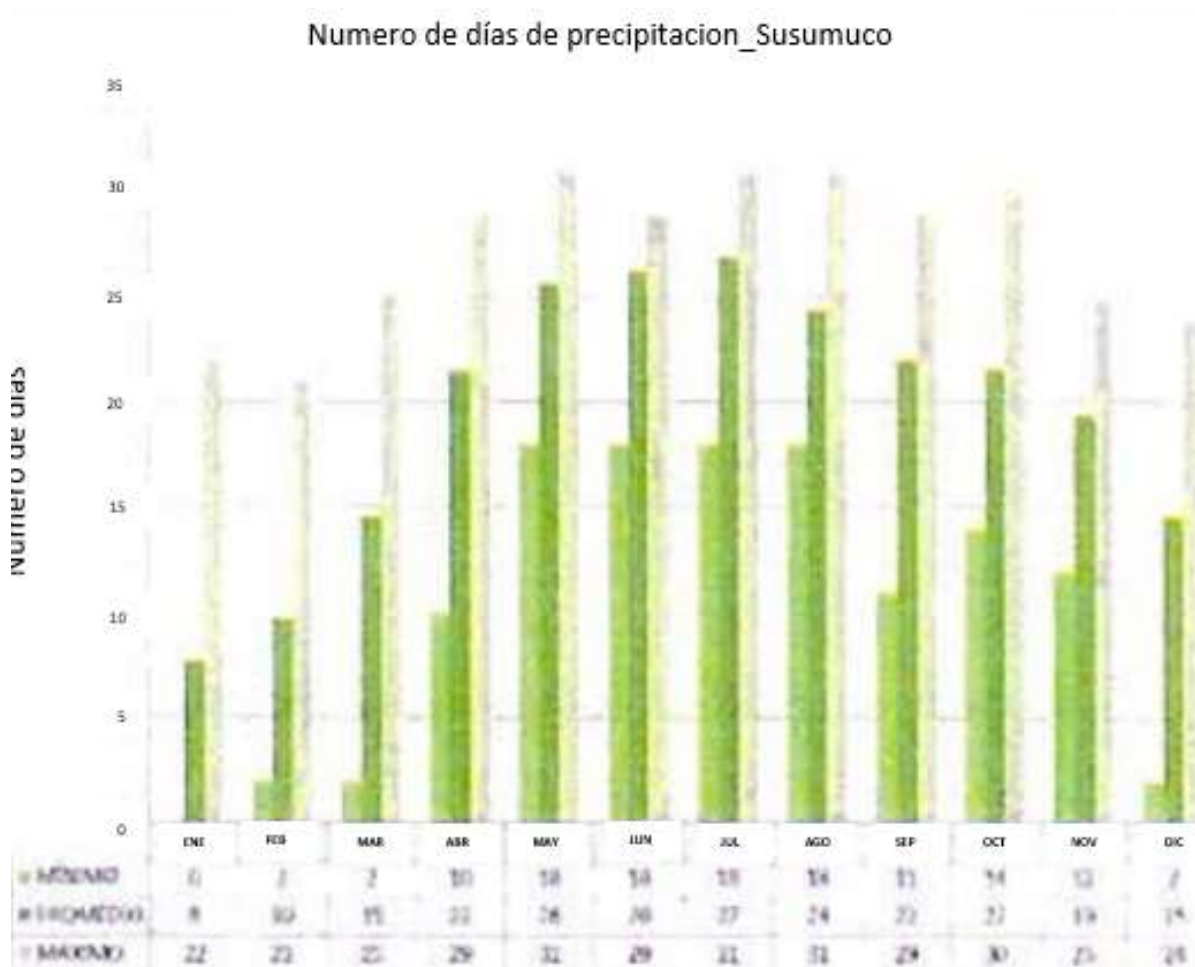


Figura 32 Datos del número de días de precipitación es la estación Susumuco [31].

En la figura anterior (figura 33), se observa los valores del número de días de precipitación de la estación Susumuco, donde el número de días de precipitación mínimo es 18 días, el cual se mantuvo en los meses de mayo, jun y julio, en el mes de julio el valor promedio es de 27 días y en los meses de mayo y agosto el número de días máximo es de 32 días.

4.3.1.1.4 Precipitación máxima en 24 horas de las estaciones Monterredondo y Susumuco.

La precipitación total es la cantidad de agua que cae en un periodo de tiempo total, en el caso de los estudios posteriores, mensualmente; sin embargo, son normalmente los eventos de alta magnitud, presentados en un tiempo aproximadamente corto, los responsables de los principales desastres y emergencias, por lo tanto, son los fenómenos que representan mayor amenaza. En vista de esto se estudian las variables de precipitación máxima en 24hr, lo que indica la mayor magnitud de precipitación que cae en el transcurso de cualquier día del mes. Donde también se trabajó con las estaciones usadas en el estudio anterior, tal como lo representan las siguientes figuras (figura 34 y 35).

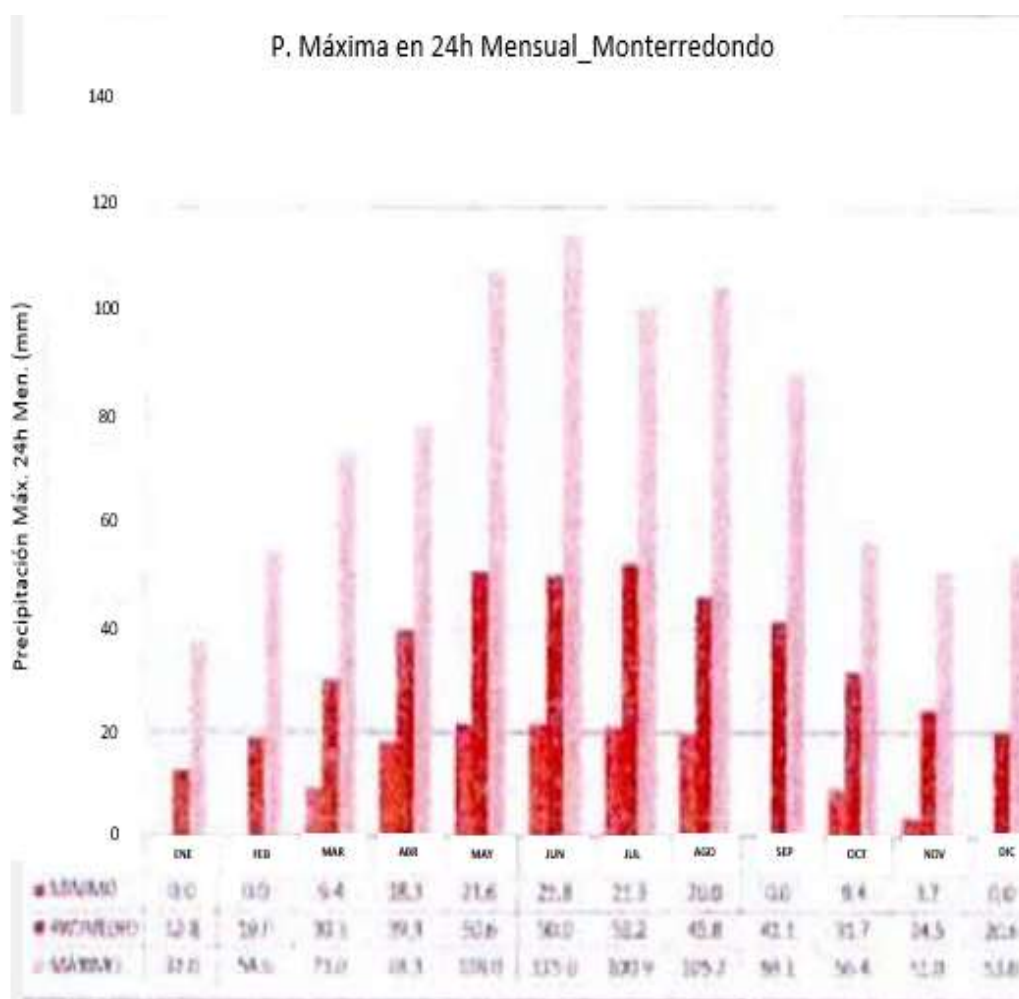


Figura 33. Valores de precipitación máxima en 24 horas mensual de la estación Monterredondo [31].

En cuanto a la Precipitación máxima en 24 horas mensuales, se obtiene de la figura 34 los valores de la estación Monterredondo, donde P. máxima en 24h mensuales mínima es de 22.8mm dada en el mes de junio, el valor promedio es de 58.2mm dado en el mes de julio y el máximo es de 115.8mm dado en el mes de junio.

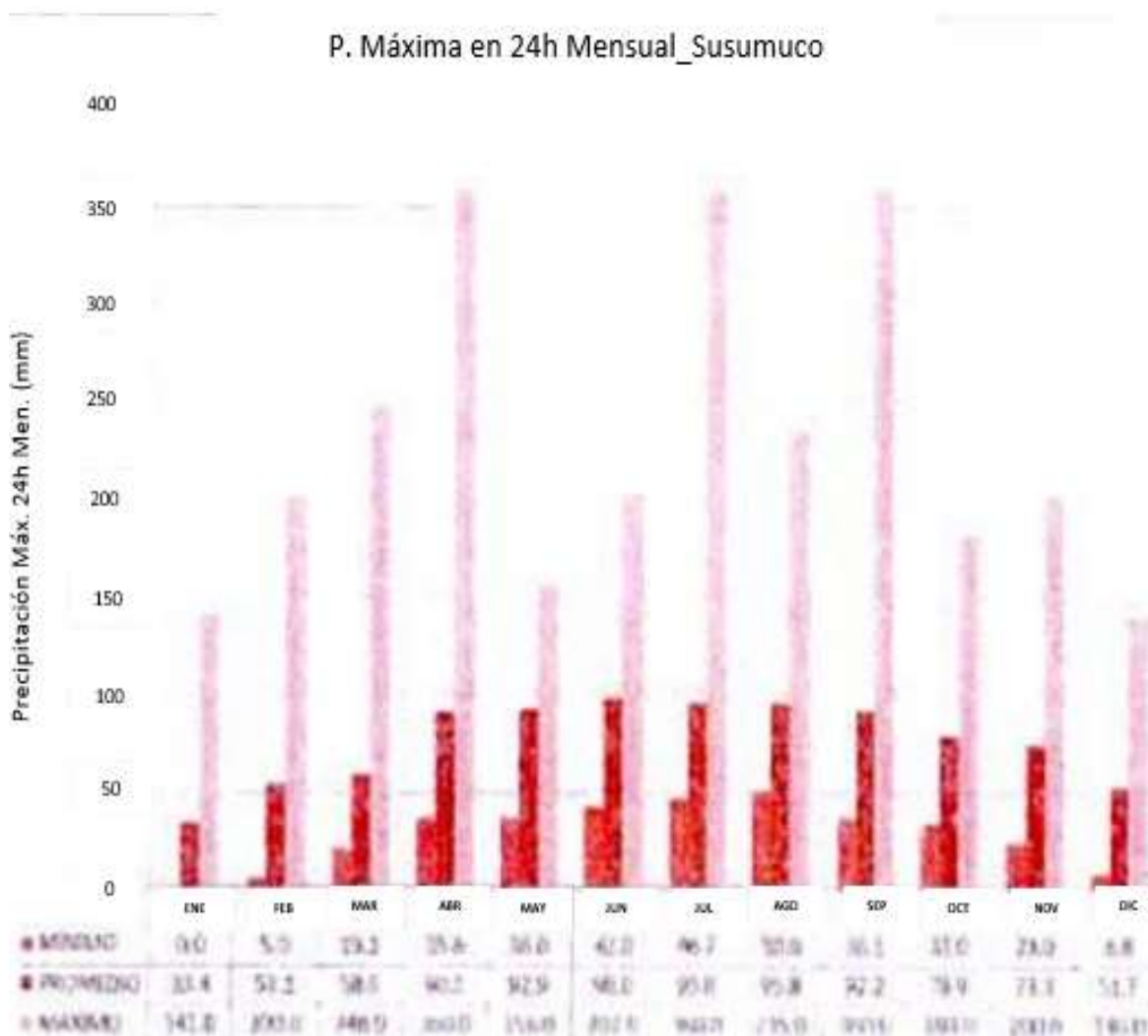


Figura 34. Valores de precipitación máxima en 24 horas mensual de la estación Susumuco [31].

Para la estación Susumuco en la figura 35, los datos de precipitación máxima en 24 horas mensuales mínima, promedio y máxima son de 50mm dado en el mes de agosto, 100mm dado en el mes de junio y 352mm dado en el mes de septiembre, respectivamente.

4.3.1.1.5 Isoyetas.

Por medio de Isoyetas se regionalizo la precipitación del área de estudio, donde interpolaron los datos de precipitación total anual tomados de las dos estaciones con las que se ha trabajado junto con las estaciones Esmeralda, El calvario, Monfort y Buenavista, mediante la metodología geoestadística de Kriging; en la siguiente figura (figura 36) cada isoyeta simboliza un área con la misma categoría de precipitación, representadas en intervalos de 500 mm.



Figura 35. Isoyetas de regionalización de la precipitación del área de estudio [31].

4.3.1.2 Estudio del Ingeniero Iván Acosta

En el análisis realizado para este proyecto por el Ingeniero Iván Acosta, se encontró que los valores precipitación de la zona de estudio según la precipitación total mensual y la precipitación máxima en 24 horas donde fue necesario los datos de las estaciones pluviométricas Las casas, Monterredondo, Susumuco y Servita (ver figura 36), con dichos datos organizados se encontraron faltantes que fueron hallados por medio de metodologías estadísticas utilizadas para estos casos.

