



**EVALUACIÓN DEL RIESGO Y CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA  
PALMERAS DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS  
TORRENCIALES EN MOCOA, PUTUMAYO**

**Méndez Durán Marcela  
Revelo Hidalgo Mauricio Fernando**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS  
BOGOTÁ  
2021**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO Y CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA  
PALMERAS DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS  
TORRENCIALES EN MOCOA, PUTUMAYO**

**Méndez Durán Marcela  
Revelo Hidalgo Mauricio Fernando**

**Proyecto de investigación para optar por el título de:  
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**Director:  
JESSICA PAOLA PAEZ PEDRAZA  
Ingeniería Ambiental MSc. en Ingeniería Civil - Manejo sostenible de Recursos  
hídricos e Hidroinformática**

**Co - Director:  
YENNIFER GARCÍA MURCIA  
Bióloga MSc. – Dr. En Ciencias - Biología**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS  
BOGOTÁ  
2021**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C. fecha (26, mayo,  
2021)**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios quien con su Santo Espíritu me dio la sabiduría, constancia y entrega para obtener este título y el cual hoy pongo a su servicio; a mis hijas Sofía e Isabella, esposo, padres y hermanos quienes compartieron conmigo mis sacrificios y compartirán mis alegrías y logros.

*Marcela.*

Dedico este trabajo a mi esposa Lucy, e hijos Mauricio Felipe y Paula Andrea por su paciencia, compromiso y apoyo de esta nueva etapa de mi formación.

*Mauricio.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios a quien le debo todo lo que tengo y lo que soy; a mis hijas por quienes me exijo por dar siempre lo mejor de mí; a mi esposo, padres y hermanos por su apoyo incondicional; a Mauricio por ser mi compañero de fórmula; a las profesoras Jessica y Yennifer por sus aportes en este trabajo; a mis compañeros de maestría quienes quedaron como amigos de la vida; y en general, a todos los que de una u otra forma hicieron que este título sea una realidad.

*Marcela.*

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mis directoras Jessica Páez y Yennifer García, por sus innumerables enseñanzas en el desarrollo de este documento. Así mismo, a mi compañera Marcela Méndez por su apoyo constante que llevó a la culminación de esta meta.

*Mauricio.*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
4.1. ESTADO DEL ARTE.....	22
4.2. MARCO CONCEPTUAL .....	28
4.3. MARCO LEGAL .....	40
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>41</b>
5.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	41
5.2. ACUEDUCTO MUNICIPAL.....	49
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>52</b>
6.1. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES .....	53
6.2. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA PALMERAS DEL ACUEDUCTO ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES.....	58

<b>7.</b>	<b>AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES.....</b>	<b>63</b>
7.1.	CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA .....	63
7.2.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	70
7.3.	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES .....	74
7.4.	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR LLUVIAS.....	84
7.5.	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR LLUVIAS Y SISMOS .....	87
7.6.	EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTE AVENIDAS TORRENCIALES 90	
7.9.	AMENAZAS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO PALMERAS DEL MUNICIPIO DE MOCOÁ.....	111
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO PALMERAS .....</b>	<b>115</b>
8.1.	VULNERABILIDAD FÍSICA.....	115
8.2.	VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL.....	120
8.3.	VULNERABILIDAD OPERACIONAL .....	123
8.4.	VULNERABILIDAD TÉCNICA .....	127
8.5.	VULNERABILIDAD ECONÓMICA .....	129
8.6.	CALIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	131
<b>9.</b>	<b>CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA DEL ACUEDUCTO .....</b>	<b>134</b>
<b>10.</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGO DEL SISTEMA PALMERAS DEL ACUEDUCTO....</b>	<b>152</b>
10.1.	RIESGO ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES .....	152
<b>11.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>157</b>

<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>159</b>
<b>13.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>162</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>165</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>175</b>

### LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Metas por objetivo estratégico del PNGRD asociadas a la gestión del riesgo de desastres en la prestación de servicios de acueducto. ....	31
Tabla 2. Posibles efectos del sistema de acueductos ante amenazas. ....	36
Tabla 3. Identificación de variables para evaluación de factores de vulnerabilidad. ....	38
Tabla 4. Clasificación del riesgo sobre el sistema de acueducto .....	39
Tabla 5. Marco legal.....	40
Tabla 6. Registro de los eventos fluviotorrenciales en Mocoa en los últimos 70 años. .	42
Tabla 7. Los 10 de eventos de avenidas torrenciales más críticos en términos de vidas humanas registrados en Colombia.....	44
Tabla 8. Consolidado de atención de emergencias en Mocoa, 1998 – 2019.....	46
Tabla 9. Concesiones de agua superficiales, Río Mulato.....	49
Tabla 10. Orden Esquemático del sistema fluvial cuenca Mulato .....	64
Tabla 11. Parámetros Morfométricos Generales Cuenca Mulato.....	64
Tabla 12. Parámetros morfométricos asociados a la forma .....	64
Tabla 13. Parámetros Morfométricos asociados al relieve Cuenca Mulato .....	65
Tabla 14. Cálculo del índice hipsométrico altitudinal, Cuenca Mulato.....	65
Tabla 15. Cálculo del tiempo de concentración, Cuenca Mulato.....	66
Tabla 16. Parámetros Morfométricos generales y asociados a la forma de las microcuencas río Mulato .....	68
Tabla 17. Parámetros Morfométricos asociados al relieve y tiempos de concentración de las microcuencas río Mulato.....	69
Tabla 18. Estaciones activas cuenca Mulato .....	70
Tabla 19. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento .....	75
Tabla 20. Clasificación Cuenca Mulato según sector.....	75
Tabla 21. Caracterización unidades geológicas Cuenca Mulato .....	76
Tabla 22. Parámetros Geotécnicos Cuenca Mulato .....	78
Tabla 23. Coberturas de suelo cuenca Mulato.....	81
Tabla 24. Cálculo de CN para grupos hidrológicos de suelos en la cuenca del Mulato	81
Tabla 25. Cálculo de precipitación infiltrada para la cuenca Mulato.....	82
Tabla 26. Caracterización de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias de la cuenca del río Mulato. ....	86

Tabla 27. Caracterización de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos de la cuenca del río Mulato. ....	89
Tabla 28. Criterio de parámetros de análisis multivariado, metodología Saaty.....	91
Tabla 29. Escala de comparación por pares de Saaty.....	91
Tabla 30. Matriz de comparación pareada de criterios seleccionado en la cuenca. ....	92
Tabla 31. Cálculo peso parámetros.....	93
Tabla 32. Índice aleatorio R.I.....	94
Tabla 33. Porcentajes máximos del rango de consistencia CR.....	94
Tabla 34. Caracterización de la susceptibilidad ante avenidas torrenciales de la cuenca del río Mulato. ....	102
Tabla 35. Análisis de la acumulación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años).....	106
Tabla 36. Análisis de la acumulación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años). ....	110
Tabla 37. Principales amenazas de la Cuenca del Río Mulato.....	112
Tabla 38. Amenazas del sistema de acueducto Palmeras del municipio de Mocoa. .	112
Tabla 39. Estado de estructuras, Manual de reconocimiento predial.....	116
Tabla 40. Análisis de Vulnerabilidad Física de cada componente sistema de acueducto Palmeras.....	117
Tabla 41. Análisis de Vulnerabilidad Física del sistema de acueducto Palmeras. ....	120
Tabla 42. Análisis de Vulnerabilidad Institucional del prestador de Aguas Mocoa S.A. E.S.P.....	122
Tabla 43. Análisis de Vulnerabilidad Operacional del sistema de acueducto Palmeras. ....	125
Tabla 44. Análisis de Vulnerabilidad Técnica del Sistema Palmeras.....	128
Tabla 45. Análisis de Vulnerabilidad económica de Aguas Mocoa S.A. E.S.P. ....	130
Tabla 46. Factores de Vulnerabilidad del Sistema Palmeras del Acueducto municipal de Mocoa. ....	131
Tabla 47. Calificación de la vulnerabilidad. Tomado y adaptado de UNGRD (2012). 131	
Tabla 48. Matriz de evaluación para determinar la capacidad de respuesta del sistema de acueducto.....	135
Tabla 49. Matriz de Evaluación de los requerimientos institucionales, los recursos físicos y humanos para atender los posibles impactos causados por un evento.....	141
Tabla 50. Matriz de evaluación de la línea de mando del aspecto 3.....	144
Tabla 51. Matriz de evaluación de evaluación del aspecto 3. Secuencia coordinada de acciones.....	147
Tabla 52. Matriz de evaluación del Capítulo 1 <i>Preparación de la respuesta formulación de los planes de emergencia y contingencia</i> , Aguas Mocoa S.A E.S.P. (2019).....	149
Tabla 53. Matriz de evaluación de la Capacidad de respuesta del Sistema de Acueducto Palmeras (2019).....	150
Tabla 54. Evaluación del riesgo de la cuenca del río Mulato.....	153
Tabla 55. Evaluación del riesgo del Sistema de acueducto Palmeras.....	154

Tabla 56. Amenazas de cada componente del sistema de acueducto Palmeras del municipio de Mocoa. ....	155
--	-----

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 .Localización geográfica de la Cuenca del río Mulato. ....	41
Figura 2. Esquema de la microcuenca del río Mulato en su tránsito por su cuenca baja en el municipio de Mocoa. Fuente: UNGRD (2018). ....	45
Figura 3. Identificación de eventos peligrosos que afectan la prestación normal del servicio de acueducto. Tomado y adaptado de Superservicios (2018) .....	47
Figura 4. Sectores Hidráulicos del abastecimiento de agua potable. Fuente, Aguas Mocoa (2018) .....	50
Figura 5. Esquema metodológico de la evaluación del riesgo y capacidad de respuesta. ....	52
Figura 6. Esquema metodológico de la evaluación de la amenaza ante deslizamientos y avenidas torrenciales. ....	54
Figura 7. Esquema metodológico de la evaluación de la vulnerabilidad del sistema Palmeras del acueducto .....	58
Figura 8. Esquema metodológico de la evaluación de la capacidad de respuesta del prestador del servicio de acueducto .....	60
Figura 9. Mapa digital de elevaciones MDE Cuenca Mulato .....	63
Figura 10. Microcuencas cuenca Río Mulato .....	66
Figura 11. Histograma de precipitación, Estación Acueducto-Mocoa .....	71
Figura 12. Histograma de precipitación, Estación Campucana .....	71
Figura 13 .Distribución temporal estaciones analizadas .....	72
Figura 14. Curvas IDF Estación Mocoa - Acueducto .....	73
Figura 15. Curvas IDF Estación Campucana .....	74
Figura 16. Zonificación geológica Cuenca Mulato. Tomado y adaptado de PUJ y UNGRD, 2017 .....	76
Figura 17. Mapa de Pendientes Cuenca Mulato .....	78
Figura 18 . Mapa de cobertura de suelo Cuenca Mulato. Fuente PUJ y UNGRD, 2017	80
Figura 19. Curva de amenaza de aceleración máxima del terreno Mocoa. Tomado de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). ....	84
Figura 20. Mapa de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias con periodo de retorno de 20 años. ....	85
Figura 21. Mapa de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos con periodo de retorno de 2000 años. ....	88
Figura 22. Mapa de suelos cuenca Mulato.....	95
Figura 23. Movimientos en masa ocurridos en microcuencas.....	96
Figura 24. Mapa de inventario de movimientos en masa de microcuencas, cuenca Mulato .....	96
Figura 25. Mapa de clasificación de pendientes cuenca Mulato .....	97

Figura 26. Mapa de torrencialidad cuenca Mulato .....	98
Figura 27. Mapa de IVET cuenca Mulato .....	99
Figura 28. Mapa de tipo de cuenca Mulato .....	100
Figura 29. Mapa de factor de forma de cuenca Mulato .....	101
Figura 30. Mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales de cuenca Mulato .....	102
Figura 31. Criterios de clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años) .....	104
Figura 32. Amenaza ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años) .....	104
Figura 33. Mapa de amenaza de la cuenca del Río Mulato ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años) .....	105
Figura 34. Mapa de amenaza del Sistema de acueducto Palmeras ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias .....	107
Figura 35. Criterios de clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años) .....	108
Figura 36. Amenaza ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años) .....	109
Figura 37. Mapa de Amenaza de la cuenca del Río Mulato ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años) .....	109
Figura 38. Mapa de amenaza del sistema de acueducto Palmeras ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos .....	111
Figura 39. Reporte y cargue del Plan de Emergencia y Continencia Aguas Mocoa S.A. E.S.P. para el año 2020. Fuente: <a href="http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=sui_adm_028">http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=sui_adm_028</a> .....	137
Figura 40. Criterios de evaluación del riesgo .....	153

## ANEXOS

Anexo 1. Precipitaciones medias mensuales multianuales estaciones Mocoa Acueducto y Campucana .....	175
Anexo 2. Tablas IDF, estaciones Acueducto Mocoa y Campucana .....	178
Anexo 3. Diagnóstico Ordenamiento Territorial Municipios PDET, Municipio de Mocoa .....	181

## RESUMEN

En las últimas décadas en Mocoa, los movimientos en masa y avenidas torrenciales reportan los mayores impactos negativos en el consolidado de atención de emergencias del SNGRD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres). En la presente investigación, se evaluó el riesgo y capacidad de respuesta del sistema de acueducto municipal ante deslizamientos y avenidas torrenciales. Al evaluar la cuenca del río Mulato ante el riesgo de estos eventos naturales, se delimitaron 23 microcuencas, se determinaron sus características fisiográficas, comportamiento hidrológico y se realizó un análisis multivariado con el fin de obtener los mapas de amenaza ante deslizamientos y avenidas torrenciales. Por otro lado, se analizó la vulnerabilidad del sistema Palmeras del acueducto y como capacidad de respuesta, en concordancia a la Resolución 154 de 2014, se analizó el plan de contingencia y emergencia adoptados por la empresa prestadora del servicio de acueducto.

Los resultados arrojados en esta investigación se enfocan en dos aspectos. El primero, el riesgo en la cuenca ante deslizamientos y avenidas torrenciales y el segundo, el riesgo sectorial de la infraestructura de acueducto del municipio de Mocoa. La Cuenca del Río Mulato, se encuentra en amenaza media y alta ante deslizamientos, y media ante avenidas torrenciales. La infraestructura física del acueducto se encuentra expuesta a una amenaza media y alta ante deslizamientos y alta ante avenidas torrenciales, siendo la línea de conducción el componente más crítico ante estos fenómenos presentados. El análisis de los componentes físico, institucional, operacional, técnico y económico, determinaron una vulnerabilidad alta del sistema de acueducto. Así mismo, se encontró que el conjunto de medidas y recursos del operador del servicio implementados para la prevención y respuesta ante los eventos analizados relacionado con su capacidad de respuesta, es media.

Finalmente se concluyó que, para un periodo de retorno de 20 años, el riesgo en la cuenca es medio ante deslizamientos y avenidas torrenciales. Así mismo, para el mismo periodo de retorno, el sistema de acueducto presenta un riesgo medio ante

deslizamientos y alto ante avenidas torrenciales, destacándose la línea de conducción como único elemento con riesgo alto. Cabe resaltar que, para periodo de retorno combinado de 2000 años, la cuenca presenta un riesgo alto ante deslizamientos y medio ante avenidas torrenciales; el sistema de acueducto presenta riesgo alto para los dos fenómenos estudiados, siendo la línea de aducción y planta de tratamiento los más críticos (tabla 37).

**Palabras clave**

Cuenca Hidrográfica; amenazas; erosión de suelos; infraestructura de servicios públicos; abastecimiento de agua; impacto social; resiliencia; necesidades básicas; vulnerabilidad.

## ABSTRACT

In recent decades in the municipality, landslides and torrent flows have had the greatest negative impacts on the consolidated emergency care of the SNGRD (National Disaster Risk Management System). In this research, the risk and responsiveness of the municipal aqueduct system to landslides and torrent flows is assessed. In assessing the Mulato's watershed at the risk of these natural events, 23 micro-watersheds were delimited, their physiographic characteristics, hydrological behavior were determined and a multivariate analysis was performed in order to obtain the maps of threat of landslides and torrent flows. On the other hand, each element of the infrastructure was analyzed, considering the risk index of the system and reliability within the period of design of the municipal aqueduct and its location risk. Finally, the contingency and emergency plan adopted by the lending company was analyzed as a risk mitigation to these threats.

The results of this research focus on two aspects. The first, the risk in the basin in the face of landslides and torrent flows and the second, the sectoral risk of the aqueduct infrastructure of the municipality of Mocoa. The Mulato River Basin is in medium and high threat to landslides, and half before torrent flows. The physical infrastructure of the aqueduct is exposed to a medium and high threat to landslides and high in front of torrent flows, with the driving line being the most critical component of these phenomena presented. Analysis of physical, institutional, operational, technical and economic components determined a high vulnerability of the aqueduct system. It was also found that the responsiveness associated with the Emergency and Contingency Plan adopted by the aqueduct service provider is average.

It was finally concluded that, for a return period of 20 years, the risk in the basin is medium in the face of landslides and torrent flows. Likewise, for the same return period, the aqueduct system presents an average risk to landslides and high to torrent flows, highlighting the conduction line as the only element with high risk. It should be noted that for return periods of 200 years (20 years for rain and 100 years for earthquakes) the basin

presents a high risk of landslides and a half against torrent flows; the aqueduct system presents high risk for the two phenomena studied, with the adduction line and water treatment plant the most critical (table 37).

**Keywords**

Watershed; hazards; soil erosion; infrastructure of public services; water supply; social impact; resilience; basic needs; vulnerability

## INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos y avenidas torrenciales constituyen hoy en día un grave problema que afecta a gran parte de la sociedad, los cuales deben ser considerados a la hora de planificar, coordinar y ejecutar una infraestructura en un territorio determinado. La ocurrencia de estos fenómenos, están sujetos a muchos grados de incertidumbre porque incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, tipo de suelo, materiales, condiciones geológicas y uso del suelo (Medina, Astudillo. s.f).

Debido a su posición geográfica el municipio de Mocoa es influenciado por la presencia de fuentes hídricas, haciéndola susceptible a riesgos por fenómenos hidrometeorológicos asociados a los cauces de los ríos Taruca, Sangoyaco y Mulato. Los desbordamientos de los ríos Mulato, Mocoa, Sangoyaco y la quebrada Taruca durante la noche del 31 de marzo y madrugada de 01 de abril de 2017 producto de las altas precipitaciones en la zona, ocasionaron pérdidas humanas, daños a la infraestructura y la interrupción en la prestación de servicios públicos domiciliarios a la población especialmente el abastecimiento de agua, al ser semidestruida las bocatomas ubicadas en la microcuenca del río Mulato (PUJ, UNGRD. 2018).

Al respecto, el Consejo Nacional de Política Económica y Social en su documento CONPES 3904, menciona que la avenida fluvio-torrencial con flujo de lodos, rocas de gran volumen y aporte vegetal generada por un evento de precipitación extraordinario ocurrido el 31 de marzo y 01 de abril de 2017, ocasionaron daños considerables en la infraestructura de vivienda, servicios públicos de acueducto, alcantarillado y energía, equipamientos (entidades educativas, sociales y comunitarias) e infraestructura vial. Así mismo, el precitado documento relaciona que, para el Manejo del desastre en Mocoa, se implementaron las fases de respuesta (Fase I), estabilización (Fase II) y reconstrucción (Fase III). Bajo la coordinación de la UNGRD, las acciones inmediatas de las fases de recuperación y estabilización fueron evaluadas por un monto de 40 mil millones de pesos; por su parte la financiación estimada del Plan para la reconstrucción de Mocoa de

acuerdo a sus seis líneas estratégicas (ordenamiento territorial, ambiente y gestión del riesgo; infraestructura social; conectividad e integración regional; desarrollo económico; desarrollo social; institucional) se estima un costo total de 1.18 billones de pesos (DNP, 2017).

Las consecuencias de dichos eventos presentados en especial en la microcuenca del río Mulato, afectaron directamente el sistema de acueducto existente, ocasionando daños considerables en la infraestructura (DNP, 2017), perdiendo operatividad en el sistema y provocando la suspensión del servicio por largos periodos de tiempo con una continuidad catalogada como insuficiente. El sistema de acueducto municipal operada por Aguas Mocoa S.A E.S.P. abastece alrededor de 7000 suscriptores mediante las bocatomas o sistemas de captación Palmeras y Líbano (Aguas Mocoa, 2019).

Este proyecto evalúa el riesgo del sistema Palmeras del acueducto, considerando los siguientes aspectos: En primer lugar, la amenaza ante deslizamientos y avenidas torrenciales presentados en la cuenca. En segundo lugar, los componentes físico, institucional, operacional, técnico y económico de la vulnerabilidad del sistema Palmeras del acueducto. Y, por último, la capacidad de respuesta que tiene la empresa prestadora del servicio de acueducto ante situaciones de emergencia por los fenómenos ya mencionados.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como consecuencia de las fuertes lluvias precedidas durante 38 días antecedentes en Mocoa el pasado 31 de marzo de 2017, fueron detonados movimientos en masa generando represamientos parciales en los cauces de las corrientes de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas Taruca y Taruquita, provocando aumento de caudales y energía y procesos de socavación, condición que generó un evento de avenida torrencial con efectos catastróficos en términos de vidas humanas e impactos a la infraestructura (UNGRD, 2018).

Estos fenómenos generaron impactos negativos en los diferentes componentes del sistema de acueducto, que varían en magnitud e intensidad. De acuerdo a los factores de vulnerabilidad mencionados por el Plan de Emergencia y Contingencia del año 2017, el sistema posee un tiempo de respuesta mayor a 10 días (Aguas Mocoa, 2018. p. 27), afectando a los usuarios en la no prestación del servicio, y por tanto en el desabastecimiento del sistema. Lo anterior evidencia la falta de acciones de mitigación y prevención del riesgo de desastres, generado por los deslizamientos y avenidas torrenciales presentada en el municipio en el año 2017. Lo anterior, como consecuencia del poco conocimiento sobre el riesgo y falta de seguimiento a protocolos de emergencia, que disminuyen la capacidad de respuesta que debe tener la empresa prestadora del servicio ante estas amenazas.

Dentro de los aspectos analizados en la *Evaluación Integral de prestadores Aguas Mocoa S.A. E.S.P.*, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2018), menciona que Aguas Mocoa, presuntamente incumplió los lineamientos establecidos en el anexo 1 de la Resolución 154 de 2014, al no realizar el análisis posterior a la catástrofe sucedida la noche del 31 de marzo de 2017, evaluando la efectividad de la atención a la emergencia, los impactos y la forma en que se atendió; dentro del informe, la superintendencia concluyó que:

“el Plan de Emergencias y Contingencia para los servicios de acueducto y alcantarillado de la vigencia 2017 reportado en el SUI por el prestador AGUAS DE MOCOA S.A. E.S.P., presuntamente INCUMPLIO con la inclusión de la totalidad de los lineamientos mínimos establecidos en la Resolución 0154 de 2014, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio” (p.91).

De esta situación surge la pregunta: ¿Cuál es el riesgo en la infraestructura del sistema Palmeras del acueducto municipal, ante deslizamientos y avenidas torrenciales en la cuenca del río Mulato?

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el abastecimiento y distribución del agua potable al municipio de Mocoa ha sido afectado notoriamente, debido a que la operatividad de la infraestructura del acueducto municipal está ligada históricamente a las condiciones hidrológicas y a eventos naturales ocurridos en la microcuenca del río Mulato.

En atención a la normatividad vigente, las empresas prestadoras del servicio de acueducto, deben establecer directrices contenidas en los lineamientos para incorporar la Política de Gestión del Riesgo de Desastres en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, con el fin de promover la generación del conocimiento sobre los riesgos en el sector, establecer mecanismos para su reducción, fortalecer las estrategias para el manejo de desastres y la capacidad institucional en los diferentes niveles para que sean implementadas adecuadamente (Minvivienda, 2014, p. 5).

En consecuencia, existe la necesidad de identificar y evaluar los factores del riesgo ante deslizamientos y avenidas torrenciales y su influencia en la operatividad y funcionamiento del sistema Palmeras del acueducto que, a su vez, se asocia con la confiabilidad de sus elementos y funcionamiento como sistema de abastecimiento de agua potable que atiende aproximadamente al 63% de los usuarios del acueducto (Superservicios, 2018)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el riesgo del sistema Palmeras de acueducto municipal ante deslizamientos y avenidas torrenciales en Mocoa, Putumayo.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la amenaza ante deslizamientos y avenidas torrenciales, en el sistema Palmeras del acueducto Municipal.
- Determinar la vulnerabilidad del Sistema de Acueducto Palmeras ante deslizamientos y avenidas torrenciales.
- Determinar la capacidad de respuesta del Sistema del Acueducto ante deslizamientos y avenidas torrenciales.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. ESTADO DEL ARTE

#### 4.1.1 Amenaza.

A partir de la ocurrencia de la avenida torrencial presentada en el municipio de Mocoa el 31 de marzo de 2017, se realizaron estudios de amenaza ante movimientos en masa y amenaza por movimientos en masa tipo flujo, como aportes a la gestión local del riesgo orientada al ordenamiento territorial (SGC, 2018).

En la Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Área Urbana, Periurbana y de Expansión del Municipio de Mocoa – Putumayo Escala 1:5.000 (SGC, 2018), se determinó que, en el municipio de Mocoa, la afectación por movimientos en masa es baja y corresponde a aproximadamente un 0,8% del total de la zona del municipio. Del área afectada el estudio afirma que el 5% corresponde a amenaza alta, el 12% amenaza media y en cuanto a las áreas de amenaza baja esta no fue cuantificada, el documento referencia que estas se encuentran muy cerca a zonas de amenaza alta y media. En general, se recomienda adelantar proyectos de buenas prácticas agrícolas y acoger las zonas de protección y conservación ambiental propuestas en el PBOT, 2008 para la reducción de la amenaza por movimientos en masa.

En el estudio de Amenaza por Movimientos en Masa tipo Flujo de las Cuencas de las Quebradas Taruca, Taruquita, San Antonio y El Carmen y los Ríos Mulato y Sangoyaco, Municipio de Mocoa, Escala 1:5.000 se realizó un análisis multitemático que pretendía explicar el comportamiento particular de la avenida torrencial del 31 de marzo de 2017 a partir de los índices morfométricos, geomorfología, geología y datos hidrológicos. Como resultado del estudio, se construyó el mapa de amenaza por movimientos de masa tipo flujo de las cuencas del municipio en donde la zona de amenaza alta se encuentra estrictamente asociada a los cauces principales de cada una de ellas y la amenaza media enfocadas a la cabecera municipal (SGC, 2018).

#### 4.1.2 Vulnerabilidad

En cuanto a la vulnerabilidad, el Análisis de Vulnerabilidad de Sistemas de Abastecimiento de Agua (Morales, González .2000), describe los elementos físicos de un sistema de acueducto y como estos influyen en el funcionamiento del sistema de acuerdo a las amenazas de origen natural y antrópicas relacionadas con la operación, mantenimiento, calidad del servicio, entre otras. Así mismo, establece que factores influyen en la vulnerabilidad del sistema, relacionadas con las características del sitio, tecnológicas, normas de diseño y construcción, servicios complementarios y operación y mantenimiento. La vulnerabilidad se evalúa considerando la oferta hídrica y la demanda que tiene el sistema, en donde a partir de un análisis estadístico se pueden obtener los componentes más vulnerables y críticos del sistema para una determinada amenaza.

En el estudio de Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla (Navarro, Araya, Pérez, Moreira, y Estrada. 2013), tuvo como objetivo determinar la vulnerabilidad de las nacientes y las respectivas zonas de amortiguamiento de 24 sistemas de acueductos rurales de la zona Huetar Norte, en San Carlos Costa Rica, trabajando con una muestra estadística de organizaciones que suministran el agua de consumo a las comunidades en donde fueron evaluados cualitativamente los componentes de varios sistemas. El estudio concluyó que los aspectos que más generan vulnerabilidad son el incremento en la intensidad de actividades humanas sin medidas, los fenómenos hidrometeorológicos frecuentes en la zona, inexistencia de programas de gestión ambiental, deslizamientos en los sistemas de captación y almacenamiento, poco mantenimiento y antigüedad de infraestructura.

La Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática (Valencia, Figueroa, Ruiz, Otero, Martínez, Ceballos, Joaquín, González. 2014), tuvo como objetivo realizar un análisis de fuentes abastecedoras de agua ubicadas en Popayán y Cajibío. Como resultado, la vulnerabilidad en el escenario de la subcuenca en Popayán fue medio baja, producto de

la capacidad adaptativa generada por procesos sinérgicos desarrollados entre los actores locales; por otra parte, la subcuenca de Cajibío presentó una vulnerabilidad media alta, debido a la desarticulación social, baja presencia institucional y nula inversión ambiental.

En el Análisis de la vulnerabilidad en el sistema de abastecimiento de agua en el corregimiento de Cotoprix (Mejía, Merchán. 2017), se realizó el diagnóstico y análisis de la vulnerabilidad física, ambiental, social y económica del sistema de abastecimiento de agua potable del corregimiento de Cotoprix en el suroriente de Riohacha a través de la Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo. Esta investigación concluyó que los resultados de la ponderación de vulnerabilidad del sistema de acueducto arrojaron altos índices en los elementos indispensables como la captación debido al bajo mantenimiento preventivo por parte del prestador del servicio. Así mismo, se determinó que el factor más crítico de la vulnerabilidad analizada fue el físico, ya que el sistema se encuentra construido bajo conocimientos empíricos que no cumplen lo establecido en la normatividad vigente.

La Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas (Vera, Albarracín. 2017), planteó una propuesta metodológica para el análisis y la espacialización de la vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales, soportada en un marco teórico holístico y en el uso de sistemas de información geográfica aplicada a la microcuenca de la quebrada Cay, ubicada en el departamento del Tolima. El estudio propuesto identificó la exposición, fragilidad y capacidad de adaptación y respuesta como factores de vulnerabilidad. Los resultados arrojaron que la vulnerabilidad por exposición es media; la vulnerabilidad por fragilidad es alta siendo las variables ambientales y físicas las más críticas dentro de esta categoría; y, por último, la vulnerabilidad por capacidad de adaptación y respuesta es media con la misma categoría para todos los factores tales como, ahorro y capacidad de endeudamiento, percepción del riesgo y capacidad de gobernanza y gestión del territorio.

#### 4.1.3 Capacidad de Respuesta

En “Análisis de la Gestión Administrativa de los Sistemas de Acueducto de la Zona Rural de Cali. El Caso de Tres Empresas Comunitarias Prestadoras de Servicios Públicos”, las amenazas que se ciernen sobre los sistemas mencionados, en la mayoría de los casos se relacionan con la gran presión sobre los recursos naturales y el deterioro de microcuencas abastecedoras; situación que requiere de acciones de sensibilización y compromiso no solo de las entidades prestadoras del servicio, sino también de las comunidades, el gobierno local y las entidades ambientales (Villota, 2013).

En el trabajo titulado “Diseño de un plan de Contingencia para el acueducto rural “Acuacombia” en el corregimiento Combia Baja, municipio de Pereira departamento de Risaralda, concluyen que debido a la alta amenaza geotécnica en el sector, es necesario realizar un manejo completo de los deslizamientos más representativos; la cual debe ir alineados para que las autoridades locales y regionales asignen presupuestos no solo para la reparación de daños ocasionados en la infraestructura del acueducto, sino también para disminuir y/o mitigar la amenaza geotécnica, que es la causa principal de los graves desastres o daños que han afectado la infraestructura (Melo, N., Salazar, D., 2009). Sobre el mismo acueducto en el 2016, se realizó la Identificación de riesgos en la Red del Acueducto Acuacombia del Municipio de Pereira (Arboleda, Forero. 2016), en donde se desarrolló un análisis de riesgo a fenómenos de remoción en masa en el acueducto a partir de la identificación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa y la evaluación de la vulnerabilidad física de las redes. Se obtuvieron mapas de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo; como resultado final se obtuvo que el 13.1 % del área de influencia de la tubería presenta riesgo alto, 29.8% riesgo medio y 57.1% riesgo bajo.

#### 4.1.3 Riesgo de Desastres en el Servicio de Acueducto

En el Análisis de riesgo del sistema de captación del acueducto de Ibagué-Tolima, por procesos erosivos en la cuenca del Río Combeima (Rojas, 2019), se realizó una estimación de los sedimentos producidos en escenarios de cambio de uso del suelo y su relación con el desabastecimiento de agua para el consumo humano de la ciudad de Ibagué, con el objeto de contribuir al mejoramiento de las condiciones de suministro de agua potable en la ciudad teniendo en cuenta la importancia que tienen los procesos erosivos en una cuenca. Como resultado, se destaca que la serie de caudales presenta una tendencia decreciente, lo cual podría estar asociado a cambios de uso del suelo, la utilización de bosques como cobertura vegetal reduce un 89% la cantidad de sedimentos producidos por erosión laminar; de igual forma se encontró que quien presenta menor resistencia a la erosión son los pastos cuya cantidad de sedimentos producidos fue 69.14%; la presencia de vegetación con raíces profundas mejoran la capacidad de infiltración del suelo disminuyendo los volúmenes de escorrentía superficial; y los cambios del uso del suelo influye en los picos de crecidas y producción de sedimentos.

Estudios sobre la gestión integral del riesgo han ido evolucionando en los programas sectoriales correspondientes a la prestación del servicio de acueducto y saneamiento. Al respecto, el Centro Internacional de Agua y Saneamiento - IRC (2008), mediante el documento temático *Gestión Integral del Riesgo para la Protección de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento ante las Amenazas Naturales*, propuso un enfoque integral y preventivo para enfrentar las emergencias que generan los desastres naturales y que ha llamado la atención de las entidades multilaterales.

Dentro del contexto internacional, a continuación, se relacionan algunos de los estudios de casos y buenas prácticas en la gestión integral del riesgo de desastres en los servicios de acueducto y alcantarillado, mencionados por el IRC (2008):

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) opera el Acueducto Orosí que abastece aproximadamente el 40% de la población de San José, capital de

Costa Rica. Este fue construido en 1987, y desde 1994 el sistema ha sido reforzado para reducir su vulnerabilidad ante sismos, deslizamientos, erosión, crecidas de ríos y amenazas estructurales de la tubería misma. La inversión en prevención y mitigación del riesgo representa un 3% del costo total del acueducto y un 20.5% de las pérdidas directas en caso de un colapso del sistema. Las pérdidas indirectas de un colapso, incluyendo la pérdida de vidas humanas, la interrupción del servicio a los usuarios del sistema y la reducción considerable en la producción nacional no se han estimado, pero es casi seguro que serían mucho mayores que las pérdidas directas.

En Nicaragua, en consecuencia, de la afectación por el Huracán Mitch fue necesario la adopción de herramientas para contribuir al estudio de la gestión del riesgo en los sistemas de agua y saneamiento luego de realizarse 28 diagnósticos de vulnerabilidad por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. Estas guías establecen directrices para la elaboración de análisis de vulnerabilidad y planes de emergencia para los sistemas de agua potable y saneamiento; reducción de la vulnerabilidad en los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento; e incorporación de medidas de mitigación, para la construcción y operación de los sistemas de agua potable y saneamiento ante desastres. En la actualidad, estas guías son adoptadas por el Fondo Nicaragüense para Inversión en Emergencias Sociales (FISE), que financia nuevos sistemas rurales a condición de que se utilicen las guías para los proyectos y sistemas.