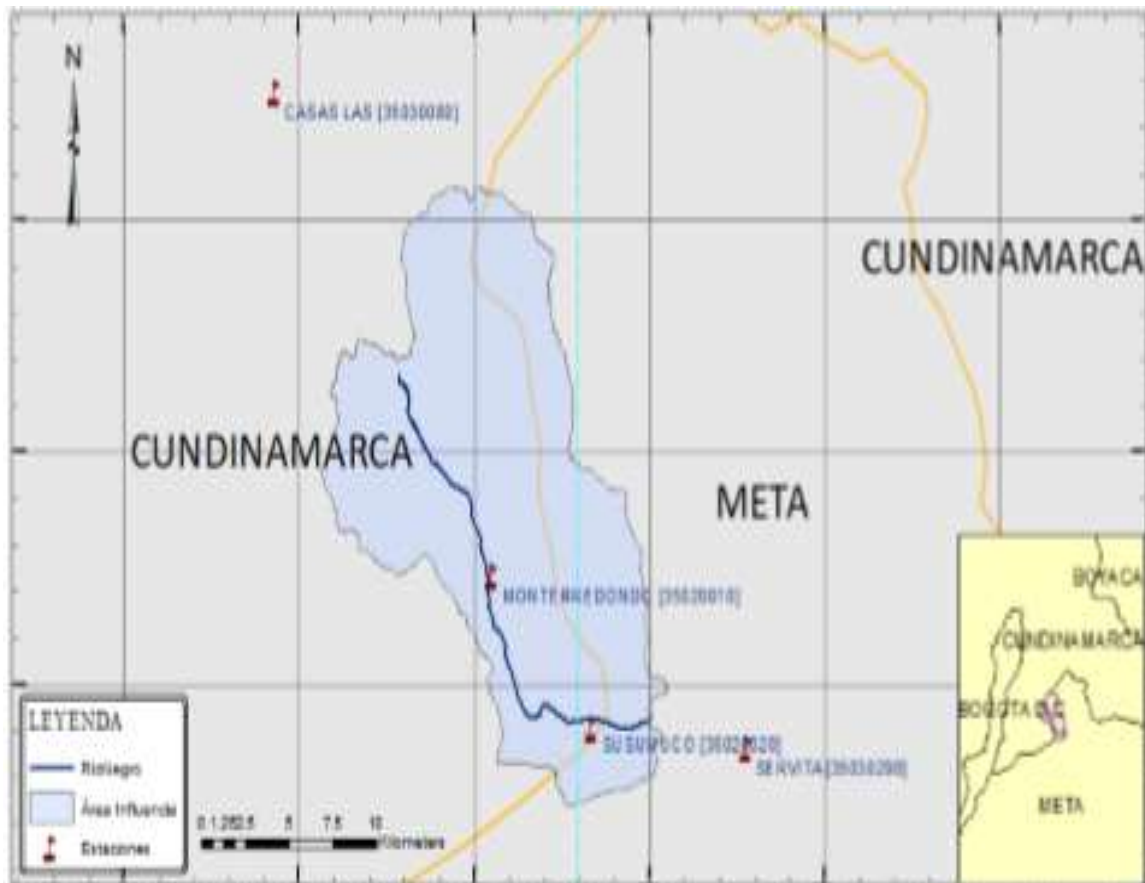


Figura 36. Ubicación de las estaciones pluviométricas que garantizan la cobertura del área de estudio [43].

4.3.1.2.1 Precipitación total

Se identifican los datos promedio mensuales multianuales de cada estación, según las condiciones geomorfológicas del área de estudio. Esto en función de la ubicación de cada estación (figura 38 y tabla 2).

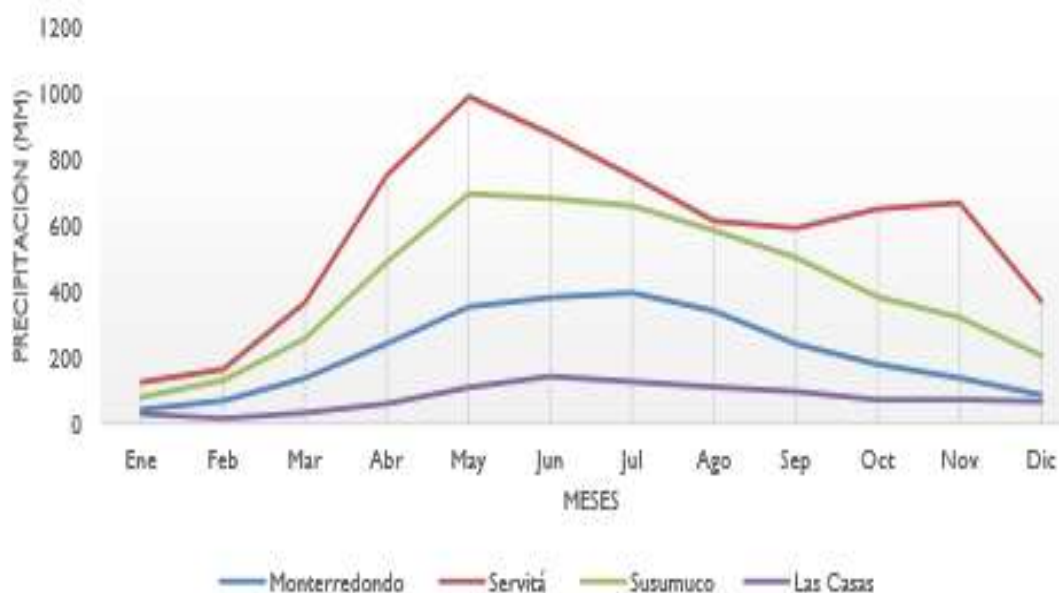


Figura 37. Organización eventual de la precipitación total mensual multianual de la zona de estudio [32].

Tabla 3. Valores de precipitación total mensual multianual del lugar de estudio (mm) [43].

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PromAnual
Monterredondo	42	70	138	242	353	383	397	342	241	180	138	87	217.8
Servitá	126	165	368	752	992	878	749	614	593	650	669	372	577.4
Susumuco	80.5	131	258	490	697	683	660	585	503	383	322	207	416.6
Las Casas	29.7	15.8	33.2	60	109	143	127	111	97.3	71.7	73.5	67.3	78.3

De la figura 38 y de la tabla 3 se observa, que la estación servita presenta la precipitación total mensual multianual más alta en el mes de mayo con un valor de

992mm, y para las estaciones Susumuco y Monterredondo la precipitación es de 697mm dado en el mes de mayo y 397 dado en el mes de julio, respectivamente. Además, la precipitación promedio anual más alta es de 577.4mm en la estación Servita, seguido de la estación Susumuco con una precipitación de 416.6mm y en la estación Monterredondo es de 217.8mm.

4.3.1.2.2 Precipitación máxima 24 horas

Generalmente la principal afectación de los sistemas hidrológicos son los extremos eventos de lluvia, sequias y crecientes. Donde está relacionado la frecuencia de ocurrencia y la magnitud de un evento severo. Ya que por lo general los eventos moderados ocurren con más frecuencia que los eventos extremos. En la siguiente figura (figura 38) se evidencia la magnitud de dichos eventos dada la precipitación máxima en 24 horas.

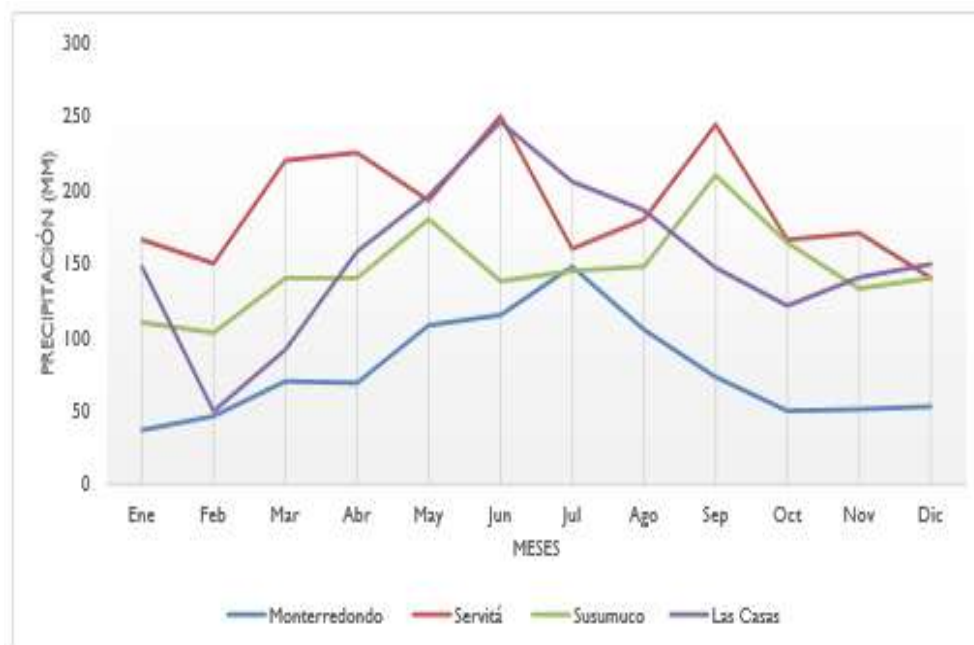


Figura 38. Organización eventual de la precipitación máxima en 24hr mensual multianual de la zona de estudio [32]

Tabla 4. Valores de precipitación máxima en 24hr mensual multianual del área de estudio (mm) [43].

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	MáxAnual
Monterredondo	37	46	70	69	108	115	148	105	73	50	51	53	148
Servitá	166	150	220	225	193	250	160	180	244	166	171	140	250
Susumuco	110	103	140	140	180	138	145	148	210	164	133	140	210
Las Casas	148	50	92	158	196	246	205	186	147	121	141	150	246

En la tabla 4 y la figura 38 se evidencia que el valor de precipitación máxima en 24 horas mensual multianual para la estación Servita fue de 250mm, siendo uno de los más altos ya que para la estación Susumuco la precipitación fue de 210mm dada en el mes de septiembre y en la estación Monterredondo 148mm según el mes de julio.

4.3.1.2.3 Isoyetas

En la siguiente figura (figura 40), se muestran las isoyetas que regionalizan la precipitación en la zona de estudio, establecidas una vez dados los promedios mensuales multianuales interpolando con la metodología de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) en el software ArcGIS.

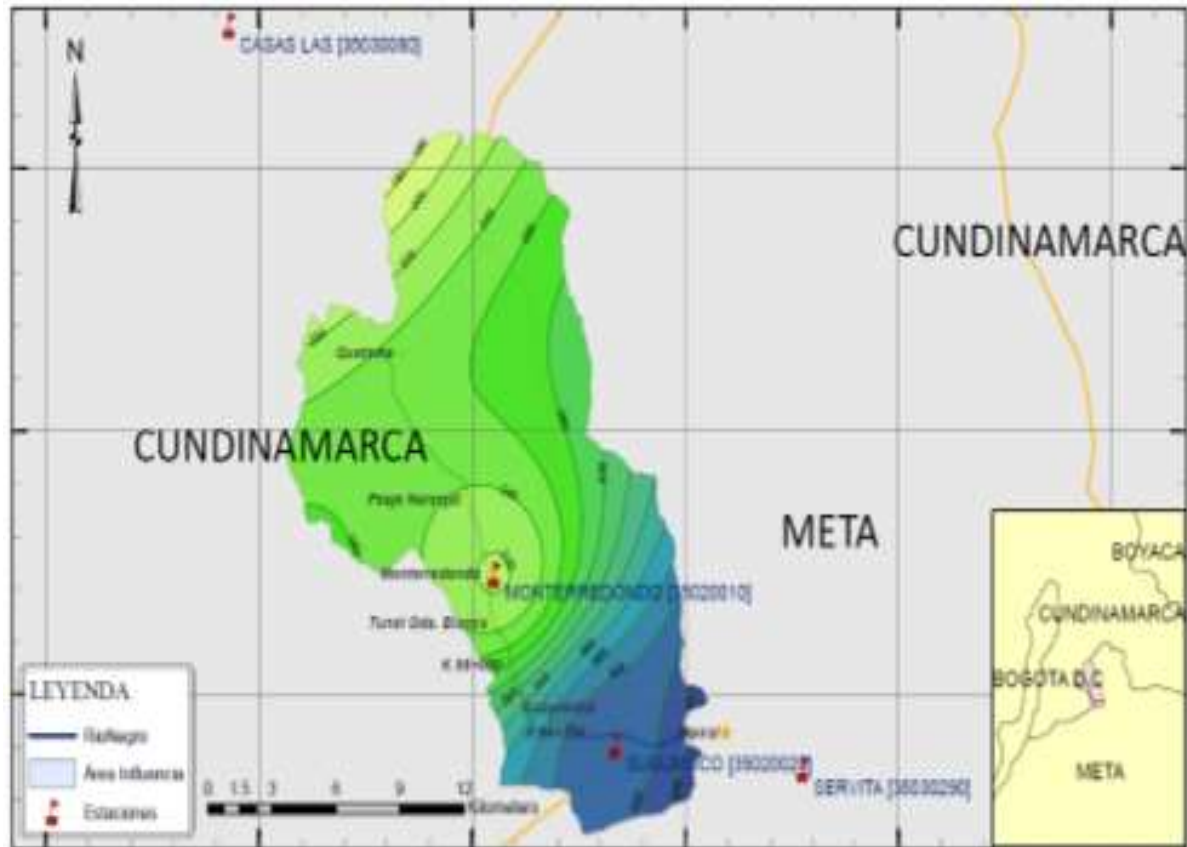


Figura 39. Isoyetas de la zona de estudio [43].