Así mismo en Colombia, las Empresas Públicas de Medellín (EPPMM), que opera los servicios de agua, alcantarillado, entre otros en Medellín, a través de su política corporativa sobre gestión integral de riesgos creada desde 1999, la cual provee asesoría técnica y operativa para los procesos y estructuras y la elaboración de la Guía para la Preparación de Planes de Emergencia ayudaron a la mejora de sus estándares de calidad y continuidad de los servicios. Los ejercicios de análisis de riesgo y vulnerabilidad para procesos e instalaciones y definición de planes de gestión de riesgos; la implementación de planes de emergencia y contingencia para escenarios múltiples; el monitoreo periódico de conducciones para determinar el impacto negativo por agentes

naturales; el mantenimiento preventivo de obras civiles, conducciones y equipos electromecánicos; construcción de estructuras de contención y reubicación de tramos de conducción ubicados en suelos geotécnicamente inestables; y la construcción de estaciones de bombeo e instalación de válvulas que facilitan la interconexión de circuitos de agua para la prestación continuada del servicio en situaciones de contingencia son consideradas acciones exitosas de la Unidad de Riesgos y Seguros responsable de dicha política de gestión integral del riesgo.

En Bolivia, como parte de las obligaciones contractuales adquiridas a través de la concesión para la prestación del servicio, la compañía de Aguas de Illimani de La Paz ha adoptado un plan piloto para la Prevención de Emergencias que incluye la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de las ciudades La Paz y El Alto, identificando los elementos (problemas, causas, efectos) que forman el riesgo, medidas generales para prevenir emergencias, orden de prioridad de las medidas de mitigación identificadas en el Plan para la Prevención de Emergencias de 1998 y un plan de acción. Dichas acciones preparativas entre 1998 y 2000, mitigaron el posible impacto de inundación que ocurrió en el año 2002 en donde las precipitaciones extremas destruyeron gran parte de La Paz.

## **4.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **4.2.1 Clasificación de los Movimientos en Masa.**

Existe la confusión en la terminología relacionada con los fenómenos de remoción en masa, en particular en el término deslizamientos. Dicho inconveniente es originado por las diferentes traducciones que se hacen de la terminología empleada en la literatura inglesa y la falta de consenso que existe entre la comunidad científica. Dichos términos como procesos de remoción en masa (*mass movement processes*), procesos de ladera

(slope processes), procesos gravitacionales (gravitational processes) han sido agrupados bajo el término landslide (deslizamientos de tierra) (Alcántara, 2000).

La tipificación de los principales tipos de movimientos en masa propuesta originalmente por Varnes (1978) mencionado por Suarez (1998) tales como caído, inclinación o volteo, reptación, deslizamiento (rotacional y de traslación), esparcimiento lateral y flujo (en roca y detritos).

En Colombia, la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano SGC (2016), utiliza los términos de movimientos en masa y deslizamientos en la presentación de los procesos metodológicos que se deben seguir para cumplir con la normatividad en lo relacionado con el análisis de amenaza.

#### ***4.2.1.1 Análisis de la amenaza ante deslizamientos.***

El SGC (2016) menciona que la definición de un modelo geológico-geotécnico, el planteamiento de escenarios de amenaza y la zonificación de la amenaza como las tres fases principales a considerar en el análisis de la amenaza. La definición del modelo geológico-geotécnico incluye la consideración de los factores condicionantes que configuran la predisposición del terreno o susceptibilidad a la inestabilidad que están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las laderas, considerándose inherentes al área de estudio, dado que prácticamente no varían en el espacio o tiempo. Cabe resaltar que los factores como la lluvia y los sismos, pueden modificar las condiciones de estabilidad de una ladera, y a su vez se consideran detonantes. Se propone la definición de las áreas de amenaza mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite en términos de probabilidad de falla. Así mismo el SGC (2016) establece que tanto el catálogo como el inventario de los movimientos en masa permiten identificar las características de los eventos, su distribución espacial y temporal y su relación con los factores detonantes.

Los aspectos hidrogeológicos se centran en la obtención de los niveles freáticos como detonantes de movimientos en masa. Para cada sitio en particular, la relación frecuencia de ocurrencia vs. magnitud de la lluvia determina la frecuencia de ocurrencia de los deslizamientos y, en cierta medida, su magnitud, por su efecto detonante. Desde el punto de vista hidrogeológico, para estimar la relación existente entre la generación de movimientos de masa y la lluvia en un sitio particular resulta necesario considerar factores como la magnitud y frecuencia de la precipitación, las características del suelo superficial (textura, cobertura vegetal y uso), la magnitud y variabilidad de la infiltración asociada a la precipitación infiltrada y la variación del nivel freático, según las características intrínsecas del suelo objeto de análisis (SGC, 2016).

Si bien es cierto, el SGC (2016) menciona textualmente los movimientos en masa, también usa el termino deslizamientos dentro del *cálculo de la amenaza en unidades de suelo* de los *Estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, escala 1:5000*, en donde el SGC (2016) afirma:

En razón de que en los deslizamientos la posición del nivel freático es generalmente un condicionante de la inestabilidad, resulta clave calcular la profundidad de la tabla de agua, asociada a un cierto periodo de retorno, para el cual se considera que ocurrirá la falla. La experiencia sugiere utilizar un periodo de retorno de 20 años. En virtud de que los deslizamientos profundos ocurren debido a un incremento en la presión de poros del suelo generado por el ascenso del nivel freático, y que estos procesos están asociados a largos periodos de lluvia, se requiere relacionar de alguna manera la variación del nivel freático con la variabilidad de la lluvia acumulada para largos periodos (p.50).

En cuanto a la zonificación de la amenaza ante deslizamientos influenciados únicamente por la lluvia, el modelo SHIA\_LANDSLIDE, define el deslizamiento como único termino (Aristizábal, Vélez, Martínez. 2016).

#### 4.2.2 Plan Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD).

El Plan Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres “una estrategia de desarrollo 2015 – 2025”, es el instrumento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres SNGRD creado por la Ley 1523 de 2012. Este Plan Nacional constituye una hoja de ruta que convoca a los diferentes actores del SNGRD a implementar acciones conjuntas para llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo, en aras de contribuir a la construcción de Colombia menos vulnerable con comunidades más resilientes; este documento se encuentra estructurado en un Componente General y un Componente Programático (UNGRD. 2016).

En el marco conceptual del Plan Nacional, se señala que la Gestión del Riesgo de Desastres induce un cambio de paradigma en la forma de enfrentar la problemática asociada a los desastres, que permite implementar la gestión en un sentido transversal e incluye así competencias y actividades que articulan a cada una de las entidades que integran el SNGRD (UNGRD. 2016).

Reducir los daños causados por desastres en los servicios de agua potable en el decenio 2015-2025 respecto del período 2005-2015, se encuentra establecido como una de las Metas del Componente General del PNGRD, la cual hace referencia al número de acueductos afectados en un desastre o su impacto causado por eventos recurrentes como movimientos en masa, avenidas torrenciales entre otras. Así mismo, las metas por objetivos estratégicos relacionados con la gestión del riesgo de desastres en la prestación de servicios de acueducto se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Metas por objetivo estratégico del PNGRD asociadas a la gestión del riesgo de desastres en la prestación de servicios de acueducto.

Metas por Objetivos (PNGRD)	
Objetivo estratégico 1: Mejorar el conocimiento del riesgo de desastres en el territorio nacional	353 municipios con estudios de amenaza por movimientos en masa 100% de los municipios del país con estudios de vulnerabilidad realizados en sus redes de acueducto y alcantarillado

	78 sistemas de alerta por eventos hidrológicos extremos instaladas 30 sistemas de Monitoreo de fenómenos de movimientos en masa implementados Sistemas de información de entidades nacionales con información prioritaria integrada al Sistema Nacional de Información de Gestión del Riesgo de Desastres
Objetivo estratégico 2: Reducir la construcción de nuevas condiciones de riesgo en el desarrollo territorial, sectorial y ambiental sostenible	100% de municipios y departamentos con ajuste y actualización del PMGRD y PDGRD realizados 100% de municipios y departamentos con incorporación de la gestión de riesgos de desastres en sus POT 600 planes de Desarrollo Municipales que incorporan proyectos para la reducción del riesgo 35 POMCAS formulados con la incorporación del componente de gestión del riesgo
Objetivo estratégico 3: Reducir las condiciones existentes de riesgo de desastres	Banco de proyectos de reducción del riesgo Plantas físicas institucionales ubicadas en zona de alto riesgo no mitigable reubicadas Obras de mitigación frente a amenazas por fenómenos de movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones definidas en los planes departamentales y municipales de gestión del riesgo. Estrategia de Protección Financiera ante el Riesgo de Desastres implementada
Objetivo estratégico 4: Garantizar un oportuno, eficaz y adecuado manejo de desastres	Estrategia Nacional para la Respuesta implementada
Objetivo estratégico 5: Fortalecer la Gobernanza, la educación y comunicación social en la gestión del riesgo con enfoque diferencial, de diversidad cultural y de género	Integrantes del SNGRD capacitados e informados en Gestión del Riesgo de desastres con enfoque diferencial, de diversidad cultural y de género. 100% de municipios con acciones de información, educación y comunicación incorporadas dentro de sus planes municipales de gestión del riesgo de desastres.

---

Tomada y adaptada de UNGRD (2016).

#### **4.2.3 Gestión Integral del Riesgo de Desastres en la Prestación de los Servicios Públicos Domiciliarios.**

El gobierno actual en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, y a su vez en el Pacto por la Sostenibilidad allí contenido, plantea directrices con el fin de encontrar el equilibrio entre la conservación y producción del medio ambiente; en lo concerniente al cambio climático, el territorio, sector privado, instituciones públicas, cooperación internacional y sociedad civil, tienen el deber de conocer, prevenir y reducir sus condiciones de riesgo y

vulnerabilidad ante eventos naturales generados por el cambio climático y así mismo adaptarse a él logrando aprovechar las condiciones favorables que consigo trae y que podría contribuir al desarrollo sostenible (Departamento Nacional de Planeación DNP, 2019).

En los últimos años el país ha sido afectado por desastres naturales causante de cientos de muertes, grandes pérdidas económicas y un sin número de daños a la infraestructura que atenta contra la protección de los recursos naturales, desarrollo económico y bienestar de la población (DNP, 2019).

De acuerdo con lo planteado por el DNP (2019), se puede deducir que la gestión integral del riesgo son las acciones promovidas en condiciones óptimas para el reconocimiento de la amenaza, y vulnerabilidad como factores del riesgo, para que los territorios y los sectores prevengan y reduzcan sus riesgos y minimicen los impactos negativos asociados a los desastres y a su vez se adapten de manera resiliente a la emergencia.

La UNGRD (2017) mencionada por DNP (2019) afirma que, en términos de avances, la formulación y adopción del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), con una ejecución sectorial del 74% entre 2015 – 2018, donde los proyectos de manejo tienen avances del 89%, en comparación con los proyectos de reducción y adopción que tienen avances del 48% y 52% respectivamente, evidenciando un énfasis hacia la respuesta a desastres. Los territorios deben asumir con mayor compromiso la responsabilidad en la reducción del riesgo y el cambio climático. De no hacerlo, se perdería cada año cerca del 0,5% del PIB, tan solo en riesgos asociados al cambio climático (DNP, 2019).

Desde la perspectiva sectorial, la gestión del riesgo de desastres en la prestación de los servicios públicos domiciliarios, consiste en lograr un conocimiento del riesgo en donde se identifiquen las posibles amenazas que pueden afectar los procesos de la prestación de los servicios públicos domiciliarios, determinar el nivel de exposición ante

cada amenaza y estimar el grado de vulnerabilidad que tiene el sistema que permite obtener una calificación del riesgo (MVCT, 2019).

#### **4.2.3.1 Conocimiento del riesgo.**

Es la información real de las condiciones locales del riesgo sectorial, que permite entender las posibles implicaciones de la escenificación de un desastre que sirve de soporte para estructurar los procesos de reducción del riesgo y manejo de desastres (MVCT, UNGRD. 2014).

Una vez se conoce el nivel de riesgo, se identifican las acciones pertinentes para la reducción del riesgo, se mitigan los impactos ante la ocurrencia de un evento, se asignan recursos y priorizan obras y acciones para la disminución de los posibles daños. De igual forma, se puede elaborar y adoptar un plan para el manejo de desastres acorde a las condiciones del territorio que permita que el impacto generado sea el mínimo (MVCT, 2014).

#### **4.2.3.2 Reducción del riesgo.**

Son las acciones que buscan definir e implementar las medidas para mitigar y prevenir el riesgo existente, con el propósito de disminuir y evitar futuras condiciones, reduciendo la probabilidad que se presente situaciones de emergencia y a su vez, los efectos adversos de los desastres sobre los servicios públicos domiciliarios. La reducción del riesgo no logrará la disminución total de los efectos de los fenómenos naturales, pero ayuda a que se aminoren los impactos y se aumente la capacidad de absorberlos o resistirlos y de recuperarse del evento (MVCT, UNGRD. 2014).

#### **4.2.3.3 Manejo del desastre**

En la gestión del riesgo sectorial de agua potable y saneamiento básico, el manejo del desastre se orienta en la formulación y aplicación de los instrumentos para el manejo de las emergencias, con herramientas como los planes de emergencia y contingencia como instrumento de planeación que incluya procedimientos generales de atención de emergencias y específicos para cada escenario de riesgo identificado, incluyendo organización institucional, definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales para enfrentar un evento específico de emergencia (MVCT, UNGRD. 2014).

#### **4.2.4 Evaluación del Riesgo de Desastres en la Prestación de Servicio Público de Acueducto.**

La evaluación del riesgo de desastres sectorial, se entiende como el análisis enfocado a la prestación del servicio de acueducto. Este consiste en la identificación de la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta. La amenaza y vulnerabilidad, son factores de riesgo establecidos por la Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. En cuanto a la capacidad de respuesta, se entiende como el factor adicional generado por la deficiencia en el funcionamiento y prestación del servicio sobre los usuarios, ante una emergencia presentada como situación de desastre

Una vez definida la evaluación, se relaciona la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta de la infraestructura física, el sistema de acueducto y el prestador del servicio con el fin de determinar los posibles efectos institucionales, técnicos, económicos y operativos y sus probabilidades.

La evaluación del riesgo de desastres consiste en identificar y calificar los factores de riesgo tales como la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta; a diferencia de lo planteado estos elementos son fundamentales en el análisis del riesgo. Para que suceda un evento que pueda producir un desastre debe haber una amenaza que es un

fenómeno de origen natural, sicionatural o antrópico que cause daño en un momento y lugar determinado y, unas condiciones desfavorables en una comunidad las cuales se denominan vulnerabilidades (UNGRD, 2018) y una capacidad de respuesta que permita una intervención adecuada.

El riesgo sectorial, consiste en las potenciales afectaciones, daños y pérdidas asociadas a la posible ocurrencia de un evento peligroso, que puede generar desabastecimiento, suspensión del servicio, daños en la infraestructura física, pérdidas por ingresos tarifarios no percibidos e impactos en términos institucionales y sociales (MVCT, 2014).

#### **4.2.4.1 Amenaza.**

La UNGRD (2018), define que para el análisis de la amenaza es necesario tener en cuenta, el tipo, la frecuencia y la intensidad del territorio afectado. Sin embargo, para el presente análisis sobre el riesgo en la prestación del servicio de acueducto, en la determinación de la amenaza, se consideró la incertidumbre de los parámetros geotécnicos, y la probabilidad de ocurrencia de los factores detonantes como la lluvia y sismos (SGC, 2016).

La metodología de formulación de programas para la Gestión del Riesgo del MVCT y UNGRD (2014) relaciona algunos impactos sobre la prestación de servicio de acueducto, originados por diferentes eventos varían dependiendo del tipo de amenaza relacionada (tabla 2).

Tabla 2. Posibles efectos del sistema de acueductos ante amenazas.

Amenaza	Posibles efectos
Avenidas Torrenciales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción de los componentes de la infraestructura, especialmente las obras cercanas a los cauces.</li> <li>• Ruptura de tuberías en pasos de ríos y quebradas.</li> <li>• Taponamiento de los sistemas por material de arrastre.</li> <li>• Interrupción de los caudales en las fuentes superficiales.</li> </ul>

Amenaza	Posibles efectos
Remoción de masa (Deslizamientos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción total o parcial de los componentes de la infraestructura, especialmente de captación, aducción y conducción, ubicados en el área de influencia del deslizamiento.</li> <li>• Deterioro de la calidad del agua cruda por alteración en sus características (sedimentos, color, etc.)</li> <li>• Taponamiento de los sistemas por acumulación de materiales como lodo y piedras. Vertimientos de aguas residuales directos a suelo o cuencas.</li> </ul>
Falta de mantenimiento de la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas de agua y por tanto mayor requerimiento en captación.</li> <li>• Contaminación de agua para consumo humano en la tubería de acueductos.</li> <li>• Fenómenos de remoción en masa por excesos de humedad del suelo en áreas de pendiente alta y materiales no consolidados.</li> <li>• Asentamientos diferenciales por colapso de tubería en áreas planas.</li> <li>• Destrucción de viviendas aledañas a redes matrices de acueducto por rompimiento de tubería.</li> <li>• Anegación o inundaciones de zonas planas mal-drenadas, por rompimiento de redes matrices de acueducto.</li> <li>• Pérdida de vidas humanas por colapso de infraestructura.</li> <li>• Afectación del equilibrio financiero del prestador de servicio por gastos en atención de emergencias.</li> <li>• Reducción de la capacidad de la tubería.</li> </ul>

Tomado y adaptado de MVCT – UNGRD (2014).

Así mismo, es necesario realizar una superposición de la información en donde se identifiquen los componentes más críticos por su alto grado de exposición a las amenazas que comprometen la mayor proporción de la infraestructura (MVCT, UNGRD. 2014).

#### **4.2.4.2 Vulnerabilidad.**

Al abordar el tema de la vulnerabilidad en la gestión de riesgo sectorial, se define como un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición o predisposición a daños y pérdidas ante una amenaza específica. El cálculo de este factor del riesgo, consiste en evaluar los componentes de la infraestructura vulnerables y la condición técnica, institucional, operacional y económica del prestador ante la condición que tiene la cuenca a presentar determinados fenómenos amenazantes que influyen directamente sobre la infraestructura física y prestación del servicio.

Al respecto, MVCT (2014) menciona que los factores de la vulnerabilidad mínimos a tener en cuenta son el físico, institucional, operacional, técnico, económico, los cuales se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Identificación de variables para evaluación de factores de vulnerabilidad.

<b>Factor de vulnerabilidad</b>	<b>Variable</b>	<b>Criterio de Valoración</b>
Operacional	Continuidad en el servicio de acueducto	Número de suspensiones al mes Duración de la suspensión
	Sectorización	Nivel de sectorización en la prestación de los servicios en caso de emergencia
	Respuesta ante daños de infraestructura	Tiempo que tarda la empresa en dar respuesta al reporte de daños de infraestructura
	Existencia de un plan de emergencia y contingencia actualizado	Si existe o no un plan actualizado
Institucional	Fortalecimiento de capacidad técnica	Programas de capacitación técnica al personal en los temas relacionados con la gestión del riesgo
	Coordinación interinstitucional	Esquema de coordinación de acciones con actores locales y regionales para la gestión del riesgo (prevención y atención de desastres)
	Seguimiento a la gestión del riesgo	Seguimiento y evaluación de medidas de reducción del riesgo implementadas y control de resultados.
Técnica	Medios de comunicación para ser usados en condiciones de emergencias	La calidad y cantidad de los medios de comunicación
	Seguridad en el proceso de administración de la información, aun en situaciones de emergencia.	Si existe o no seguridad en los procesos
	Sistematización de operaciones relacionadas con la reducción de riesgos y atención de emergencias.	Si existe o no la sistematización

Tomado y adaptado de MVCT, UNGRD (2014).

#### **4.2.4.3 Capacidad de Respuesta del sistema de acueducto.**

Es la estrategia para la respuesta a emergencias que el prestador del servicio de acueducto debe adoptar de acuerdo a los lineamientos para la formulación de un Plan

de Emergencia y Contingencia establecido y definido por la normatividad. Este instrumento debe ser socializado ante el Comité Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres e incorporado en los Planes Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres por las autoridades en su jurisdicción, bajo el principio de la subsidiariedad positiva en el marco de sus competencias locales.

#### 4.2.4.4 *Cálculo del Riesgo.*

Tomando como base en la metodología clásica del cálculo del riesgo adoptada por la UNGRD (2018), se establece para la presente investigación que en el cálculo del riesgo se considera una relación directa entre la amenaza y vulnerabilidad, con capacidad de respuesta. Se considera que la capacidad de respuesta es un factor inversamente proporcional tanto al riesgo como a la amenaza y vulnerabilidad. Para la presente investigación, el riesgo se calcula a partir de la siguiente ecuación (1),

$$R = \frac{\text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} (a)}{\text{Capacidad de respuesta} (b)} \quad (1)$$

De acuerdo a lo anterior, se establece que la evaluación del riesgo se expresa como la relación entre la amenaza y vulnerabilidad (a) y, la capacidad de respuesta (b). y a su vez, el riesgo se clasifica de la siguiente manera (tabla 4):

Tabla 4. Clasificación del riesgo sobre el sistema de acueducto

Rango	Categoría
0 – 2.99	Riesgo Bajo
3 – 5.99	Riesgo Medio
6 - 9	Riesgo Alto

### 4.3. MARCO LEGAL

La legislación aplicada a la Evaluación del Riesgo y Capacidad de Respuesta del Sistema Palmeras del acueducto municipal ante deslizamientos y avenidas torrenciales en Mocoa, Putumayo, se describe en la tabla 5,

Tabla 5. Marco legal

Norma	Quien expide	Aplicación
Ley 99 de 1993	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1096 de 2000	Ministerio de Desarrollo Económico	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS
Decreto 1729 de 2002	Ministerio del Medio Ambiente	Por medio del cual se profundiza el conocimiento teórico sobre cuencas hidrográficas
Decreto 1575 de 2007	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Ley 1523 de 2012	República de Colombia - Gobierno Nacional	por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones y se incorpora el Plan Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres PNGRD
Resolución 154 de 2014	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y se dictan otras disposiciones.
Decreto 945 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por medio del cual se verificará el diseño de la infraestructura del sistema de acueducto según los parámetros de la Reglamentación Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10
Resolución 330 de 2017.	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Mediante la cual se evaluará el diseño, construcción, puesta en marcha, operación mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura del acueducto municipal de Mocoa frente a los parámetros establecidos en el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS
Resolución 527 de 2018	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por la cual se modifica la Resolución número 0154 de 2014 y se dictan otras disposiciones.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 5.1. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Mocoa se encuentra ubicado en las coordenadas 01°08'56" de latitud norte, y 76°38'52" de longitud. La cabecera municipal está situada, en el norte del departamento del Putumayo, sobre el piedemonte de la cordillera Andina, con una población de 46.000 habitantes aproximadamente y se ubica a 611 Km de la ciudad de Bogotá D.C. (Plan Departamental de Aguas – PDA, 2011). La extensión del área urbana es de 580 Km<sup>2</sup> y su altitud está comprendida entre los 500 a 600 msnm; la temperatura media es de 23°C.

Mocoa es la capital del departamento de Putumayo, zona comercial y administrativa; está localizada en el extremo noroccidental del departamento (figura 1), posee una extensión de 1.223 km<sup>2</sup>, cuenta con 53 veredas, y 5 inspecciones de policía. La zona urbana está compuesta por 64 barrios legalmente constituidos y más de 15 barrios que no se encuentran legalizados (Cerón E, 2012, p.24).

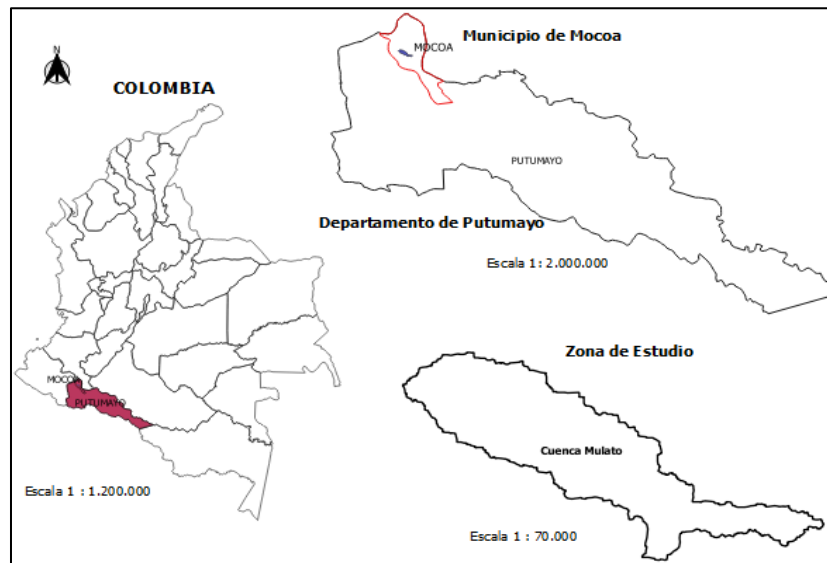


Figura 1 .Localización geográfica de la Cuenca del río Mulato.

La cuenca del río Mulato está localizada hacia el centro del municipio de Mocoa, y al occidente del sector urbano de Mocoa, en el departamento del Putumayo, en las

coordenadas: 76°38'34.836"W, 1°8'36.921"N y 76°44'5.486"W 1°10'32.563"N. Desemboca sobre el río Mocoa, en el piedemonte amazónico, sobre el borde oriental de la Cordillera Oriental, haciendo parte de la cuenca del río Caquetá y a nivel nacional de la gran cuenca del río Amazonas (PDA, 2011).

Tiene una extensión de 1788 Has, precipitación efectiva media anual de 4862 mm, brillo solar promedio anual de 8533 horas, temperatura promedio anual de 22,8°C, humedad relativa promedio anual de 86%, nubosidad promedio anual de 6,1 con vientos promedios anuales de 17,8 Km/h, evaporación alta los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, y baja los meses de mayo, junio y julio (PDA, 2011).

Su geología está representada por rocas ígneas de origen intrusivo. El relieve de mayor presencia es el de origen denutativo, seguido por el eje de origen estructural, el 61% del territorio corresponde a pendientes propias de relieve medio escarpado a fuertemente escarpado, el suelo presenta baja capacidad productiva, con cobertura vegetal constituida por bosque primario y boque secundario (PDA, 2011).

Es un ecosistema de alta producción hídrica, la calidad de agua no es aceptable, con susceptibilidad a presentar procesos erosivos asociados a fenómenos de remoción en masa, favoreciendo el aumento de la escorrentía, la oferta hídrica promedio 1,97 m<sup>3</sup>, índice de escasez 3.02% (PDA, 2011).

Los registros históricos recientes de eventos fluviotorrenciales datan del año 1947 para el río Mulato (Servicio Geológico Colombiano, 2018) (Tabla 6).

Tabla 6. Registro de los eventos fluviotorrenciales en Mocoa en los últimos 70 años.

Tipo de evento	Fecha		Corriente	Daños	Observaciones	Precipitación (mm)
	Día	Mes Año				
Avenida Fluviotorrencial	12	6 1947	Río Mulato	Pérdida de viviendas, animales domésticos y cultivos.	Movimientos en masa en la parte alta de la microcuenca y represamiento	No hay registros
Avenida Fluviotorrencial		5 1971	Río Mulato	Cinco viviendas con daños y pérdida de	Bocatoma acueducto semidestruido del	No hay registros

Tipo de evento	Fecha		Corriente	Daños	Observaciones	Precipitación (mm)
	Día	Mes Año				
Avenida Fluviotorrencial	2	1989	Ríos Mulato y Sangoyaco	animales domésticos.  Destrucción de cuatro viviendas en el barrio 4 de Julio, movimientos en masa detrás de la Caja Agraria.	El río desbordó el muro de protección y corrió por la avenida 17 de Julio	En mes 199 mm generad con la estación Campucana Max: 31.2mm/24h
Avenida Fluviotorrencial	24	5 1994	Quebrada la Taruca, ríos Mulato y Sangoyaco	Sectores inundados: plaza de mercado y barrios Miraflores, Pablo VI y Naranjito; destrucción parcial del puente peatonal sobre el río Sangoyaco.	Largos periodos de lluvia	Él día 25 – 91.2 mm/24h, el día 24 19.5 mm/24h.
Flujo de escombros	17	6 1997	Río Mulato	Una niña muerta, una vivienda averiada, daños menores en viviendas.	Periodo invernal. El río Mulato salió de su cauce y corría por la avenida 17 de julio 50.2 mm/24h, 16 de junio 50 mm/24h	50.2 mm/24h
Avenida Fluviotorrencial		1998	Ríos Mocoa, Sangoyaco, Mulato	Seis viviendas afectadas en el Estadero Caliyaco, seis viviendas en el barrio Las Américas.	Altas precipitaciones, movimientos en masa, pérdidas económicas no cuantificables	No hay registros
Avenida Fluviotorrencial		2010	Río Mulato, Quebrada Taruca	Daños a viviendas e infraestructura. Transporte de material grueso, erosión lateral y colmatación de material en la zona media del cauce en la quebrada Taruca, vereda San Antonio.	Periodo invernal 2010	No hay registros
Deslaves y flujo de lodo	31	03 2017	Ríos Mulato, Mocoa y Sangoyaco	Afectación de 48 barrios, 332	Desbordamiento de la quebrada Sangoyaco, pérdidas económicas no cuantificables	134.8 mm/24

Tipo de evento	Fecha		Corriente	Daños	Observaciones	Precipitación (mm)
	Día	Mes Año				
				fallecidos, 77 desaparecidos, 398 heridos, 22.310 damnificados (DNP, 2017)		

\* Precipitación tomada del valor promedio de la precipitación diaria de las estaciones pluviométricas Campucana y Acueducto-Mocoa, ubicadas a msnm y 650 msnm respectivamente, registradas el 31 de marzo de 2017 por el Ideam.

Tomado y adaptado de Servicio Geológico Colombiano (2018).

En las últimas décadas las pérdidas económicas y humanas asociadas a eventos climáticos han incrementado dramáticamente y han ocurrido con mayor frecuencia; aunque las avenidas torrenciales han sido un fenómeno común en Colombia (tabla 7), se han registrado 1.139 avenidas torrenciales entre 1914 y 2018, con un saldo de 3.318 víctimas fatales (Aristizábal, et al. 2020).

Tabla 7. Los 10 de eventos de avenidas torrenciales más críticos en términos de vidas humanas registrados en Colombia

Fecha	Lugar de ocurrencia	Personas fallecidas	Personas desaparecidas	Viviendas afectadas y destruidas
1/04/2017	Putumayo / Mocoa	332	77	1200
25/11/1979	Santander / El Playón	200		500
18/05/2015	Antioquia / Salgar	93	11	309
8/05/1960	Antioquia / Salgar	80		10
10/11/1970	Cesar / Chiriguaná	60	120	30
26/04/1993	Antioquia / Andes	56		70
18/12/1993	Antioquia / Dabeiba	55	13	196
13/08/1981	Arauca / Saravena	50	41	34
15/04/1963	Boyacá / Paz de Río	50		10
25/01/1972	Norte de Santander / Labateca	50	30	14

Fuente: Aristizábal, et al (2020).

Como se observa en la tabla 7, la avenida torrencial del pasado 31 de marzo de 2017, es considerada como la avenida torrencial con el más grande impacto en términos de personas fallecidas y desaparecidas e infraestructura afectada en el periodo comprendido entre el 1972 y 2017.

Como consecuencia de la avenida fluvio-torrencial del 31 de marzo de 2017 presentada en Mocoa, se ocasionaron daños en el área de influencia de la cuenca del río Mulato asociados a la afectación a viviendas, infraestructura vial y de servicios públicos (figura 2). El evento amenazante mencionado, en su tránsito afectó seriamente el pueblo Inga, las veredas San Luis de Chontayaco y algunos asentamientos no formalizados en la parte alta y media de la cuenca. Igualmente, en la parte baja, fueron afectadas la vereda Villanueva, y el barrio las Colinas de la zona periurbana; en la zona urbana los barrios Miraflores, las acacias, 17 de Julio, Pablo VI, Kennedy y el costado sur del centro del municipio (UNGRD. 2018).



Figura 2. Esquema de la microcuenca del río Mulato en su tránsito por su cuenca baja en el municipio de Mocoa. Fuente: UNGRD (2018).

En cuanto a la infraestructura vial, en el área de influencia del río Mulato, se afectaron muros de contención, obras de drenaje como box culverts y puente que conduce hacia el departamento de Nariño. En lo referente a los servicios públicos la bocatoma Palmeras

fue taponada y destruida (Superservicios. 2018. p. 23), en la red de conducción se presentaron afectaciones de 2500 ml aproximadamente (DNP. 2017).

En el 2018, la Pontificia Universidad Javeriana PUJ y la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres UNGRD, adelantaron los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa. Como resultado, se construyeron catorce (14) informes técnicos de la situación presentada en el municipio a partir de los eventos del 31 de marzo y 01 de abril de 2017.

En concordancia al Documento Conpes 3904 (DNP, 2017), se adelantó el proyecto “Reconstrucción del acueducto del municipio de Mocoa” llevado a cabo por Findeter, en el cual se asignaron recursos del Presupuesto General de la Nación PGN por valor de \$ 28.074.498.035 relacionados a obra civil, interventoría obra civil, ajuste de diseño por emergencia e interventoría ajuste de diseño de emergencia. Dicho proyecto contempla entre otras la construcción de estructuras nuevas y la optimización de obras existentes dentro del sistema de acueducto municipal (MVCT. 2018).

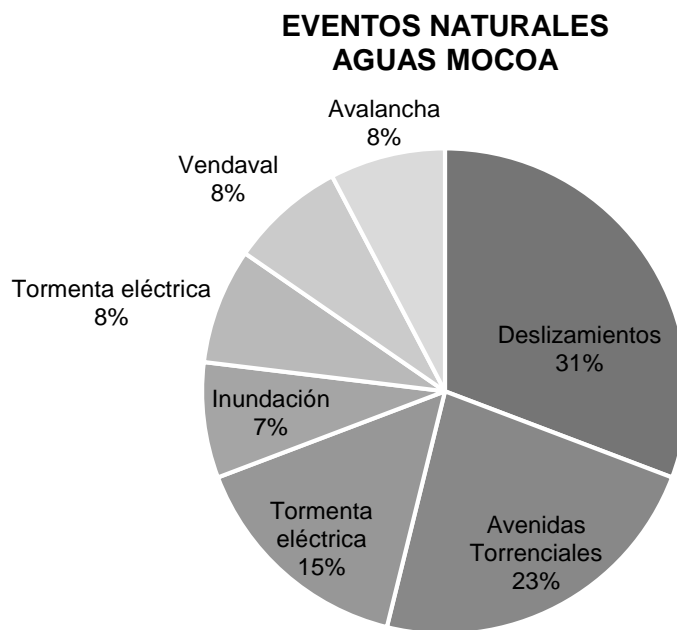
Así mismo, dentro del consolidado de atención de emergencias del Sistema Nacional de la Gestión del Riesgo de Desastres SNGRD, las avenidas torrenciales son los eventos naturales presentados con mayor recurrencia entre 1998 y 2019, seguido de las inundaciones y deslizamientos (tabla 8).

Tabla 8. Consolidado de atención de emergencias en Mocoa, 1998 – 2019.