De la figura 40 se puede notar que la precipitación es más alta en las estaciones Susumuco y Servita y va descendiendo hacia las estaciones Monterredondo y las casas.

4.3.1.2.4 Isotermas

Con los registros pertinentes de las estaciones climatológicas, ubicadas dentro de la zona de estudio que cuentan con valores de temperatura para realizar las isotermas. En la tabla 3 se muestran las estaciones seleccionadas para su debido desarrollo.

Tabla 5. Estaciones que cubren el área de estudio para las Isotermas [43].

NOMBRE	ID	TIPO	MAGNA SIRGAS BOGOTÁ		
			Norte	Este	Origen
Llano Largo	35025050	AM	987463.89	1005241.66	Central
Vanguardia	35035020	AM	951991.76	1051065.62	Central
La Bolsa	35025060	AM	997702.42	1010662.97	Central

También se establece un periodo temporal con la información de los datos completos, por ende, se completaron los datos faltantes con los métodos de estadística correspondientes, tal como se realizó con las isoyetas.

Tabla 6. valores de temperatura mensual promedio multianual (°C) [30].

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Vanguardia	26.7	27.4	26.9	26.0	25.6	24.9	24.7	25.2	25.8	26.0	26.1	26.2	25.96
La Bolsa	8.1	8.4	8.3	8.3	8.4	8.1	7.8	7.9	8.1	8.3	8.6	8.3	8.22
Llano Largo	10.6	10.9	11.0	11.0	10.8	10.1	9.6	9.7	10.3	10.7	11.0	10.7	10.51

Finalmente se obtuvieron las isotermas de temperatura uniforme en la zona de estudio, según los promedios mensuales anuales, de la misma manera que con las isoyetas, por medio de métodos de interpolación (figura 40).

De la figura 40 se observa que al igual que las isoyetas los valores de temperatura van ascendiendo de NE-SO de manera que hacia la estación vanguardia los valores de temperatura son mas altos.

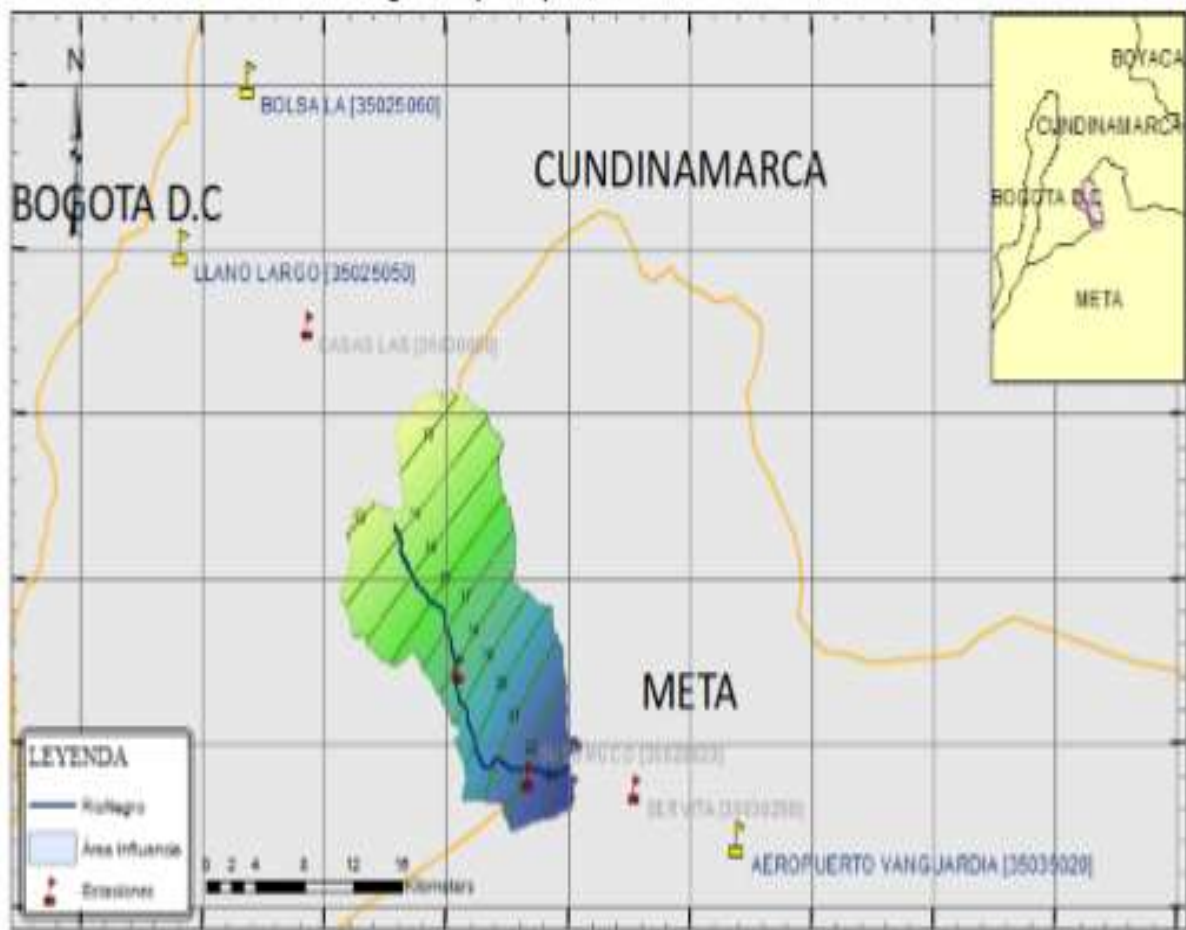


Figura 40. Isotermas del el área de estudio [30].

4.4. SISMOLOGÍA.

La posibilidad de que la aceleración del terreno provocado por el sismo iguale o supere un porcentaje de aceleración de la gravedad terrestre o un nivel de referencia, representa una amenaza sísmica y según el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia [40] estos movimientos fuertes incrementan las posibilidades de inestabilizar las laderas y generar procesos de remoción de masa.

En algunos casos, cerca o en el área epicentral se generan procesos de remoción de masa simultáneos a la ocurrencia del sismo. A estos se los denomina deslizamientos cosísmicos.

En esta región de Cundinamarca, este fenómeno quedó constatado luego del sismo del 24 de mayo de 2008 [41]. La cual se caracteriza por tener una historia destacada de sismos en la historia de Colombia [42] [43] [44] [45], donde han señalado a esta región del oriente del Departamento de Cundinamarca como el origen de estos.

También resalta en esta región el sismo del 18 de octubre de 1743 que afectó principalmente a Bogotá [42], como epicentro a la región que hoy corresponde al municipio de Fomeque. Hay estudios donde a partir de análisis macrosísmico que estima intensidades basándose en los efectos de sitio y afectación en construcciones por efectos del sismo los cuales fueron descritos en las crónicas que reposan en los archivos históricos, constatan que el sismo tuvo origen en esta región [45].

De acuerdo con estos efectos [43] [44], estimaron que su magnitud posiblemente fue superior a 6.5. El otro sismo destacado ocurrió el 24 de mayo de 2008 con una magnitud de 5.9 [29]. A este sismo recientemente [46], le realizaron un ajuste de su epicentro aplicando además de los datos instrumentales, los parámetros macrosísmico empíricos con el fin de ajustar el origen del sismo.

En este trabajo se constató que, para el municipio de Guayabetal, la Red Sismológica Nacional de Colombia ha registrado desde el 18 de julio de 1994 hasta el 20 de septiembre de 2020 un total de 54 sismos con magnitudes locales M_L que variaron entre 1.0 hasta 3.9, destacándose el sismo del 24 de julio de 2015 con M_w 4.1 [47].

5 CAPITULO V. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 ANTECEDENTES

Como antecedentes se analizan dos sectores del casco urbano, los cuales se caracterizan por ser afluentes de agua importantes en el municipio por la gran afectación que podría provocar por socavación lateral del río Negro o por flujo de escombros en la quebrada Perdices.

5.1.1 Sector 1. Quebrada Perdices

En el año 1987 [11], el INGEOMINAS se desplazó a la quebrada Perdices antes y después del evento de lluvia que origino deslizamientos y desestabilización del talud en dicho año para evaluar la amenaza de está sobre el municipio. Dicha entidad hizo ciertas recomendaciones para minimizar las amenazas.

En el mismo año se solicitó una evaluación geológica de la quebrada Perdices y de un estudio de las posibles amenazas por represamientos y deslizamientos al entonces llamado ministerio de minas y energía (INGEOMININAS) ya que era necesario iniciar medidas correctivas y preventivas para minimizar las amenazas por deslizamientos e inundaciones [11].

Los deslizamientos son evidentes en los aluviones de material fino que descansan sobre las rocas metamórficas y sedimentarias que funcionan como un muro impermeable. Así como se evidencia en las montañas del cauce, donde estos deslizamientos tienen forma de “V” (Figura 42), dada la inestabilidad del talud, al ocurrir este fenómeno se represa el agua con el material de arrastre de la cuenca por causa de las altas precipitaciones, que producen este fenómeno haciendo susceptible la quebrada Perdices a avalanchas o flujos de escombros.



Figura 41. Panorámica tomada del servidor Google Earth© que muestra un deslizamiento en la margen derecha de la cuenca alta de la quebrada Perdices, aguas arriba del casco urbano. Se observa que en este valle en forma de "V" favorece deslizamientos que generan avalanchas o flujos de escombros en esta cuenca.

También se presentan varios factores que hacen de la zona de estudio un lugar inestable, entre ellos se encuentran las actividades de deforestación, gran inclinación de pendientes topográficas y la variación de la precipitación en temporadas de invierno.

El municipio de Guayabetal se caracteriza por sus nacederos de agua y por estar rodeados de varias fuentes hídricas, por ende, en la zona rural del municipio los habitantes se abastecen de ellos, sin contar con un acueducto, simplemente buscan el afluente de agua más cercano a la vereda para contar con dicho servicio.

En la zona urbana del municipio sucede algo similar, solo que el agua que llega al Barrio Centro y a los barrios aledaños a éste, cuentan con el mismo acueducto a excepción de Barrio Nuevo que se encuentra ubicado a la entrada del municipio por la vía Bogotá/Villavicencio, donde sus habitantes proveen el agua de la quebrada

Perdices, ya que es el afluente más cercano a la zona, pero en este barrio ya no cuentan con un acueducto debido a las constantes avalanchas que arrasan con él.

Desde el año 1987 [11], se ha presentado antecedentes con la misma problemática con la Bocatoma para el acueducto de las viviendas que se encuentran aledañas a la vía Bogotá - Villavicencio en el municipio de Guayabetal, la cual se encontraba a 200 metros aguas arriba de dicha vía y fue destruida por los deslizamientos que provocan el flujo de escombros que se presenta allí en cada evento de lluvia con alta precipitación. Por ende, en épocas de invierno no se cuenta con el servicio o si llega el agua a las viviendas, esta contiene sedimentos y tiende a ser turbia.

Debido a esta problemática no se cuenta con un acueducto de tratamiento de agua potable para dichas viviendas y se seguirá presentando mientras siga habiendo deslizamientos en la parte alta de la quebrada que provoquen el flujo de escombros y el acueducto se siga abasteciendo de dicho cause.

Así como en el 2018, donde una vez más la quebrada Perdices y el río Negro provocaron afectaciones significativas en el municipio por la ola invernal. Por un lado, la avalancha que hubo en la quebrada perdices dejó nuevamente sin servicio de agua a las viviendas del barrio Nuevo y provocó más deslizamientos en la zona centro del municipio donde se desestabilizó el talud del margen derecho del cauce y se vieron afectadas varias casas del lugar, como se puede identificar en cada punto de la figura 43.

En el siguiente mapa (figura 43), se localizan los puntos más críticos que se encuentran en riesgo y en la zona de amenaza de la quebrada Perdices ubicada de forma perpendicular a la vía Bogotá - Villavicencio y atraviesa el municipio de Guayabetal por los barrios Centro y Perdices.

Los números encerrados con rojo en el mapa son los puntos donde se compromete la estabilidad del talud del casco urbano en eventos de lluvia con altas precipitaciones.

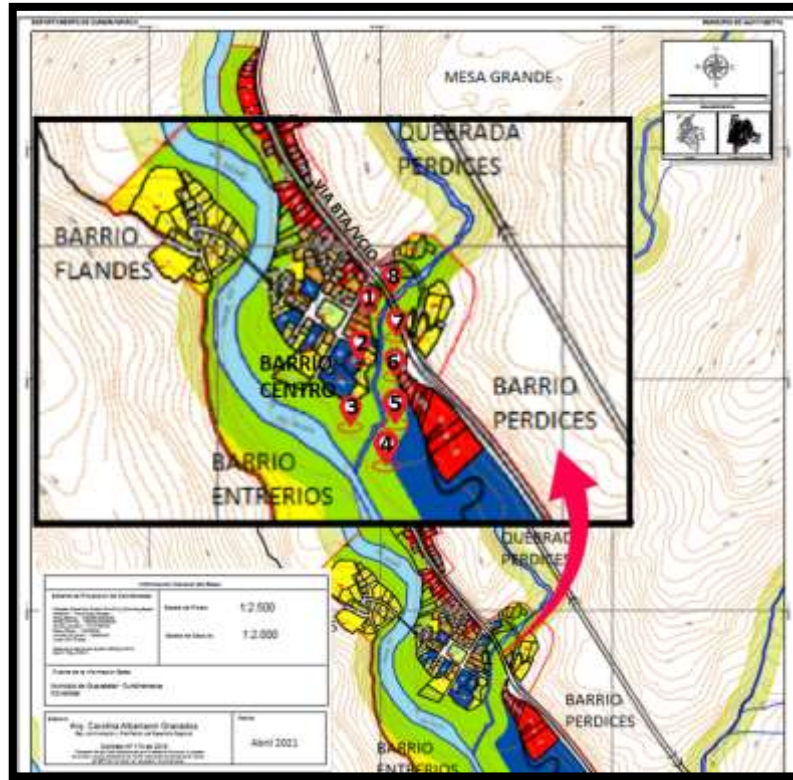


Figura 42. Mapa de la ubicación de las imágenes del talud de la quebrada Perdices en el casco urbano de Guayabetal

Fuente: Propia

El punto número uno (1) de la figura 43 corresponde aquí a las figuras 44, 45, 46, 47, 48 y 49. En estas se muestran las consecuencias de ola invernal en el año 2018 que dejó inestable el talud del barrio Centro ubicado sobre el margen derecho de la quebrada Perdices, afectando principalmente la parte de atrás de las viviendas.