Evento	N.	Afectados
Deslizamientos	38	6.665
Avalancha	2	14.050
Inundación	37	2.804
Vendaval	16	3.720
Avenida Torrencial	112	22.325
<b>Total</b>		<b>49.564</b>

Fuente: SNGRD

En el marco del análisis del PEC de Aguas Mocoa, Superservicios en su informe de 2018 menciona que, dentro de los eventos peligrosos, los deslizamientos y avenidas torrenciales son parte de los 3 tipos de eventos no deseados que podrían afectar la prestación de normal servicio de acueducto. La figura 3, relaciona los eventos peligrosos identificados por el prestador del servicio en su Plan de Emergencia y Contingencia PEC (Superservicios 2018).



Nivel	1	2	3	4
<b>Afectación prestación del servicio</b>	Improbable	Sin riesgo significativo	Mayor	Potencial

Figura 3. Identificación de eventos peligrosos que afectan la prestación normal del servicio de acueducto. Tomado y adaptado de Superservicios (2018)

La figura 3, muestra que las amenazas que afectan potencialmente la prestación del servicio de acueducto son los deslizamientos, y avenidas torrenciales. Ahora bien, a pesar de que las inundaciones son eventos que también se indican en la gráfica, el MVCT (2014), afirma los posibles efectos en el sistema de acueducto repercuten en la captación y aducción, componentes que se ubican en zonas de altas pendientes sin riesgo significativo en el sistema.

El análisis posterior a la catástrofe sucedida la noche del 31 de marzo de 2017, AGUAS MOCOCHA S.A. E.S.P. presuntamente incumplió los lineamientos establecidos en el anexo 1 de la Resolución 154 de 2014, al no realizar un análisis posterior al evento, con la evaluación de la efectividad de la atención de la emergencia, los impactos y la forma en la que fueron atendidos (Superservicios, 2018).

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), afirmó que el Plan de Emergencia y Contingencia no estaba de acuerdo con los lineamientos de la resolución 154 de 2014 al no establecer los eventos del riesgo que podía presentar el sistema de acueducto en la construcción del documento por parte del operador. Vivas (2018) afirma que la superintendencia comunicó el riesgo al que estaba expuesto el sistema de acueducto, sin embargo, el Plan de emergencia y Contingencia no fue actualizado, situación que se vio reflejada en la falta de respuesta en el evento ocurrido el 31 de marzo de 2017.

El análisis del ordenamiento de los territorios PDET de la Agencia de Renovación del Territorio (2020) realizado al municipio de Mocoa (anexo 3), determinó que el PBOT se encuentra desactualizado en cuanto a diagnóstico de los instrumentos del ordenamiento territorial como la conservación y protección ambiental, encontrando la ausencia de POMCAS, y estudios de riesgos de desastre; así mismo se determinó que el ordenamiento productivo de la propiedad rural no se incorpora al igual que existe falencia en la formalización.

Por otro lado, en el Análisis de Integración de la Gestión en el Plan de Desarrollo Departamento del Putumayo (UNGRD, 2020), se menciona que, tanto en el departamento como en el municipio de Mocoa, las líneas estratégicas de Gestión del Riesgo de Desastres planteadas en el PNGRD no son armonizadas dentro del diagnóstico como herramientas del Plan Departamental de Gestión del Riesgo de desastres PDGRD, Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres PMGRD y Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias EMRE. Así mismo, afirma que,

aunque se tiene en cuenta la integración de la gestión del riesgo, no se profundiza en los escenarios de riesgo y cuadro de amenazas, llegando a un bajo grado de especificación de la información.

## 5.2. ACUEDUCTO MUNICIPAL

La empresa AGUAS MOCOA S.A. E.S.P., mediante documento privado en diciembre de 2012, se constituyó para realizar la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado en el municipio de Mocoa, Putumayo. El sistema de acueducto es abastecido por el río Mulato. A lo largo de esta fuente se cuenta con dos captaciones, las cuales trabajan de manera independiente, de donde se capta y transporta el agua mediante gravedad hasta la planta de tratamiento de agua potable para el caso de la captación Palmeras, mientras que la captación Líbano no se cuenta con tratamiento de potabilización alguno (Superservicios, 2018).

La tabla 9, muestra las dos concesiones de aguas con las que cuenta el río Mulato, una por cada uno de los sistemas de abastecimiento, con las siguientes características:

Tabla 9. Concesiones de agua superficiales, Río Mulato

Sistema	Número de Concesión	Caudal adjudicado (l/s)	Fecha Inicial	Fecha Final
Palmeras	0488 de diciembre de 2009	300	04 Dic 2009	04 Dic 2034
Líbano	0037 de enero de 2000	115	24 Ene 2010	24 Ene 2030

Fuente: Tomado y adaptado de Superservicios (2018)

La distribución del servicio de agua potable se divide en 4 sectores hidráulicos, de los cuales los sectores 1 y 2 que corresponden el suroccidente del municipio, es abastecido por el sistema Palmeras (Figura 4)

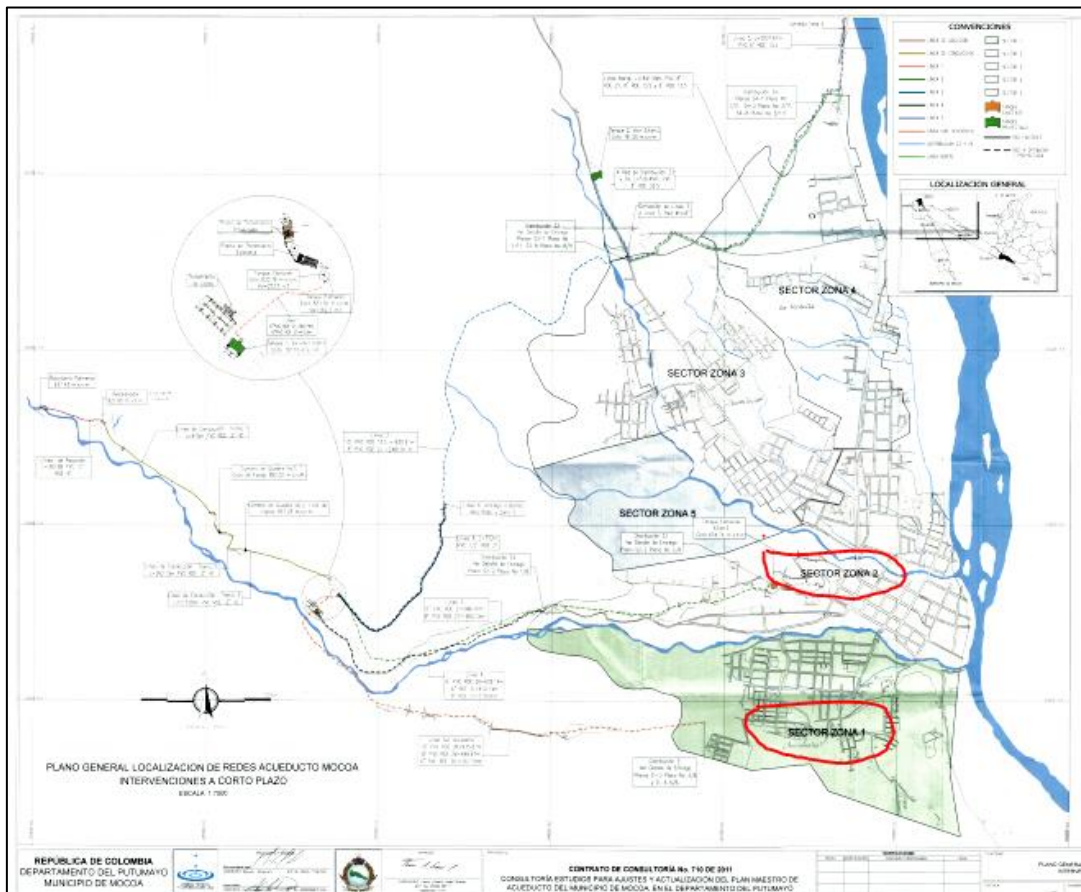


Figura 4. Sectores Hidráulicos del abastecimiento de agua potable. Fuente, Aguas Mocoa (2018)

La bocatoma del sistema Palmeras del acueducto ubicada en el río Mulato sufre constantes taponamientos. A la fecha, se desconoce un estudio formal o comunicado oficial emitido por las autoridades competentes que relacione las condiciones actuales de la microcuenca del río Mulato con la fuente y estructura de captación del acueducto.

En virtud del proyecto denominado “Optimización del sistema de acueducto de Mocoa – Putumayo”, fue suscrito el contrato de obra PAF-ATF-O-025-2017 celebrado entre el Patrimonio Autónomo Fideicomiso Asistencia Técnica – Findeter y Mario German García García que tiene por objeto “Reconstrucción del sistema de acueducto de Mocoa, Putumayo” por valor de \$ 24.000 millones de pesos aproximadamente. Dentro del

alcance del objeto de obra se tiene contempladas la construcción de una bocatoma, dos desarenadores, una PTAP y la optimización de tanque existente, PTAP existente entre otros y el suministro e instalación de la línea de conducción (contrato de obra PAF-ATF-O-025-2017).

Esta reconstrucción del acueducto tiene una inversión de 28.000 millones de pesos aproximadamente y para octubre de 2018 presentaba un retraso del 60% en la ejecución de la obra por oposición del cabildo Inga; estas obras de infraestructura se encontraban dentro la zona de Resguardo Inga de Mocoa y hasta tanto el cabildo no otorgara el permiso, esta obra permaneció paralizada. Según sala de prensa del Ministerio de Vivienda, la comunidad otorgó el permiso sobre la fecha de la publicación (octubre de 2018).

Actualmente, la capital de Putumayo tiene servicios intermitentes para el 80% de la población, la causa de esta situación son tres deslizamientos que se presentan en la cuenca alta del río Mulato, lo que imposibilita el funcionamiento de la bocatoma para el acueducto; para los mocoanos, las responsables son las administraciones municipales y locales, así como en el Gobierno Nacional, que desde 2014 saben que este tipo de emergencias ocurren y no hacen nada para prevenirlas (Ramos, 2019).

## 6. METODOLOGÍA

En la evaluación del riesgo y capacidad de respuesta del sistema Palmeras del acueducto municipal ante deslizamientos y avenidas torrenciales, el desarrollo práctico de la presente investigación se muestra en la figura 5.

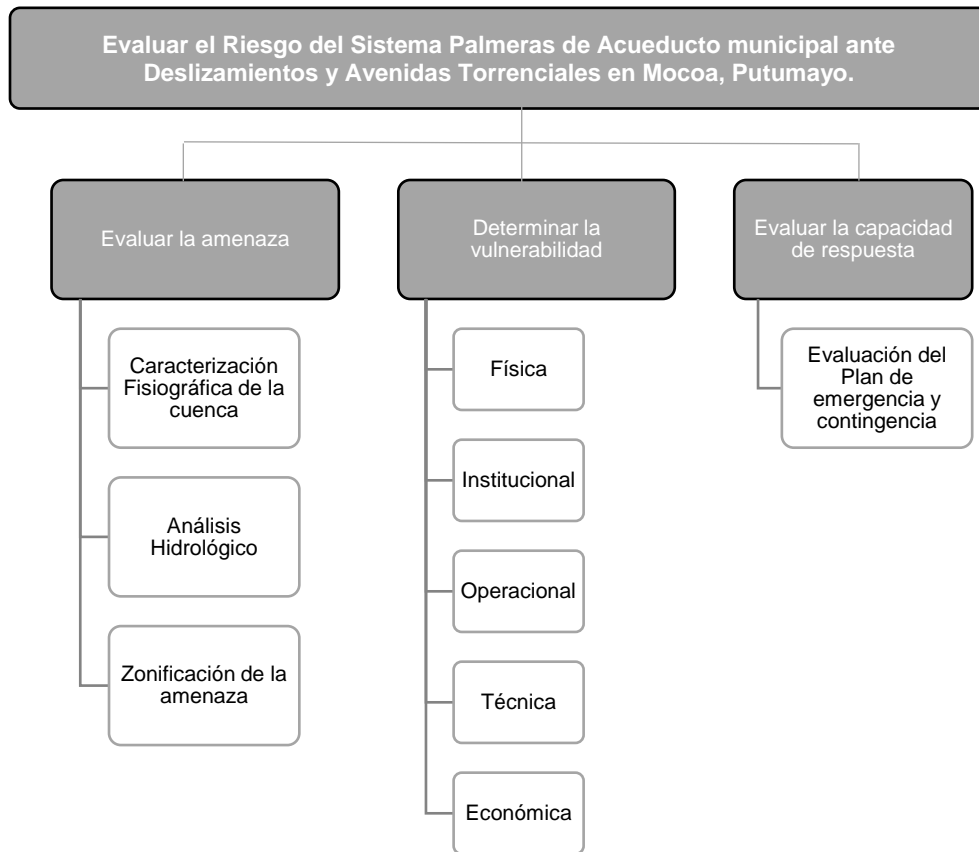


Figura 5. Esquema metodológico de la evaluación del riesgo y capacidad de respuesta.

En el desarrollo de la presente investigación, se evaluaron la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta como factores de riesgo. En primer lugar, se evaluó la amenaza ante deslizamientos y avenidas torrenciales; previo a la zonificación de estas amenazas, se requirió realizar la caracterización fisiográfica y análisis hidrológico. Para la vulnerabilidad, se estudiaron los factores físico, institucional, operacional, técnico y económico del sistema de acueducto tal y como lo indica la herramienta metodológica de la MVCT y UNGRD (2014). La capacidad de respuesta, en concordancia a lo

establecido en las resoluciones 154 de 2014 y 527 de 2018, fue evaluada a partir del Plan de Emergencia y Contingencia (PEC) del prestador del servicio de acueducto. Finalmente, el riesgo se evaluó a partir del enfoque integral de la perspectiva sectorial de la prestación de los servicios públicos domiciliarios.

### **6.1. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES**

La evaluación de la amenaza ante deslizamientos fue realizada con base a la metodología del Servicio Geológico Colombiano SGC (2016), cuyo alcance establece la lluvia y sismo como factores detonantes para periodos de retorno de 20 años y 100 respectivamente. Así mismo, entendiendo que las condiciones particulares de la cuenca caracterizada por altos valores de pluviosidad, asociados a terrenos montañosos en ambientes tropicales desarrollan mecanismos de deslizamientos detonados por lluvias se evalúa la influencia de la precipitación como único detonante, aplicando el modelo conceptual SHIA\_Landslide (Simulación Hidrológica Abierta para deslizamientos detonados por lluvia) (Aristizábal, E., Vélez, J. y Martínez, H., 2016); aclarando que este modelo asocia un periodo de retorno de 20 años.

En cuanto a las Avenidas Torrenciales, en primer lugar, se optó por un método de análisis multicriterio propuesto por Saaty (1980), para la selección entre distintas alternativas de una serie de parámetros con características diferentes que influyen en la ocurrencia de este fenómeno. Esta comparación implica la utilización de una escala, lo que permite transformar aspectos cualitativos en cuantitativos facilitando la comparación entre las distintas alternativas y dando lugar a resultados objetivos y confiables. Cabe desatacar que este método consiste en valorar la consistencia de la alternativa para validarla como la mejor opción.

Con base a lo anterior, se obtiene el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales, que al ser procesado mediante algebra de mapas con la amenaza ante

deslizamientos, se obtuvo como resultado final la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos.

En la figura 6, se presenta el esquema metodológico del análisis de las amenazas estudiadas

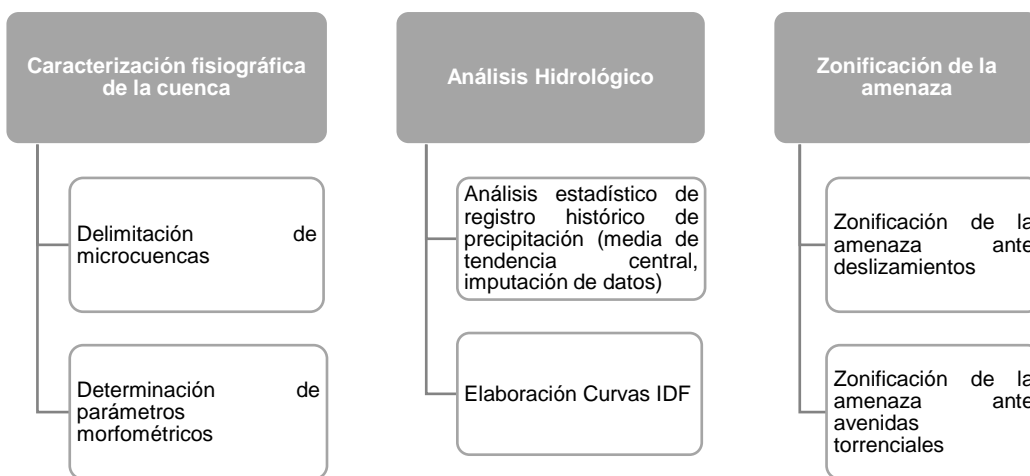


Figura 6. Esquema metodológico de la evaluación de la amenaza ante deslizamientos y avenidas torrenciales.

### 6.1.1 Caracterización Fisiográfica.

Se realiza para describir las características físicas del terreno relacionados con los parámetros altimétricos y sistema fluvial de la zona de estudio.

Paso 1: A partir del procesamiento del Mapa Digital de Elevaciones (MDE), se realizó la delimitación de microcuencas de la cuenca del río Mulato, se determina la caracterización fisiográfica de cada una de ellas y se localizan cada uno de los componentes del sistema Palmeras del acueducto.

Paso 2: Una delimitadas las microcuencas, se realizó el análisis de los parámetros de forma, relieve y asociados a la red de drenaje. Esto con el fin de identificar las características físicas de la cuenca tales como área, perímetro, longitud máxima, longitud del cauce principal, ancho de la cuenca y nivel altitudinal, factor forma, coeficiente de compacidad; cotas máxima y mínima, altitud media, pendiente e índice hipsométrico altitudinal, y a partir de ellos determinar los tiempos de concentración de cada una de ellas, correspondiente a la morfometría.

### **6.1.2 Análisis hidrológico.**

Paso 3: Se tomaron las secuencias continuas diarias de los valores de la precipitación registrada en las estaciones de análisis, disponibles en el Sistema de Información para la Gestión de Datos de Hidrología y Meteorología – DHIME del IDEAM. A partir de los registros diarios históricos con datos faltantes menores al 20%, se realizó la estimación de estos para el relleno de la serie diaria de la precipitación, a través de la imputación de valor faltante descompuesto estacionalmente también llamado método de estacionalidad (Moritz, 2019). Una vez completada y obtenida la serie continua de la precipitación diaria se calculó la precipitación media mensual multianual y la precipitación media anual para cada año de registro de las estaciones analizadas.

Paso 4: Se obtuvieron las curvas IDF, para determinar la intensidad de la precipitación determinada para un periodo de retorno de 20 años de acuerdo a lo indicado en la guía metodológica del SGC (2016) y el posterior cálculo de profundidad del nivel freático asociado directamente con la variabilidad de la lluvia infiltrada y su influencia en la inestabilidad del suelo.

### **6.1.3 Zonificación de la amenaza.**

Paso 5: Con la información secundaria disponible, se identificaron los mapas temáticos de la zonificación geológica- geomorfológica y parámetros geotécnicos

disponible en los informes técnicos realizados por la PUJ y UNGRD (2018), con el fin de determinar los factores condicionantes de la cuenca.

Paso 6: En concordancia a lo establecido en la guía metodología del SGC (2016), se determinaron la profundidad del nivel freático para un periodo de retorno de 20 años tal y como se menciona en el 4 y el efecto de la carga sísmica a partir del coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años, con el fin de determinar los factores detonantes.

Paso 7: Una vez obtenida la información de los factores condicionantes y detonantes, se obtuvo la zonificación de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias a través del cálculo del factor de seguridad asociado al modelo SHIA\_Landslide (Simulación Hidrológica Abierta para deslizamientos detonados por lluvia), entendiendo que las condiciones particulares de la cuenca caracterizada por altos valores de pluviosidad, asociados a terrenos montañosos en ambientes tropicales con influencia de la lluvia antecedente y conductividad hidráulica como mecanismo detonante en la ocurrencia de deslizamientos (Aristizábal, E., Vélez, J. y Martínez, H., 2016).

Paso 8. Así mismo, una vez conocidas las condiciones propias de la cuenca, la lluvia y sismos, se calculó el factor de seguridad para la zonificación de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos, en concordancia de lo establecido en la guía metodológica del SGC (2016).

Paso 9: Por otro lado, como primera medida en la evaluación de la amenaza ante avenidas torrenciales, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a través del análisis multivariado de variables propuesto por Saaty (1980), en donde se estudiaron los parámetros como suelo, deslizamientos, pendientes, torrencialidad, IVET, IHA y factor de forma determinado en la cuenca, sus unidades geológicas superficiales (UGS) y microcuencas. A partir de dicho análisis, conocido las características, mapas temáticos y orden jerárquico de cada parámetro, a través de un álgebra de mapas se obtiene el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales de la cuenca.

Paso 10. Una vez obtenido el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales, se procede a calcular la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias. Este cálculo fue realizado a partir del producto entre el mapa de susceptibilidad y mapa deslizamientos detonados por lluvias.

Paso 11. Una vez obtenido el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales, se procede a calcular la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos. Este cálculo fue realizado a partir del producto entre el mapa de susceptibilidad y mapa deslizamientos detonados por lluvias y sismos.

Paso 12. Se obtiene el valor promedio de la amenaza para la cuenca, a través del procesamiento de estadísticas zonales entre el mapa de amenaza de tipo ráster y mapa del área de la cuenca tipo vectorial.

Paso 13. Finalmente, se identifica la amenaza para el sistema de acueducto considerando la localización y exposición de cada componente y su peso ponderado dentro del sistema de acuerdo a su importancia. Una vez obtenida esa información se calcula el valor medio ponderado de la amenaza en el sistema de acueducto.

## 6.2. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA PALMERAS DEL ACUEDUCTO ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES

En la evaluación de la vulnerabilidad, se adoptó la metodología propuesta por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT y la Unidad Nacional de la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD (2014) relacionada en la figura 7. Dicha evaluación se realizó con base en la información secundaria: evaluación integral de Aguas Mocoa S.A E.S.P. (Superservicios, 2018) y Plan de Emergencia y Contingencia (Aguas Mocoa, 2018).

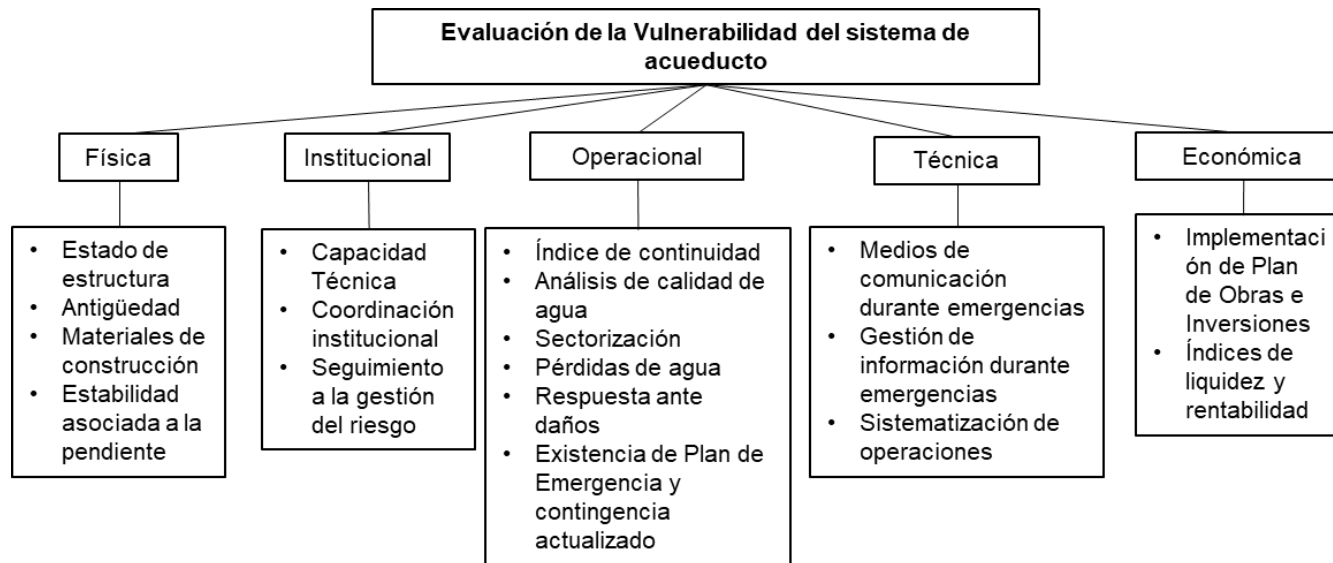


Figura 7. Esquema metodológico de la evaluación de la vulnerabilidad del sistema Palmeras del acueducto

Paso 1: Vulnerabilidad física: Se evalúa el estado, antigüedad, materiales de construcción y estabilidad de la infraestructura física, de cada uno de los elementos y del sistema total a través de una ponderación simple.

Paso 2: Vulnerabilidad institucional: se evalúa la capacidad institucional, empresarial y administrativa del sistema, asociada a la organización, experiencia y recursos en general.

Paso 3: Vulnerabilidad operacional: se evalúa la capacidad remanente para prestar el servicio de acueducto, analizando los componentes internos y externos de la empresa que prestan soporte a las actividades de operación y mantenimiento.

Paso 4: Vulnerabilidad técnica: se evalúa la capacidad técnica de construcción de la infraestructura básica utilizadas en áreas de riesgo como la capacidad de control y manejo de las tecnologías frente a los riesgos.

Paso 5: Vulnerabilidad económica: se evalúan los factores económicos como instrumentos financieros asociados a la disponibilidad de recursos que tiene la empresa para realizar las intervenciones necesarias en los procesos de la gestión del riesgo.

Una vez obtenidos los valores de cada uno de los componentes de la vulnerabilidad, con la sumatoria de ellos se determina la vulnerabilidad total del sistema, a través de características asignadas de acuerdo con el nivel alto, medio y bajo de vulnerabilidad.

### **6.3. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA ADOPTADO POR LA EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO**

En concordancia con la Resolución 154 de 2014, en donde se establece el desarrollo de Planes de Emergencia y Contingencia como instrumento para el manejo de emergencias asociado a la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, la metodología (figura 8) aplicada en la evaluación de la capacidad de respuesta fue la relacionada en la mencionada resolución y en la Herramienta

metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres (MVCT, UNGRD. 2014).

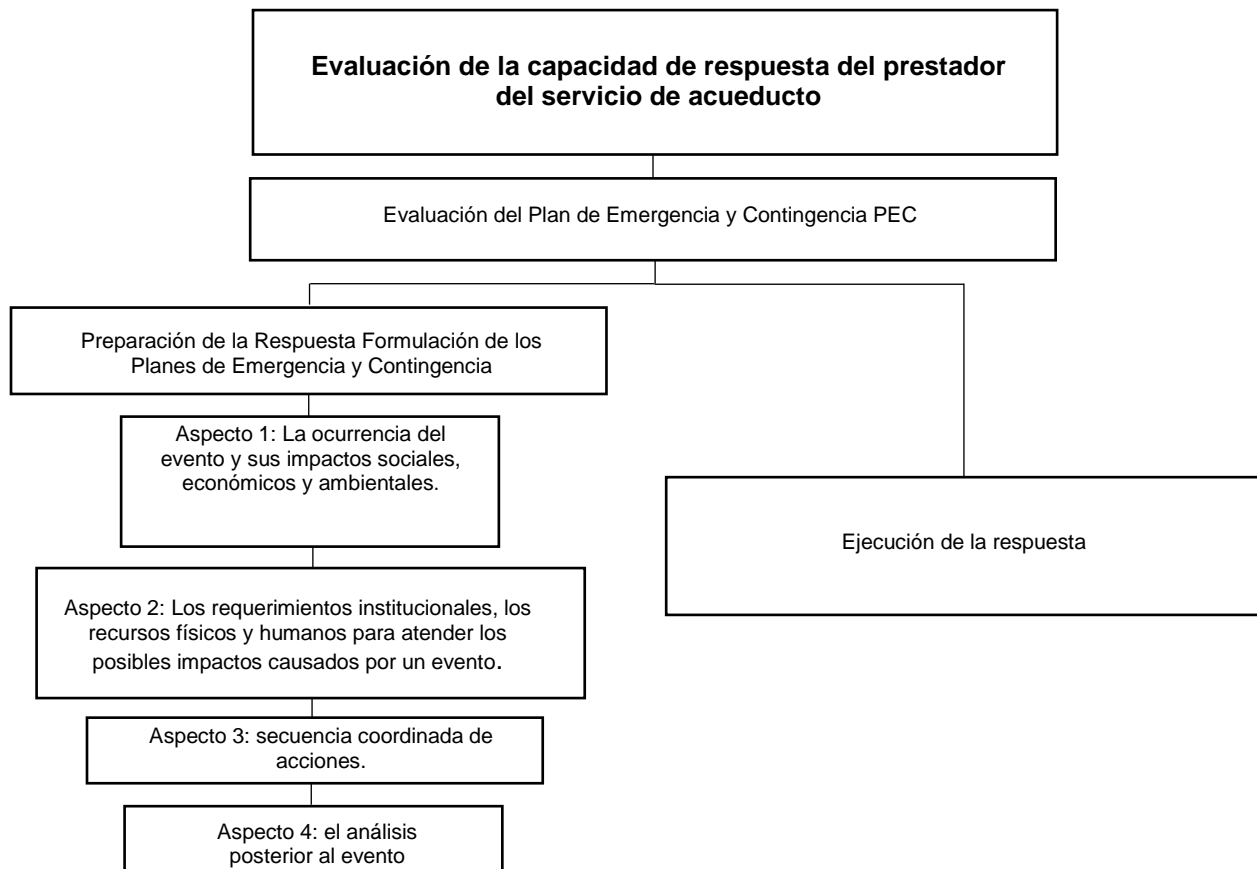


Figura 8. Esquema metodológico de la evaluación de la capacidad de respuesta del prestador del servicio de acueducto

De acuerdo con lo anterior, la capacidad de respuesta se determina con el resultado de la comparación de lo estipulado en la normatividad y lo implementado en el Plan de Emergencia y Contingencia adoptado por la empresa prestadora del servicio de acueducto; se asignan criterios de evaluación y nivel de capacidad de respuesta desde capacidad muy baja hasta capacidad muy alta, con un rango de valores de 1 a 5.

Paso 1: Se comparan lo contenido en los cuatro aspectos de la Preparación de la Respuesta y se obtiene su categoría de acuerdo a el rango adoptado del nivel de capacidad de respuesta.

Paso 2: Se confronta lo contenido en la ejecución de la respuesta del PEC y se analiza con lo establecido en la normatividad; con esto se establece el nivel de capacidad de respuesta.

Una vez obtenidos la capacidad de respuesta de la Preparación de la respuesta y la ejecución de la respuesta del PEC del prestador del servicio de acueducto, se realiza una ponderación simple y se obtiene la capacidad de respuesta del prestador del servicio.

Finalmente, bajo el enfoque integral de la gestión del riesgo de desastres que la herramienta metodología (MVCT, UNGRD. 2014) propone, la evaluación del riesgo se obtiene de la relación de los factores de la amenaza y vulnerabilidad sobre la capacidad de respuesta obtenidas.

#### **6.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES**

Para el análisis del riesgo, se analizan los factores amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta, a partir de unos criterios de evaluación del riesgo (figura 40) establecidos para la presente investigación. La amenaza cambia de acuerdo al enfoque territorial, al sistema de infraestructura de acueducto y cada componente del mismo. La vulnerabilidad y capacidad de respuesta del sistema de acueducto y prestados del servicio, no varían para los diferentes enfoques objeto del presente análisis.

Paso 1: Una vez conocido el nivel de amenaza para la cuenca, vulnerabilidad y capacidad de respuesta, se calcula el riesgo de la cuenca a partir de los criterios de evaluación establecidos.

Paso 2: Una vez conocido el nivel de amenaza para el sistema de acueducto, vulnerabilidad y capacidad de respuesta, se calcula el riesgo del sistema a partir de los criterios de evaluación establecidos.

Paso 3: Una vez conocido el nivel de amenaza para cada componente del sistema de acueducto, vulnerabilidad y capacidad de respuesta, se calcula el riesgo de cada componente del sistema a partir de los criterios de evaluación establecidos.

## RESULTADOS

### 7. AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES

#### 7.1. CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA

El estudio cuantitativo de las características físicas de la cuenca del río Mulato, fue realizado para analizar la red de drenaje, pendientes y forma de la cuenca del río Mulato a partir de cálculos numéricos, que permitieron hacer una aproximación de las condiciones reales de la misma y una estimación frente a los efectos de los eventos naturales ocurridos en el área de estudio.

La cuenca del río Mulato, obtenida a través del análisis del Mapa Digital de Elevaciones MDE o DEM (por sus siglas en inglés) Alos Palsar de resolución 12.5 x 12.5 metros, cauce principal y red hídrica, muestra en la figura 9.

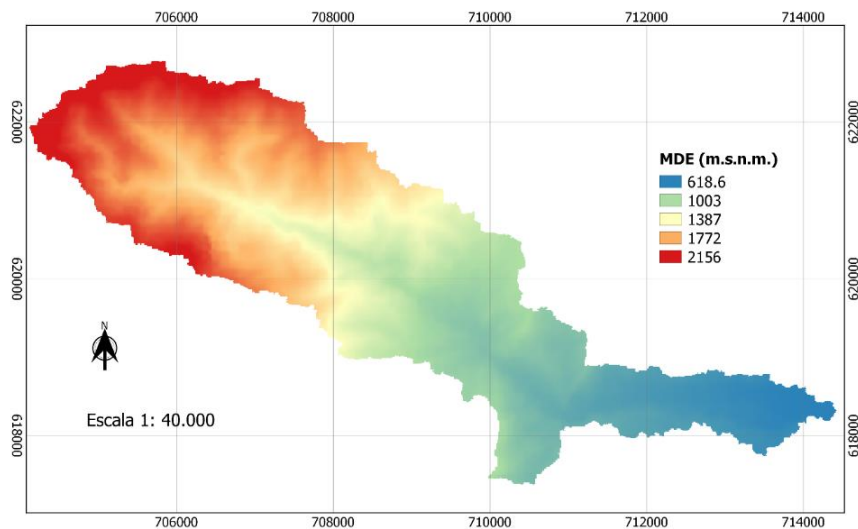


Figura 9. Mapa digital de elevaciones MDE Cuenca Mulato

La figura 9, muestra las altitudes de la cuenca del río Mulato. En esta se observan altitudes de la cuenca que en su parte más alta tiene una altura de 2359 msnm y en la desembocadura del río Mocoa tiene una altitud de 584 msnm.

Los drenajes de la cuenca tienen una longitud total de 54.5 Km. El río Mulato como cauce principal, posee una longitud de 10.2 km. De acuerdo con la jerarquización de los drenajes, la cuenca posee un orden de bifurcación 4, y a su vez, estos se clasifican en la tabla 10,

Tabla 10. Orden Esquemático del sistema fluvial cuenca Mulato

N. Orden	Cant	Longitud (Km)	Observaciones
1	69	31.9	
2	32	11.2	
3	5	1.2	
4	30	10.2	Cauce principal

### 7.1.1 Morfometría de la cuenca.

Los parámetros morfométricos generales de la cuenca del río Mulato se presentan a continuación (tabla 11):

Tabla 11. Parámetros Morfométricos Generales Cuenca Mulato

Parámetro	Símbolo	Valor
Área (Km <sup>2</sup> )	A	17.57
Perímetro (Km)	P	39.70
Longitud máxima (Km)	Lm	10.30
Longitud cauce principal (Km)	Lcp	10.25
Ancho de la cuenca (Km)	Ac	1.71
Desnivel altitudinal (m)	Da	1775

Los parámetros morfométricos asociados a la forma, se calculan mediante las fórmulas descritas a continuación (tabla 12):

Tabla 12. Parámetros morfométricos asociados a la forma

Parámetro	Fórmula	Ecuación	Donde	Símbolo	Valor	Descripción
Factor Forma (expresado por Horton)	$F = \frac{A}{L^2}$	(2)	A, Área de la cuenca; L, longitud máxima; K, coef de compacidad; P, perímetro cuenca	F	0.17	Muy alargada
Coefficiente de compacidad	$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$	(3)		K	2.65	Oval – Oblonga a rectangular

Los parámetros morfométricos asociados al relieve se obtuvieron en el procesamiento del MDE y se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Parámetros Morfométricos asociados al relieve Cuenca Mulato

Parámetro	Símbolo	Valor
Cota máxima (msnm)	Cmax	2359
Cota mínima (msnm)	Cmin	584
Altitud media (Km)	Alt med	1371
Pendiente media cuenca (°)	Smedia	25.20
Pendiente media cauce (°)	Smedc	16.73

### 7.1.2 Índice Hipsométrico Altitudinal (IHA).

La relación altitudinal de la cuenca Mulato se muestra en la tabla 14 y se determina mediante lo siguiente:

Tabla 14. Cálculo del índice hipsométrico altitudinal, Cuenca Mulato

Parámetro	Fórmula	Ecuación	Donde	Símbolo	Valor	Descripción
Índice hipsométrico altitudinal	$IH = \frac{Alt\ med - Alt\ min}{Alt\ máx - Alt\ min}$	(4)	Alt med, altitud media; Alt min, altitud mínima; Alt máx, altitud máxima de la cuenca	IHA	0.44	Curva Tipo B "aplanada"

El índice hipsométrico de la cuenca Mulato muestra que la curva hipsométrica es tipo B "aplanada" equilibrada o madura, con procesos geomorfológicos agradativos y degradativos balanceados con alta capacidad de carga con predominancia de drenajes dendríticos y distributarios.

### 7.1.3 Tiempo de concentración (Tc).

El valor promedio del tiempo de concentración Tc de la cuenca Mulato, se obtienen de la siguiente manera (tabla 15),

Tabla 15 .Cálculo del tiempo de concentración, Cuenca Mulato

Tc	Fórmula	Ecuación	Tc	Tc promedio	Donde
Témez	$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75}$	(5)	2.30	1.09	Tc, Tiempo de concentración (hrs); L, máx longitud de recorrido (Km); So, pendiente media de la cuenca (m/m); A = área de la cuenca (Km2); Lc, longitud del cauce principal (Km); Cm, máx cota del cauce ppal. (msnm); Cb, mín cota del cauce ppal. (msnm)
Kirpich	$T_c = 0.066 \left( \frac{L}{S_o^{0.5}} \right)^{0.77}$	(6)	0.61		
Giandiotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25.3\sqrt{L S_o}}$	(7)	0.55		
Ven T Chow:	$T_c = 0.8773 \left( \frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{C_m - C_b}} \right)^{0.64}$	(8)	0.92		

Las ecuaciones de tiempo de concentración promedio muestran que, para la cuenca Mulato, se tiene un valor de Tc = 1.09 horas.

#### 7.1.4 Delimitación de Microcuencas.

En el proceso de delimitación de las microcuencas de la cuenca del río Mulato, se identificaron 23 microcuencas. Estas fueron nombradas de acuerdo con los nombres de veredas, barrios y drenajes cercanos; estas se muestran en la figura 10,

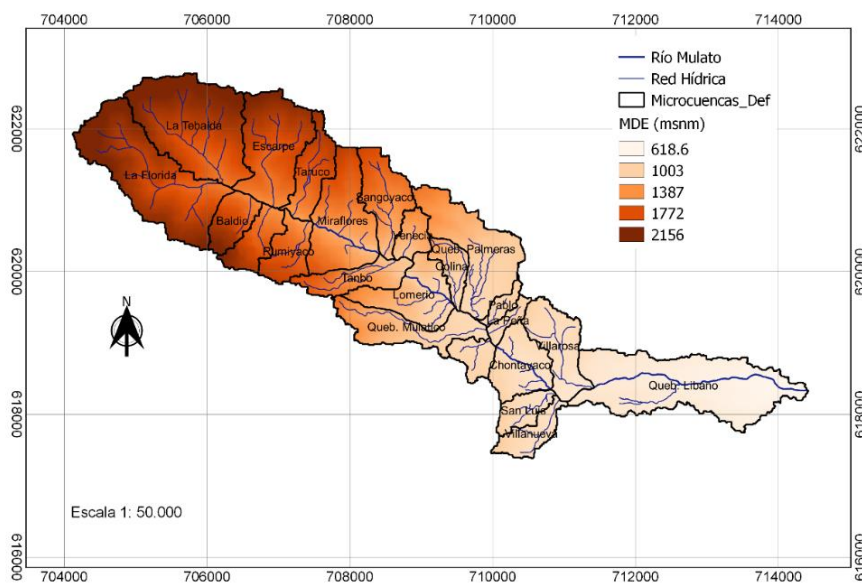


Figura 10. Microcuencas cuenca Río Mulato

#### **7.1.5 Morfometría de microcuencas.**

Los parámetros morfométricos generales y asociados a la forma de las microcuencas se presentan en la tabla 16; los parámetros asociados al relieve y tiempo de concentración se muestran en la tabla 17.

Tabla 16. Parámetros Morfométricos generales y asociados a la forma de las microcuencas río Mulato

Microcuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Perím (Km)	Long máx (Km)	Long Cauce Ppal. (Km)	Ancho cuenca (Km)	Factor Forma		Coef. Compacidad	
						Valor	Descripción	Valor	Descripción
Líbano	2,26	12,04	3,73	3,21	0,67	0,22	Alargada	2,24	Rectangular
Villarosa	0,71	4,91	1,87	1,19	0,46	0,20	Muy alargada	1,63	Oblonga o rectangular
Chontayaco	0,67	3,82	1,08	1,04	0,63	0,57	Ligeramente ensanchada	1,31	Ovalada
Villanueva	0,35	4,11	1,38	1,03	0,34	0,18	Muy alargada	1,95	Rectangular
San Luis	0,3	2,95	1,08	0,96	0,3	0,26	Alargada	1,51	Oblonga o rectangular
Diviso	0,28	2,81	0,77	0,59	0,42	0,47	Ligeramente ensanchada	1,49	Ovalada
La Peña	0,15	2,3	0,84	0,63	0,19	0,21	Muy alargada	1,66	Oblonga o rectangular
Pablo	0,14	2,58	0,98	0,55	0,18	0,15	Muy alargada	1,93	Rectangular
Colina	0,3	3,23	1,44	1,39	0,29	0,14	Muy alargada	1,65	Oblonga o rectangular
Lomerío	0,8	5,1	1,87	1,32	0,49	0,23	Alargada	1,60	Oblonga o rectangular
Palmeras	1,25	7,46	2,68	1,49	0,84	0,17	Alargada	1,87	Rectangular
Mulatico	0,8	7,1	2,64	2,48	0,43	0,11	Alargada	2,22	Rectangular
Venecia	0,27	2,88	0,84	0,52	0,36	0,38	Ni alargada ni ensanchada	1,55	Oblonga o rectangular
Tanbo	0,52	4,74	1,78	1,56	0,34	0,16	Muy alargada	1,84	Rectangular
Sangoyaco	0,7	5,45	1,81	1,34	0,45	0,21	Muy alargada	1,82	Rectangular
Miraflores	1,19	5,8	2,19	1,15	0,78	0,25	Alargada	1,49	Ovalada
Espinaso	0,43	4,28	1,53	0,74	0,4	0,18	Muy alargada	1,83	Rectangular
Rumiyaco	0,46	3,98	1,28	0,91	0,44	0,28	Alargada	1,64	Oblonga o rectangular
Taruco	0,55	5,28	1,74	1,38	0,37	0,18	Muy alargada	1,99	Rectangular
Escarpe	1,25	6,73	1,98	1,39	0,75	0,32	Ligeramente alargada	1,69	Oblonga o rectangular
Baldío	0,41	3,29	1,06	0,6	0,42	0,36	Ligeramente alargada	1,44	Ovalada
Tebaida	1,85	7,82	2,44	1,74	1	0,31	Ligeramente alargada	1,61	Oblonga o rectangular
Florida	1,95	9,56	2,6	2,22	1,27	0,29	Alargada	1,92	Rectangular

Tabla 17. Parámetros Morfométricos asociados al relieve y tiempos de concentración de las microcuencas río Mulato

Microcuenca	Cota máx	Cota mín	Altitud med	IHA (Tipo Cuenca)	Pend. med (°)	Pend med cauce (°)	Tc (h)
Libano	892	584	697.9	Equilibrada	8.95	0.67	0.66
Villarosa	994	745	863.8	Equilibrada	12.11	0.46	0.35
Chontayaco	993	795	876.8	Equilibrada	14.94	0.63	0.28
Villanueva	1019	785	880.2	Equilibrada	15.02	0.34	0.28
San Luis	1005	789	887.4	Equilibrada	15.95	0.30	0.24
Diviso	970	878	933.5	Erosiva	10.32	0.42	0.23
La Peña	994	874	937.5	Equilibrada	13.08	0.19	0.21
Pablo	1016	885	948.1	Equilibrada	12.01	0.18	0.22
Colina	1293	910	1062.3	Equilibrada	21.47	0.29	0.25
Lomerío	1549	921	1103.2	Sedimentaria	24.82	0.49	0.30
Palmeras	1563	892	1113.1	Sedimentaria	17.85	0.84	0.39
Mulatico	1592	878	1119.3	Sedimentaria	22.06	0.43	0.36
Venecia	1444	1050	1236.9	Equilibrada	30.07	0.36	0.16
Tanbo	1815	1026	1373.8	Equilibrada	33.20	0.34	0.24
Sangoyaco	1863	1077	1488.6	Equilibrada	30.11	0.45	0.25
Miraflores	1922	1112	1479.0	Equilibrada	35.70	0.78	0.28
Espinaso	2192	1357	1279.0	Equilibrada	36.57	0.40	0.20
Rumiyaco	1945	1258	1644.0	Equilibrada	32.40	0.44	0.20
Taruco	2041	1306	1711.8	Equilibrada	29.86	0.37	0.24
Escarpe	2189	1368	1803.8	Equilibrada	33.09	0.75	0.27
Baldío	2221	1412	1807.1	Equilibrada	39.74	0.42	0.16
Tebaida	2321	1504	1948.6	Equilibrada	32.18	1.00	0.31
Florida	2359	1488	1960.8	Equilibrada	34.11	1.27	0.33

## 7.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Asumiendo los efectos de la precipitación como factor detonante en la ocurrencia de deslizamientos y avenidas torrenciales en la cuenca Mulato, se requirió un análisis de los registros de la precipitación con el fin de obtener la precipitación efectiva o escorrentía y los caudales de la oferta hídrica de la zona estudiada; así mismo, la precipitación infiltrada o abstracciones para el cálculo de la tabla de profundidad de nivel freático asociado a este parámetro.

### 7.2.1 Estaciones Climatológicas.

Los datos hidrológicos para la cuenca Mulato, se obtuvieron a través de la serie histórica de la precipitación. La información corresponde a datos de estaciones activas del municipio de Mocoa cercanas a la cuenca (tabla 18), con registros de información hidrometeorológica, relacionadas a continuación:

Tabla 18. Estaciones activas cuenca Mulato

DESCRIPCIÓN	N. 1	N. 2
Nombre	Mocoa Acueducto [44015040]	Campucana [44010030]
Tipo	Convencional	Convencional
Clase	Meteorológica	Meteorológica
Categoría	Climática Principal	Pluviométrica
Estado	Activa	Activa
Altitud	650	1400
Corriente	Caquetá	Caquetá
Fecha de instalación	15/04/1983	15/11/1977

Fuente: Tomado y adaptado de Ideam (2018)

Con la información consultada de estas estaciones, corresponden a datos de clasificación meteorológica; la estación de Mocoa se encuentra suspendida desde el año 1979. No existen estaciones limnigráficas para el Río Mulato.

### Estaciones de Análisis.

Para el análisis de la información se tomaron las secuencias continuas diarias de los valores de la precipitación registrada en las estaciones Mocoa Acueducto y Campucana (tabla 18) durante los periodos comprendidos entre 1982 – 2018 y 1977 – 2018

respectivamente, disponibles en el Sistema de Información para la Gestión de Datos de Hidrología y Meteorología – DHIME del IDEAM. A partir de los registros diarios históricos con datos faltantes menores al 20%, se realizó la estimación de datos faltantes para el relleno de la serie diaria de la precipitación a través de la imputación del valor faltante descompuesto estacionalmente también llamado método de estacionalidad.

Una vez completada y obtenida la serie continua de la precipitación diaria se calculó la precipitación media mensual multianual (anexo 1) y finalmente con las medias mensuales se determinó la precipitación acumulada anual para cada año de registro de las estaciones analizadas, representada en las figuras 11 y 12.

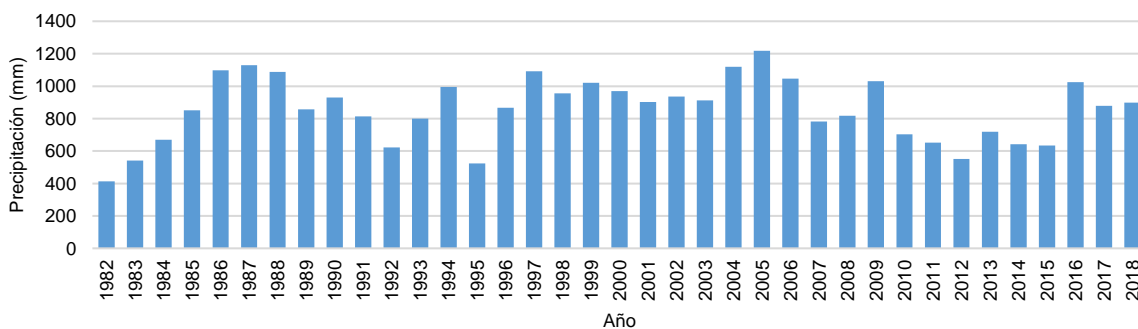


Figura 11. Histograma de precipitación, Estación Acueducto-Mocoa

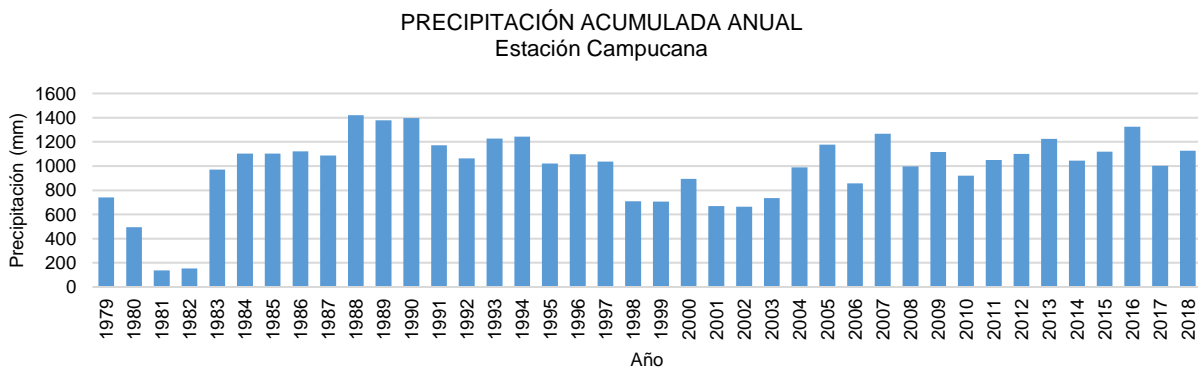


Figura 12. Histograma de precipitación, Estación Campucana

En las figuras anteriores se evidenció que la estación Campucana presenta el mayor registro con una precipitación media multianual de 991 mm/año, comparada con Mocoa

Acueducto con 855 mm/año. Los años donde se presentaron la mayor precipitación anual fueron en el 1998 y 2005 en las estaciones Campucana y Mocoa Acueducto con 1419 mm y 1218 mm, respectivamente.

Por otro lado, se analizó la distribución temporal de la precipitación de las estaciones de la cuenca Mulato (figura 13), muestran un régimen de tipo unimodal de la precipitación presentando un periodo húmedo en los meses mayo, junio y julio. Del periodo estudiado, se encontró que el mes de junio es el más húmedo en las dos estaciones con una precipitación media de 120 mm y los meses de diciembre y enero fueron los más secos con una precipitación aproximada de 50 mm.

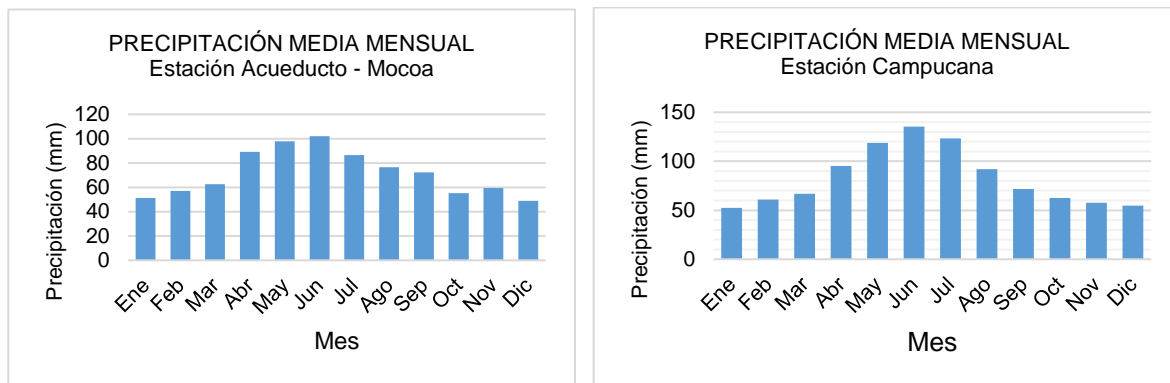


Figura 13 .Distribución temporal estaciones analizadas

### 7.2.2 Curvas IDF.

Con base en las precipitaciones máximas cada 24 horas para diferentes periodos de retorno, se calculan las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF para cada estación, al método simplificado al no disponer de datos históricos pluviográficos.

Para el cálculo de la intensidad, la correlación se obtiene con la siguiente expresión,



$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{(t/60)^c} \quad (9)$$

Donde:

- i = Intensidad de precipitación (mm/h)
- T = Periodo de retorno (años)
- M = Precipitación máx promedio anual en 24h a nivel multianual
- t= Duración de la lluvia (min)
- a, b, c, d= Parámetros de ajuste de la regresión

Para el municipio de Mocoa, los parámetros a, b, c y d son los asignados para la región Andina (R1). Los valores de M son de 125.90 mm y 161.99 mm para las estaciones Acueducto-Mocoa y Campucana respectivamente. Los cálculos de las intensidades de las estaciones Acueducto Mocoa y Campucana se relacionan en el anexo 2.

A partir de estos datos, se obtuvieron las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de las estaciones analizadas, para diferentes periodos de retorno como se muestran en las figuras 14 y 15.

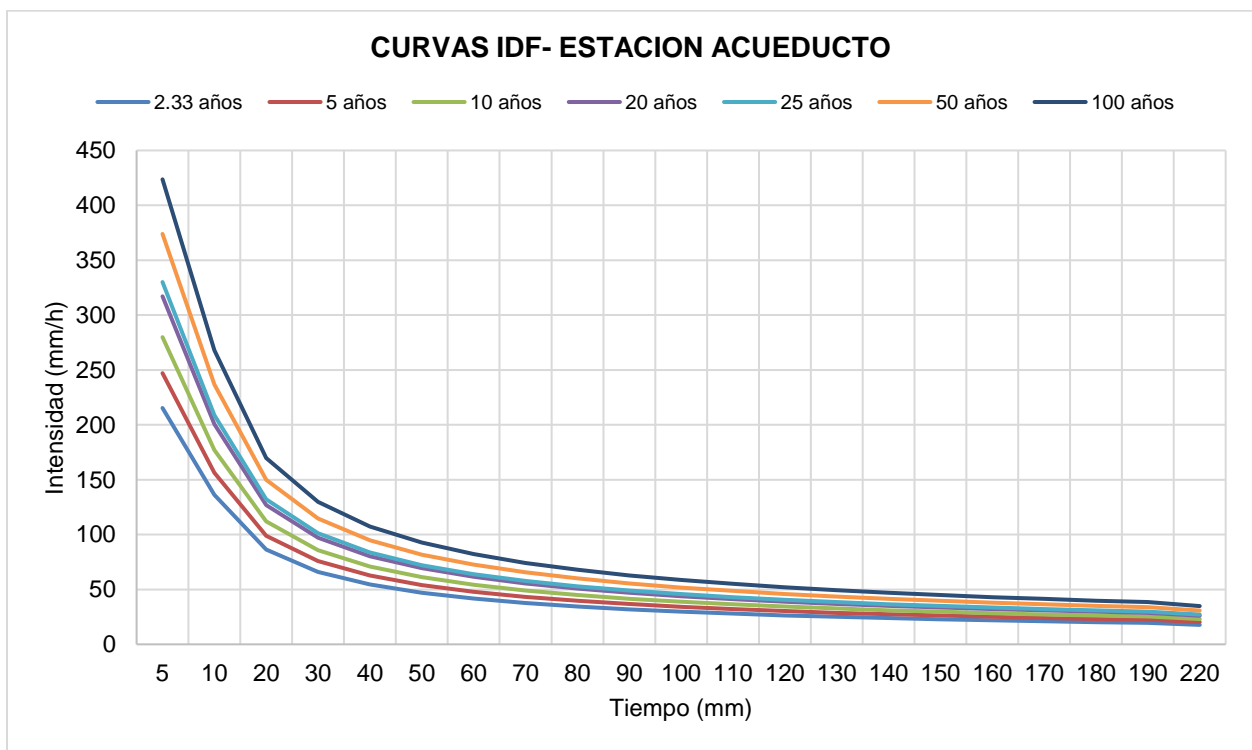


Figura 14. Curvas IDF Estación Mocoa - Acueducto

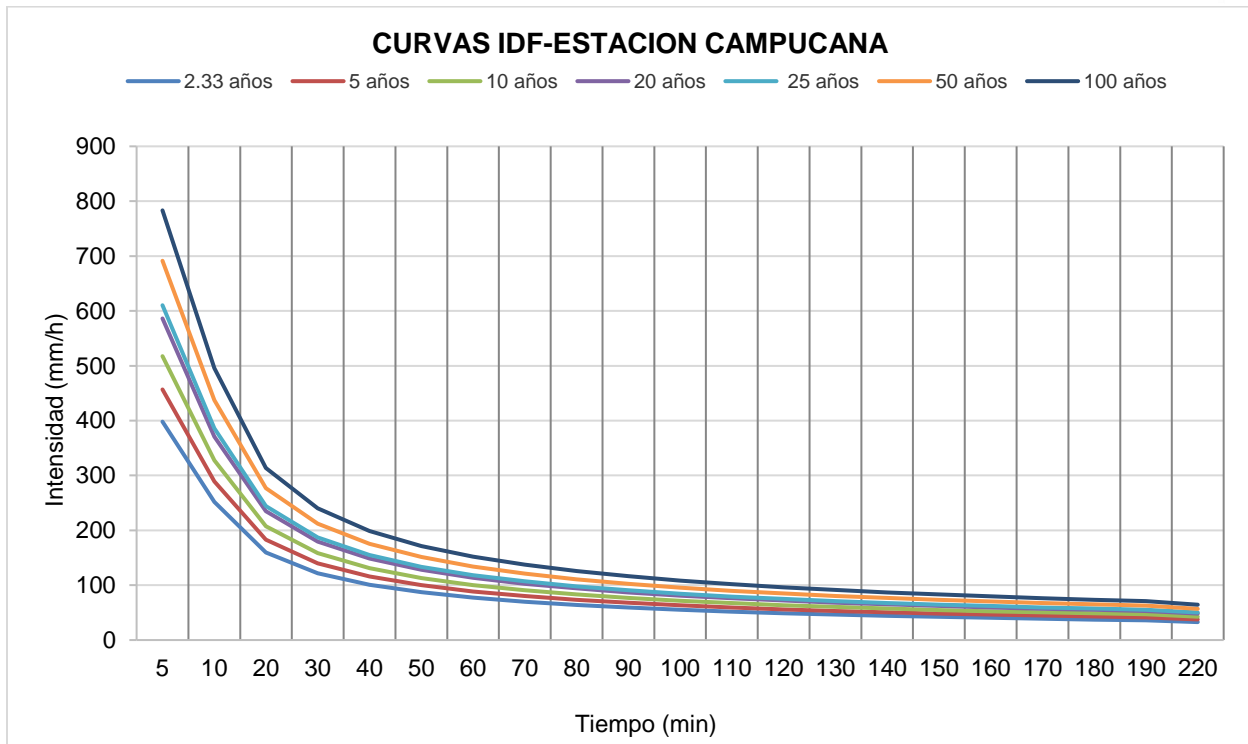


Figura 15. Curvas IDF Estación Campucana

### 7.3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES

En el estudio básico se definieron los factores condicionantes, identificando el Modelo Digital de Elevaciones MDE (figura 9), la zonificación geológica y geomorfológica (figura 16) y la definición de los parámetros geotécnicos de las unidades geológicas superficiales (tabla 22) de la cuenca del río Mulato. Finalmente, en el análisis de la amenaza se integraron las variables que inciden en los procesos de inestabilidad considerando como agentes detonantes lluvia y sismo. La zonificación de la amenaza se definió a partir del factor de seguridad para cada unidad de cálculo como el tamaño de la celda del pixel con una resolución de 12.5 x 12.5 metros.

Los criterios de clasificación de la amenaza ante deslizamientos se relacionan a continuación (tabla 19),

Tabla 19. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento

Nivel de Amenaza	Factor de Seguridad	Color en el mapa
Alta	< 1.1	Rojo
Media	1.1 – 1.5	Amarillo
Baja	> 1.5	Verde

Fuente: SGC (2017)

Para la zonificación de la amenaza, en primer lugar, se obtuvieron los mapas de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y deslizamientos detonados por lluvias y sismos; por otro lado, se obtuvo el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales; y finalmente los mapas de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y avenidas torrenciales y amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos y, avenidas torrenciales.

En la evaluación de la amenaza en la cuenca, especialmente en el análisis de susceptibilidad a avenidas torrenciales, se requiere clasificar la cuenca por sus redes tributarias y delimitarla en microcuencas, las cuales se agrupan en sectores alto, medio y bajo, respectivamente, como se muestra a continuación (tabla 20).

Tabla 20. Clasificación Cuenca Mulato según sector

Sector	Alto	Medio	Bajo
Microcuenca	Florida, Tebaida, Baldío, Escarpe, Espinaso, Taruco, Rumiyaco, Miraflores	Tambo, Sangoyaco, Venecia, Lomerío, Colina, Mulatico, Palmeras, Diviso, Pablo, La Peña	Chontayaco, San Luis Villanueva, Villarosa, Líbano.
Área (Km2)	8.08	5.20	4.30

### 7.3.1 Factores Condicionantes.

De acuerdo a lo establecido en la guía metodológica del SGC (2016), los factores condicionantes analizados son la Zonificación geológica – geomorfológica, pendientes y parámetros geotécnicos.

#### 7.3.1.1 Zonificación geológica – geomorfológica.

Para la zonificación geológica, se obtuvo la Plancha 430 Mocoa del SGC, se delimitó la cuenca del Mulato y se identificaron las unidades litoestratigráficas de la zona. Así mismo, se obtuvo la información de las unidades geológicas superficiales (PUJ y UNGRD, 2017) del municipio de Mocoa y la información geológica y geotécnica, permitiendo caracterizar geomecánicamente los materiales del suelo. En la figura 16, se identifica la zonificación geológica de la cuenca del Mulato.

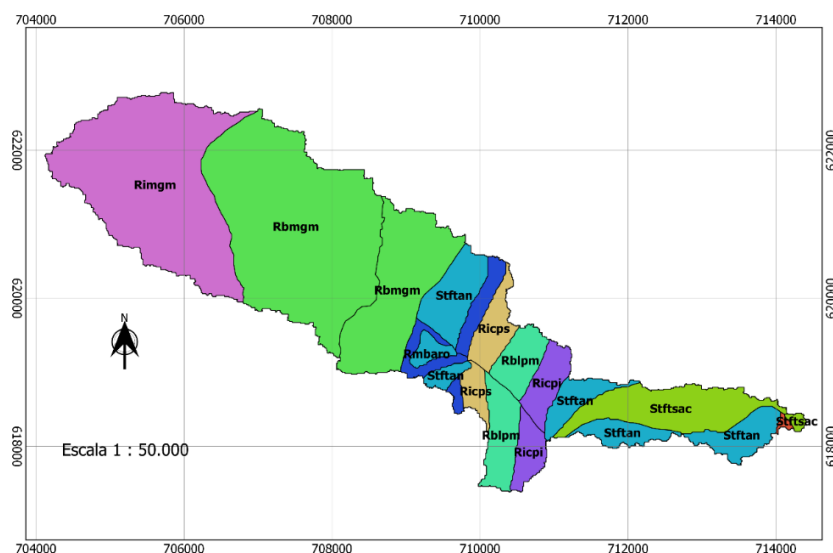


Figura 16. Zonificación geológica Cuenca Mulato. Tomado y adaptado de PUJ y UNGRD, 2017

En las unidades geológicas de la cuenca Mulato, predomina la formación Monzogranito de Mocoa con suelos de baja (Rbmgm, 39.1%) e intermedia calidad (Rimgm 24.3%). En la tabla 21, se menciona cada unidad geológica y su descripción.

Tabla 21. Caracterización unidades geológicas Cuenca Mulato

Unidad Geológica Superficial (Ugs)	Unidad Geológica para Ingeniería (UGI)	Textura	Unidad Geológica (UG)	Roca
Stftan	Coluvios	Matriz arcillosa y lodosa	Q2c	Sedimentaria
Rmbaro	Grupo Orito	Sucesión monótona de limolitas, lodolitas, y sublitoarenitas	E3N1or	Sedimentaria
Stftan	Coluvios	Matriz arcillosa y lodosa	Q2c	Sedimentaria
Stftan	Coluvios	Matriz arcillosa y lodosa	Q2c	Sedimentaria
Rmbaro	Grupo Orito	Sucesión monótona de limolitas, lodolitas, y sublitoarenitas	E3N1or	Sedimentaria
Rmbaro	Grupo Orito	Sucesión monótona de limolitas, lodolitas, y sublitoarenitas	E3N1or	Sedimentaria
Ricps	M. Superior Formación Pepino	Estratos gruesos y muy gruesos de conglomerados (lodolitas y limolitas)	E2E3pes	Sedimentaria
Rblpm	M. Medio Formación Pepino	Estratos medios y delgados (lodolitas y arenitas cuarzosas de grano medio)	E2E3pem	Sedimentaria
Ricpi	M. Inferior Formación Pepino	Estratos gruesos de conglomerados, litoarenitas y lodolitas limosas	E2E3pei	Sedimentaria
Ricps	M. Superior Formación Pepino	Estratos gruesos y muy gruesos de conglomerados (lodolitas y limolitas)	E2E3pees	Sedimentaria
Rblpm	M. Medio Formación Pepino	Estratos medios y delgados (lodolitas y arenitas cuarzosas de grano medio)	E2E3pem	Sedimentaria
Ricpi	M. Inferior Formación Pepino	Estratos gruesos de conglomerados, litoarenitas y lodolitas limosas	E2E3pei	Sedimentaria
Stftsac	Aluviones	Gravas, arenas, limos y lodos	Q2al	Sedimentaria
Stftan	Coluvios	Matriz arcillosa y lodosa	Q2c	Sedimentaria
Stftan	Coluvios	Matriz arcillosa y lodosa	Q2c	Sedimentaria
Stftan	Coluvios	Matriz arcillosa y lodosa	Q2c	Sedimentaria
Rblv	Formación Villeta	Estratos medios a gruesos, lodolitas y cuarzoarenitas	K2v	Sedimentaria
Stftsac	Aluviones	Gravas, arenas, limos y lodos	Q2al	Sedimentaria
Rbmgm	Monzogranito de Mocoa baja Calidad	Franco arcillo limosa	Jmgmoc	Ignea
Rbmgm	Monzogranito de Mocoa baja Calidad	Franco arcillo limosa	Jmgmoc	Ignea
Rimgm	Monzogranito de Mocoa de intermedia Calidad	Franco arcillo limosa	Jmgmoc	Ignea

Tomada y adaptada de PUJ y UNGRD (2018)

### 7.3.1.2 Pendientes.

La pendiente de la cuenca se obtuvo a través del procesamiento MDE, asignando un valor de pendiente para cada pixel del ráster como unidad de cálculo, presentándose en el área estudiados valores medios y máximos del 25.20° y 78.25° (figura 17).

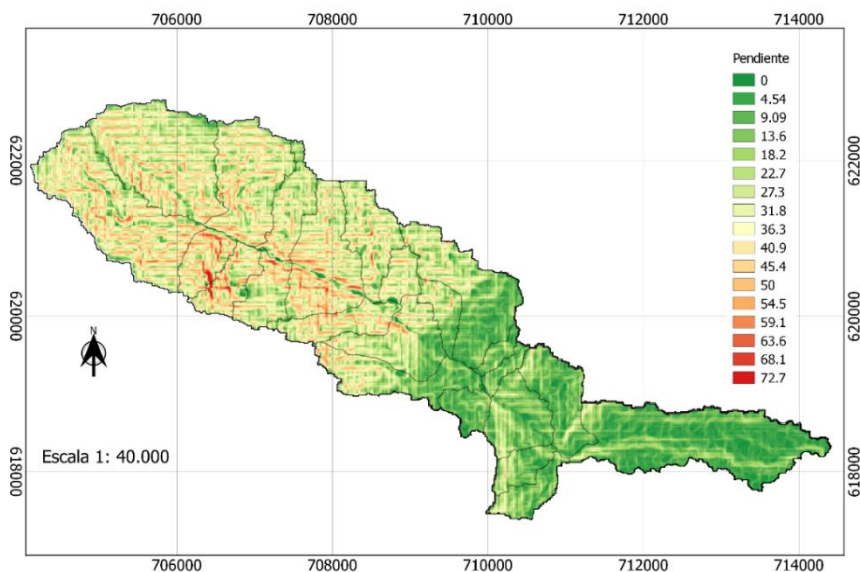


Figura 17. Mapa de Pendientes Cuenca Mulato

### 7.3.1.3 Parámetros geotécnicos.

En la definición de parámetros geotécnicos de la cuenca, se tuvo en cuenta la información definida por la PUJ y UNGRD (2017) para las unidades homogéneas de las UGS en el municipio de Mocoa. En la Tabla 22, se relaciona la información mencionada.