Figura 43. Inestabilidad del talud del barrio Centro en el año 2018 [6].

En el 2019 se dio como solución para dicha afectación la construcción de un muro de contención para ayudar a estabilizar el talud y las viviendas fueron reparadas, las familias no fueron reubicadas ya que la administración municipal no lo considero necesario.



Figura 44. Construcción de la obra de estabilización del talud del barrio Centro en el año 2019 [6].

En la figura 46, 47, 48 y 49 se muestra el estado del talud actualmente en el cual la vegetación ha crecido significativamente generando estabilidad en el terreno.



Figura 45. Obra de estabilización del talud del barrio Centro en el año 2021.
Fuente: Propia

El muro de contención como obra de estabilización en concreto reforzado tiene aproximadamente 24 metros de largo, 3 metros de alto y un espesor de 0.5 metros.



Figura 46. Muro de contención en el año 2021.
Fuente: Propia

Además, el muro de contención se encuentra más o menos a 15 metros de la quebrada Perdices tal como se muestra en las siguientes imágenes (figura 48 y 49).



Figura 47. Muro de contención en el año 2021.
Fuente: Propia



Figura 48. Muro de contención en el año 2021.
Fuente: Propia

La siguiente figura (figura 50) es del punto numero dos (2) del mapa de la figura 43, así como la figura 51 y 52.



Figura 49. Margen derecho de la quebrada Perdices.
Fuente Propia.

Aquí se evidencia que la quebrada Perdices pasa a menos de 50 metros de La Institución Educativa Monseñor Alberto Reyes Fonseca la cual se encuentra a la derecha de la figura 51.



Figura 50. Margen derecho de la quebrada Perdices.
Fuente Propia.

También se puede apreciar la planta de tratamiento de aguas residuales del barrio Centro que está aún más cerca de la quebrada, sobre una roca de tipo filitas, con una pendiente de más de 75°.



Figura 51. Planta de tratamiento de aguas residuales del barrio Centro.
Fuente: Propia.

A continuación, se muestra la figura 53 y 54, las cuales están ubicadas en el punto número tres (3) del mapa de ubicaciones de la figura 43. Donde se observan las viviendas del barrio Centro que también se encuentran sobre una pendiente de más de 75° y que además la vegetación cuenta con grandes árboles que brotan del talud lo cual indica que a pesar de las condiciones del terreno este es un terreno firme.



Figura 52. Viviendas sobre el margen derecho de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.



Figura 53. Viviendas sobre el margen derecho de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia.

En el punto número cuatro (4) del mapa de la figura 43 se ubica la siguiente figura (figura 55) donde se puede observar que a la izquierda viene el río Negro y aguas

abajo se une con la quebrada Perdices que se encuentra a la derecha de dicha figura.



Figura 54. Unión de la quebrada Perdices con el rio Negro.
Fuente: Propia.

La figura 56 es la representación del punto número cinco (5) en el mapa de la figura 43, a donde se observa la parte de atrás de las viviendas del barrio Perdices sobre el margen izquierdo de la quebrada Perdices, aquí la vegetación no lleva mucho tiempo y tampoco hay grandes árboles lo que indica que el terreno no es estable.



Figura 55. Viviendas del barrio Perdices sobre el margen izquierdo de la quebrada Perdices.
Fuente: Propia

La siguiente figura (figura 57) se encuentra ubicada en el punto seis (6) del mapa de la figura 43. Donde se muestran las viviendas del barrio perdices sobre el margen izquierdo de la quebrada Perdices. Se muestra que el terreno no es muy estable ya q la vegetación no es antigua y hay ausencia de grandes árboles.



Figura 56. Viviendas del barrio Perdices sobre el margen izquierdo de la quebrada Perdices (año 2021).
Fuente: Propia

Aquí se presenta la ubicación del punto número siete (7) del mapa de la figura 43 en el año 2019, la cual muestra el estribo del puente de la vía Bogotá - Villavicencio, donde este atraviesa la quebrada Perdices y por su diseño dicho estribo se encuentra en la mitad de la quebrada, también se muestra que el cauce trasporta material grueso lo que indica que por la gran potencia que tiene la quebrada el estribo se encuentra vulnerable lo cual amenaza la estabilidad del puente.



Figura 57. Estribo del puente de la vía Bogotá – Villavicencio en la quebrada Perdices. Se observa que estribo está enterrado por el material de arrastre de la quebrada. Este material compuesto principalmente por grandes bloques de rocas, gravas y escombros, indica que la quebrada es susceptible en épocas de alta pluviosidad de generarse en su cuenca el fenómeno de remoción de masa denominado flujos de escombros. La causa de los flujos de escombros en esta cuenca, son los deslizamientos en los taludes de la misma en su parte alta como el mostrado en la figura 42. Este proceso de remoción de masa producirá en el futuro muy probablemente el derrumbamiento del estribo. Fuente: Propia.

Por último, se muestra la figura 59, la cual está ubicada en el punto número ocho (8) del mapa de la figura 43. Donde se muestra el margen izquierdo de la quebrada perdices y el puente del retorno a la plaza de mercado que se encuentra paralelo al puente de la vía Bogotá – Villavicencio, aquí se sigue notando la gran potencia que

tiene la quebrada al arrastrar material grueso tan grande ya que el tamaño de los bosques clasifica la energía del caudal de la quebrada.



Figura 58. El puente del retorno a la plaza de mercado que se encuentra paralelo al puente de la vía Bogotá – Villavicencio, ubicado en la quebrada Perdices.

Fuente: Propia.

5.1.2 Sector 2. Río Negro

En el 2019 se declaró alerta roja en la región del oriente debido a las altas precipitaciones que causaron principalmente la creciente del río Negro y por otro lado también produjo la desestabilización del talud del Kilómetro 58 (K58+000).

El río Negro se encuentra paralelo a la vía Bogotá - Villavicencio y atraviesa el municipio de Guayabetal por los barrios Nuevo, Flandes, Centro y Perdices. A continuación, se mostrarán tanto los puntos que se vieron afectados por dicho fenómeno como los puntos que se pueden llegar a ver afectados donde se vuelva

presentar una emergencia así en la figura 60 donde los números encerrados en rojo por todo el margen izquierdo del río son las zonas vulnerables o donde se compromete la estabilidad del talud del casco urbano en eventos de lluvia con altas precipitaciones.

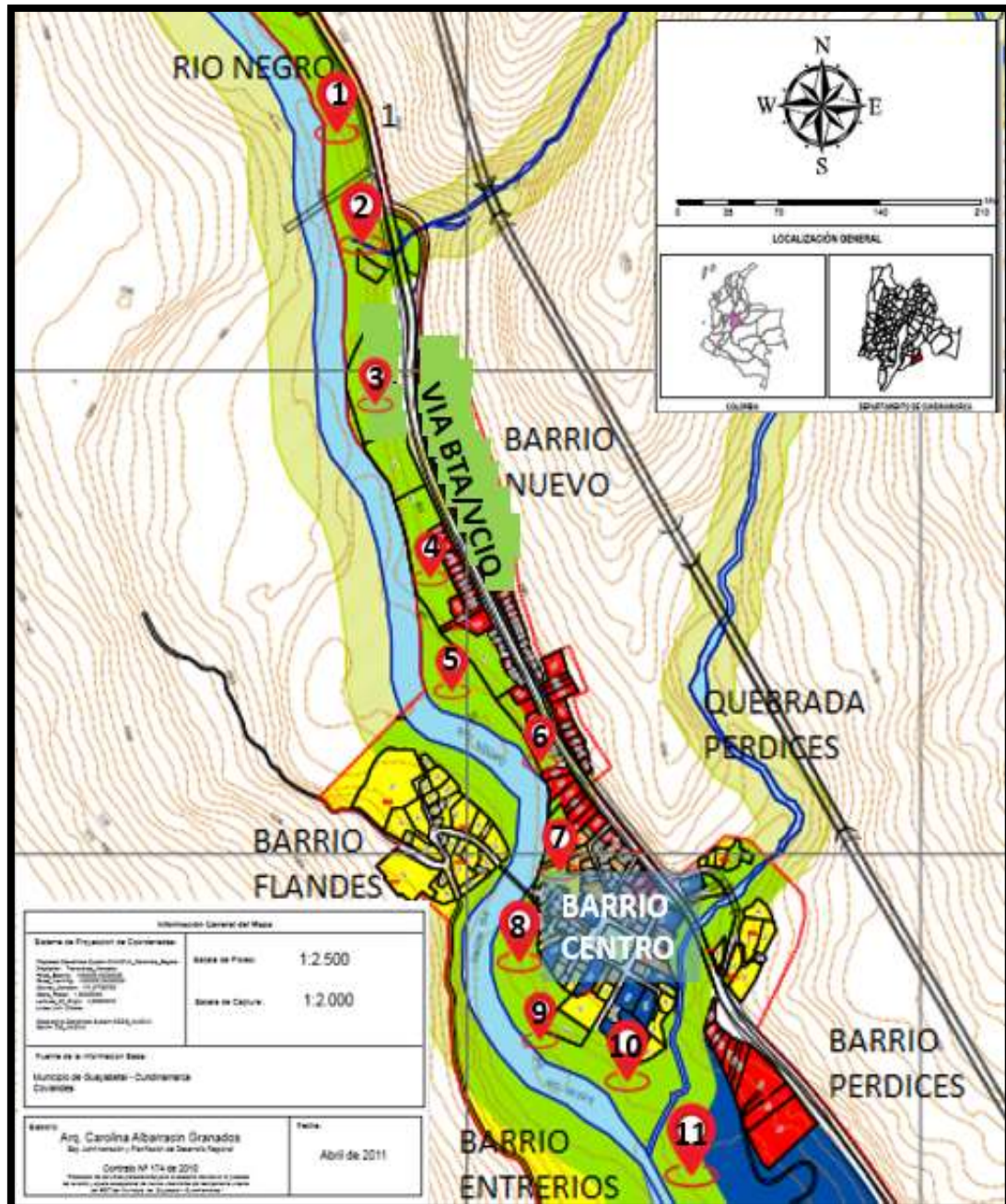


Figura 59. Mapa de la ubicación de las imágenes del margen izquierdo del río Negro en el casco urbano de Guayabetal.

Fuente: Propia

El punto número uno (1) de la figura 60 corresponde aquí a las figuras 61, 62, 63, 64 y 65. En estas se muestran el estado del talud del Kilómetro 58 (K58+000) de la vía Bogotá- Villavicencio ubicado sobre la margen izquierda del río Negro en el año 2019.



Figura 60. Talud del Kilometro 58 de la vía Bogota – Villavicencio en el año 2019. [6]

En la figura 61, se puede observar el puente que va hacia la vereda San Roque, el cual se encuentra perpendicular a la vía Bogotá – Villavicencio en el kilómetro 58 y al río Negro. Donde se evidencia que los estribos están enterrados por el material de arrastre del río. Este material compuesto principalmente por grandes bloques de rocas, gravas y escombros generados por los desprendimientos y caídas de roca acompañados de flujos de roca y de escombros en las laderas del cauce. La causa de este fenómeno en el río producirán en el futuro muy probablemente el derrumbamiento del estribo.



Figura 61. Talud del Kilometro 58 de la via Bogota – Villavicencio en el año 2019.
[6]

Con respecto a las consecuencias del deslizamiento del kilómetro 58 se indaga que en los informes de la Concesionaria Vial de los Andes (COVIANDES) en el año 2008 [18] [20] [19], se ha determinado un índice de Calidad de la Roca de Deere (RQD) $< 25\%$ en las rocas aflorantes en la quebrada Quebradablanca por lo que su calidad es muy mala es decir que en general el macizo rocoso representado por las Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal es muy malo debido a que está fuertemente fracturado y meteorizado. Tales informes contienen información geológica, estudios de suelos para fundaciones y estudios de estabilidad de taludes para los Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los sectores: El Tablón - Puente Téllez, Puente Quetame, Quebrada Naranjal - Quebradablanca y Guayabetal, de la carretera Bogotá – Villavicencio, donde se puede evidenciar que los valores del estudio de dicho índice de calidad fueron realizados en el 2008, antes de que construyeran los túneles bajo Mesa Grande.

Por ende, se podría decir que tanto la construcción de los túneles de Mesagrande como la construcción de los galpones de los pollos Olímpico no tendrían que ver con los deslizamientos del Kilómetro 58, sobre la vía Bogotá-Villavicencio en 2019. Sin embargo, es posible que la vibración producida por las voladuras cuando realizaron las excavaciones de los túneles de Mesagrande pudo haber producido movimientos y/o desplazamientos locales de aguas subterráneas en el macizo que produjeron con el tiempo la activación y expansión de bloques fracturados y así mismo la inestabilidad en todo el macizo rocoso que constituye la meseta de Mesagrande en el Kilómetro 58. De tal manera que las aguas salieron por sus caras libres es decir por los taludes que sufrieron los deslizamientos.