Tabla 22. Parámetros Geotécnicos Cuenca Mulato

CodUgs	UGI	Z (m)	$\gamma$ (Kn/m3)	C' (KPa)	Fricción (°)
Stftan	Coluvios	0,5	18	45	33
Rmbaro	Grupo Orito	1,0	15	15	28
Stftan	Coluvios	0,5	18	45	33
Stftan	Coluvios	0,5	18	45	33
Rmbaro	Grupo Orito	1,0	15	15	28
Rmbaro	Grupo Orito	1,0	15	15	28
Ricps	M. Superior Formación Pepino	1,0	16	7	14
Rblpm	M. Medio Formación Pepino	2,0	15	65	28

Ricpi	M. Inferior Formación Pepino	1,0	17	30	20
Ricps	M. Superior Formación Pepino	1,0	16	7	14
Rblpm	M. Medio Formación Pepino	2,0	15	65	28
Ricpi	M. Inferior Formación Pepino	1,0	17	30	20
Stftsac	Aluviones	0,5	18	25	33
Stftan	Coluvios	0,5	18	45	33
Stftan	Coluvios	0,5	18	45	33
Stftan	Coluvios	0,5	18	45	33
Rblv	Formación Villeta	1,5	15	10	10
Stftsac	Aluviones	0,5	18	25	33
Rbmgm	Monzogranito de Mocoa baja Calidad	1,7	13	10	20
Rbmgm	Monzogranito de Mocoa baja Calidad	1,7	13	10	20
Rimgm	Monzogranito de Mocoa de intermedia Calidad	0,5	13	100	19

Tomada y adaptada de PUJ y UNGRD (2018)

### 7.3.2 Factores Detonantes.

Los factores detonantes analizados, de acuerdo al SGC (2016). Son la lluvia asociada a la profundidad del nivel freático y los sismos.

#### 7.3.2.1 Lluvia.

Para determinar la influencia de la lluvia como factor detonante para la ocurrencia de deslizamientos, es necesario calcular la tabla de profundidad de agua asociada a un periodo de retorno, siendo este un condicionante de estabilidad. La variabilidad del nivel freático está relacionada con la variabilidad de la lluvia acumulada para largos periodos el cual se espera que ocurrirá la falla, ya que no se cuentan con registros de nivel freático levantados sistemáticamente; la experiencia sugiere utilizar un periodo de retorno de 20 años (SGC, 2016).

En el análisis de la precipitación, se tuvo en cuenta la fracción de lluvia que se infiltra tomando en cuenta la vegetación y suelo superficial. Mediante el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos SCS del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. La lluvia infiltrada se obtiene a través de las ecuaciones:

Donde:

$$P_i = P - P_e \quad (13)$$

$$P_i = I_a - F_a \quad (14)$$

$P_i$  = Precipitación infiltrada (mm)

$P$  = Precipitación (mm)

$P_e$  = Precipitación efectiva (mm)

$I_a$  = Abstracciones iniciales (mm)

$F_a$  = Abstracción continuada (mm)

### 7.3.2.1.1 Clasificación de los suelos de la unidad geotécnica.

La cobertura y uso del suelo está relacionado con la estimación del número de curva CN del método de lluvia – escorrentía del SCC. El valor del CN depende de la cobertura y uso del suelo y la clasificación hidrológica del suelo superficial.

En la cobertura de suelo clasificada según la metodología Corine Land Cover desarrollado por el Ideam, en la cuenca predomina el bosque denso seguido del mosaico de pastos con espacios naturales, vegetación secundaria de transición, pastos limpios, tejido urbano continuo y ríos (figura 18).

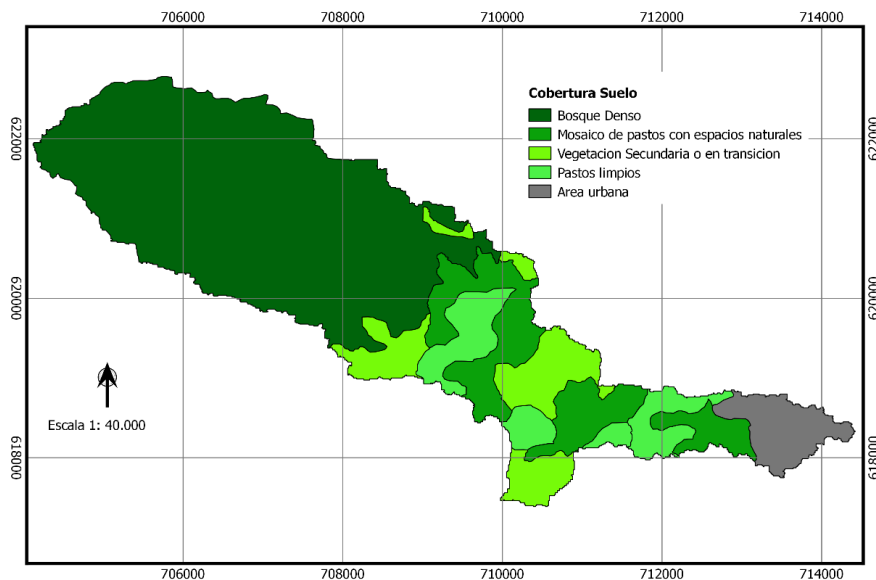


Figura 18 . Mapa de cobertura de suelo Cuenca Mulato. Fuente PUJ y UNGRD, 2017

Sin embargo, el estudio de coberturas específico para la cuenca Mulato, relaciona la siguiente distribución de coberturas (tabla 23),

Tabla 23. Coberturas de suelo cuenca Mulato

Cobertura	Área (Km2)	Porcentaje (%)
Bosque abierto	1.16	6.59
Bosque Natural denso	10.42	59.24
Bosque natural fragmentado	0.03	0.18
Bosque ripario	0.70	3.98
Mosaico de pastos con especies naturales	0.15	0.85
Pastos enmalezados	0.88	5.00
Pastos limpios	1.28	7.28
Río	0.09	0.51
Tejido urbano continuo	0.69	3.92
Tejido urbano discontinuo	0.67	3.81
Tierras desnudas y degradadas	0.08	0.45
Vegetación secundaria o en transición	1.44	8.19
Total	17.59	100

Fuente: Calvache (2016)

De acuerdo a la tabla de CN, para grupos hidrológicos y la cobertura de suelo de la cuenca del Mulato, la clasificación de grupos hidrológicos el 56.52% corresponden al grupo A, 4.35% grupo B y 39.13% grupo C. El número de curva CN ponderado se calcula en la Tabla 24.

Tabla 24. Cálculo de CN para grupos hidrológicos de suelos en la cuenca del Mulato

Uso de suelo	Grupo hidrológico de suelo									
	56.52% * A			4.35% * B			39.13% * C			
	%	CN	CN pond	%	CN	CN pond	%	CN	CN pond	
Bosques cubierta buena	37,45	25	9,36	2,88	55	1,59	25,93	70	18,15	
Bosque cubierta fragmentados	0,03	45	0,02	0,00	66	0,00	0,02	77	0,02	
Tejido continuo	2,22	41	0,91	0,17	41	0,07	1,54	41	0,63	
Tejido discontinuo	2,18	41	0,89	0,17	41	0,07	1,51	41	0,62	
Pastizales	4,86	49	2,38	0,37	69	0,26	3,36	79	2,66	
Vegas de ríos y prad.	7,07	30	2,12	0,54	58	0,32	4,89	71	3,47	
Tierra cultivada	2,71	72	1,95	0,21	81	0,17	1,88	88	1,65	
		Σ =	17,63		Σ =	2,47		Σ =	27,20	
		CN (II) = CN(A) + CN(B) + CN(C)						CN(II)= 47.30		

Se calcula el valor del CN(III) para condiciones húmedas y la retención potencial máxima S,

$$CN(III) \quad CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (15) \quad CN(III) = 67.37$$

$$\text{Retención potencial} \quad S = \frac{1000}{CN(III)} - 10 \quad (16) \quad S = 123.04 \text{ mm}$$

Las abstracciones iniciales, se calculan a partir de la retención potencial:

$$I_a = 0.2 S$$

$$I_a = 24.6$$

Finalmente, se calculan las abstracciones continuadas y precipitaciones infiltradas en la tabla 25, para todo el periodo del registro de la precipitación disponible de la estación Campucana al ubicarse esta en una cota que no excede los 500 metros de la cabecera del municipio de Mocoa (SGC, 2017).

Tabla 25. Cálculo de precipitación infiltrada para la cuenca Mulato

Año	Precipitación Acumulada (mm)	Abstracciones iniciales $I_a$	Abstracciones continuadas $F_a$	Precipitación Efectiva PE	Precipitación infiltrada PI	$\frac{F_a + P_i}{2}$ (17)
1982	413,93	24,61	93,49	349,55	64,38	78,93
1983	540,94	24,61	99,36	475,54	65,40	82,38
1984	668,79	24,61	103,31	602,74	66,05	84,68
1985	850,06	24,61	107,08	783,42	66,64	86,86
1986	1097,49	24,61	110,38	1030,35	67,14	88,76
1987	1129,69	24,61	110,71	1062,50	67,19	88,95
1988	1088,56	24,61	110,28	1021,43	67,13	88,71
1989	856,36	24,61	107,18	789,70	66,66	86,92
1990	930,53	24,61	108,32	863,69	66,84	87,58
1991	814,53	24,61	106,46	747,98	66,55	86,50
1992	621,55	24,61	102,01	555,71	65,84	83,93
1993	799,59	24,61	106,18	733,08	66,51	86,34
1994	995,75	24,61	109,20	928,78	66,97	88,08
1995	523,22	24,61	98,69	457,93	65,29	81,99
1996	866,69	24,61	107,35	800,00	66,69	87,02
1997	1091,84	24,61	110,32	1024,70	67,14	88,73
1998	954,77	24,61	108,66	887,88	66,89	87,78
1999	1021,26	24,61	109,52	954,24	67,02	88,27
2000	969,30	24,61	108,86	902,38	66,92	87,89

2001	901,45	24,61	107,90	834,68	66,77	87,33
2002	936,06	24,61	108,40	869,21	66,85	87,63
2003	911,34	24,61	108,04	844,55	66,79	87,42
2004	1119,74	24,61	110,61	1052,56	67,18	88,89
2005	1217,80	24,61	111,54	1150,48	67,32	89,43
2006	1046,95	24,61	109,82	979,89	67,06	88,44
2007	782,34	24,61	105,85	715,89	66,45	86,15
2008	818,36	24,61	106,52	751,80	66,56	86,54
2009	1029,62	24,61	109,62	962,59	67,03	88,32
2010	703,76	24,61	104,17	637,57	66,19	85,18
2011	651,25	24,61	102,84	585,27	65,98	84,41
2012	551,87	24,61	99,76	486,40	65,47	82,61
2013	719,25	24,61	104,52	653,00	66,25	85,38
2014	642,85	24,61	102,62	576,91	65,94	84,28
2015	633,24	24,61	102,35	567,34	65,90	84,12
2016	1025,34	24,61	109,57	958,32	67,02	88,29
2017	879,51	24,61	107,56	812,79	66,72	87,14
2018	897,47	24,61	107,84	830,71	66,76	87,30
Precipitación Infiltrada (mm)						3199,16
Intensidad I(20)						89,19
Varianza						5,50
Des. Estándar						2,35
CV						0,03

La profundidad del nivel freático para un periodo de retorno de 20 años se calcula a través de la siguiente formula:

$$P_{f20} = (\bar{P}_f - 1.65CV P_{fm}) - (I_{20} * 24); \quad (18) \quad P_{f20} = 0.92 \text{ m}$$

### 7.3.2.2 Sismo.

En el análisis de los sismos como factor detonante en los deslizamientos, el SGC (2016) determina para el cálculo del factor de seguridad es necesario identificar el coeficiente de aceleración horizontal ( $k$ ), como el efecto de la carga sísmica para un periodo de retorno de 100 años. A partir de la curva de amenaza sísmica de Mocoa (figura 19) fue determinado este coeficiente.

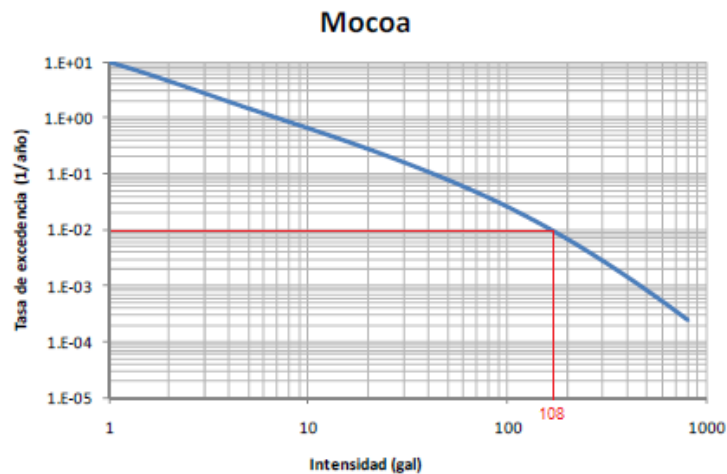


Figura 19. Curva de amenaza de aceleración máxima del terreno Mocoa. Tomado de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010).

De la figura 19, se determinó que para el municipio de Mocoa el coeficiente de aceleración para un periodo de retorno de 100 años y una tasa de excedencia de 0.01 es  $k = 108 \text{ cm/seg}^2$ .

#### 7.4. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR LLUVIAS

Para establecer los factores de seguridad como categorías de amenaza ante deslizamientos, se aplicó la metodología SHIA\_Landslide (Simulación Hidrológica Abierta para deslizamientos detonados por lluvias) que incorpora un modelo hidrológico de tanques y distribuido, que incluye el almacenamiento de agua en el suelo, acoplado con un análisis clásico de estabilidad de talud infinito en condiciones saturadas (Aristizábal, E., Vélez, J. y Martínez, H., 2016).

Para la zonificación de la amenaza, se determinó el factor de seguridad para laderas con un flujo subsuperficial constante y paralelo a la ladera, con un nivel de agua por encima de la superficie de agua es (Aristizábal et al., 2016). La ecuación (19),

corresponde al factor de seguridad para la zonificación de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias es la siguiente:

$$FS = \frac{C' + (\gamma Z - \gamma_w Z_w) \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta} \quad (19)$$

Donde

$C'$  = cohesión efectiva (KPa)

$\gamma$  = peso unitario del suelo (KN/m<sup>3</sup>)

$Z$  = espesor del suelo medido verticalmente (m)

$\gamma_w$  = peso unitario del agua (KN/m<sup>3</sup>)

$Z_w$  = altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia de 20 años de periodo de retorno (m)

$\beta$  = pendiente de la ladera (grados)

$\phi$  = ángulo de fricción (grados)

Una vez identificados los factores condicionantes y analizados los detonantes de la cuenca, se calculó el factor de seguridad que permitió la zonificación de la amenaza de acuerdo a la clasificación descrita en la tabla 19. El mapa de zonificación de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias, se representa en la figura 20.

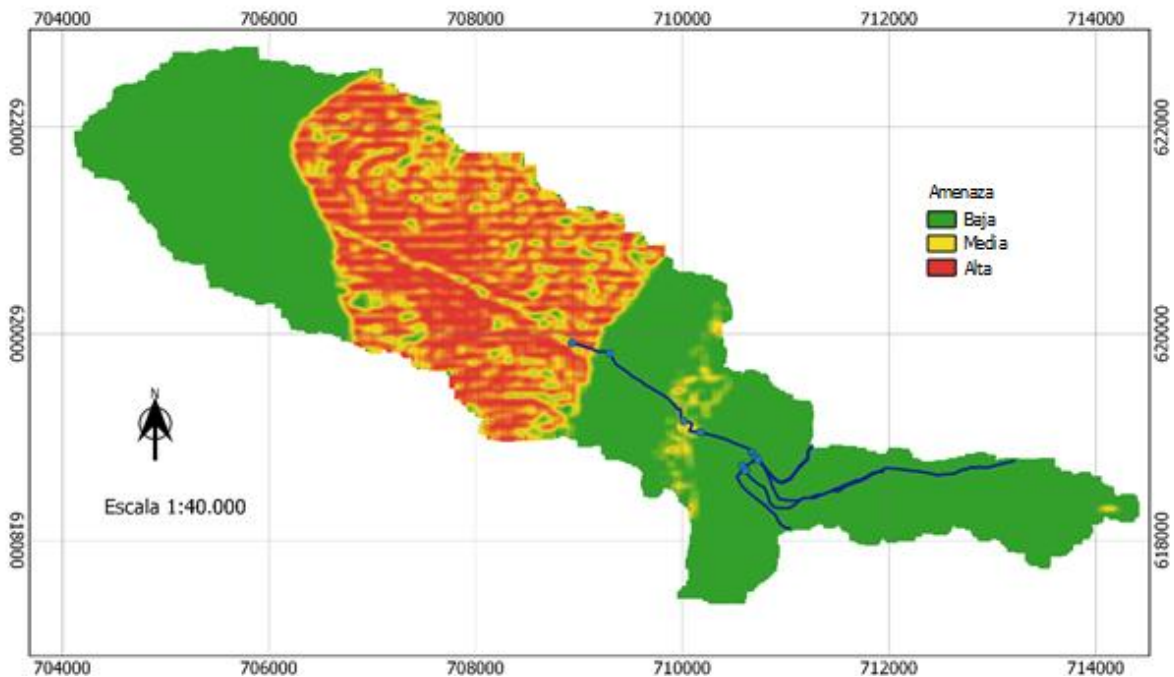


Figura 20. Mapa de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias con periodo de retorno de 20 años.

En la figura 20, se evidencia la exposición de la infraestructura de acueducto ante la amenaza de deslizamientos detonados por lluvia. La bocatoma y parte de la línea de aducción, se encuentran ubicada en una amenaza media ante deslizamientos. Parte de la línea de aducción, línea de conducción, el desarenador, las plantas de tratamiento existente y proyectada, tanque de almacenamiento, tratamiento de lodos y red de distribución, se encuentran localizadas en amenaza baja.

Los resultados del cálculo de factor de seguridad arrojan que la cuenca presenta en su mayoría una amenaza baja ante deslizamientos (74.4%), seguido de amenaza alta (15.45) y amenaza media (10.2%). En la tabla 26, se describen las características de la zonificación de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias en la cuenca del río Mulato.

Tabla 26. Caracterización de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias de la cuenca del río Mulato.

Amenaza	Descripción	Área (%)
Baja (1)	En esta zonificación se encuentran rocas en la parte alta de la cuenca y suelos en media y baja. Las Unidades Geológicas Superficiales identifican rocas de calidad intermedia del Monzogranito de Mocoa, rocas de baja calidad de lodolita e intermedia calidad de conglomerado de los miembros medio y superior de la formación pepino, rocas de muy baja calidad de arcillolita del grupo Orito, así mismo, suelos transportados Fluvio-torrencial actual, subactual y antiguo; rocas con espesores profundos y muy profundos y suelos superficiales y moderadamente profundos. Parámetros geotécnicos de mayores propiedades de resistencia y en su mayoría pendientes con baja tendencia a generar movimientos en masa y zonas con altas pendientes y a su vez, alta cohesión.	74.4
Media (2)	Zonificación en zona media de la cuenca, con presencia de rocas de muy baja calidad del Monzogranito de Mocoa y calidad Intermedia de Conglomerado del miembro inferior de la Formación Pepino. Rocas con espesores muy profundos y baja cohesión. El terreno presenta pendientes con media y alta tendencia a generar movimientos en masa.	10.2
Alta (3)	Zonificación en zona media de la cuenca, con presencia de rocas de muy baja calidad del Monzogranito de Mocoa. Rocas con espesores muy profundos, con parámetros geotécnicos de menores propiedades de resistencia como peso unitario y cohesión. El terreno presenta pendientes con alta tendencia a generar movimientos en masa.	15.45

A partir de la tabla 26 se puede afirmar que, si bien, el sector alto de la cuenca del Río Mulato presenta las mayores pendientes del área de estudio, las características físico mecánicas como la cohesión favorecen a la estabilidad del suelo haciéndolo menos susceptible a los fenómenos de movimientos en masa y menos amenazado por deslizamientos.

Por otra parte, el sector medio de la cuenca presenta amenaza media y alta. Los parámetros geotécnicos como el peso unitario del suelo y la cohesión caracterizaron este sector con menores propiedades de resistencia. A diferencia de la zona alta que por su pendiente tiene poca intervención antrópica, gran parte del área del sector posee una cobertura de vegetación secundaria o en transición que desfavorecen las condiciones de resistencia del terreno que repercuten también en la inestabilidad con a las altas pendientes presentadas.

Por último, en la parte baja a pesar de que el suelo sea superficial y moderadamente profundo, la amenaza ante deslizamientos es baja debido a las bajas pendientes con baja tendencia a movimientos en masa.

## 7.5. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ANTE DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR LLUVIAS Y SISMOS

Para la evaluación de esta amenaza y la zonificación de la cuenca con los factores de seguridad, se aplicó la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (SGC, 2016). La ecuación (20), correspondiente al factor de seguridad para la zonificación de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos es la siguiente:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma w h w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha} \quad (20)$$

$c', \Phi'$ , parámetros de resistencia del suelo en término de esfuerzos efectivos (KPa, grados, respectivamente).

$\gamma$ , peso unitario del suelo (KN/m<sup>3</sup>)

$b$ , ancho de la tajada (resolución ráster, m).

$h$ , altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento (m).

$\gamma_w$ , peso unitario del agua (KN/m<sup>3</sup>)

$h_w$ , altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente

a una lluvia de 20 años de periodo de retorno (m).

$\alpha$ , ángulo de inclinación de la superficie de falla (grados).

k, es el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años (m/seg<sup>2</sup>).

$c'$ ,  $\tan(\phi')$ , valores medios obtenidos de ensayos de laboratorio para la unidad geotécnica definida. La profundidad de la superficie de falla se toma como la profundidad del suelo o la profundidad hasta el contacto entre dos unidades de diferente comportamiento mecánico. El ángulo  $\alpha$  se puede asumir como el ángulo de la superficie del terreno en la celda. Seguidamente se ilustran los parámetros antes indicados.

En el mismo sentido, para el análisis de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos con periodo de retorno combinado de 2000 años, se calculó el factor de seguridad para cada unidad de cálculo de la cuenca y a partir de estos valores esta amenaza fue clasificada de acuerdo a la tabla 19. El mapa de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvia y sismos, se muestra en la figura 21.

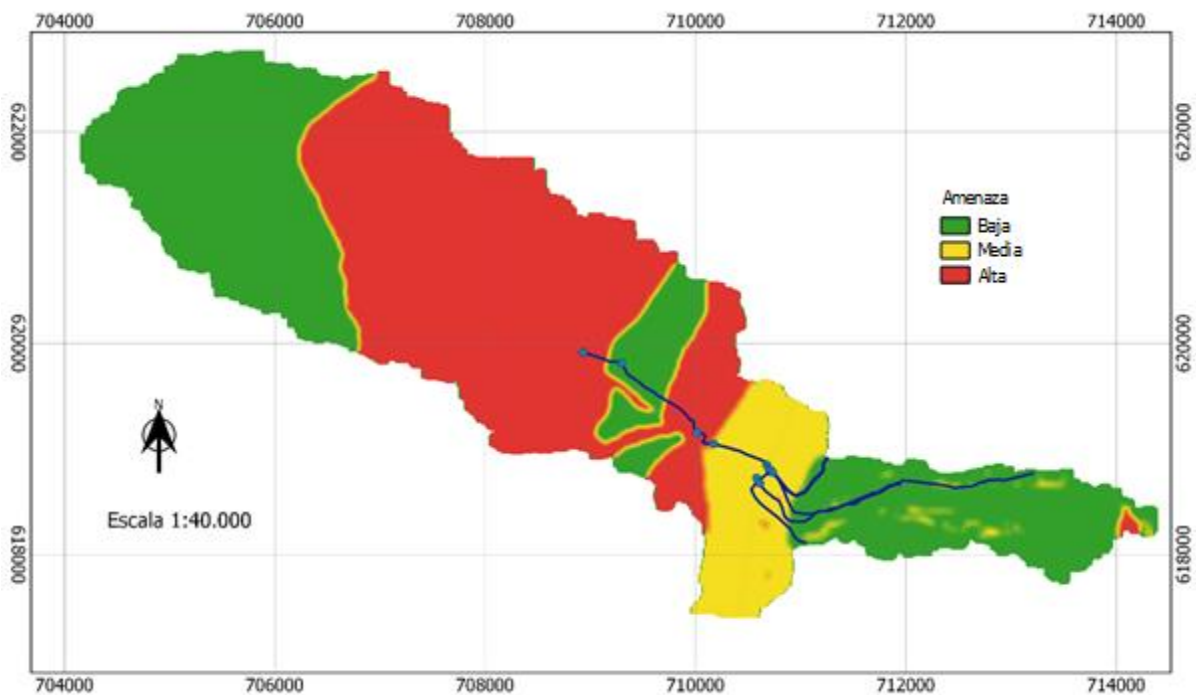


Figura 21. Mapa de amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos con periodo de retorno de 2000 años.

En la figura 21, se evidencia la exposición de la infraestructura de acueducto ante la amenaza de deslizamientos detonados por lluvia y sismos. La bocatoma, línea de aducción, tanque de almacenamiento y planta de tratamiento son los componentes del sistema de acueducto que se encuentran localizados en una amenaza alta. El tramo 3 de la línea de conducción en amenaza media y red de distribución en amenaza baja.

Los resultados del cálculo de factor de seguridad de la metodología del SGC, arrojan que la cuenca presenta el 45.2% de su área como amenaza alta ante deslizamientos detonados por lluvia y sismos, el 12.1% amenaza media y 42.8% amenaza baja.

En la tabla 27, se caracteriza la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvia y sismos de acuerdo a cada categoría.

Tabla 27. Caracterización de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos de la cuenca del río Mulato.

Amenaza	Descripción	Área (%)
Baja (1)	En esta zonificación se encuentran rocas en la parte alta de la cuenca y suelos en la baja. Las Unidades Geológicas Superficiales identifican rocas de calidad intermedia del Monzogranito de Mocoa y suelos transportados Fluvio-torrencial actual, subactual y antiguo; rocas y suelos moderadamente profundos. Parámetros geotécnicos de mayores propiedades de resistencia, altos parámetros de peso unitario y cohesión. Pendientes con baja y alta tendencia a generar movimientos en masa.	45.2
Media (2)	Zonificación en zona media-baja de la cuenca, con presencia de rocas de la formación pepino de baja calidad de lodolita del miembro medio y calidad Intermedia de Conglomerado del miembro inferior. Rocas con espesores profundos y muy profundos. Pendientes con baja tendencia a generar movimientos en masa.	12.1
Alta (3)	Presencia de rocas de muy baja calidad del Monzogranito de Mocoa y de Arcillolita del Grupo Orito, y de calidad intermedia del miembro superior de la Formación Pepino. Rocas con espesores profundos y muy profundos, con parámetros geotécnicos de menores propiedades de resistencia y la más baja cohesión de la cuenca. El terreno presenta pendientes con alta tendencia a generar movimientos en masa.	42.8

El sector alto de la cuenca con presencia de rocas intermedia calidad del Monzogranito de Mocoa, presenta amenaza baja debido a la alta cohesión de las rocas; así mismo, la parte baja presenta amenaza baja por la pendiente con tendencia baja y muy baja a movimientos en masa. El sector medio-bajo presenta amenaza media en donde favorece los espesores profundos y muy profundos y parámetros como peso unitario de suelo altos y terreno inclinado con baja tendencia a generar movimientos en masa. En la zona media, se presenta amenaza alta debido a rocas con muy baja calidad de Monzogranito

de Mocoa y arcillolita del grupo orito con muy baja cohesión y pendientes abruptas y escarpadas con alta tendencia a generar movimientos en masa.

## **7.6. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTE AVENIDAS TORRENCIALES**

En primera medida, es importante aclarar que el análisis de esta sección corresponde a la susceptibilidad como condición propia de la cuenca del río Mulato y como cada uno de los parámetros seleccionados como pendiente y litología entre otros, inciden en la ocurrencia de las avenidas torrenciales. Una vez determinada la susceptibilidad, la amenaza ante avenidas torrenciales, fue evaluada con los factores detonantes de lluvia y lluvia - sismo incluidos en el análisis de los deslizamientos.

Con el propósito de caracterizar intrínsecamente la cuenca, se realizó un análisis multivariado de variables fisiográficas propuesto por Saaty (1980), en donde se asignaron pesos ponderados a cada uno de los parámetros estudiados teniendo en cuenta que no todos tienen la misma importancia en la ocurrencia de las avenidas torrenciales. Dichos parámetros fueron estudiados para cada microcuenca, con el fin de realizar un análisis más detallado, teniendo en cuenta que las condiciones físicas de la cuenca del río Mulato varían en su localización geográfica.

### **7.6.1 Identificación y normalización de parámetros.**

Los parámetros de las microcuencas considerados en la presente investigación fueron: el suelo, los fenómenos de remoción en masa, la pendiente, la torrencialidad, el índice de vulnerabilidad ante avenidas torrenciales IVET, índice hipsométrico altitudinal IHA y el factor forma.

Cada parámetro fue clasificado por categorías de susceptibilidad con un rango de 1, 2 y 3; siendo 1 el valor menos crítico y 3 el más desfavorable, para la ocurrencia de las avenidas torrenciales, tal y como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Criterio de parámetros de análisis multivariado, metodología Saaty

Parámetro	Baja (1) (verde)	Categoría Media (2) (amarillo)	Alta (3) (rojo)
Suelo	Grueso y arenoso, se presenta bajo potencial de escorrentía en estado húmedo	Moderadamente grueso y fino, con potencial de escorrentía medio	Predominantemente fino con alto potencial de escorrentía
Fenómenos de remoción en masa	Porcentaje de área con movimientos en masa en la microcuenca es < 1	Porcentaje de área con movimientos en masa en la microcuenca entre 1 y < 2	Porcentaje de área de movimientos en masa en la microcuenca >2
Pendiente	Pendiente media de la microcuenca < 10°	Pendiente media de la microcuenca entre 10° y < 20°	Pendiente media de la microcuenca >20°
Torrencialidad	Índice de Meltón de la microcuenca >0 y < 0.2	Índice de Meltón de la microcuenca >0.2 y < 0.5	Índice de Meltón de la microcuenca >0.5
IVET	Ivet de la microcuenca bajo	Ivet de la microcuenca medio	Ivet de la microcuenca alto
IHA	0 < IHA > 0.35	0.35 < IHA > 0.60	0.60 < IHA > 1.0
Factor de forma	Factor de forma entre 0 – 0.4	Factor de forma entre 0.4 – 0.8	Factor de forma mayor a 0.8

### 7.6.2 Comparación pareada.

Con el fin de determinar el nivel de importancia de cada parámetro, se realizó la comparación pareada a través de una matriz de comparación cuadrada en la cual se asignaron puntajes de acuerdo a lo mencionado en la tabla 29,

Tabla 29. Escala de comparación por pares de Saaty

Puntaje	Definición	Observaciones
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6,8	Valores intermedios cuando es necesario matizar	

Fuente: Yepes (2018) tomado de (Saaty, 1980)

Esta matriz cumple con las propiedades de reciprocidad (si  $a_{ij}=x$ , entonces  $a_{ji}=1/x$ ), homogeneidad (si  $i$  y  $j$  son igualmente importantes,  $a_{ij}=a_{ji}=1$ , y, además,  $a_{ii}= 1$  para

todo i), y consistencia (la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada) (Yepes, 2018.s.p).

De acuerdo a los puntajes relacionados en la tabla anterior, se realizó la comparación pareada de los 7 parámetros seleccionados y se determinó el peso de cada una de ellos en la ocurrencia de las avenidas torrenciales (tabla 30),

Tabla 30. Matriz de comparación pareada de criterios seleccionado en la cuenca.

Susceptibilidad por condiciones de la cuenca	Suelo	Movimientos en masa	Pendiente	Torrenciales	IVET	IHA	Factor de Forma
Suelo	1	0,33	0,33	5,00	5,00	3,00	5,00
Movimientos en masa	3,00	1	5,00	4,00	4,00	7,00	7,00
Pendiente	3,00	0,20	1	3,00	3,00	3,00	5,00
Torrenciales	0,20	0,25	0,33	1	0,50	2,00	0,33
IVET	0,20	0,25	0,33	2,00	1	2,00	2,00
IHA	0,33	0,14	0,33	0,50	0,50	1	2,00
Factor de Forma	0,20	0,14	0,20	0,50	0,50	0,50	1
Total	7,93	2,32	7,53	16,00	14,50	18,50	22,33

La matriz de la tabla anterior, a modo de ejemplo se explica el análisis pareado del parámetro suelo comparado con los demás.

El primer paso realizado fue asignar el puntaje en la relación pareada entre las 2 variables analizadas; en consecuencia, de lo anterior, la relación inversa de esas misma 2 parámetros analizados recibe un puntaje inverso relacionado a un número decimal. Definida ya la matriz en sus filas y columnas se procede a sumar cada columna y hallar en ella sus totales, como por ejemplo la columna suelo, su valor total es 7.93.

### 7.6.3 Cálculo de peso ponderado.

Este cálculo fue realizado para determinar el peso relativo de cada parámetro en donde se obtuvieron los pesos porcentuales de cada parámetro escogido. En ese sentido, cada valor de la columna fue dividido por su total, es decir  $(1/7.93)$ , y así sucesivamente tal y como lo indica la tabla No. 31.

Tabla 31. Cálculo peso parámetros

	Suelo	Movimientos en masa	Pendiente	Torrencialidad	IVET	IHA	Factor de Forma	Peso (%)	$\lambda_{max}$
Suelo	0,13	0,14	0,04	0,31	0,34	0,16	0,22	<b>0,19</b>	1.54
Movimientos en masa	0,38	0,43	0,66	0,25	0,28	0,38	0,31	<b>0,38</b>	0.89
Pendiente	0,38	0,09	0,13	0,19	0,21	0,16	0,22	<b>0,20</b>	1.48
Torrencialidad	0,03	0,11	0,04	0,06	0,03	0,11	0,01	0,06	0.91
IVET	0,03	0,11	0,04	0,13	0,07	0,11	0,09	0,08	1.18
IHA	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,05	0,09	0,05	0.94
Factor de Forma	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0.80
Total									
columna	7,93	2,32	7,53	16,00	14,50	18,50	22,33	1,00	7.74

En el análisis realizado en la tabla anterior, se determinó que, en el orden de los parámetros analizados, los fenómenos de remoción en masa son los más influyentes en la ocurrencia de las avenidas torrenciales, seguidos de la pendiente, suelo, IVET, torrencialidad, IHA y factor de forma.

El valor propio principal de la matriz ( $\lambda_{max}$ ) fue calculado a partir de la suma promedio de cada valor de las filas de la columna *peso (%)* por el total de la columna de cada parámetro. Finalmente, el valor propio para toda la matriz es la sumatoria de todos los valores propios de cada parámetro que es igual a 7.74.

Para la verificación de la consistencia y congruencia de la matriz analizada, se calculó el índice de consistencia CI a través de la siguiente fórmula, considerando que la matriz tiene  $n=7$  (variables analizadas).

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (21) \quad C.I = 0.124$$

El índice de consistencia aleatorio del orden de la matriz obtenido de tabla 32 es  $CI=1.32$ , el cual se definió en función del número de variables.

Tabla 32. Índice aleatorio R.I

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fuente: Yepes (2018).

Con base en lo anterior, la razón de consistencia se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R.C = \frac{C.I}{R.I} \quad (22) \quad R.C = 9.39\%$$

De acuerdo los valores máximos para la razón de consistencia (tabla 33), para una matriz de 7 variables, la razón de consistencia corresponde al 9.39% el cual no supera el 10%. Lo anterior indica que el rango de consistencia es adecuado y no fue necesario reevaluar las asignaciones realizadas en la comparación pareada.

Tabla 33. Porcentajes máximos del rango de consistencia CR

Tamaño de la matriz	Rango de consistencia
3	5%
4	9%
5 o más	10%

Fuente: Yepes (2018)

#### 7.6.4 Asignación de categorías de susceptibilidad.

Una vez tenida la certeza de que la asignación de pesos para cada parámetro es adecuada según el rango de consistencia de la matriz pareada, se procede a caracterizar la cuenca del río Mulato con cada parámetro considerado en la susceptibilidad ante avenidas torrenciales.

##### 7.6.4.1 Suelo.

El suelo es un factor condicionante que determina las características mecánicas y físicas, y los efectos hidrológicos de la lluvia en la zona de estudio. Los suelos identificados en la cuenca del Mulato se presentan en la figura 22 y estos se clasifican de acuerdo con zonas homogenizadas según su textura y litología del suelo.

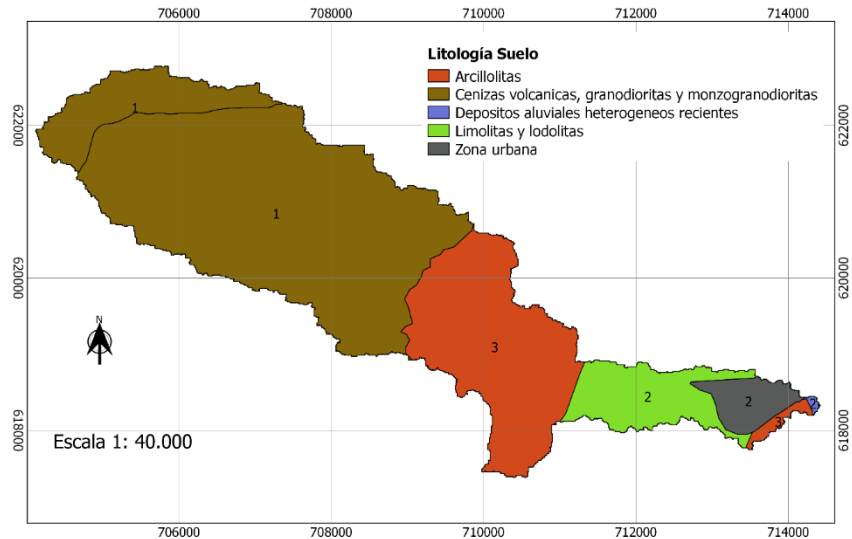


Figura 22. Mapa de suelos cuenca Mulato

En la zona alta con presencia de cenizas volcánicas fue determinada una categoría baja por tener menor potencial de escurrimiento superficial y buen drenaje en el suelo. Por otra parte, en zona media con presencia de arcillolitas, se determinó una categoría alta.

#### **7.6.4.2 Movimientos en masa.**

Para la cuenca del río Mulato, se realizó una identificación de procesos de inestabilidad a través de imágenes satelitales disponibles hasta el año 2017. Esta relación se ajustó de acuerdo con la delimitación de las microcuencas y la ocurrencia de los movimientos en masa dentro de ellas (figura 23).

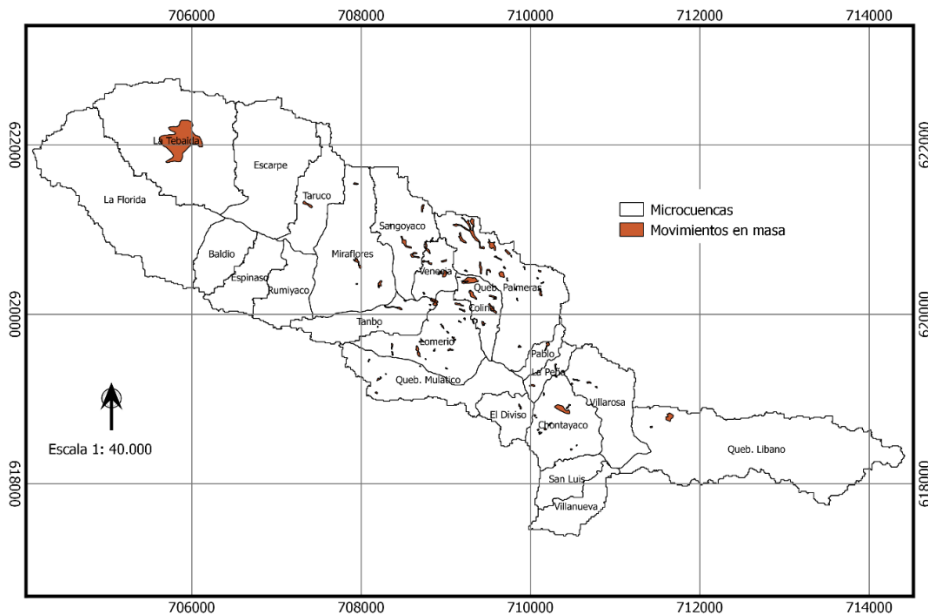


Figura 23. Movimientos en masa ocurridos en microcuencas.

A partir de la figura anterior, se clasificó los movimientos en masa para cada microcuenca (figura 24).

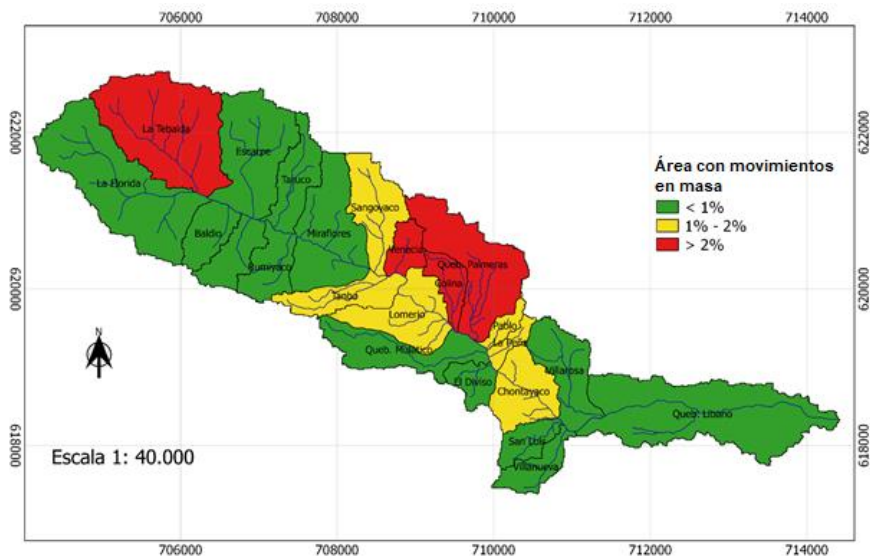


Figura 24. Mapa de inventario de movimientos en masa de microcuencas, cuenca Mulato

En la figura se observa que La Tebaida, Venecia, Quebrada Palmeras y Colina, son las microcuencas con un 2% del total de su área con presencia de fenómenos de remoción en masa.

### 7.6.4.3 Pendiente.

La pendiente fue categorizada de acuerdo con la clasificación con base a la susceptibilidad a movimientos en masa (SGC, s.f.). La pendiente se reclasifica en categoría baja con pendientes planas, categoría media con pendientes inclinadas y categoría alta con pendientes abruptas y escarpadas (Figura 25).

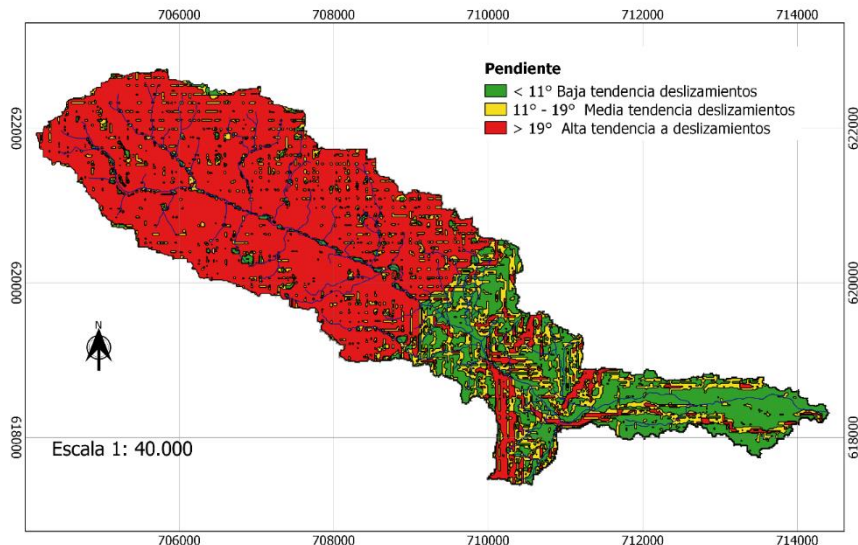


Figura 25. Mapa de clasificación de pendientes cuenca Mulato

La figura 25 muestra en la cuenca del Mulato, el 62.8% tiene pendientes mayores a 19°, siendo estas clasificadas por el SGC (2017) como abruptas y escarpadas; como alta a muy alta tendencia a generar deslizamientos. Igualmente, el 16.9% de pendientes que están entre el rango (11°-19°), se clasifican como muy inclinadas con media tendencia a generar deslizamientos. Finalmente, el 20.3% de la cuenca presenta pendientes menores a 11°, clasificada como suaves e inclinadas con baja a muy baja tendencia a generar deslizamientos.

#### 7.6.4.4 Torrencialidad.

La torrencialidad fue analizada a partir del Índice de Meltón de cada microcuenca, obtenido a partir del análisis morfométrico de cada una de ellas. (Figura 26).

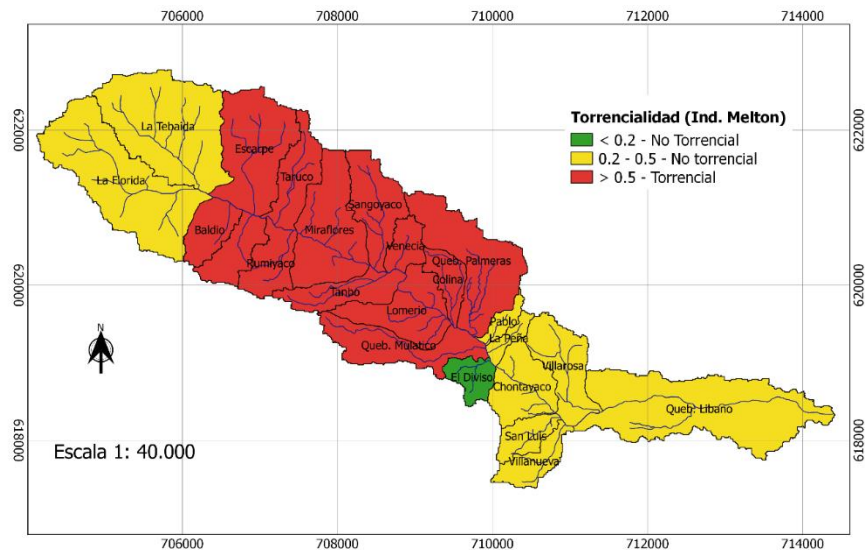


Figura 26. Mapa de torrencialidad cuenca Mulato

Las categorías baja y media se clasifican como no torrenciales por no superar valores de índice de Meltón mayores a 0.5; si bien el índice de Melton se calcula en función del relieve, se debe tener en cuenta que, a diferencia de las microcuencas con categoría baja, las microcuencas con índice Melton entre 0.2 y 0.5 presentan elevaciones medias mayores.

#### 7.6.4.5 Índice de Vulnerabilidad ante Eventos torrenciales IVET.

El IVET, se calcula considerando los lineamientos metodológicos para la evaluación regional del agua, que comprenden el índice de variabilidad de los caudales, factores morfométricos generales, asociados a la forma y relieve y densidad de drenaje y, por último, la variabilidad y el índice morfométrico de torrencialidad; permite valorar la escala ya sea baja, media, y alta (figura 27).

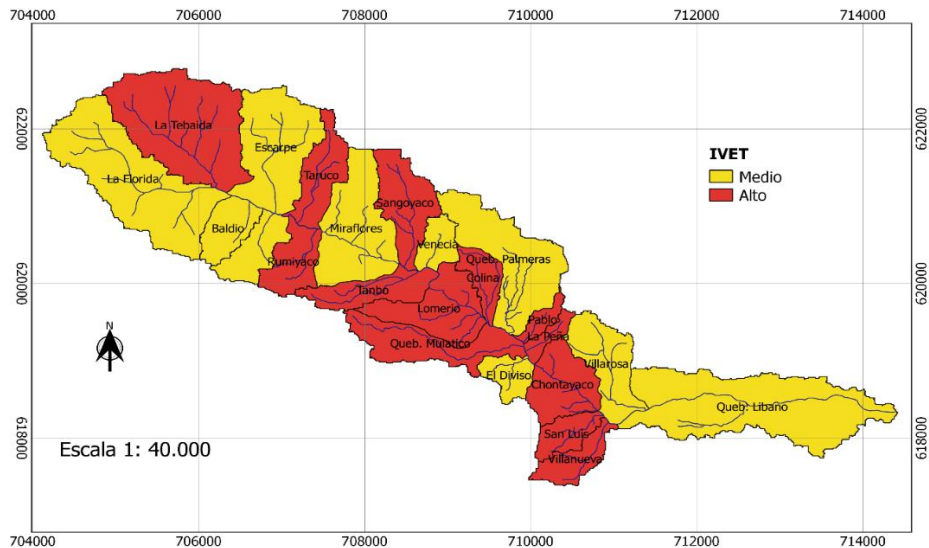


Figura 27. Mapa de IVET cuenca Mulato

La figura muestra que en la cuenca del río Mulato el IVET se define solo en las categorías media y alta; 13 de 23 microcuencas delimitadas tienen un IVET alto.

#### **7.6.4.6 IHA- Índice hipsométrico Altitudinal.**

Este parámetro fue analizado de acuerdo con los procesos erosivos asociados a la curva hipsométrica de la distribución del área acumulada y altitud de cada microcuenca. Las categorías fueron asignadas con base a los procesos erosivos predominantes asociados a la curva (figura 28).

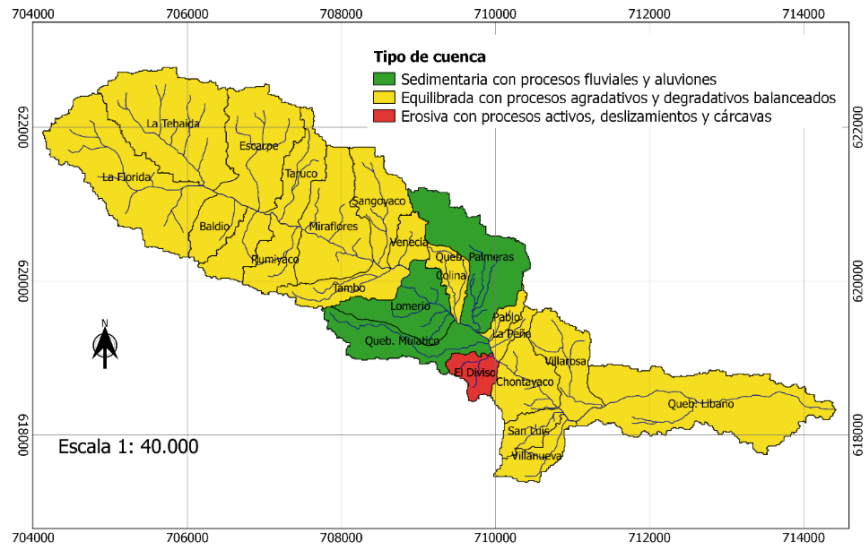


Figura 28. Mapa de tipo de cuenca Mulato

La microcuenca El Diviso, presenta una categoría alta de acuerdo a su clasificación a través del tipo de cuenca del IHA. Predominan microcuencas equilibradas con procesos agradativos y degradativos balanceados.

#### **7.6.4.7 Factor de Forma.**

Este parámetro fue analizado para determinar la tendencia de las avenidas torrenciales relacionado a los tiempos de concentración de cada una de ellas. A mayor valor de esta relación, menor es la susceptibilidad de cada microcuenca a avenidas torrenciales. (Figura 29).

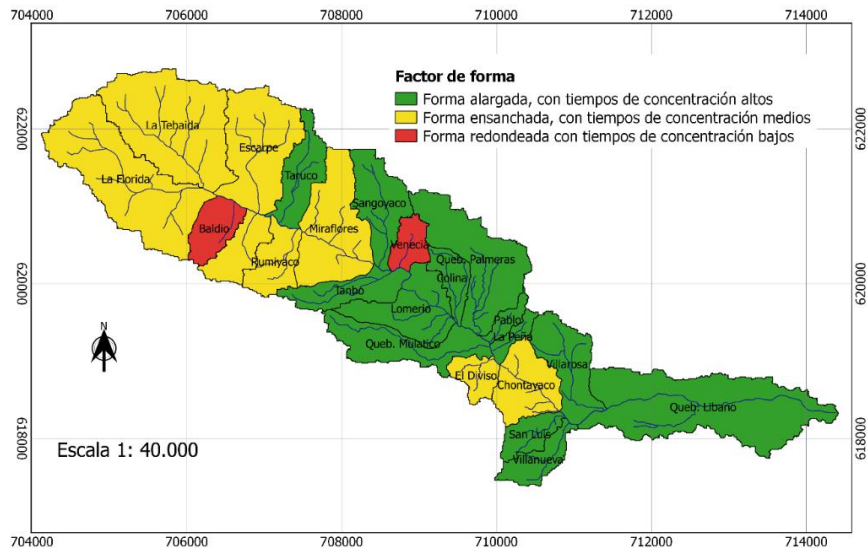


Figura 29. Mapa de factor de forma de cuenca Mulato

En la figura se muestra que solo las microcuencas Baldío y Venecia, los tiempos de concentración son bajos favoreciendo a las avenidas torrenciales que se caracterizan por presentar altas velocidades.

### 7.6.5 Álgebra de mapas

Una vez determinados y verificados los pesos ponderados de cada una de las variables, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a través del álgebra de mapas en donde se sumaron cada variable multiplicada por su peso ponderado. El resultado de esta operación arrojó valores entre 1, 2 y 3 en donde se asignaron categorías de bajo, medio y alto respectivamente. En la figura 30, se muestra el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales de la cuenca del Mulato obtenido a través del análisis de jerarquización de variables (Saaty, 1980).

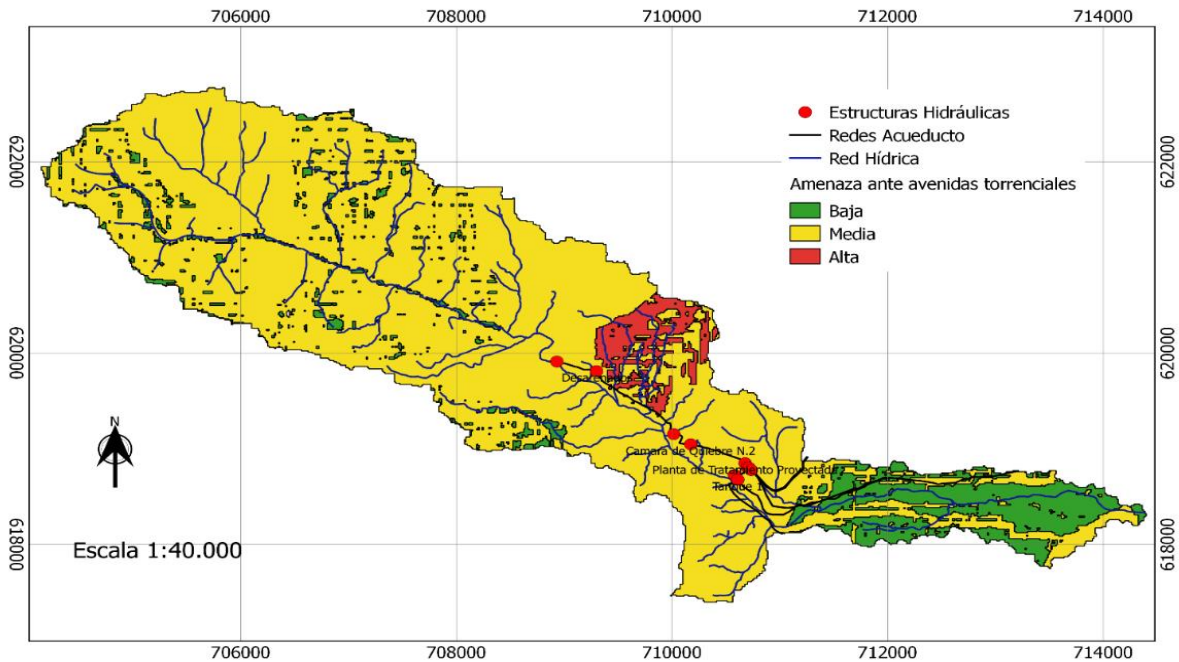


Figura 30. Mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales de cuenca Mulato

En la figura, se muestra que la cuenca del río Mulato predomina una susceptibilidad media ante avenidas torrenciales. La caracterización de esta susceptibilidad en la cuenca, se describe detalladamente en la tabla 34.

Tabla 34. Caracterización de la susceptibilidad ante avenidas torrenciales de la cuenca del río Mulato.

Susceptibilidad	Descripción	Área (%)
Baja (1)	En la zona se presentan suelos moderadamente gruesos y finos, con potencial de escorrentía medio, las microcuencas localizadas en este sector presentan áreas menores al 1% afectadas por procesos de remoción en masa; pendientes con baja tendencia a generar movimientos en masa; media vulnerabilidad a eventos torrenciales; calificada como no torrencial con valores de índice de Melton menores a 0.5.	11.8
Media (2)	Zona con predominancia en suelos con baja y media potencial de escorrentía superficial con presencia de arcillolitas y cenizas volcánicas; presencia de procesos de inestabilidad de terreno con movimientos en masa con áreas mayores al 1% y no superiores al 2% en las microcuencas; pendientes en su mayoría mayores a 19° categorizadas como muy inclinadas y abruptas con alta y media tendencia a generar movimientos en masa; con presencia de microcuencas con índices de vulnerabilidad medio-alto a eventos torrenciales; con microcuencas catalogadas como torrenciales según su índice de Melton.	85.1
Alta (3)	Arcillolitas con alto potencial de escorrentía y texturas muy finas; alta ocurrencia de fenómenos en masa con áreas de afectación superiores al 2%; pendientes con media tendencia generar movimientos en masa; microcuencas con índice de vulnerabilidad media-alta a eventos torrenciales y torrencialidad alta.	3.1

El área susceptible a avenidas torrenciales presenta una alta concentración de ocurrencia de deslizamientos, pendientes abruptas, escarpadas y muy inclinadas con media, alta y muy alta tendencia a fenómenos de remoción en masa, índices altos y medios ante avenidas torrenciales, microcuencas torrenciales con índices de Melton mayores a 0.5 con tiempos de concentración altos.

Los elementos de la infraestructura del sistema de acueducto, se encuentran expuestos a una susceptibilidad baja, media y alta. Parte de la línea de conducción, se encuentra ubicada en zona de susceptibilidad alta; la bocatoma, desarenador, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento, tratamiento de lodos y parte de la red de distribución se encuentran ubicados en una susceptibilidad media; la línea de distribución de la zona baja de la cuenca, se encuentra localizada en una susceptibilidad baja.

#### **7.7. AMENAZA ANTE AVENIDAS TORRENCIALES DETONADAS POR DESLIZAMIENTOS CON LLUVIAS (Periodo de retorno 20 años).**

Una vez obtenido el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales, se procede a calcular la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias. Este cálculo fue realizado a partir del producto entre el mapa de susceptibilidad (figura 30) y deslizamientos detonados por lluvias (figura 20).

Dado que la pendiente, presencia de movimientos en masa y la litología asociada al suelo son factores condicionantes requeridos para el cálculo de susceptibilidad y factor de seguridad en la zonificación de amenaza ante deslizamientos, con base en lo anterior, se consideró que para el cálculo de la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias, se determinó que susceptibilidad evaluada tiene un peso ponderado del 70% y de manera directa un 30% los deslizamientos detonados por lluvias.

Los criterios de clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias se relacionan a continuación (figura 31),

Amenaza Deslizamientos (lluvias)	Suscep. Avenidas Torrenciales		
	1	2	3
1			
2			
3			

Figura 31. Criterios de clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)

Para la clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales, se establecen tres niveles, clasificados como alto, medio y bajo, de acuerdo con los valores presentados en la figura 29. A manera de ejemplo, la amenaza ante avenidas torrenciales para un área con susceptibilidad media (2) y amenaza ante deslizamientos detonados con lluvias alta (3), es alta.

Como resultado final, considerando los criterios de clasificación, la amenaza obtenida se representa en la figura 32.

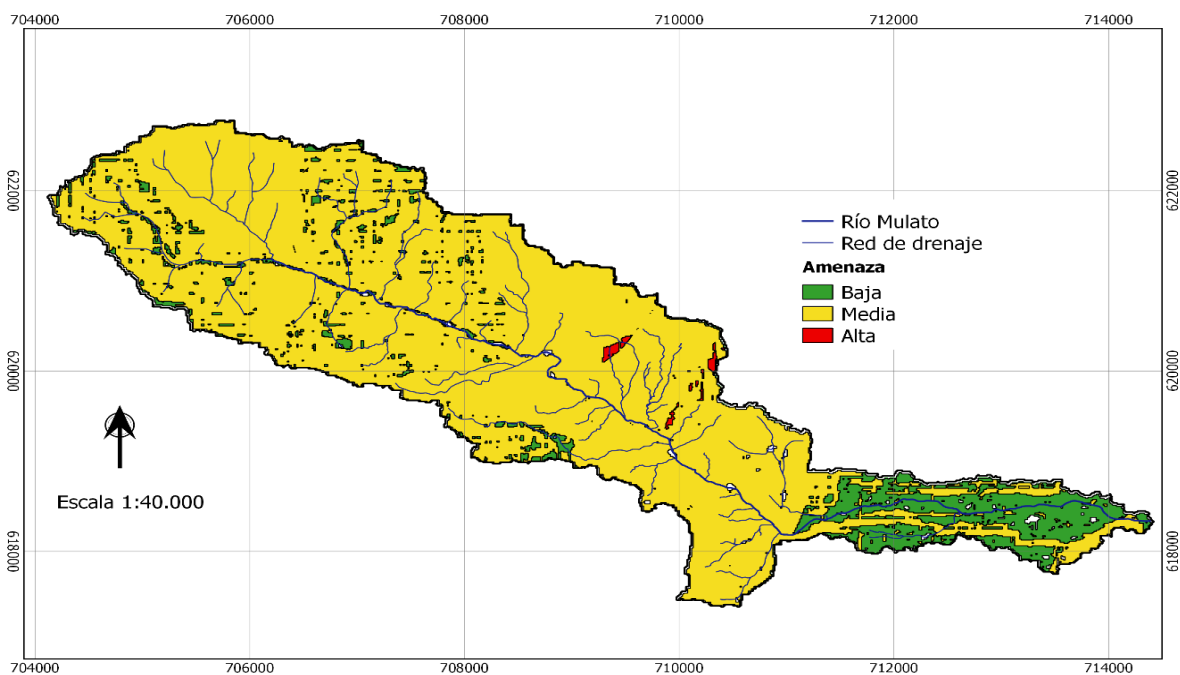


Figura 32. Amenaza ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)

La figura 32 muestra que, para la cuenca del río Mulato el 88% de su área que corresponde a 15.5 Km<sup>2</sup> se encuentra ante amenaza media; el 11% amenaza baja y el 1% amenaza alta. Teniendo en cuenta, que existe un efecto acumulado aguas arriba de los eventos analizados y que el sector alto-medio de la cuenca presenta una predominancia de amenaza media y que agua abajo existe un abaja proporción de amenaza baja, se consideró que en conjunto la cuenca presenta una amenaza media ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (figura 33).

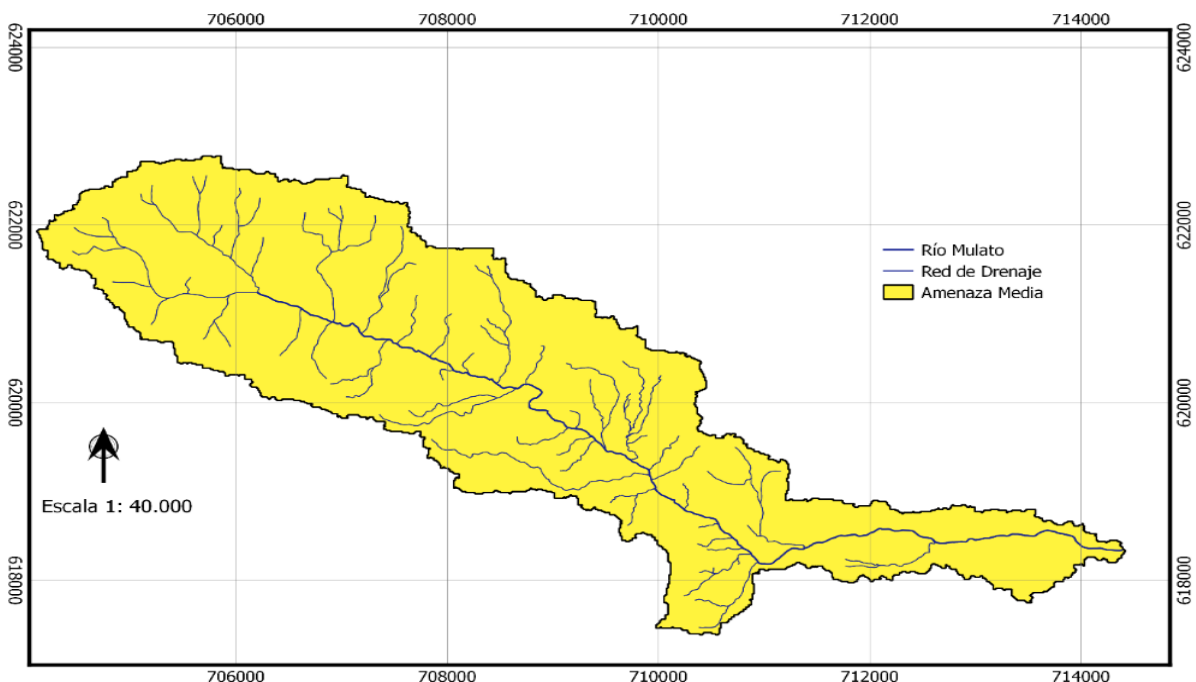


Figura 33. Mapa de amenaza de la cuenca del Río Mulato ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)

Ahora bien, determinada la amenaza para la cuenca, se hizo necesario también evaluar la amenaza para el sistema de acueducto y sus componentes. Teniendo en cuenta la localización de los elementos del sistema en las microcuencas delimitadas, no todos presentaron la misma exposición ante los eventos estudiados. El sistema está constituido básicamente para su funcionamiento por la bocatoma, línea de aducción, desarenador, línea de conducción, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y red de distribución.

La amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias presentada en el sistema se resume a continuación (tabla 35)

Tabla 35. Análisis de la acumulación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años).

Elemento	Localización	Área acumulada (Microcuencas)	Categoría Amenaza	Observaciones
Bocatoma	Microcuenca Lomerío	Tanbo, Venecia, Sangoyaco, Miraflores, Rumiayaco, Taruco, Espinaso, Escarpe, Baldío, La Tebaida, La Florida	Media	Primer componente del sistema, ubicado en un área de predominancia en amenaza media, localizado en el río Mulato fuente principal de captación del acueducto.
Línea de aducción y desarenador	Microcuenca Lomerío	Lomerío, Tanbo, Venecia, Sangoyaco, Miraflores, Rumiayaco, Taruco, Espinaso, Escarpe, Baldío, La Tebaida, La Florida	Media	Elementos ubicados sobre terreno con pendientes con baja y media tendencia a generar movimientos en masa.
Línea de conducción	Microcuencas Colina, Palmeras, pablo, La Peña	Colina, Palmeras, pablo, La Peña	Alta	Red que pasa por microcuencas de orden 1, con mayor presencia de fenómenos de remoción de masa.
Planta de tratamiento y tanque de almacenamiento	Chontayaco	Chontayaco, Diviso, La Peña, Pablo, Mulatico, Colina, Palmeras, Lomerío, Tanbo, Venecia, Sangoyaco, Miraflores, Rumiayaco, Taruco, Espinaso, Escarpe, Baldío, La Tebaida, La Florida	Media	Elementos que se ubican en área de amenaza media, con pendientes con tendencia baja a generar movimientos en masa.
A Red distribución	Villarosa	Villarosa	Media	Esta red pertenece a la red de conducción que alimenta a la red de distribución. Se analizó solo en la microcuenca Villarosa ya que es la única en donde la red atraviesa su cauce principal.

Una vez conocidos la amenaza en la cuenca y el sistema, se obtuvo el mapa de la figura 34.

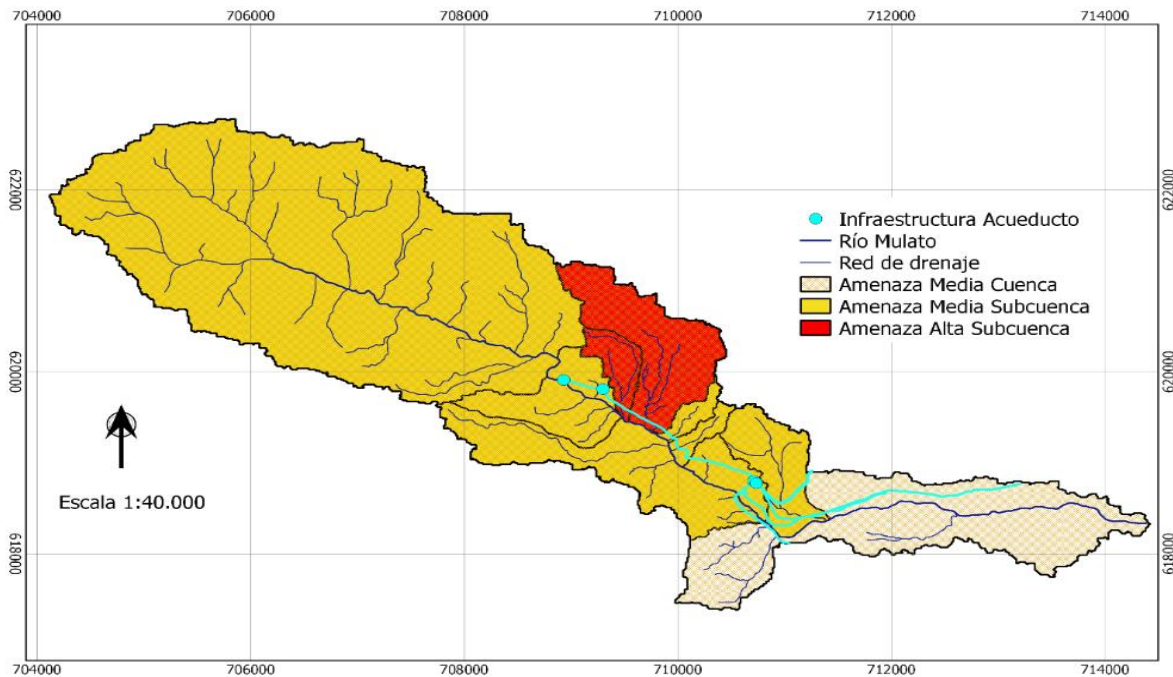


Figura 34. Mapa de amenaza del Sistema de acueducto Palmeras ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias.