A pesar de tener una calidad de roca tan pobre esto no fue impedimento para la construcción los túneles de Quebradablanca ya que en los informes de geofísica sobre Interpretación geológica de 14 sondeos de magnetotelúrica-mt y 2 tomografías eléctricas para definir espesores en la terraza del túnel 13 del tercio medio (sector 3a), en el corredor vial Bogotá – Villavicencio [48] se ha encontrado la respuesta a la gran desestabilización de los taludes.

Este informe muestra que debajo de la construcción de los galpones de los pollos olímpico en la meseta Mesagrande y por encima de los túneles (túnel 13) hay sectores con bolsadas de agua, donde hubo recarga de agua por alta permeabilidad del macizo rocoso.

Entonces, se podría decir que posiblemente cuando se realizaron las excavaciones de los túneles, las vibraciones de las voladuras con dinamita hayan producido mayor apertura de las fracturas en sectores claves del macizo rocoso bajo la construcción de los galpones de los pollos Olímpico (a más de 100 metros por debajo), haciendo que aumentara el volumen del agua en su interior y que se expandiera parte de él en los taludes al pasar del tiempo. Lo cual pudo haber estado pasando hace varios

años, mucho antes de las voladuras de las excavaciones del túnel y los grades deslizamientos del talud.

De manera que era algo impredecible para los constructores del túnel 13 ya que era imposible visualizar que un escenario de estos fuera a ocurrir y la clave de los fenómenos de remoción de masa es la alta pluviosidad. Es decir, las lluvias intensas en un momento dado, así como paso antes del deslizamiento del talud de la meseta de Mesagrande que se presentaron lluvias intensas en el 2018 lo cual genero emergencias en varios lugares de Guayabetal como en barrio centro y barrio perdices donde hubo remoción de masa.

Como solución a corto plazo al deslizamiento en el trayecto vial, la concesionaria COVIANDINA instalo la tabla estacada, las geoceldas y los drenajes para la estabilidad del talud tal como se observa en la figura 63 y 64, donde la vía se encuentra aproximadamente a 100 metros del rio Negro. Como solución a largo plazo se planteó el proyecto de un viaducto en este kilómetro de la vía Bogotá – Villavicencio, alejando del talud la carretera, lo que da a entender que esta ladera es inestable y genera procesos de remoción de masa de manera permanente.



Figura 62. Talud del Kilometro 58 de la via Bogota – Villavicencio en el año 2020.
Fuente: Propia



Figura 63. Talud del Kilometro 58 de la via Bogota – Villavicencio en el año 2020.
Fuente: Propia.

En la siguiente figura (figura 65) se muestra el puente que comunica la vereda San Roque con el casco urbano, el cual esta perpendicular a la vía Bogotá – Villavicencio y en este caso llama la atención el diseño del puente ya que sus dos estribos se encuentran sobre el cauce, el cual tiene gran potencia al arrastrar material grueso tan grande, clasificando así la energía de su caudal.



Figura 64. Talud del Kilometro 58 de la via Bogota – Villavicencio en el año 2020.
Fuente: Propia

El punto número dos (2) de la figura 60 corresponde aquí a las figuras 66, 67 y 68. En la siguiente imagen se puede apreciar el margen izquierdo del río Negro donde se evidencia Caño Seco uno de los afluentes que están cerca al Kilómetro 58 (K58+000) y que llega a desembocar en dicho río.



Figura 65. Punto de desemboque de Caño Seco
Fuente: Propia

Se puede observar que en esta parte del margen izquierdo del río, se encuentra el talud sobre un macizo rocoso fracturado el cual está marcando el nivel hasta dónde llega el agua del río cuando aumenta su caudal.



Figura 66. Macizo rocoso fracturado.

Fuente: Propia

Si se sigue avanzando aguas abajo del río Negro se puede notar que el macizo rocoso sigue fracturado, tal como se evidencia en la siguiente figura (figura 68).



Figura 67. Macizo rocoso del talud de Barrio Nuevo.

Fuente: Propia

El punto número tres (3) de la figura 60 corresponde aquí a la figura 69. Desde este punto se observan las viviendas de la parte alta de Barrio Nuevo donde se encuentra

la zona comercial del casco urbano, por aquí sigue pasando la vía Bogotá - Villavicencio y también se evidencia que el talud se encuentra con abundante vegetación por sus grandes arboles lo que podría decir que el terreno es estable.



Figura 68. Talud de la parte alta de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

Según el mapa de la figura 60 este es el punto número cuatro (4). Donde se puede observar el talud del kilómetro 58 aguas arriba del río, a la derecha la parte media de Barrio Nuevo y a la izquierda la vereda San Roque.



Figura 69. Talud de la parte media de Barrio Nuevo
Fuente: Propia

En el punto número cinco (5) del mapa de la figura 60 se muestra el talud de la parte media de Barrio Nuevo, el cual cuenta con bastante vegetación lo cual permite pensar que el terreno es estable y más aun sabiendo que se encuentra aproximadamente a 120 metros del río. En este punto se encuentra la figura 71 y 72.



Figura 70. Talud de la parte medea de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

Aquí se muestra la orilla del río Negro en el talud de la parte media de Barrio Nuevo por el margen izquierdo del río donde es evidente los grandes árboles que conforman la vegetación y aportan estabilidad del terreno.



Figura 71. Orilla del río Negro por el margen izquierdo en el talud de la parte media de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

También se puede observar la parte baja de Barrio Nuevo, ubicado en el punto seis (6) del mapa de la figura 60, el cual hace referencia a la figura 73 hasta la figura 88.



Figura 72. Parte baja de Barrio Nuevo
Fuente: Propia

En esta parte del margen izquierdo del río, en la parte baja de Barrio Nuevo, se encuentra el talud sobre un macizo rocoso fracturado el cual indica la marca del nivel del agua cuando esta aumenta. También se observa una pendiente de más 75°.



Figura 73. Macizo rocoso del talud de la parte baja de Barrio nuevo.
Fuente: Propia

En la parte baja de Barrio Nuevo es muy común encontrar la estructura de las viviendas sobre la roca del talud, a menos de 100 metros del río y con pendiente aproximadas a los 90°.



Figura 74. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

Lo cual permite pensar que donde se presente un sismo de gran magnitud este puede provocar el desprendimiento de roca y por ende el deslizamiento de las viviendas.



Figura 75. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

Además, se puede evidenciar que el talud de las viviendas posicionadas sobre todo el margen izquierdo del río tienen un macizo rocoso fracturado (figura 77 y 78).



Figura 77. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia



Figura 76. Viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

Cabe mencionar que es evidente el mal manejo de agua lluvias y pluviales que se le da en dichas viviendas, tal como lo muestran las siguientes figuras.



Figura 78. Manejo de aguas lluvias y pluviales de las viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia.

Las viviendas en este punto no cuentan con un sistema adecuado de recolección de dichas aguas las están desviando hacia el río Negro (figura 80, 81, 82, 83 y 84).



Figura 79. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia



Figura 80. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

No obstante, se han visto casos en los que las estructuras de estas viviendas no son estables, ya que su diseño no es el más óptimo al no haberse perforado la roca para anclar la base de la estructura, si no que por lo contrario solo se perfora hasta encontrar la roca.



Figura 81. Estado de las estructuras de las viviendas de la parte baja de barrio Nuevo.

Fuente: Propia



Figura 82. Manejo de aguas lluvias y pluviales de las viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.

Fuente: Propia



Figura 83. Manejo de aguas lluvias y pluviales de lass viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia



Figura 84. Talud de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

Desde la parte media de Barrio nuevo se está presentando el mismo problema de diseño de las estructuras, de manejo de guas y con el macizo rocoso fracturado, ya que la mayoría de las viviendas se encuentran muy cerca del río y con pendientes de casi de 90°.



Figura 85. Estructuras y manejo de aguas de las viviendas de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia



Figura 86. Macizo rocoso fracturado del talud de la parte baja de Barrio Nuevo.
Fuente: Propia

El punto siete (7) del mapa de la figura 60 hace referencia a las figuras 89, y 88. En esta parte del río pasa un puente que conecta el barrio centro con el barrio Flandes. Donde sus viviendas tienen las mismas características que se encontraron en Barrio Nuevo, pero aquí el talud se encuentra mucho más bajo.



Figura 87. Talud del barrio centro.
Fuente: Propia.

El macizo rocoso del talud del barrio Centro se encuentra fracturado, también se evidencia que el tipo de rocas encontradas son de tipo filitas.



Figura 88. Macizo de rocas Filitas fracturado.
Fuente: Propia

El punto número ocho (8) del mapa de la figura 60, hace referencia a la figura 90, donde se observa el talud del margen izquierdo del río Negro del barrio centro, el cual se encuentra con alta vegetación que le estaría dando estabilidad.



Figura 89. Talud del barrio Centro.
Fuente: Propia.

El punto número nueve (9) del mapa de la figura 60, hace referencia a las figuras 91,92 y 93. Donde se muestra el tanque de almacenamiento de agua del casco urbano el cual se encuentra a orillas del río y es vulnerable a una creciente.



Figura 90. Margen izquierda del río Negro del barrio Centro.
Fuente: Propia



Figura 91. Tanque de almacenamiento de agua del casco urbano.
Fuente: Propia



Figura 92. Tanque de almacenamiento de agua del casco urbano.
Fuente: Propia

El punto número diez (10) del mapa de la figura 60, hace referencia a las figuras 94, 95, 96, 97 y 98. Aquí las viviendas se encuentran un poco más retiradas del río, el talud se encuentra con gran vegetación es decir que puede estar estable, pero las viviendas también muestran mal manejo de aguas y no tiene un diseño óptimo de la estructura.



Figura 93. Viviendas del barrio Centro.
Fuente: Propia



Figura 94 Talud del barrio Centro.
Fuente: Propia

A la izquierda de la figura 96 se ven las viviendas del barrio Centro, el puente de la quebrada Perdices por donde pasa la vía Bogotá – Villavicencio y a la izquierda se

ven las viviendas del barrio Perdices. En la figura 98 se observa que el talud tiene alta vegetación y en la figura 97 se observa el macizo de roca filitas fracturado.



Figura 96. Puente de la quebrada Perdices por donde pasa la vía Bogotá – Villavicencio.
Fuente: Propia



Figura 97. Talud del barrio Centro.
Fuente: Propia



Figura 95. Macizo rocoso fracturado del barrio Centro.
Fuente: Propia

Finalmente, el punto número once (11) del mapa de la figura 60, hace referencia a las figuras 99, 100, 101, 102, 103, 104 y 105. Aquí se muestran las viviendas del barrio Perdices de las cuales en su gran mayoría se encuentran a orillas del margen izquierdo del río Negro.



Figura 98. Viviendas de barrio perdices.
Fuente: Propia

En estas casas se observa que casi no hay arboles grandes y que en su gran mayoría la vegetación es reciente por lo que el terreno no es muy estable.



Figura 99. Vegetación de las viviendas del barrio Perdices.
Fuente: Propia.

También se observa que el macizo de rocas filitas se encuentra facturado y que el talud tiene una gran pendiente de casi 90°.



Figura 100. Talud del barrio Perdices.
Fuente: Propia.



Figura 101. Macizo rocoso del barrio Perdices.
Fuente: Propia.

En esta parte del barrio perdices es evidente la gran cantidad de árboles grandes que conforman la vegetación del lugar.



Figura 102. Vegetación del Barrio Perdices.
Fuente: Propia.



Figura 103. Talud del barrio perdices
Fuente: Propia.

La siguiente figura (figura 105) es del estado actual del talud del barrio perdices (año 2021), es decir, tres años después de la ola invernal que provoco socavación lateral en el margen izquierdo del rio Negro.



Figura 104. Estado del terreno donde en el 2018 hubo socabacio lateral del rio.
Fuente: Propia.

La ola invernal del 2018, provoco una avalancha en el rio Negro la cual dejo varias afectaciones, principalmente en el municipio de Guayabetal y en los demás municipios por donde el rio sigue su curso. Tal como se muestra en las figuras 106, 107, 108 y 109, donde se muestra la desestabilidad del talud del barrio Perdices, donde la quebrada perdices pasa del Norte al Este y se une con el rio Negro que pasa del Este al Sur y al estar en temporada de invierno aumento la precipitación del evento de lluvia lo cual hizo que los caudales de ambos afluentes también aumentaran y con los deslizamientos frecuentes de la zona se produjera un flujo de escombros el cual desestabilizo el talud del barrio perdices y se llevó una de las viviendas del barrio, dejando las demás en zona de alto riesgo.



Figura 105. Inestabilidad del talud del barrio Perdices en el año 2018 [6].



Figura 106. Vista en planta de la inestabilidad del Talud del barrio perdices [6].



Figura 107 Inestabilidad del talud del barrio Perdices [6]

En la siguiente figura se puede observar el terreno removido donde se encontraba una de las viviendas del barrio Perdices y como las demás viviendas aledañas quedaron en zona de alto riesgo.



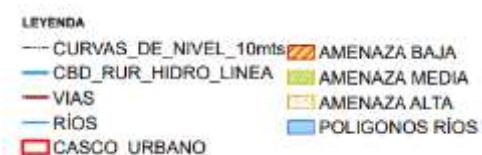
Figura 108. Viviendas en zona de alto riesgo. [6]

5.2 MAPA DE AMENAZAS POR REMOCION DE MASA

5.2.1 Antecedentes

El mapa de amenazas por remoción de masa nos indica la posibilidad de que se presente una contingencia por dicho fenómeno a lo largo del tiempo en el casco urbano del municipio de Guayabetal.