En la figura 34, se distinguen 3 aspectos importantes. El primero, la amenaza media general de la cuenca; en segundo lugar, la amenaza media acumulada de las microcuencas aguas arribas de cada elemento del sistema; y, finalmente como incide la amenaza en el sistema analizado. La amenaza alta indicada en el mapa, relaciona el efecto acumulativo en la línea principal de conducción.

### **7.8. AMENAZA ANTE AVENIDAS TORRENCIALES DETONADOS POR DESLIZAMIENTOS CON LLUVIAS Y SISMOS (Periodo de retorno combinado de 2000 años)**

Al igual que la amenaza de avenida torrencial detonado por deslizamiento con lluvias, se procede a calcular la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos. Este cálculo fue realizado a partir del producto entre

el mapa de susceptibilidad (figura 30) y deslizamientos detonados por lluvias y sismos (figura 21).

Al igual que el numeral 7.4, se consideró que, para el cálculo de la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos, se determinó que susceptibilidad evaluada tiene un peso ponderado del 70% y de manera directa un 30% los deslizamientos detonados por lluvias y sismos. Los criterios de clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos se relacionan a continuación (figura 35),

Amenaza Deslizamientos (lluvias y sismos)	Suscep. Avenidas Torrenciales		
	1	2	3
1	Baja	Media	Alta
2	Media	Media	Alta
3	Media	Alta	Alta

Figura 35. Criterios de clasificación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años)

Como resultado final, considerando los criterios de clasificación, la amenaza obtenida se representa en la figura 36.

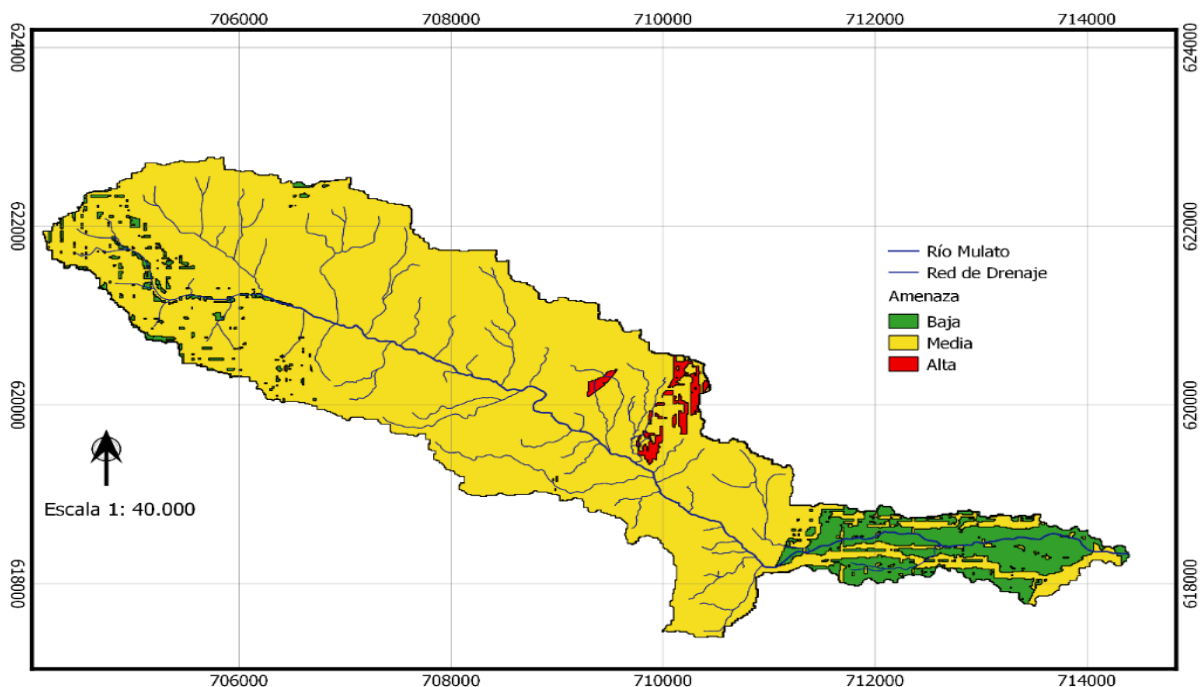


Figura 36. Amenaza ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años)

La figura 36 muestra que, para la cuenca del río Mulato el 89% de su área que corresponde a 15.64 Km<sup>2</sup> se encuentra ante amenaza media; el 9% amenaza baja y el 2% amenaza alta. Teniendo en cuenta, que existe un efecto acumulado aguas arriba de los eventos analizados y que el sector alto-medio de la cuenca presenta una predominancia de amenaza media y que agua abajo existe un abaja proporción de amenaza baja, se consideró que en conjunto la cuenca presenta una amenaza media ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (figura 37).

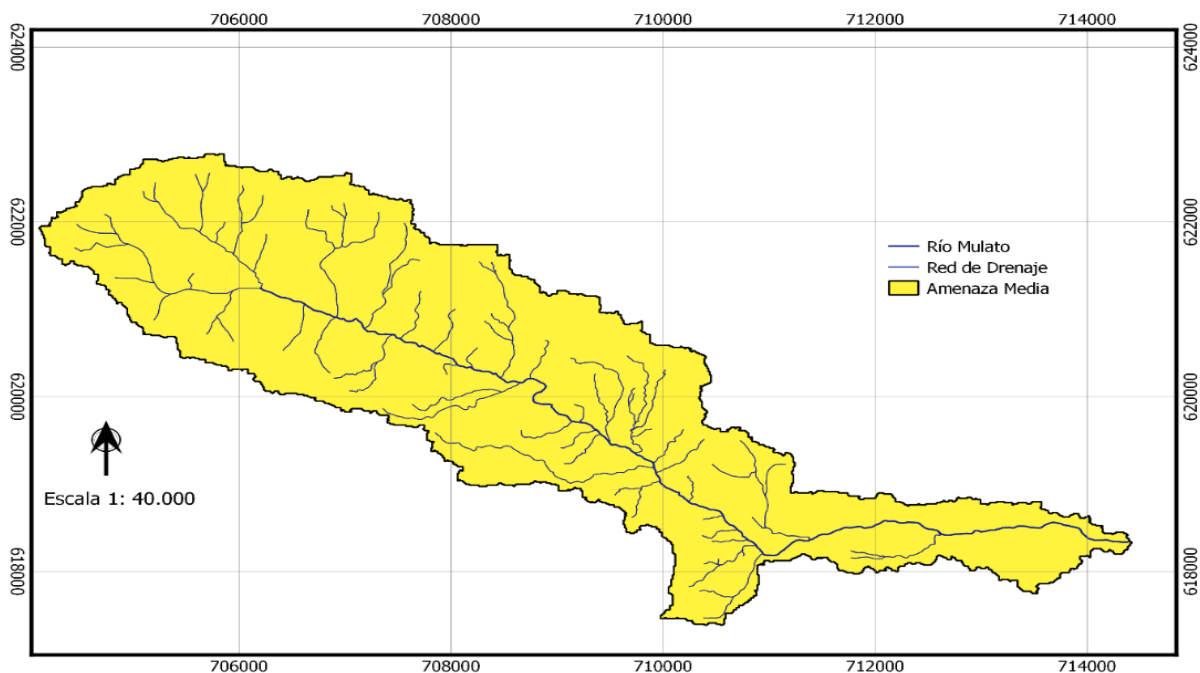


Figura 37. Mapa de Amenaza de la cuenca del Río Mulato ante Avenidas Torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años)

Una vez determinada la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos para la cuenca, se hizo necesario también evaluar la amenaza para el sistema de acueducto y sus componentes. Teniendo en cuenta la

localización de los elementos del sistema en las microcuencas delimitadas, no todos presentaron la misma exposición ante los eventos estudiados.

La amenaza ante avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos presentada en el sistema se resume a continuación (tabla 36)

Tabla 36. Análisis de la acumulación de la amenaza ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos (Periodo de retorno combinado de 2000 años).

Elemento	Localización	Área acumulada (Microcuencas)	Categoría Amenaza	Observaciones
Bocatoma	Microcuenca Lomerío	Tanbo, Venecia, Sangoyaco, Miraflores, Rumiyaco, Taruco, Espinaso, Escarpe, Baldío, La Tebaida, La Florida	Media	Primer componente del sistema, ubicado en un área de predominancia en amenaza media, localizado en el río Mulato fuente principal de captación del acueducto.
Línea de aducción y desarenador	Microcuenca Lomerío	Lomerío, Tanbo, Venecia, Sangoyaco, Miraflores, Rumiyaco, Taruco, Espinaso, Escarpe, Baldío, La Tebaida, La Florida	Alta	Elementos ubicados sobre terreno con pendientes categorizadas como abruptas con presencia de arcillolitas considerando valores de ángulo de fricción y cohesión relacionados asociados a alto potencial de escorrentía superficial y baja capacidad de drenaje.
Línea de conducción	Microcuencas Colina, Palmeras, pablo, La Peña	Colina, Palmeras, pablo, La Peña	Alta	Red que pasa por microcuencas de orden 1, con mayor presencia de fenómenos de remoción de masa.
Planta de tratamiento y tanque de almacenamiento	Chontayaco	Chontayaco, Diviso, La Peña, Pablo, Mulatico, Colina, Palmeras, Lomerío, Tanbo, Venecia, Sangoyaco, Miraflores, Rumiyaco, Taruco, Espinaso, Escarpe, Baldío, La Tebaida, La Florida	Alta	Elementos que se ubican en área con presencia de arcillolitas caracterizados con bajo drenaje y alta escorrentía.
A Red distribución	Villarosa	Villarosa	Media	Esta red pertenece a la red de conducción que alimenta a la red de distribución. Se analizó solo en la microcuenca Villarosa ya que es la única en donde la red atraviesa su cauce principal.

Una vez conocidos la amenaza en la cuenca y el sistema, se obtuvo el mapa de la figura 39.

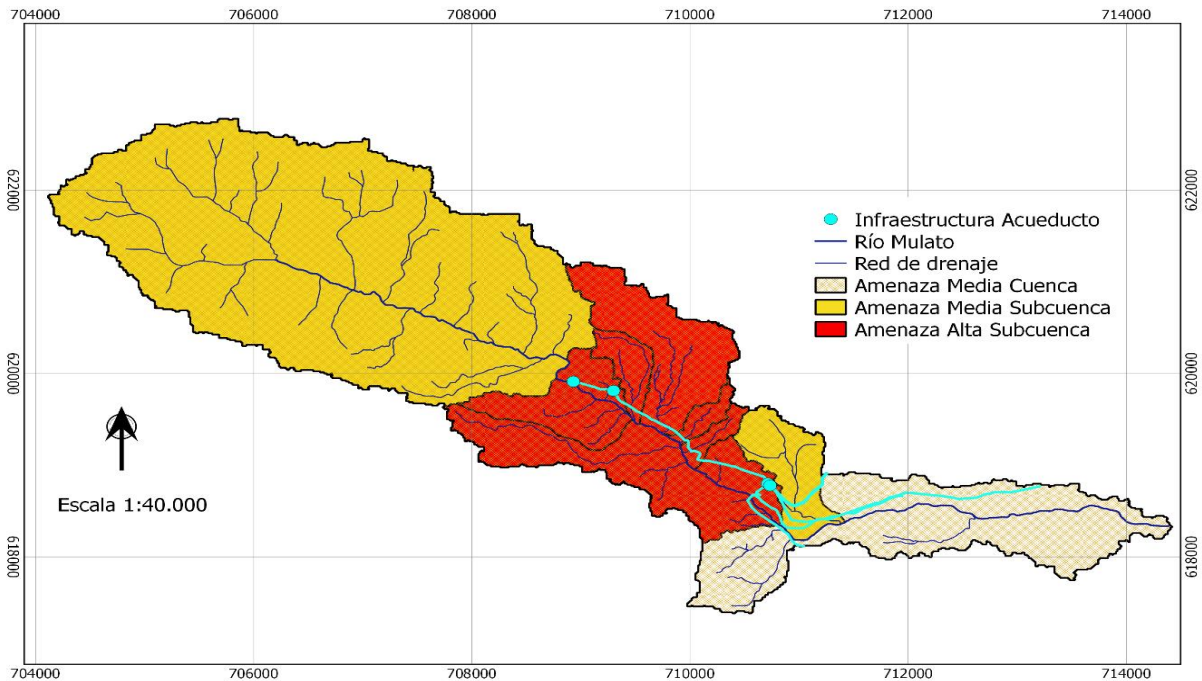


Figura 38. Mapa de amenaza del sistema de acueducto Palmeras ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y sismos.

En la figura 39, en consideración a la lluvia y sismos como factores detonantes, se distinguen 3 aspectos importantes. El primero, la amenaza media general de la cuenca; en segundo lugar, la amenaza media acumulada de las microcuencas aguas arribas de cada elemento del sistema; y, por último, como incide la amenaza en el sistema analizado. A diferencia de la lluvia como único factor detonante en las avenidas torrenciales, el sismo, aumenta la cantidad de elementos del sistema acueducto.

## 7.9. AMENAZAS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO PALMERAS DEL MUNICIPIO DE MOCOA

En primer lugar, es importante describir las amenazas que tienes una probabilidad de afectación en el funcionamiento y operatividad del sistema de acueducto. Dichas amenazas se describen a continuación (tabla 37).

Tabla 37. Principales amenazas de la Cuenca del Río Mulato

Amenaza	Factor detonante	Periodo de retorno (años)	Categoría Amenaza cuenca
Deslizamientos detonados por lluvias	Lluvias	20	Media
Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Lluvias y sismos	20; 100	Alta
Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias	Lluvias (deslizamientos)	20	Media
Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Lluvias y sismos (deslizamientos)	20; 100	Media

Una vez identificadas el nivel de las amenazas de la cuenca descritas en la tabla 37, no es posible considerar las mismas categorías en el sistema del acueducto, teniendo en cuenta que cada componente tiene una funcionalidad distinta. Al no ser posible generalizar las amenazas que influyen en el sistema, en la tabla 38, se describen los pesos de cada componente dentro del sistema de acueducto de acuerdo

Tabla 38. Amenazas del sistema de acueducto Palmeras del municipio de Mocoa.

Elemento	Peso (%)	Deslizamientos (lluvias)		Deslizamientos (lluvias-sismos)		Amenaza Avenidas Torrenciales detonadas por deslizamientos (lluvias)		Avenidas Torrenciales detonadas por deslizamientos (lluvias-sismos)	
		Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría
Bocatoma	25	2	Media	3	Alta	2	Media	2	Media
Línea Aducción y Desarenador	20	2	Media	3	Alta	2	Media	3	Alta
Línea Conducción	20	1	Baja	1	Baja	3	Alta	3	Alta
Planta de Tratamiento	20	1	Baja	2	Media	2	Media	3	Alta

Tanque Almacenamiento	5	1	Baja	3	Alta	2	Media	3	Alta
Red de Distribución	10	1	Baja	1	Baja	2	Media	2	Media
Amenaza Ponderada		<b>1.5</b>	<b>Media</b>	<b>2.2</b>	<b>Alta</b>	<b>2.2</b>	<b>Alta</b>	<b>2.7</b>	<b>Alta</b>

En la tabla 38, se muestra la relación de cada componente y su grado de importancia dentro del sistema. Los pesos de cada uno de ellos, fueron determinados a partir de las ponderaciones realizadas por la Guía del Evaluador y herramienta de Evaluación (Giménez, González. s.f. p. 29).

Por otro lado, la categoría de amenaza para deslizamientos fue determinada a partir de la localización de cada elemento dentro de los mapas de dicha amenaza (figuras 20 y 21); en cuanto a la amenaza ante avenidas torrenciales para cada elemento del sistema, fue tenido en cuenta la acumulación del área aguas arriba de cada uno de ellos (figuras 34 y 39).

En la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias, el 45% de los elementos del sistema presentan una amenaza media, y 55% amenaza baja. Ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos, el 50% del sistema presenta una amenaza alta, el 20% amenaza media y 30% amenaza baja.

En cuanto a las avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias, el 80% el sistema presenta una amenaza media y el 20% amenaza alta. Las avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos el 65% del sistema presenta amenaza alta y el 35% amenaza media.

Tomando únicamente el factor lluvia como detonante con mayor probabilidad de ocurrencia de acuerdo a su periodo de retorno de 20 años, la línea de conducción presenta una amenaza alta ante avenidas torrenciales; comparativamente en las mismas condiciones de influencia de lluvia, los demás elementos presentan una amenaza media.

En el análisis de las amenazas detonadas por lluvias y sismo, como condición más desfavorable y mayor periodo de retorno, el 65% del sistema presenta una amenaza alta. Esta situación afecta de manera directa los elementos con mayor grado de importancia, situación que influye negativamente en la operación y capacidad técnica del sistema hacia la prestación del servicio a los usuarios.

## **8. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO PALMERAS**

En este análisis se tienen en cuenta los factores de vulnerabilidad mínimos planteados por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio (MVCT) y la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres (UNGRD) (2014). Estos documentos corresponden a los Lineamientos de política de gestión de riesgos de desastres y la Herramienta metodológica asociado a los servicios públicos. Al igual que la calificación de la vulnerabilidad total propuesta por la metodología de UNGRD (2012).

En ese mismo sentido, y entendiendo que las tablas de calificación de cada uno de los factores, tiene diferente número de variables, es necesario que en cada una de ellas se le asigne un valor numérico de la siguiente manera. Se considera alto, valor numérico, (3), medio valor numérico (2) y bajo valor numérico (1) según el caso y luego se deben sumar todas las variables; esta suma es la calificación de cada tipo de vulnerabilidad. El valor obtenido será utilizado para determinar si la vulnerabilidad es alta, media o baja, teniendo en cuenta los intervalos y características planteados por UNGRD (2012).

A continuación, se describen cada uno de los factores de estudio de la vulnerabilidad del sistema Palmeras del acueducto municipal de Mocoa operado por el prestador Aguas Mocoa S.A E.S.P. como lo son físico, institucional, operacional, técnico y económico.

### **8.1. VULNERABILIDAD FÍSICA**

Corresponde a daños posibles en los componentes de la infraestructura debido a su nivel de exposición a las amenazas, la calidad de su construcción y el potencial de daño que podría esperarse de ser afectado por un desastre, en los cuales se definen los criterios de evaluación de cada variable tomados y adaptados de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MCVT y Unidad Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres UNGRD (2014).

Esta vulnerabilidad física, se basa en la exposición y resistencia de los elementos o componentes, a los efectos adversos de las diferentes amenazas. Es importante aclarar, que la información se basa en la infraestructura física descrita en el plan de contingencia del prestador del servicio de acueducto (Aguas Mocoa S.A. E.S.P, 2018) y la evaluación integral de prestadores de la Superintendencia de Servicios Públicos Superservicios, (2018), para cada elemento del sistema de acueducto bajo criterios de estado actual, importancia del elemento en el sistema (Tabla 40).

De acuerdo con al Manual de reconocimiento predial (IGAC, 2012), el anexo D, describe la metodología para el reconocimiento y calificación de las estructuras existentes (tabla 39). En ese sentido, el estado de conservación se refiere a las condiciones de mantenimiento, edad de construcción y buen uso. Para lo cual se asumieron cuatro grados de calificación.

Tabla 39. Estado de estructuras, Manual de reconocimiento predial

Estado	Descripción
Malo	Mayor grado de deterioro que se puedan encontrar, en condiciones precarias lo cual las hace prácticamente no funcionales. Esta situación se asocia a construcciones muy antiguas o con material de mala calidad.
Regular	Presentan algunos daños menores, pero que todavía se encuentra en condiciones aceptables, sin peligros eminentes o exigencias imperativas de reparaciones inmediatas. Se presenta en estructuras más o menos antiguas o materiales de regular calidad.
Bueno	Estructuras no necesariamente nuevas, que se hayan cumplido a cabalidad con su función para las que fueron construidas, no demuestran deterioro, al menos visible, y por efectos de uso se encuentran solamente un tanto traslucidas y sus materiales son de buena calidad.
Excelente	Estructuras nuevas en la que no se vislumbra deterioro, no se observa daño y en el cual los materiales y los acabados son de óptima calidad.

El análisis de la vulnerabilidad física fue realizado a seis componentes del sistema de acueducto Palmeras (tabla 40) tales como: captación, aducción, desarenador, conducción, planta de tratamiento y red de distribución categorizando las variables como estado, año de construcción, materiales de construcción y características geológicas y tipo de suelo en donde se ubica el componente en estudio.



Tabla 40. Análisis de Vulnerabilidad Física de cada componente sistema de acueducto Palmeras.

Elemento	Variable	Criterios de valoración de Vulnerabilidad			Vulnerabilidad		Observaciones/Fuente
		Baja 1	Media 2	Alta 3	Valor	Categoría	
Captación	Estado de la estructura	Excelente o bueno	Regular	Malo	2	Media	En la evaluación de factores de vulnerabilidad, la bocatoma ante avenidas torrenciales y remoción en masa registra un estado regular (Aguas Mocoa S.A. E.S.P, 2018, p.27).
	Antigüedad (año de construcción)	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media	De acuerdo con la fecha de concesión de aguas del sistema Palmeras, esta captación es la N. 0488 de 2009 (Superservicios, 2018, p.22); y del diagnóstico de la firma Estudios Técnicos y Construcciones -Contrato de Consultoría No. 711, reporta la concesión el del 24/01/2000), por tal razón se asume que la antigüedad de este componente es de 20 años aproximadamente.
	Materiales de construcción	Estructura con materiales de Optima y buena calidad y adecuada técnica constructiva	Estructuras materiales de regular calidad con regular técnica constructiva	Estructuras muy antiguas de materiales de mala calidad	2	Media	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108), la captación es realizada de manera provisional, con una tubería PVC D=12", como lo describe superservicios y consultoría de estudio de diagnóstico. Por lo anterior se asume que esta está construida con materiales de calidad media.
Aducción	Estabilidad asociada a la pendiente	Pendientes menores a 11 °	Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	Pendientes mayores 19°	2	Media	De acuerdo a la clasificación de las pendientes del (SGC, 2017) este componente, se encuentra ubicado en un terreno con pendiente con susceptibilidad media ante movimientos en masa.
	Estado de la estructura	Excelente o bueno	Regular	Malo	1	Baja	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Antigüedad (año de construcción)	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)



	Materiales de construcción	de	Estructura con materiales de muy buena calidad, y adecuada técnica constructiva	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, madera u otros materiales	2	Media	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Estabilidad asociada a pendiente	a la	Pendientes menores a 11 °	Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	Pendientes mayores 19°	2	Media	De acuerdo a la clasificación de las pendientes del (SGC, 2017) este componente, se encuentra ubicado en un terreno con pendiente con susceptibilidad media ante movimientos en masa.
Desarenador	Estado de la estructura		Excelente o bueno	Regular	Malo	1	Baja	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Antigüedad (año de construcción)		Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Materiales de construcción	de	Estructura con materiales de muy buena calidad y adecuada técnica constructiva	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, madera u otros materiales.	1	Baja	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Estabilidad asociada a pendiente	a la	Pendientes menores a 11 °	Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	Pendientes mayores 19°	2	Media	De acuerdo a la clasificación de las pendientes del (SGC, 2017) este componente, se encuentra ubicado en un terreno con pendiente con susceptibilidad media ante movimientos en masa.
Conducción	Estado de la estructura		Excelente o bueno	Regular	Malo	1	Baja	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Antigüedad (año de construcción)		Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)
	Materiales de construcción	de	Estructura con materiales de muy buena calidad y adecuada	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada	Estructuras de adobe, madera u otros materiales	1	Baja	De acuerdo con lo mencionado por la metodología IGAC (2012, p. 108)

Planta de Tratamiento	Estabilidad asociada a la pendiente	técnica constructiva Pendientes menores a 11 °	técnica constructiva Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	Pendientes mayores 19°	2	Media	De acuerdo a la clasificación de las pendientes del (SGC, 2017) este componente, se encuentra Cap.
	Estado de la estructura	Excelente o bueno	Regular	Malo	1	Baja	Superservicios (2018, p. 29) afirma que las estructuras de este componente se encontraban en buen estado.
	Antigüedad (año de construcción)	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media	Fue construida el 11/05/02 (Superservicios, 2018, p. 27).
	Materiales de construcción	Estructura con materiales de muy buena calidad y adecuada técnica constructiva	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, madera u otros materiales	1	Baja	La estructura se encuentra en buen estado con registro de mantenimientos realizados (Superservicios, 2018, p. 29).
Red de Distribución	Estabilidad asociada a la pendiente	Pendientes menores a 11 °	Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	Pendientes mayores 19°	1	Baja	De acuerdo a la clasificación de las pendientes del (SGC, 2017) este componente, se encuentra ubicado en un terreno con pendiente con susceptibilidad baja ante movimientos en masa.
	Estado de la estructura	Excelente o bueno	Regular	Malo	1	Baja	En la evaluación de factores de vulnerabilidad, la conducción ante avenidas torrenciales registra que este componente presenta un estado bueno (Aguas Mocoa S.A. E.S.P, 2018, p.27).
	Antigüedad (año de construcción)	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media	De acuerdo a la antigüedad de los demás elementos, se asume que tiene fecha de instalación semejantes.
	Materiales de construcción	Estructura con materiales de muy buena calidad y adecuada técnica constructiva	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, madera u otros materiales	1	Baja	De acuerdo a al estado referenciado de la red de distribución ante los eventos peligrosos, y al estar esta red en buen estado (Aguas Mocoa S.A. E.S.P., 2018, p. 27), se asume que el material de este componente es de muy buena calidad.
	Estabilidad asociada a la pendiente	Pendientes menores a 11 °	Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	Pendientes mayores 19°	2	Media	De acuerdo a la clasificación de las pendientes del (SGC, 2017) este componente, se encuentra ubicado en un terreno con pendiente con susceptibilidad baja ante movimientos en masa.

Tomado y adaptado de Minvivienda y UNGRD (2014) y UNGRD (2012).

Con base al análisis de la vulnerabilidad de cada componente, se realiza la ponderación promedio de cada una de las variables evaluadas y se obtiene un valor total para evaluar la vulnerabilidad del sistema como se expresa en la (Tabla 41). En ese sentido, de la antigüedad de la estructura y las características geológicas y tipo de suelo se destacan con una vulnerabilidad media, seguida del estado de la estructura existente y los materiales de construcción utilizados en la obra civil.

Tabla 41. Análisis de Vulnerabilidad Física del sistema de acueducto Palmeras.

Variable	Criterios de valoración de Vulnerabilidad			Vulnerabilidad	
	Baja 1	Media 2	Alta 3	Valor	Categoría
Estado de la estructura	Excelente o bueno	Regular	Malo	1	Baja
Antigüedad (año de construcción)	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años	2	Media
Materiales de construcción	Estructura con materiales de muy buena calidad y adecuada	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada	Estructuras de adobe, madera u otros	1	Baja
Estabilidad asociada a la pendiente	técnica constructiva Pendientes menores a 11 °	técnica constructiva Pendientes mayores a 11° y menores a 19°	materiales Pendientes mayores 19°	2	Media
Total					6

La infraestructura física, es afectada por deslizamientos y avenidas torrenciales, clasificados como fenómenos socionaturales (Minvivienda, UNGRD, 2014) presentados en la cuenca de estudio y el municipio, siendo los deslizamientos lo eventos con mayor recurrencia y menor impacto y las avenidas torrenciales con menor recurrencia y mayor impacto (Aguas Mocoa, 2018 p. 25).

## 8.2. VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL

Corresponde a la capacidad institucional y empresarial o administrativa de la comunidad, asociada a organización, experiencia y recursos en general. La organización

de la empresa o institución es muchas veces el elemento más vulnerable al impacto de las amenazas, dada la poca preparación y capacitación existente para atender situaciones de emergencia. Las variables evaluadas en la presente sección son aquellas estipuladas en herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres aplicada para al servicio de acueducto (MVCT, UNGRD. 2014).

La información consultada para la calificación del componente institucional se describe en el Planes de Emergencia y Contingencia PEC (Aguas Mocoa, 2018) y la Evaluación Integral a prestadores (Superservicios, 2018) (tabla 42).

Tabla 42. Análisis de Vulnerabilidad Institucional del prestador de Aguas Mocoa S.A. E.S.P.

Variable	Criterios de valoración de Vulnerabilidad			Vulnerabilidad		Observaciones/Fuente
	Baja 1	Media 2	Alta 3	Valor	Categoría	
Fortalecimiento de capacidad técnica	Si el prestador del servicio cumple con más de las capacitaciones mínimas requeridas en la normatividad vigente.	Si el prestador del servicio cumple con las capacitaciones mínimas requeridas en la normatividad vigente	Si el prestador cumple no cumple con las capacitaciones mínimas requeridas en la normatividad vigente	3	Alta	Aunque Aguas Mocoa (2018, p. 79) menciona que se realizará la socialización de la implementación del PEC con los funcionarios de la empresa y Superservicios (2018, p 88) afirma que el prestador del servicio si cumple con lo establecido en el numeral 1.2.5 de la Res 154 de 2014; no se cumple con la capacitación de evaluación de daños al no realizar el análisis posterior a la catástrofe ocurrida la noche del 31 de marzo de 2017 (Superservicios, 2018, p.91).
Coordinación interinstitucional	Existe un esquema de coordinación de actores locales y regionales y estos cumplen a cabalidad con los procesos de reducción y atención de desastres propuestos por Minvivienda y UNGRD (2014)	Existe un esquema de coordinación de actores locales y regionales y estos cumplen con ciertos procesos de reducción y atención de desastres propuestos por Minvivienda y UNGRD (2014)	No Existe un esquema de coordinación de actores locales y regionales que cumplan con los procesos de reducción y atención de desastres propuestos por Minvivienda y UNGRD (2014)	1	Baja	De acuerdo a lo propuesto por Minvivienda y UNGRD (2014), Aguas Mocoa S.A. en su PEC cumple con el conjunto total de manera secuencial en las acciones establecidas.
Seguimiento a la gestión del riesgo	Existe seguimiento y evaluación de medidas de reducción del riesgo implementadas y control de resultados.	El seguimiento y evaluación de medidas son parciales y no hay control de resultados	No existe evidencia del seguimiento a las medidas de reducción del riesgo ni control de resultados	3	Alta	Teniendo en cuenta que el seguimiento se realiza a las medidas adaptadas para la reducción del riesgo, se evidencia que en el PEC no es claro las medidas estructurales y no estructurales adoptadas por el prestador del servicio de acueducto y este no referencia sobre seguimiento y control de resultados.
Total						7

Tomado y adaptado de Minvivienda y UNGRD (2014).

El resultado obtenido de la evaluación del componente institucional presenta valores altos comparativamente a las otras vulnerabilidades analizadas. Las capacidades están muy relacionadas con la categorización sexta del municipio de acuerdo con la Ley 136 de 1994, que a su vez fue modificada por la Ley 1551 de 2012. El valor final que arrojó en la vulnerabilidad institucional fue de 7.

### **8.3. VULNERABILIDAD OPERACIONAL**

Corresponde a capacidad remanente para prestar el servicio de agua potable y/o alcantarillado. Deben analizarse tanto los componentes internos de la empresa que prestan soporte a las actividades de operación y mantenimiento (por ejemplo, el transporte, las comunicaciones y el suministro de materiales) como los componentes externos (suministro eléctrico, teléfonos, bomberos, etc.).

Para efectos de indicadores operativos y de calidad, la Resolución CRA N. 315 de 2005 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA de Minvivienda (2005), segmenta y categoriza a los prestadores de servicios públicos domiciliarios en *categoría 1*: prestadores con más de 8000 suscriptores y *categoría 2*: prestadores entre 2500 y 8000 suscriptores en cualquiera de los tres servicios.

Actualmente, la empresa prestadora del servicio de acueducto Aguas Mocoa S.A E.S.P. cuenta con 5.990 suscriptores de acueducto y 7.379 suscriptores para el servicio de alcantarillado para los años 2016 y 2017 (Superservicios, 2018, p.3). Por lo anterior, este prestador se encuentra clasificado en la *categoría 2* según la normatividad mencionada anteriormente.

Las variables del componente operacional fueron asignadas de acuerdo con lo establecido por MVCT y UNGRD (2014) y se calificaron con base a la información secundaria disponible en el Plan de Emergencia y Contingencia (PEC) de Aguas Mocoa S.A. E.S.P. (2018) (tabla 43) y la Evaluación Integral de Prestadores Aguas Mocoa S.A.

E.S.P. de Superservicios (2018). En la tabla 33, se presenta la evaluación de la vulnerabilidad operacional para el Sistema Palmeras del acueducto municipal de Mocoa. Por su puesto, que los valores IC (Índice de Continuidad), se contemplan de acuerdo a lo establecido en la resolución 2115 de 2007.

Tabla 43. Análisis de Vulnerabilidad Operacional del sistema de acueducto Palmeras.

Variable	Criterios de valoración de Vulnerabilidad			Vulnerabilidad		Observaciones/Fuente
	Baja (1)	Media (2)	Alta (3)	Valor	Categoría	
Índice de Continuidad de acueducto (IC) Res. 2115 de 2007.	Si el promedio del IC del 2015, 2016 y 2017 es igual o mayor a 23.1 horas/día	Si el promedio del IC del 2015, 2016 y 2017 varía entre 18 y 23 horas/día	Si el promedio del IC del 2015, 2016 y 2017 menor a 18 horas/día	2	Media	De acuerdo a la <i>Tabla 28. IC 2215 de 2007 – Reporte SUI</i> (Superservicios, 2018, p.44), el promedio del IC para los años 2015, 2016 y 2017 es de 21.53. Resolución 2115 (p.11) Cuadro No.9
Análisis de calidad de agua en condiciones normales y durante situaciones de emergencia	Se realizan los análisis en condiciones normales y durante situaciones de emergencia	Se realizan los análisis en alguno de los dos escenarios	No se realizan los análisis en ninguno de los escenarios	3	Alta	Los cálculos de los IRCAS mensuales de control serán realizados por el prestador del servicio (Art 16, Res 2115 de 2007). Por su parte, Superservicios (2018, p. 51) afirma que el prestador presuntamente no cumplió con la periodicidad de acuerdo con los parámetros durante las vigencias 2016 y 2017, es de precisar que para la vigencia 2015 no se realizaron muestreos de control de la calidad del agua en red de distribución
Sectorización	La sectorización prevista en caso de emergencia abastece más del 60% de los suscriptores del servicio de acueducto	La sectorización prevista en caso de emergencia abastece entre el 30% y 60% de los suscriptores del servicio de acueducto	La sectorización prevista en caso de emergencia abastece hasta 30% de los suscriptores del servicio de acueducto	2	Media	Dentro de las <i>Situaciones N. 1 y 2</i> de las <i>Acciones de Respuesta según la ocurrencia del evento</i> (Aguas Mocoa, 2018, p. 70-71) el abastecimiento de agua cubre el 87% de los suscriptores; sin embargo, para la <i>Situación 3</i> , prevista como un evento en <i>alerta negra</i> no se tiene previsto el análisis de demanda de agua a la población afectada. Por lo anterior, se considera que la vulnerabilidad para esta variable es media.
Pérdidas de agua (Res CRA 151 de 2001; Res CRA 288 de 2004)	El nivel máximo de pérdidas de agua según el Índice de Agua No Contabilizada (IANC) del prestador del servicio de acueducto será 30%	El nivel máximo de pérdidas de agua según el Índice de Agua No Contabilizada (IANC) del prestador del servicio de acueducto supera el 30%	El prestador del servicio de acueducto no estima el Índice de Agua No Contabilizada (IANC) del prestador	3	Alta	Debido a la inexistencia de macromedición a lo largo del sistema no es posible estimar las pérdidas de agua (Superservicios, 2018, p.3)
Respuesta ante daños de infraestructura	El tiempo de respuesta ante daños a la infraestructura es menor a 3 días	El tiempo de respuesta ante daños a la infraestructura esta entre 3 y 5 días	El tiempo de respuesta ante daños a la infraestructura es mayor a 5 días	3	Alta	De acuerdo con el Tiempo de respuesta del <i>Análisis de Factores de Vulnerabilidad</i> (Tabla 12) (Aguas Mocoa, 2018, p.27), se estima que la respuesta de daños a la infraestructura ante avenidas torrenciales y fenómenos de remoción en masa es de 8 días aproximadamente.
Existencia de un Plan de Emergencia y	El plan permite que los diferentes niveles de	El plan permite que los diferentes niveles de	El plan permite que los diferentes niveles de	3	Alta	De acuerdo con lo afirmado por Superservicios (2018, p. 73; 91) se evidencia una serie de

Contingencia actualizado	(PEC)	decisión y operación responde rápidamente con los recursos disponibles para restaurar los niveles de servicio que tenían antes del desastre	decisión y operación responden parcialmente con los recursos disponibles para restaurar los niveles de servicio que tenían antes del desastre	decisión y operación no respondan rápidamente con los recursos disponibles para restaurar los niveles de servicio que tenían antes del desastre	conductas reiterativas señaladas en el desarrollo de la evaluación integral en comparación a la realizada en el año 2016; así mismo; así mismo, afirma que Aguas Mocoa no evidencia la evaluación de los daños posterior a la catástrofe sucedida en marzo de 2017. Por lo anterior, se estima que el prestador del servicio no actualiza el contenido mínimo establecido en el anexo 1 de la Res. 154 de 2014.
Total					16

Tomado y adaptado de Minvivienda y UNGRD (2014).