El tipo de amenaza varía según la susceptibilidad del terreno, es decir principalmente de su pendiente y composición del material del suelo, ya que el desplazamiento del terreno es dado por la dirección de la fuerza de gravedad que se



ejerce en él, así mismo de su geología, clasificación de suelo y cobertura vegetal que son fundamentales para determinar la estabilidad del terreno.

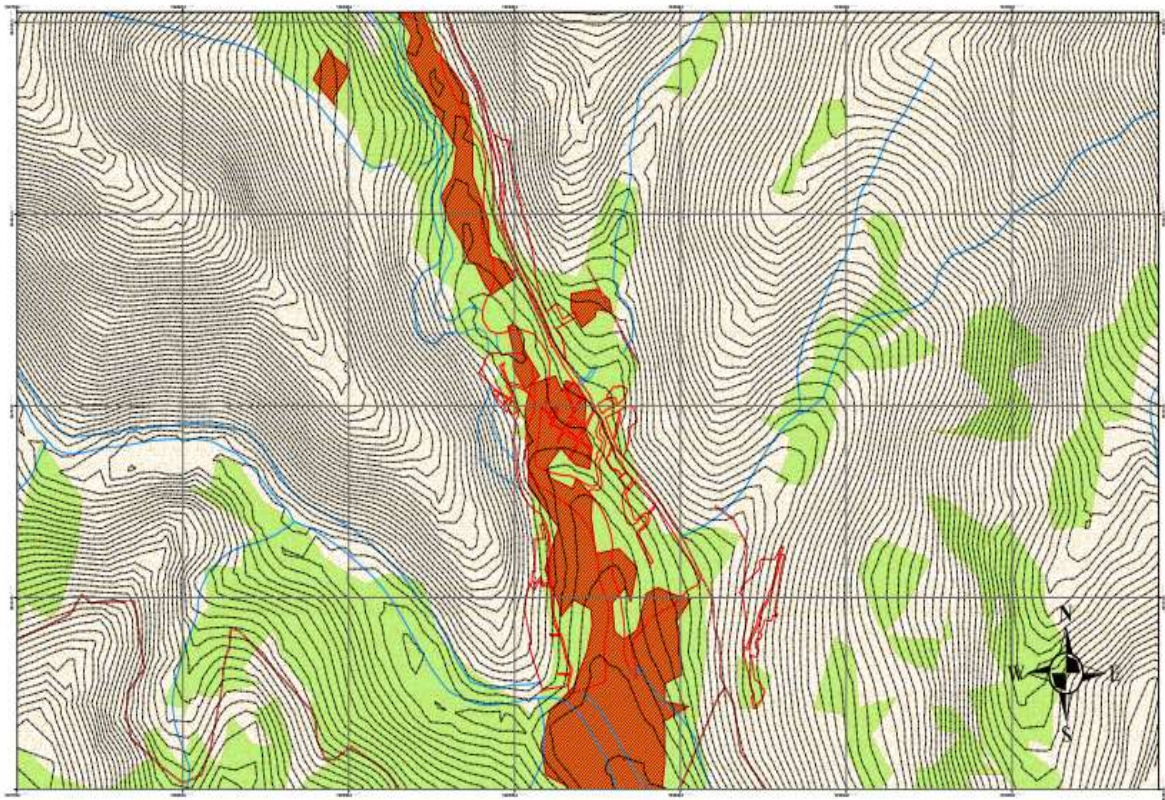


*Figura 109. Mapa de amenazas por remoción de masa.
Fuente: autor*

Según la figura 110, la quebrada Perdices se encuentra susceptible a presentarse flujos de escombros debido a que se encuentra en una zona de amenaza alta y media por remoción de masa.

Por otra parte, el casco urbano se ve afectado por una posible socavación lateral del río Negro ya que su margen izquierda en el sector de Barrio Nuevo se encuentra en una zona de amenaza media y aguas abajo del cauce a las orillas de los barrios Centro y Perdices se encuentra en una zona de amenaza alta. Pero cabe resaltar que en esta área a orillas del río, se encuentran afloramientos rocosos fracturados, lo cual ha evitado que se presente este fenómeno.

Por último, se analizan las laderas que se encuentran encima del casco urbano por el margen izquierdo de la vía Bogotá – Villavicencio, donde, en su mayoría están ubicadas en una zona de amenaza alta. Por ende, antes de ser intervenida la ladera por las estabilizaciones realizadas durante la ejecución de la doble calzada en el 2017, se presentaban deslizamientos y caídas de roca dada su escorrentía, lo cual causo gran impacto en el sismo del 24 de mayo de 2008, siendo esta la época con más actividad de remoción de masa en este lugar.

5.2.1.1 Amenaza alta

Laderas con áreas de falla, erosión medio - alto y pendientes con discontinuidades contraproducentes donde o donde son posibles los deslizamientos de tierra [49].

5.2.1.2 Amenaza media

Laderas con ciertas áreas de falla, meteorización alta o materiales escasamente saturados, sin deslizamientos de tierra, pero sin garantía absoluta de que no se producirán deslizamientos de tierra [49].

5.2.1.3 Amenaza baja

Laderas con ciertas áreas de falla, materiales escasamente meteorizados no saturado con discontinuidad favorable sin evidencias que permitan la predicción de deslizamientos [49].

5.3 MAPA DE RIESGO

NOS INDICA EN DONDE ES MAYOR LAS PERDIDAS DE VIDA Y LAS PERDIDAS ECONOMICAS POR EFECTO DE LA AMENAZA + LA VULNERABILIDAD.

5.4 SOLUCIONES DE INGENIERÍA

5.4.1 Medidas de mitigación de la quebrada Perdices.

Para mitigar los posibles desastres en la quebrada perdices se pueden utilizar las siguientes estructuras:

5.4.1.1 Presa de hendidura de acero (Steel slit dam)

La presa Steel slit dam es de "tipo abierto" con tubos de acero autoportantes en el casco dispuestos en una rejilla (tramo libre de pilones y vigas) y grandes aberturas para sujetar las rocas y la madera flotante firmemente y permitirles drenar en tiempos normales. Se pueden considerar diferentes tipos de presas de acero, dependiendo de las necesidades y condiciones de cada río y el impacto esperado del flujo de escombros.

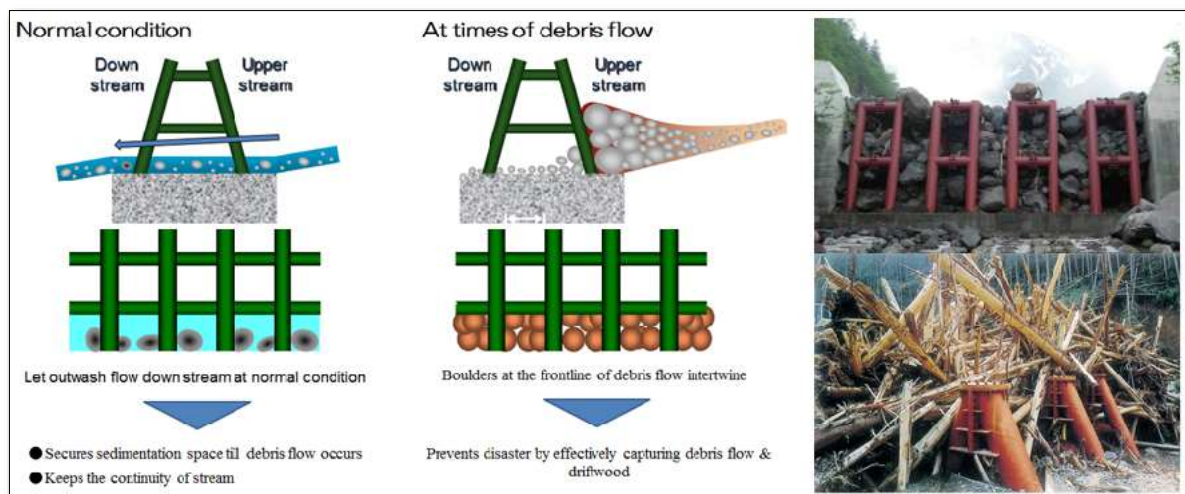


Figura 110. Represas Slit-SABO de Debris Flow para la prevención de desastres [50].

Tecnologías como la presa de control de la erosión (presa de Sabo) o la presa de control de la montaña (presa Chisan) en Japon, se han desarrollado como un medio para reparar montañas que han sido devastadas durante años por la deforestación excesiva y el mal tiempo para prevenir la sedimentación catastrófica en las montañas. Además de la función básica de capturar el flujo de escombros en las

represas convencionales, la represa Steel Slit Dam construida en 1976 también puede proteger el ecosistema natural "de la montaña al mar" interviniendo en los fenómenos del medio ambiente reteniendo flujo de barro y madera. Salvando vidas, y permitiendo el paso normal de la arena y el agua [50].

5.4.1.2 Gaviones

Un gavión es un contenedor de malla de alambre en forma de caja lleno de piedras de 10 a 20 cm (Figura C16). Los muros de contención de gaviones también pueden constar de gaviones apilados. Generalmente son económicos, simples y rápidos de crear. Su flexibilidad le permite soportar movimientos y cimientos. El terreno o base del muro no requiere una preparación elaborada debido a su relleno grueso, son muy permeables al agua y, por lo tanto, proporcionan un excelente drenaje.

Las paredes del gavión funcionan porque la fricción entre las filas individuales de gaviones es demasiado alta como también lo es la fricción entre la fila base y el suelo debajo. En la mayoría de los casos, la falla resultará en su base. A menudo se pueden construir muros de tres niveles de a 2.5 metros de altura sin hacer referencia a los detalles del análisis técnico de ingeniería. Las paredes más altas son muy pesadas debido a la naturaleza de la masa agregada, y se requiere una base más grande y, en algunos casos, contrafuertes para sostener la pared. Se requieren contrafuertes para las paredes del gavión construido sobre arcilla los cuales se pueden construir como la cabeza de un gavión que se extiende desde la superficie de la pared hasta más allá del círculo de deslizamiento. El pedestal sirve como elemento estructural y drenaje. La mesa de diseño está disponible en una variedad de combinaciones de ángulos de inclinación y alturas de muro de contención [26].

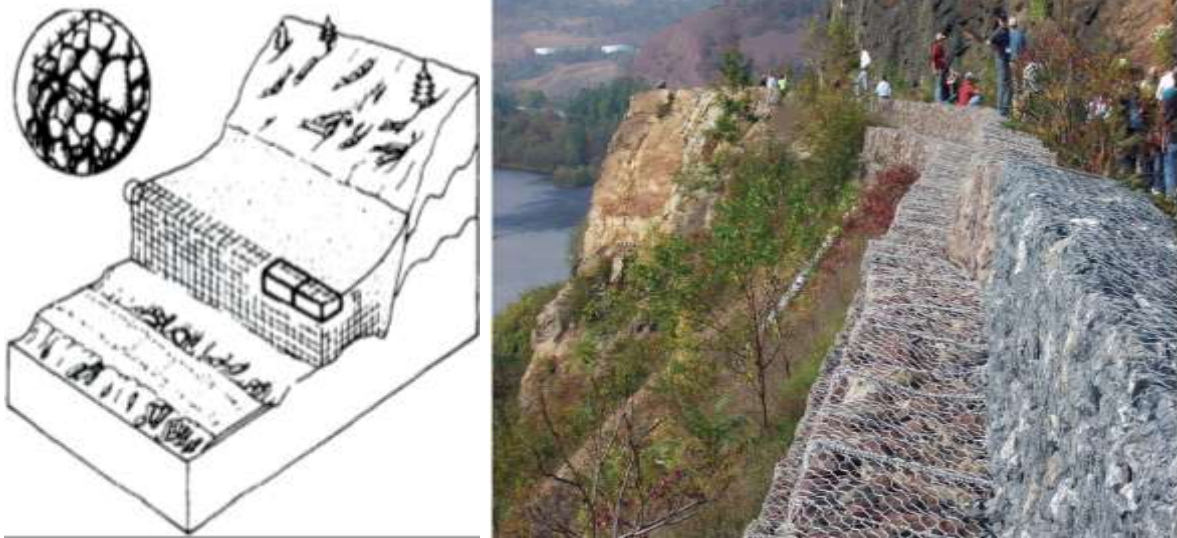


Figura 111. Estructura de gaviones a lo largo de una vía [26].

5.4.1.3 Muros de contención

El Muro de Contención es una estructura construida para soportar permanentemente la masa de la Tierra. También se utiliza cuando no es práctico apoyarse en un lado de la excavación debido a los requisitos de espacio o para evitar el desprendimiento de material suelto de las pendientes de propiedades o vías. Los muros de contención también se utilizan para prevenir o minimizar la erosión de los pies debido a la socavación del río o para obtener un flujo del suelo lento. Pero, no se puede utilizar para evitar que ocurran deslizamientos de tierra. La clase de muros básicos son contenedor de acero, cuna de madera, pilote, tablestaca, voladizo, suelo reforzado y malla plástica. Cada uno de estas clases tiene sus ventajas en determinadas situaciones, pero en muchos casos el costo es el factor decisivo en la aceptación del tipo [26].

Todos los tipos de muros de contención requieren un drenaje adecuado a través de la estructura ya que la alta presión del agua subterránea se acumula detrás de los muros de contención y puede causar daños. Los sistemas de drenaje pueden suministrarse fácilmente con sustratos de base y relleno grueso [26].

Los muros de contención funcionan de manera eficaz para la estabilización de las pendientes del suelo, así como sus técnicas para evitar que los escombros de rocas ingresen al área, pero en la mayoría de los casos se vuelven cada vez más resistentes y sólidos. Los muros de contención pueden estar hechos de hormigón, madera, acero u otros materiales y deben estar muy bien anclados para evitar que vuelquen cuando se pronuncie el desprendimiento de roca [26].

El uso de muros de contención es considerado como una de las principales medidas de mitigación para desviar y contener los escombros producidos por el peligro que representa el flujo de escombros en cuanto a su intensidad y velocidad, ya que es complicado retenerlo [26].

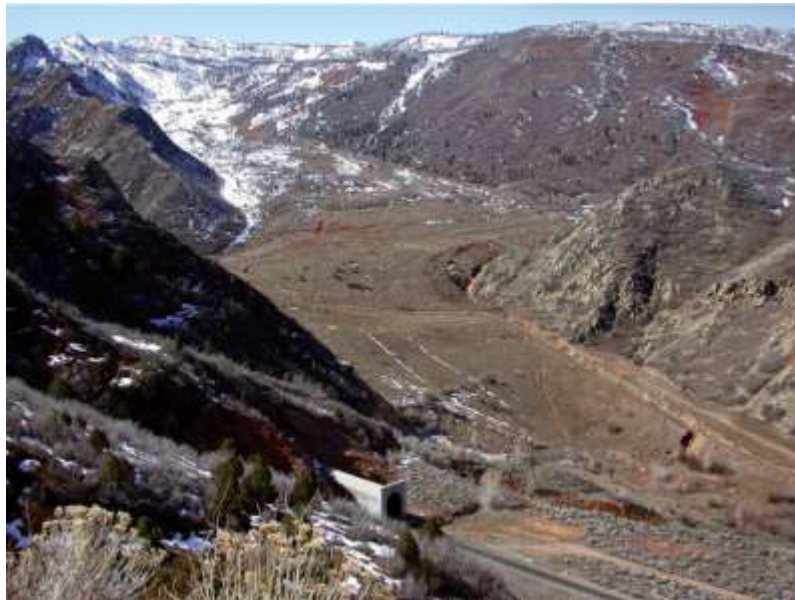


Figura 112. Flujo de escombros [26].

Para que la construcción de un muro de contención sea eficiente en los casos Flujo de tierra lento o arrastre, se debe garantizar un drenaje adecuado de agua, especialmente en la clase de arrastre estacional donde el movimiento se encuentra adentro del interior del suelo perjudicada por la variación del clima en la humedad y temperatura del suelo, también, en la modificación de la pendiente como aplanar o eliminar todo, o parte de la masa de deslizamiento de tierra [26].

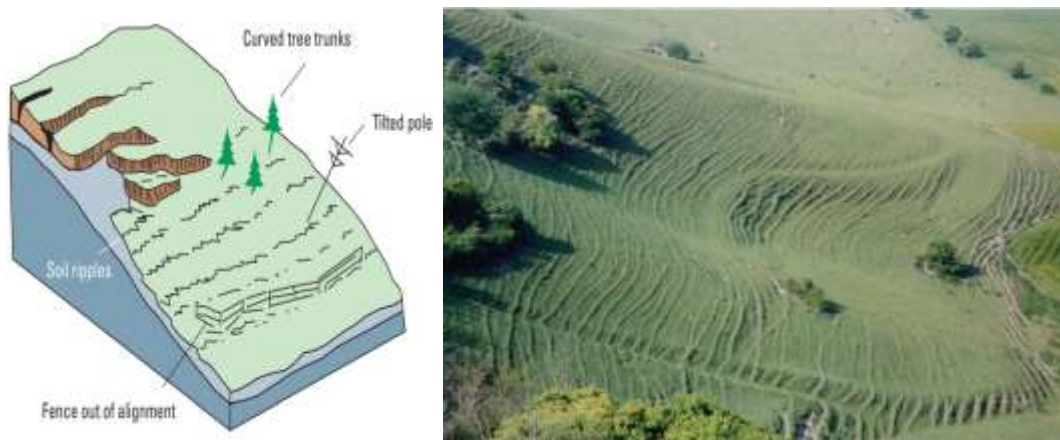


Figura 113. Deslizamiento de flujo de tierra lento [26].

En cuanto a la manera de mitigar el flujo de sedimentos, los muros de contención deben ser una estructura construida con una variedad de materiales. Diseñados para evitar el movimiento de escombros bloqueando el flujo o dirigiéndolos alrededor de áreas vulnerables. Estas instalaciones deben diseñarse con cuidado ya que los materiales pueden ser redirigido sin saberlo a más zonas vulnerables [26].

En caso de un deslizamiento de roca, el muro de contención se puede utilizar como medida de mitigación para evitar que el material ruede o rebote [26].



Figura 114. Desprendimiento de roca [26].

Por otra parte, la construcción de un muro de contención al pie del deslizamiento de tierra puede verse como una medida de mitigación efectiva para reducir la velocidad o desviar el material en movimiento para el caso de un deslizamiento de tierra rotatorio. Sin embargo, incluso si la estructura está construida correctamente, puede superar tales barreras [26].

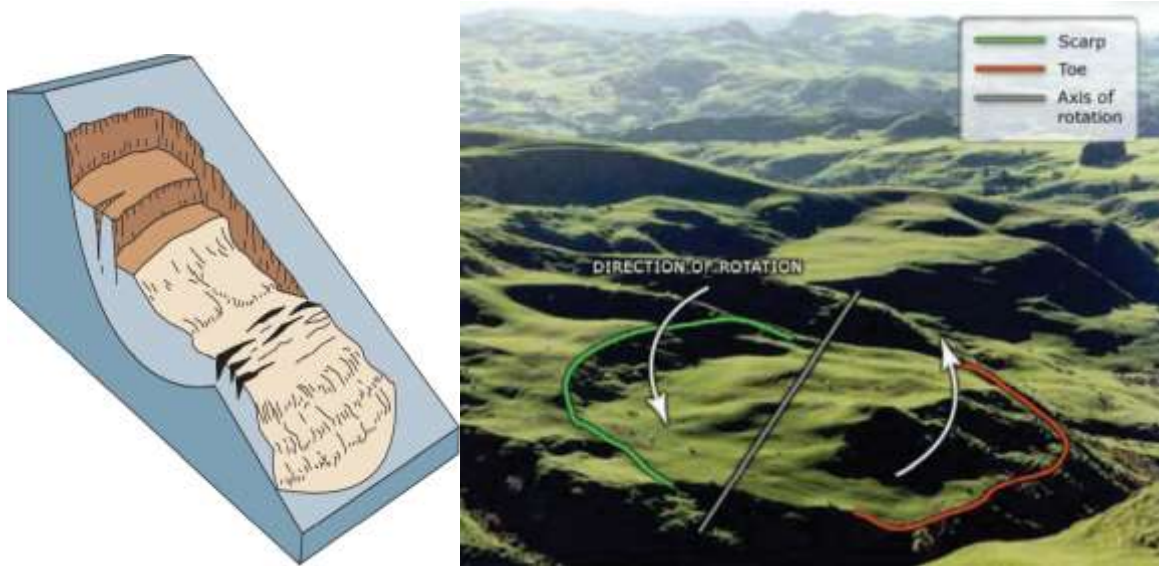


Figura 115 deslizamiento de tierra por rotación [26].

Finalmente, Los muros de contención pueden ser usados al presentarse un Deslizamiento de tierra traslacional para lo cual también es necesario un drenaje apropiado para evitar la reactivación del movimiento en el caso de fallas existentes. Por ende, es necesario que los muros de contención de piedra más sofisticados incluyan anclajes, pernos y tacos, que profesionales conocen mejor en cualquier situación. Los deslizamientos de tierra traslacionales en pendientes moderadamente empinadas dificultan su estabilización permanente [26].



Figura 116. Deslizamiento de tierra traslacional [26].

5.4.1.4 Modificación del Diseño del puente Perdices

Entre otras soluciones de ingeniería, cabe resaltar que para prevenir desastres es importante replantear el diseño del puente Perdices, el cual hace parte de la vía Bogotá – Villavicencio. Donde se observa que tiene un estribo enterrado por el material de arrastre de la quebrada (figura 58), debido a que está es susceptible a procesos de remoción de masa, debido a los constantes deslizamientos de los taludes en la parte alta de la quebrada, por ende, se debe evitar que el flujo de escombros genere en un futuro el colapso del puente.

5.4.2 Estabilización de talud en roca rio Negro

5.4.2.1 Banco

Un banco es una serie de "escalones" tallados en el suelo o en la pared de la roca para reducir la fuerza de empuje. Si bien son principalmente efectivos para reducir las tasas de fallas superficiales, generalmente son menos efectivos para generar estabilidad y mejorar la pendiente, por lo que se recomiendan otros métodos. Los bancos proporcionan una estructura protectora debajo de los acantilados que caen,

ayudan a controlar el drenaje de la superficie o proporcionan un área de trabajo para instalar tuberías de drenaje u otras estructuras.



5.4.2.2 Modificación del diseño del puente que va hacia la vereda San Roque

Además de las anteriormente nombradas medidas de mitigación, para este talud del río Negro, cabe mencionar que para prevenir desastres ambientales es importante replantear el diseño del puente que va hacia la vereda San Roque, el cual esta perpendicular a la vía Bogotá – Villavicencio, en el Kilómetro 58 y al río Negro. Donde se evidencia que los estribos están enterrados por el material de arrastre del río. Este material compuesto principalmente por grandes bloques de rocas, gravas y escombros generados por los desprendimientos y caídas de roca acompañados de flujos de roca y de escombros en las laderas del cauce. La causa de este fenómeno en el río producirán en el futuro muy probablemente el colapso del estribo.

5.4.3 Evacuación de los habitantes de las casas afectadas.

Gran parte del terreno del barrio Perdices ha sido formado con relleno artificial lo que hace que este sea un suelo heterogéneo y con tendencia a deformarse, además, con la compra de las viviendas en Guayabetal para la construcción de la doble calzada, las personas se fueron reubicando en dicho barrio a orillas del río Negro sin tener en cuenta el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).

De manera que actualmente las viviendas se están viendo afectadas debido a que el talud del barrio perdices está siendo socavado por el río Negro dados los fuertes eventos de lluvia por lo tanto es necesario reubicar a las personas que viven en esa área, estabilizar el talud con un muro de contención e implementar el EOT en el municipio.



Figura 117. Área afectada por socavación lateral del río Negro, agosto 19 de 2021.

Fuente: Autor

6 CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se ha encontrado que la mayor amenaza natural que afecta el casco urbano de Guayabetal son los fenómenos de remoción de masa, siendo los más importantes el flujo de escombros en la quebrada Perdices, y los desprendimientos y caídas de roca acompañados de flujos de roca y de escombros en las laderas del cauce del río Negro.
- Los sismos es una amenaza potencial porque detona procesos de remoción de masa dada la topografía por la cual se asienta el casco urbano.
- Los picos de alta precipitación incrementan los procesos de remoción de masa en la región.
- Finalmente, la autoridad no ha considerado un plan de gestión de riesgo municipal en donde el EOT haya tenido presente este tipo de amenaza.

6.2 RECOMENDACIONES

- Es indispensable hacer análisis detallados de geotecnia, con el fin de evaluar a profundidad los aspectos geomecánicos de los distintos límites del suelo y subsuelo municipal, de tal manera que sean convenientes en la determinación de variables de construcción y de restricciones en el uso del suelo.
- Igualmente se debe hacer el estudio de estabilidad de taludes y de dinámica fluvial de las quebradas y ríos, determinando las áreas vulnerables a amenazas por deslizamientos y por socavación, que en cierto instante pueden originar problemas de inestabilidad.
- Desde la perspectiva sismológica y geodinámica se requiere asimismo un análisis más profundo para entender el proceso sucedido de tal forma que avancemos en el cálculo de la amenaza sísmica de la región. Se ha planteado un registro de actividades a legítimo y amplio período en este

sentido, también de las acciones inmediatas de posibilidad de la urgencia que están desarrolladas.

- Se recomienda que tanto el diseño del puente que atraviesa el río Negro, ubicado en Barrio Nuevo, cerca al kilómetro 58, que comunica la vereda Sanroque con la vía Bogotá -Villavicencio; como el diseño del puente que atraviesa la quebrada Perdices, cerca de la plaza de mercado del Municipio y hace parte de la vía Bogotá – Villavicencio, considere que los estribos estén por fuera de los cauces, debido a que la quebrada es susceptible en épocas de alta pluviosidad de generarse en su cuenca el fenómeno de remoción de masa denominado flujos de escombros y este proceso de remoción de masa producirá en el futuro muy probablemente el derrumbamiento del estribo.
- Las obras de mitigación de los cauces deben tener un debido mantenimiento ya que al estar en constante contacto con el agua se van deteriorando y estas no pueden cumplir su vida útil y así mismo su función.
- En cuanto a las viviendas ubicadas en el margen izquierdo del río Negro que están desviando las aguas residuales hacia el cauce, se recomienda dar una solución técnica para buscar la manera de canalizar o conducir con tuberías estas aguas para que no afecten más el macizo rocoso y no sigan incrementando su erosión.
- Se debe ajustar el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), con un plan de riesgo que mitigue los efectos de las amenazas naturales, con el fin de que el desarrollo y la expansión urbana no ocupe terrenos susceptibles de ser afectados por procesos de remoción de masa.

7 CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Monsalve Sáenz, « Hidrología en la Ingeniería. Alfaomega, Colombia,» 1999.
- [2] W. J. O. Caballero, «Generación de una Guía Ambiental para el Monitoreo de Cuerpos Hídricos en Obras de Infraestructura Vial, A Partir de Experiencias Adquiridas Durante la Construcción de la Segunda Calzada Bogotá Villavicencio,» Guayabetal,Cundinamarca, 2017.
- [3] M. c. Correa, «El comercio esta literalmente quebrado alcalde de guayabetal tras derrumbes en la via.,» www.wradio.com.co/noticias/actualidad, 8 agosto 2019.
- [4] N. Ardila, «45 años de problemas en la via al llano,» el tiempo, Guayabetal, Cundinamarca, 2019.
- [5] P. Suarez, «Guayabetal,» 4 junio 2014.
- [6] Propia, «Informacion dada por los habitantes del Municipio de Guayabetal.,» Guayabetal Cundinamarca, 2019.
- [7] H. R. Posada, «<http://ecoambientes.tripod.com/id9.html>.,» tripod, 2016.
- [8] IDEAM, «<http://www.siac.gov.co/erosion>.,» SIAC, 2016.
- [9] Conceptos, «Conceptos de riesgo,» <https://concepto.de/riesgo/>., 2013.
- [10] C. A. S. Garzón, «Estudio para la determinación de la susceptibilidad por deslizamientos en la subcuenca baja de la quebrada perdices (Guayabetal, Cund.), a partir de Dem y de imágenes satelitales Landsat,» BOGOTA D.C, 1965 y 1995.
- [11] J. G. N. Pablo Caro Peña, «Fenómenos de inestabilidad a lo largo del valle de las quebradas Perdices y su amenaza para el pueblo de Guayabetal.,» Ingeominas, Bogota, 1987.
- [12] E. V. M. Carlos, «Implementación de un aplicativo en Sistema de Informacion Geografica (SIG) relacionada con la infraestructura vial del municipio de Guayabetal,» Bogota D.C, 2011.

- [13] J. A. R. A. M. & V. J. R. Prieto, «Metodología para estimación de curvas de vulnerabilidad económica por lluvia para infraestructura vial: Aplicación carretera Bogotá-Villavicencio,» Colombia, 2006..
- [14] Y. C. Hernández, «Medidas de mitigación al efecto de socavación que se presenta en el caño Buque, entre el puente ubicado en la vía Bogotá a 1km del túnel Buenavista al puente de la Av. 40 cerca de la Cll. 15, aplicando soluciones de ingeniería. Univerisad Santo Tomas.,» Villavicencio, 2018.
- [15] J. S. S. Aragón, «Modelación hidráulica del rio Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas. Facultad de Ingeniería Civil, Univeridad Santo Tomas.,» Villavicencio, 2018.
- [16] A. N. C. Castañeda, «análisis de la amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la Ciudad de Villavicencio,» Villavicencio, 2019.
- [17] L. F. S. R. Carolina Pineda Herrera, «Análisis de la zona de remoción de masa del sector de la vereda servitá, municipio de villavicencio: alcance de la amenaza y soluciones de ingeniería.,» villavicencio, 2019.
- [18] C. E. L. T. D. A. -. C.E.I.S.A., «Diseños detallados (fase III) del sectores sobre la via Bogota - V/cio, Contrato 444-613-06: Volumen IV - Estudio de suelos para fundaciones Informe final del sector 3 A septiembre de 2008 986-444-613-06-FUN-IF3A-1, Revisión N.º 1. INCO – COVIANDES.,» Bogota, 2008 b.
- [19] C. E. L. T. D. A. -. C.E.I.S.A., «Diseños detallados (fase III) del sectores sobre la via Bogota - V/cio. contrato 444-613-06 informe final sector 3 A: Volumen 3 - Geología septiembre de 2008 986-444-613-06-GEO-IF3A-0 Revisión N.º 2. INCO – COVIANDES.,» Bogota, 2008 a.
- [20] C. E. L. T. D. A. -. C.E.I.S.A., «Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los sectores sobre la via Bogotá - V/cio, contracontrato 444-613-06: Volumen V - Estudio de estabilidad de taludes. septiembre de 2008

986-444-613-06-FUN-IF3A-1, Revisión N.º 1. INCO – COVIANDES,» Bogota, 2008 c.

- [21] S. S.A.S., «Interpretación Geológica De 14 Sondeos De Magnetotelúrica-Mt Y 2 Tomografías Eléctricas Para Definir Espesores En La Terraza Del Túnel 13 Del Tercio Medio (Sector 3a), En El Corredor Vial Bogotá – Villavicencio. Sgi S.A.S. - Coviandes,» Bogota, 2018.
- [22] H. SAS., «ensayos de tomografia electrica resistiva y sondeos electricos verticales en la vereda mesa grande. Municipio de guayabetal - cundinamarca. Geocontinental SAS geología. Bogotá, diciembre del 2018,» 2018.
- [23] Hiru, «Que es la geomorfologia,» www.hiru.eus/es/geologia/que-es-la-geomorfologia, 2015.
- [24] A. d. medellin, «https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_8/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/CartillaMovMasa.pdf,» Alcaldia de medellin, 2015.
- [25] H. R. Posada, « <http://ecoambientes.tripod.com/id9.html>,» tripod, 2016.
- [26] T. L. Handbook—, The Landslide Handbook—.
- [27] P. B. Lynn M. Highland, The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides, 2008.
- [28] J. R. N. Consuegra, «Clasificación geomecánica de Deere. Índice RQD (1967). PARTE 1ª,» 2021.
- [29] I. C. D. G. Y. M. Ingeominas, «el sismo de quetame del 24 de mayo de 2008. Aspectos sismológicos y evaluación,» 2008.
- [30] D. A. Valencia, Geotecnia y Cimentaciones, 2014.
- [31] G. D. Escobar, Manual De Geologia Para Ingenieros, Manizales, 2020.

- [32] E. A. C. Velarde, «Hidrología Aplicada, Departamento de Recursos de Agua y TierraA - 4026, Universidad Nacional Agraria La Molina – Facultad de Ingeniería Agrícola.,» 2019.
- [33] Construpedia, «Muros de Contencion (estructura).,» Construpedia, 2019.
- [34] H. Wordpress, «Diques de gavion.,» Wordpress.
- [35] G. O. y. G. V. L. S. Pulido, «Geología de la Plancha 266 – Villavicencio, Escala 1:100.000. Bogotá: INGEOMINAS. Mapa y Memoria.,» 2001.
- [36] I. C. d. G. y. M. (INGEOMINAS)., «Geología de la Plancha 247 – Cáqueza. Escala 1: 100.000. Bogotá: INGEOMINAS. Mapa y Memoria.,» 2011.
- [37] A. Mora, «Inversion Tectonics and Exhumation Processes in the Eastern Cordillera of Colombia. Tesis doctoral en Naturwissenschaften. Wissenschaftsdisziplin Geologie eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät. Universität Potsd.,» 2007.
- [38] G. K. A. V. C. G. -. C. A. A. Chicangana, «Acerca de las causas de los fenómenos de remoción de masa, amenazas naturales derivadas del crecimiento orogénico de la cordillera Oriental desde el Piedemonte Llanero en Villavicencio hasta Quetame, Cundinamarca: Clima, Geología y Sismicidad. II Jornada.,» 2019.
- [39] A. P. M. S. M. R. K. A. D. C. R. F. Mora, «Cenozoic contractional reactivation of Mesozoic extensional structures in the Eastern Cordillera of Colombia. Tectonics, 25 (TC2010). doi:10.1029/2005TC001854.,» 2006.
- [40] C. A. A. Sísmica, «Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia.,» Bogota, 2009.
- [41] INGEOMINAS, «El Sismo de Quetame del 24 de mayo de 2008. Aspectos Sismológicos y Evaluación preliminar de daños. Informe Preliminar N° 2. INGEOMINAS - Red Sismológica Nacional de Colombia.,» Bogota, 2008.
- [42] J. E. Ramírez, «Historia de los terremotos en Colombia.,» Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi., 1975.

- [43] G. V. C. A. C. A. Chicangana, «El posible escenario de riesgo por el efecto de un sismo con $M \geq 6.5$ para la ciudad de Villavicencio, Colombia. Revista Cuadernos de Geografía, 22 (2) 171 – 190.,» Villavicencio, 2013.
- [44] V. C. A. K. A. C. A. S. H. E. y. G. C. A. Chicangana G., «La amenaza sísmica de la Sabana de Bogotá frente a un sismo de magnitud $M > 7.0$, cuyo origen esté en el Piedemonte Llanero. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía. 24 (2): 73-91. doi: 10.15446/rcdg.v24n2.50207,» Bogota, 2015.
- [45] H. E. y. G. -. C. A. Salcedo, «Estudio macrosísmico del terremoto del 18 de octubre de 1743 en la región central de Colombia. Boletín de Geología 35 (1): 109-128,» 2013.
- [46] H. E. G. -. C. A. M.-P. H. Salcedo, «Análisis complementario entre parámetros instrumentales y macrosísmicos: terremoto de mayo 24, 2008 en Quetame, Colombia. Boletín de Geología, 43(2), 163-184. <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n2-2021009>,» Quetame, Colombia., 2021.
- [47] S. (. , «Consulta Información Sismos. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano En: <http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/index.php> (Consultado el 12 de junio de 2021),» 2021.
- [48] E. V. y. J. P. P. Jairo Cuellar, «Interpretación Geológica De 14 Sondeos De Magnetotelúrica-Mt Y 2 Tomografías Eléctricas Para Definir Espesores En La Terraza Del Túnel 13 Del Tercio Medio (Sector 3a), En El Corredor Vial Bogotá – Villavicencio.,» 2018.
- [49] S. D. Jaime, «Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales,» Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Bucaramanga – Colombia , 1998.
- [50] L. Nippon Steel Metal Products Co., «Japan Bosai Platform,» [En Línea]. Available: <https://www.bosai-jp.org/en/solution/detail/26/search>. [Último Acceso: 28 Julio 2021].
- [51] A. F. Breña, «Universidad autónoma metropolitana,» 2006. [En línea]. Available:

http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf.

- [52] H. Rodríguez, «Hidráulica Fluvial Fundamentos y Aplicaciones SOCAVACIÓN,» Escuela Colombiana de Ingeniería , Bogota, 2010.
- [53] F. L. y. G. Fernández, «Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión,» ingeniería medioambiental, Madrid: Tragsa : Tragsatec, 1998.
- [54] M. N. N. C. A. O. J. A. y. N. L. M. Da Siilva, «Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations,» Lavras: Scielo, 2014.
- [55] E. H. S. s. y. U. P. F. Ramírez, « «Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas,» Cenicafé, pp. 40-52 , manizales, 2007.
- [56] S. Garzon, «susceptibilidad por socavación lateral en la subcuenca baja de la quebrada Perdices en Guayabetal, Cundinamarca, con el uso de modelos digitales de elevación (DEM) y figuras satelitales landsat.,» Guayabetal, CUndinamarca., 1965 y 1995 .
- [58] J. Gargani, «Geomorfología,» <https://es.wikipedia.org/wiki/Geomorfolog%C3%ADa>., 2016.
- [59] Lopez, «Area de drenaje.,» diccionario geotenia, 2015.
- [60] B. a. felipe, «principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf,» Universidad autonoma metropolitana, 2018.
- [61] UNSL, «<http://geologia.unsl.edu.ar/materias/geomorfologia/teorias/20xx/TG2.pdf>.,» 2009.
- [62] B. I. cardona, «cuencas hidrograficas,» repositorio.
- [63] A. espinosa, «Deslizamientos de tierra,» ecuRed, 2008.
- [64] C. Rodriguez, «http://iespoetaclaudio.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_item=1784&wid_secc,» Junta de castilla y leon, 2015.

- [65] A. d. bogota, «Los deslizamientos o derrumbes.,» Alcaldía de bogota, 2016.
- [66] wikipedia, «Desprendimiento.,» 2019.
- [67] S. j. BR, «Que es un derrumbe,» Ecoexploratorio, 2014.
- [68] S. J. Br, «Tipos de derrumbes,» Ecoexploratorio, 2014.
- [69] G. e. ingenieria, «Tipos de deslizamientos,» Geologia, 27 marzo 2018.
- [70] Ecured, «Derrumbes y deslizamientos.,» Ecured.
- [71] P. A. Garcia, «Erosin y socavacin.,» Slideshar, 2013..
- [72] IEA, « <https://ucpypfe.mininterior.gob.ar/BirfPIHNG/IEA-PmpalndioCap6.pdf>.,» Gestión de riesgos manizales,, 2016.
- [73] I. G. A. C. (IGAC), «Mapas Guayabetal,Cundinamarca».
- [74] G. Earth, «Deslizamientos en forma de "V" o de cicatrices en la Quebrada perdices.,» Guayabetal CUndinamarca, 2016.
- [75] A. M. Samper, «Estudios de estabilidad global, hidrogeológico, hidrología e hidráulica e informe técnico de la contingencia en la Meseta de Mesa Grande K58 - Sector Guayabetal,» Bogota, 2019.
- [76] I. D. A. Sabogal, «Análisis geológico y geotécnico del macizo de Quetame, departamentos de Cundinamarca y Meta, sector trayecto vial Villavicencio - Quetame: procesos de remoción de masa inducidos por clima y tectónica,» Villavicencio, 2020.
- [77] Cuellar, «Interpretación Geológica De 14 Sondeos De Magnetotelúrica-Mt Y 2 Tomografías Eléctricas Para Definir Espesores En La Terraza Del Túnel 13 Del Tercio Medio (Sector 3a), En El Corredor Vial Bogotá – Villavicencio.».
- [78] M.-H. Companies, Dictionary of Geology and Mineralogy, 2003.

8 ANEXOS

8.1 ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE GUAYABETAL, CUNDINAMARCA

8.2 MAPA DE LA GEOLOGÍA DE GUAYABETAL

8.3 MAPA DE AMENAZAS

8.4 MAPA DE RIESGOS