De acuerdo con la evaluación realizado al componente operacional, la vulnerabilidad calificada es de 16, siendo este componente el de mayor valor.

#### **8.4. VULNERABILIDAD TÉCNICA**

Se refiere a las inadecuadas técnicas de construcción de la infraestructura básica utilizadas en áreas de riesgo (incapacidad de control y manejo de las tecnologías frente a los riesgos). Las variables evaluadas en el factor técnico (tabla 45), son aquellas estipuladas en herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres aplicada para al prestador del servicio de acueducto (Minvivienda y UNGRD, 2014). La información consultada para la calificación de este componente se describe en la Evaluación Integral a prestadores (Superservicios, 2018).



Tabla 44. Análisis de Vulnerabilidad Técnica del Sistema Palmeras.

Variable	Criterios de valoración de Vulnerabilidad			Vulnerabilidad		Observaciones/Fuente
	Baja (1)	Media (2)	Alta (3)	Valor	Categoría	
Medios de comunicación para ser usados en condiciones de emergencias	En el PEC el prestador del servicio de acueducto menciona la calidad y cantidad de los medios de Comunicación, disponibles para la atención de emergencias	En el PEC el prestador del servicio de acueducto menciona la cantidad de los medios de Comunicación, disponibles para la atención de emergencias	En el PEC el prestador del servicio de acueducto no menciona calidad ni cantidad de los medios de Comunicación, disponibles para la atención de emergencias	2	Media	Las comunicaciones se definen para cada Componente o integrante de la línea de mando (Superservicios, 2018, p. 89). Sin embargo, <i>la Tabla 27 Equipos de comunicación</i> del PEC de Aguas Mocoa no referencia el estado de los equipos. Es por esto que se estima que el prestador desconoce la calidad de los mismos.
La gestión de los procesos de la información, aun en situaciones de emergencia.	Hay gestión de los procesos y de los informativos en condiciones normales y en situaciones de emergencia	Hay gestión en los procesos informativos en condiciones normales	No hay la gestión en los procesos informativos en condiciones normales ni en situaciones de emergencia	3	Alta	No existe seguridad en los procesos informativos en condiciones normales; en los <i>aspectos financieros</i> Aguas Mocoa no certifica los últimos cargues de la información al Sistema Único de Información SUI requeridos en el formato indicado bajo el nuevo marco normativo, el prestador no ha elaborado ni certificado su información bajo el nuevo marco normativo NIF (Superservicios, 2018, p. 8; 11); dentro de los <i>aspectos técnicos</i> , Superservicios (2018) afirma que una vez consultado el SUI se encontró que Aguas Mocoa no reporta información referente a la captación (p. 35), en cuanto los <i>aspectos comerciales</i> , Superservicios (2018) afirma que no se puede obtener información de quejas o tratamiento de las mismas ya que la parte técnica no se encuentra enlazada con el sistema, esta información es manejada en un formato Excel (p. 57), así mismo afirma que no se cuenta con información verás del catastro de suscriptores (p. 73), por último no existe un información oportuna y verás sobre la cantidad de usuarios en estado de suspensión y corte (p. 74). Por lo anterior, no existe una tecnología empleada por el prestador para la administración de la información en condiciones normales y el único aspecto en situación de emergencia, el prestador presenta un protocolo de actuación para informar a la comunidad sobre la emergencia presentada (Superservicios, 2018, p. 89)
Sistematización de operaciones relacionadas con la reducción de riesgos y atención de emergencias.	Existe sistematización de operaciones relacionadas con la reducción de riesgo y atención de emergencias	Existe sistematización de operaciones relacionadas con la reducción de riesgo y no atención de emergencias	No existe sistematización de operaciones relacionadas con la reducción de riesgo y atención de emergencias	3	Alta	No se evidencia información sobre la sistematización de los procesos de gestión del riesgo nombrados para esta variable.
Total						8

En la tabla 44, se muestra la calificación total del componente técnico, con un valor de 8.

### **8.5. VULNERABILIDAD ECONÓMICA**

Minvivienda y UNGRD (2014) mencionan que los factores económicos están asociados a la disponibilidad de recursos que tiene el prestador del servicio de servicios públicos domiciliarios para realizar las intervenciones necesarias en los procesos de la gestión del riesgo; así mismo afirma que se evalúa el esquema de aseguramiento y la cobertura que el prestador ofrece frente a posibles situaciones de desastre, como instrumentos financieros y alternativas de recursos para posibles emergencias que se puedan presentar.

Dentro del proceso de la reducción del riesgo, la protección financiera busca que los prestadores cuenten con los recursos económicos en el momento que se presente una emergencia o desastre y se puedan cubrir total o parcialmente las posibles pérdidas que estos originen (Minvivienda y UNGRD, 2018).

La información financiera consultada en la presente sección es la referida en la Evaluación Integral de Prestadores de Superservicios (2018) realizada a Aguas Mocoa S.A. E.S.P. a los Análisis de los Estados Financieros 2016 – 2017.

Las variables económicas estudiadas, serán aquellas relacionadas a los aspectos financieros de Aguas Mocoa S.A E.S.P. como prestador del servicio de acueducto y los instrumentos que adopta para reducir el riesgo ante deslizamientos y avenidas torrenciales (Tabla 45).



Tabla 45. Análisis de Vulnerabilidad económica de Aguas Mocoa S.A. E.S.P.

Variable	Criterios de valoración de Vulnerabilidad			Vulnerabilidad		Observaciones/Fuente
	Baja (1)	Media (2)	Alta (3)	Valor	Categoría	
Medidas de Mitigación y Prevención del riesgo en el Plan de Obra e Inversiones (POI)	Se definen las medidas de mitigación y prevención	Se definen las medidas de mitigación o prevención	No existe el POI y por ende no se definen las medidas de mitigación ni prevención	3	Alta	Superservicios (2018) afirma que el prestador no incluye en el PEC una estimación de los requerimientos económicos del Aspecto 1.2.2. de la Res. 154 de 2014, destinados para los eventos de una emergencia (p. 56). Por lo anterior, se califica una vulnerabilidad alta al no encontrar evidencia de información asociada al POI.
Índice de liquidez (Li) (Índice Financiero, Art. 6, Res. 315 de 2005)	Rango I Superior $Li \geq 1.1$	Rango II Intermedio $Li > 1.1$ o $0.8 < Li < 1.1$	Rango III Inferior $Li < 1.1$	1	Baja	De acuerdo a los Indicadores Financieros bajo PUC (Superservicios, 2018, p. 21) los indicadores aquí referidos se encuentran dentro el rango superior correspondiente al nivel superior de desempeño de la metodología de clasificación del nivel del riesgo, de las personas de acueducto, y alcantarillado.
Índice de Rentabilidad EBITDA año 2017 (Ingresos menos gastos, excluyendo los gastos financieros. Capacidad de generación de beneficios de una empresa considerando solamente su actividad productiva (Sevilla, s.f.))	Ingresos mayores a gastos. Si el valor del índice EBITDA es mayor a 1%	Ingresos mayores a gastos. Si el valor del índice EBITDA esta entre 0% y 1%	Ingresos menores a gastos. Si el valor del índice EBITDA es menor a 0%.	3	Alta	De acuerdo a los Indicadores Financieros bajo PUC (Superservicios, 2018, p. 21), la rentabilidad EBITDA para el año 2017 es de -4.63%. Estos indicadores negativos obedecen fundamentalmente a la reducción en los ingresos operacionales y el aumento en los costos de ventas y gastos operacionales (Superservicios, 2018) que puede estar relacionado a la cobertura posterior a los eventos ocurridos la noche del 31 de marzo de 2017.
Total						7

## 8.6. CALIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La herramienta Metodológica para la Formulación de Programas de Gestión del Riesgo de Desastres en los servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Minvivienda y UNGRD (2014), establece que en la identificación de la vulnerabilidad como mínimo deben evaluarse los factores físico, institucional, operacional, técnico y económico. Por lo anterior, se definieron las variables mínimas descritas y se asignaron criterios de valoración para cada factor, realizando una aproximación del nivel de vulnerabilidad del Sistema Palmeras del acueducto municipal de Mocoa. Cada una de las variables fueron calificadas de acuerdo con las características del sistema y la información secundaria disponible (Tabla 47).

Tabla 46. Factores de Vulnerabilidad del Sistema Palmeras del Acueducto municipal de Mocoa.

Factor Vulnerabilidad	(Valor)
Físico	6
Institucional	7
Operacional	16
Técnico	8
Económico	7
<b>Total</b>	<b>44</b>

Con base en el Análisis de Vulnerabilidad de la Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo de la UNGRD (2012), la determinación de la vulnerabilidad, se obtiene de la sumatoria de todas las variables que permite determinar el valor de la vulnerabilidad total. Con el valor obtenido se determina si la vulnerabilidad es alta, media o baja, teniendo en cuenta los intervalos y características descritas en la tabla 47.

Tabla 47. Calificación de la vulnerabilidad. Tomado y adaptado de UNGRD (2012).

Calificación	Descripción Características	Intervalo
VB (Vulnerabilidad Baja) (1)	Las características específicas de cada componente del sistema de acueducto son óptimas, su infraestructura física cuenta con un excelente estado de conservación, con materiales sismoresistentes, conexiones óptimas y adecuado mantenimiento en el cuidado del sistema. El prestador del servicio de acueducto identifica, conoce y pone en marcha un plan óptimo de capacitación de los procesos de gestión del riesgo a los diferentes niveles	16-26

de responsabilidad. Identifica y dispone medios de comunicación eficientes, posee seguridad en los procesos de administración de la información y sistematiza óptimamente las operaciones relacionadas con la reducción de riesgos y atención de emergencias. Gestiona de manera adecuada y eficiente los recursos económicos necesarios para la atención de emergencias e implementa alternativas financieras que afrontan con mayor facilidad los posibles impactos residuales de una situación de emergencia o desastre.

VM  
(Vulnerabilidad  
Media) (2)

Las características específicas de cada componente del sistema de acueducto son regulares, la calidad de los materiales de construcción es reducida, con pocos mantenimientos preventivos no definitivos. No existe un conocimiento real del riesgo que impiden un adecuado proceso de reducción de riesgo y atención de emergencias. Los medios de comunicación disponibles son adecuados, la seguridad en los procesos de administración de la información es poca y se cumple medianamente con la sistematización de operaciones relacionadas con la reducción de riesgos y atención de emergencias. La gestión se ve reducida en la consecución de recursos económicos y en la implementación de alternativas financieras que afrontan los posibles impactos residuales de una situación de emergencia o desastre.

27-37

VA  
(Vulnerabilidad  
Alta) (3)

Las características específicas de cada componente del sistema de acueducto son regulares, su infraestructura física cuenta con un bajo estado de conservación, sus materiales de construcción presentan deterioro limitando su nivel de funcionamiento y seguridad de la estructura, con altos tiempos de respuesta en reparación y puesta en marcha de los componentes del sistema. El prestador del servicio de acueducto no identifica, no conoce ni pone en marcha un plan óptimo de capacitación de los procesos de gestión del riesgo a los diferentes niveles de responsabilidad. Desconoce la calidad o cantidad de los medios de comunicación poniendo en riesgo la seguridad en los procesos de administración de la información y sistematización de las operaciones relacionadas con la reducción de riesgos y atención de emergencias. La situación financiera del prestador se encuentra altamente afectada presentando bajos índices financieros lo que limita la gestión y consecución de recursos económicos necesarios para la atención de emergencias e incluso afectando su capacidad económica aún en tiempos de normalidad, desconociendo los instrumentos y alternativas financieras que le permiten afrontar los posibles impactos residuales de una situación de emergencia o desastre.

38-48

De acuerdo a la Tabla 47, el sistema de Acueducto Palmeras del municipio de Mocoa posee una vulnerabilidad alta (3), en donde el componente operacional presenta la más alta calificación asociado al incumplimiento de los parámetros establecidos a la calidad de agua abastecida con niveles de riesgo altos e inviablemente sanitarios y la reducción de la cobertura del servicio de acueducto entre el 2015 y 2017 (Superservicios, 2018, p. 73; 42), en el mismo sentido bajos niveles de desempeño en indicadores operativos de conformidad a lo establecido por la CRA (Res 315 de 2005), altos tiempos de respuesta ante daños en condiciones de emergencia afectando el servicio continuo de abastecimiento de agua potable e incumpliendo con los lineamientos mínimos del Plan de Emergencia y Contingencia de acuerdo a la Resolución 154 del 2014.

Las características específicas de cada componente del sistema de acueducto presentan una vulnerabilidad física media. El prestador del servicio de acueducto no cumple con las capacitaciones mínimas requeridas de los procesos de gestión del riesgo, al no realizar la evaluación de daños posterior a la catástrofe sucedida la noche del 31 de marzo de 2017 (Superservicios, 2018, p. 91) desconociendo su efectividad en la atención de la emergencia mencionada, siendo está catalogada como el evento de avenidas torrenciales más crítico en términos de vidas humanas registrados en Colombia (Aristizábal, et al, 2020). La situación financiera de Aguas Mocoa arroja que la empresa no dispone de suficientes líquidos para respaldar sus obligaciones de corto plazo con indicadores de rentabilidad negativos para el año 2017, por su reducción en los ingresos operacionales y el aumento en los costos de ventas y gastos operacionales (Superservicios, 2018, p. 21).

## 9. CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA DEL ACUEDUCTO

En el marco conceptual de la gestión de riesgo, la Ley 1523 de 2012, la cual contempla varios procesos que corresponden al conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres. En tal sentido, el artículo 37 establece que las autoridades departamentales, distritales y municipales formularán y concertarán un plan de gestión del riesgo de desastres y una estrategia para la respuesta a emergencias de su respectiva jurisdicción. Así mismo, el mismo artículo en su párrafo segundo menciona que los programas y proyectos de estos planes se integrarán en los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas y de desarrollo y demás herramientas de planificación.

Es por este motivo los Lineamientos metodológicos y normativos de los planes GRD (gestión de riesgos y desastres) en los PDA (Planes departamentales de agua), son prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo lo que deben dar una respuesta coherente a la complejidad de las emergencias y así mismo, integrar dichos planes a las estrategias municipales y departamentales.

Los instrumentos normativos están relacionados con la Resolución 154 de 2014, que adopta los lineamientos para la formulación de los planes de emergencia y contingencia para el manejo de desastre. Al igual que la Resolución 549 de 2017 que incorpora las actividades mínimas del estudio de riesgo, programas de gestión de riesgo y planes de contingencia. También se considera la Resolución 527 de 2018 que modificó la 154 de 2014.

En la resolución No. 154 de 2014 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se adoptan los lineamientos para la formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia, los cuales están contenidos en el anexo 1 de la presente resolución.

Con base en lo anterior se permitirá su calificación y ponderación, en donde este instrumento es clasificado por categorías con un rango de 1 a 5, teniendo una capacidad

muy baja (1), capacidad baja (2), capacidad media (3), capacidad alta (4) y capacidad muy alta (5).

De acuerdo con las valoraciones referidas en la matriz de evaluación para determinar vulnerabilidad por capacidad de gobernanza y gestión territorial (Vera y Albarracín, 2017), para el presente caso, estas serán adaptadas y ajustadas en la valoración de la capacidad de respuesta del sistema de acueducto de cada uno de los aspectos del anexo 1 de la Resolución 154 de 2014. (tabla 48)

Tabla 48. Matriz de evaluación para determinar la capacidad de respuesta del sistema de acueducto.

Nivel	Valor	Descripción
Capacidad muy baja	1	No está definido
Capacidad Baja	2	Desactualizado y no aplica
Capacidad Media	3	Desactualizado y aplica
Capacidad Alta	4	Actualizado y no aplica
Capacidad muy Alta	5	Actualizado y aplica

Tomado y adaptado de Vera y Albarracín (2017).

De acuerdo a la descripción de la tabla 48, el término desactualizado se refiere a la versión del documento respecto al año de formulación con el reporte y cargue al Sistema Único de Información SUI. Por su parte, la referencia “aplica”, refiere si la mitad más uno de las exigencias de cada uno de los aspectos a contemplar dentro del Plan de Emergencia y Contingencia del prestador del servicio de acueducto, cumple con lo mínimo establecido en la resolución 154 de 2014; y el “no aplica” para el caso contrario.

## 9.1. PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA

El plan de emergencia y contingencia, es un instrumento que deben adoptar los prestadores de servicios públicos domiciliarios como un programa de Gestión del Riesgo de desastre sectorial, en concordancia con la Política de Gestión del Riesgo de Desastres (Ley 1523 de 2012), con el fin de promover la generación del conocimiento sobre los riesgos en el sector, establecer mecanismos para su reducción, fortalecer las

estrategias para el manejo de desastres y la capacidad institucional en los diferentes niveles para que sean implementadas adecuadamente (MVCT, 2014) .

La implementación de este programa de gestión del riesgo de desastres en la prestación de servicios públicos domiciliarios se establece en la Ley 1523 de 2012; seguido de esto, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MCVT (2014) establece los Lineamientos para incorporar la Política de Gestión del Riesgo de Desastres en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado con el fin de establecer directrices orientadas a las personas prestadoras. Así mismo el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT (2014) mediante la Resolución 154 de 2014 establece adoptar los lineamientos para la formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Por último, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD presenta una herramienta con el objeto de exponer una visión global integral acorde a la Ley 1523 de 2012, partiendo de un marco conceptual y acogiendo las peculiaridades e implicaciones de la prestación de los servicios públicos domiciliarios considerados como servicios vitales para las condiciones de la vida humana (Minvivienda, UNGRD, 2014).

Así mismo, MCVT en su resolución 527 de 2018 en su artículo 1, modifica el artículo 4 de la Resolución 154 de 2014 en donde establece que los Planes de Emergencia y Contingencia elaborados por los prestadores de servicio deben ser incorporados por las entidades territoriales en la formulación y adopción de Plan Municipal de la gestión del riesgo de desastre y estrategias Municipales de respuesta, como también debe ser socializado por el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Por otra parte, se reitera que estos planes deben ser elaborados en aplicación de los parámetros mínimos establecidos en la Resolución número 154 de 2014 y que estos deben ser actualizados anualmente y cuando se ejecuten obras y acciones de reducción del riesgo sectorial, exista un mejoramiento en el conocimiento del riesgo, posterior a la evaluación

de resultados de simulacros; o por la materialización de situaciones de emergencia asociadas a la prestación del servicio.

En este sentido, se evaluó el Plan de Emergencia y Contingencia de Aguas Mocoa S.A E.S.P. del año 2019, el cual fue consultado y descargado en el sistema oficial del sector de servicios públicos domiciliarios, el Sistema Único de Información – SUI. El cargue del plan del año 2021 se encuentra en estado de reporte “pendiente” y el del año 2020 se encuentra “certificado”, sin embargo, cuando se realiza su descarga, este plan corresponde a la prestación del servicio de alcantarillado (Figura 40).



Reporte de planes de contingencia y emergencia

AÑO: 2020  
DEPARTAMENTO: PUTUMAYO  
MUNICIPIO: MOCOA  
EMPRESA: 26544-AGUAS MOCOA SA ESP

Reporte de planes de contingencia y emergencia

AÑO: 2020  
DEPARTAMENTO: PUTUMAYO  
MUNICIPIO: MOCOA  
EMPRESA:

Departamento	Municipio	ID Empresa	Empresa	Servicio(s)	Plan de Contingencia	Estado de Reporte	Fecha de cargue
PUTUMAYO	MOCOA	26544	AGUAS MOCOA SA ESP	Acueducto	PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA ALCANTARILLADO ACTUALIZADO COVID19.pdf	Certificado	19-07-2020
PUTUMAYO	MOCOA	26544	AGUAS MOCOA SA ESP	Alcantarillado	PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA ALCANTARILLADO ACTUALIZADO COVID19.pdf	Certificado	19-07-2020

Figura 39. Reporte y cargue del Plan de Emergencia y Contingencia Aguas Mocoa S.A. E.S.P. para el año 2020. Fuente: [http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=sui\\_adm\\_028](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=sui_adm_028)

Para realizar su evaluación, en el Plan de Emergencia y Contingencia del año 2019, serán analizados el capítulo 1 y los cuatro aspectos fundamentales y capítulo 2 Res 154 de 2014, los cuales a través de una ponderación simple se obtendrá la capacidad de respuesta del sistema de acueducto:

1. Capítulo 1. Preparación de la Respuesta Formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia.

- a. La ocurrencia misma del evento y sus impactos sociales, económicos y ambientales.
- b. Los requerimientos institucionales, los recursos físicos y humanos para atender los posibles impactos causados por un evento.
- c. La secuencia coordinada de acciones que deben realizar el prestador de servicio y las autoridades municipales o regionales, para responder ante los impactos causados por el evento.
- d. El análisis posterior al evento para conocer si las acciones realizadas tuvieron el impacto previsto.

## 2. Capítulo 2. Ejecución de la Respuesta.

Cabe resaltar que, Aguas Mocoa describe que los eventos amenazantes más representativos sobre el Sistema Palmeras del acueducto son las avenidas torrenciales, seguido de los deslizamientos e inundaciones presentando un alto nivel de afectación sobre los componentes en la bocatoma aducción y conducción (2019, p.51) al que corresponde a la evaluación del Plan de Emergencia y Contingencia del año 2019.

### **9.1.1 Preparación de la Respuesta Formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia.**

#### **9.1.1.1 Aspecto 1: La ocurrencia del evento y sus impactos sociales, económicos y ambientales.**

Sobre el aspecto 1, la resolución menciona que la planificación debe soportarse en los eventos que realmente pueden suceder que puedan incidir en el desabastecimiento de agua o la interrupción de los servicios en donde la estimación del riesgo permita definir los impactos sociales, económicos y ambientales.

En este aspecto, se evalúan características como eventos presentados y los tres (3) impactos mencionados anteriormente. Si solo dos de estas características es cumplida

dentro del PEC, este aspecto es catalogado como “No aplica”; si tres o todas las características son cumplidas, se cataloga como “Aplica”.

#### *9.1.1.1.1 Eventos ocurridos.*

En el Plan de Emergencia y Contingencia, Aguas Mocoa (2019, p.24) relaciona un histórico de los eventos ocurridos desde 1998 hasta el 2018 siendo las inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales más frecuentes.

#### *9.1.1.1.2 Impactos sociales, económicos y ambientales.*

Sobre los impactos, Aguas Mocoa (2019, p35) menciona que los riesgos generados por efecto de la prestación de los servicios domiciliarios sobre la sociedad, las enfermedades de transmisión hídrica pueden considerarse como impactos sociales; y la desestabilización de terrenos, contaminación hídrica y suelos se toman como impactos ambientales. Sobre los impactos económicos, el prestador no hace referencia alguna sobre esto.

De acuerdo con lo anterior, el aspecto 1 cumple con 3 de las 4 características que la resolución establece. Es por esto, que el aspecto 1 esta desactualizado y aplica, valor 3.

#### **9.1.1.2 Aspecto 2: Los requerimientos institucionales, los recursos físicos y humanos para atender los posibles impactos causados por un evento.**

Este aspecto, a su vez se compone de la elaboración de inventarios, identificación de requerimientos, funciones mínimas del comité de emergencias, establecimiento de necesidad de ayuda externa y fortalecimiento de educación y capacitación. Si tres o más características de las mencionadas anteriormente cumplen con lo exigido en la norma, el presente aspecto se cataloga como “Aplica, de lo contrario, este sería catalogado como “No aplica”.

#### *9.1.1.2.1 Elaboración de inventarios.*

Para esta sección, la resolución indica los contenidos mínimos para incluir dentro de esta en la atención de la emergencia. Su evaluación se hará en un rango de 1 a 5, siendo 1 el ítem que no cumpla con el inventario ni los requerimientos y 5 el ítem que cumple con todo lo relacionado en el inventario y requerimiento. Al final, se realiza un promedio simple de las valoraciones de todos los ítems y se obtendrá la valoración del aspecto 2 (tabla 49). La referencia de inventario y requerimientos, se hace tal y como lo indica los términos de la Resolución 154 de 2014.

Tabla 49. Matriz de Evaluación de los requerimientos institucionales, los recursos físicos y humanos para atender los posibles impactos causados por un evento

Ítem	Resolución 154 de 2014		PEC (2019)	Valoración
	Inventario	Requerimiento	Aguas Mocoa S.A E.S.P.	
Recursos Físicos	Descripción de los sistemas de acueducto discriminado por dimensiones. Detalle de la obra como la planta de tratamiento donde se discriminen los procesos	Material de reparación, reconstrucción o restitución de la infraestructura afectada durante la emergencia, discriminando cantidad estimada, tipo de material y dimensiones.	De acuerdo a lo establecido en este ítem, el PEC hace una descripción de la infraestructura física del sistema Palmeras, mencionando el tipo de material y dimensiones, no menciona cantidades estimadas. (p. 60-73)	4
Recurso Humano	Describir el número de personas agregadas en el organigrama, relacionadas por profesión nombre, número telefónico, contacto en caso de emergencia, haciendo una descripción de las capacitaciones recibidas especialmente en atención de emergencias.	Número de personas que se requiera para atender una emergencia, estableciendo un organigrama por amenaza discriminando el rol para cada una de ellas, conformando un equipo de trabajo con responsables en las áreas operativa, administrativa y financiera.	En cuanto a este ítem, el PEC relaciona únicamente su organigrama con la estructura orgánica de la empresa (p. 86). Se omite la relación de profesiones, contactos y descripción de capacitaciones.	2
Edificaciones	Localización de sedes de las diferentes dependencias describiendo los departamentos que en ellas funcionan.	Definir sitio para "Sala de Crisis" que ofrezca condiciones seguras frente a las amenazas con equipos y recursos suficientes para funcionar	El PEC, describe las edificaciones con todo lo que la resolución establece para este. (p. 87-88)	5

		en situaciones de emergencia entre otros requerimientos específicos.		
Recursos económicos	Disponibilidad de recursos diferenciando vigencia fiscal y fuente.	Análisis financiero de costos de atención de una emergencia discriminado por ítem.	Se hace una relación de estimación de costos durante la ocurrencia de un evento y la descripción del presupuesto para la atención de emergencias (p. 89). Si bien es cierto, los requerimientos hablan de costos requeridos en una emergencia, Minvivienda y UNGRD menciona que esa disponibilidad de recursos debe estar asociada también a intervenciones necesarias para el conocimiento y reducción del riesgo y esquema de aseguramiento y cobertura ofrecida por el prestador frente a posibles situaciones de emergencia (p. 20).	3
Vehículos	Vehículos y maquinaria para operación y mantenimiento.	Cantidad y tipo para transportar personal, equipo de mantenimiento y maquinaria pesada	Se relacionan vehículo, y maquinaria propios y de terceros disponibles (p. 89-90). Sin embargo, no se especifica el personal disponible para su operación y manejo en condiciones de emergencia.	3
Equipos	Equipos como canguros, compactadoras, entre otros.	Equipos necesarios para evaluar y reparar la infraestructura afectada durante la emergencia.	Se mencionan los equipos de acuerdo a lo establecido en el presente ítem (p. 91), sin embargo, no se menciona el estado de cada uno de ellos.	4
Almacenes	Inventario actualizado de insumos para reposición y reparación de infraestructura.	No aplica	Se mencionan los insumos de acuerdo a lo establecido en el presente ítem (p. 92)	5
Comunicaciones	Equipo de comunicaciones móviles.	Equipos de comunicación que permitan la comunicación permanente del personal.	Se mencionan los insumos de acuerdo a lo establecido en el presente ítem (p. 92)	5
Sistemas de monitoreo	Sistemas que permiten el control de calidad, cantidad y continuidad del servicio de acueducto.	Definir el sistema de alarma frente a la amenaza y sus medios de	Se relaciona las alertas tempranas que dispone el prestador del servicio; sin embargo, Aguas Mocoa menciona unos sensores de la UNGRD, así mismo cuentan con una persona habitante de la zona, en la bocatoma quien emite la alarma quien determina según protocolos establecidos para cada tipo de	3

		comunicación para su transmisión	amenaza. No menciona que preparación y capacitación tiene esta persona, y quien es su suplente en caso de presentarse la emergencia y este se encuentre ausente.,	
Hidratantes y otros equipos para atención de emergencias	Determinar equipos como hidratantes, plantas potabilizadoras, carrotaques y unidades sanitarias disponibles en situaciones de emergencia que atienden a usuarios en condiciones anormales	Hidratantes especialmente cuando se presentan incendios o eventos que puedan detonarlos; estos deben permitir llevar los servicios a albergues temporales y demás edificaciones.	El prestador del servicio referencia la disponibilidad de hidratantes, su estado, escenario de riesgo y su ubicación (p. 96). No menciona los otros equipos relacionados en este ítem.	3
Sitios de posibles albergues temporales y edificaciones masivas e indispensables	Es importante que el prestador del servicio conozca la localización de estos sitios designados por el Consejo Municipal de Gestión del riesgo de Desastres, aptos para ubicar a la población afectada por un desastre	Medios para prestar el servicio de acueducto a los albergues temporales y demás edificaciones.	Se mencionan las edificaciones, capacidad, personal logístico y escenarios de riesgo, de acuerdo a lo establecido en el presente ítem (p. 97-98)	5

La ponderación simple de los requerimientos establecidos en el aspecto 2, arroja un resultado de 4, lo que indica que el presente aspecto está desactualizado y aplica, es decir tiene una valoración de 3.

### 9.1.1.3 Aspecto 3: Secuencia coordinada de acciones.

En este aspecto, se establecen las acciones para poner en marcha ante una emergencia que pueda originar desabastecimiento de agua o interrupción del servicio en donde se recomienda adoptar niveles de alerta que dan inicio a las mismas que dependen del tipo de evento.

Para llevar a cabo esto, en primer lugar, se establece la línea de mando, comunicaciones, protocolo de actuación y formato para evaluación de daños.

#### 9.1.1.3.1 Línea de mando.

Se establece en cabeza de quien debe darse la coordinación de la atención de emergencia y su estructura piramidal, estableciendo un organigrama dependiendo del tipo de evento.

Se debe establecer la participación de cada dependencia y la responsabilidad frente a temas relacionados con (tabla 50):

Tabla 50. Matriz de evaluación de la línea de mando del aspecto 3.

Tema	Información en el PEC (2019)	Valoración
Logística	Se establecen las operaciones de acuerdo a los responsables de cada proceso. Sin embargo, los responsables de los procesos referidos en las funciones y responsabilidades (p. 105), no están relacionado en el organigrama de la línea de mando.	3
Calidad del agua provista	Aunque el prestador menciona que, dentro de las funciones del subcomité de producción y distribución, está la de monitorear los niveles de turbiedad, pH, color, alcalinidad y caudal de la fuente (p. 106), allí no se especifica los medios para realizar dichas actividades.	4
Recolección y transporte de excretas.	Aunque el prestador menciona que, dentro de las funciones del subcomité de producción y distribución, está la de realizar abastecimiento de servicios públicos a los albergues temporales. Coordinar la recolección y transporte de excretas (p. 107), no se menciona la disposición final de estas y si esta está autorizada por las autoridades ambientales competentes.	3
Recolección, transporte y disposición de residuos sólidos.	Estas actividades se establecen dentro de las funciones a cargo del jefe de área técnica (p. 106). Sin embargo, no refieren los detalles que permitan definir si estas actividades cumplen con su fin.	3

Abastecimiento de servicios públicos a los albergues temporales	Se relaciona dentro de las funciones del profesional de apoyo PTAP (p. 107). Sin embargo, no se especifica como se abastecerá el agua potable a los albergues, tipo de vehículo, cantidad y disponibilidad.	3
Cierre de circuitos afectados por el evento	Se relaciona dentro de las funciones del profesional de apoyo PTAP (p. 107). Sin embargo, no se especifica como se abastecerá el agua potable a los albergues, tipo de vehículo, cantidad y disponibilidad.	3
Garantizar recursos económicos, físicos y humanos	Se relaciona dentro de las funciones del Gerente (p. 105). Sin embargo, no se especifica el fondo de los recursos necesarios.	3
Evaluación de daños y reparaciones inmediatas.	Se relaciona la evaluación de daños como función del profesional de apoyo PTAP; en cuanto las reparaciones inmediatas, no hay personal a quien se le asigne esta actividad, el documento no refiere nada al respecto.	2
Articulación con otras entidades	Se define como función del gerente, sin embargo, se omite la normatividad en la que debe apoyarse el responsable para su debida gestión.	3
Atención a edificaciones indispensables (Hospitales, clínicas, bomberos, etc.)	Se define dentro de las funciones del subcomité de producción y distribución, sin exponer detalles.	4

---

Al igual que en el aspecto 2, la línea de mando se evaluó tal y como se hizo en los requerimientos, en un rango de 1 a 5. Al revisar este aspecto, se evidencia que el prestador del servicio se remite únicamente a escribir lo que la resolución india; no relacionan detalles de los procesos, disposición final, medios para realizarlas.

La ponderación simple de los temas a fin de la línea de mando establecidos en el aspecto 3, arroja un resultado de 3, lo que indica que el presente aspecto esta desactualizado y aplica.

#### 9.1.1.3.2 Comunicaciones.

Se refiere a la elaboración de un protocolo de actuación de los medios de comunicación para convocar a todos los actores involucrados para la toma de decisiones e información a la comunidad. En esta sección se aclara que solo el Gerente o su delegado deben estar autorizados para comunicarse con otras entidades.

El Plan de Emergencia y Contingencia (2019), relaciona las comunicaciones según el nivel de alerta (p. 108). Este protocolo hace referencia a los medios de comunicación utilizados para la coordinación con el personal interno de la empresa en la elaboración de informes e información a la comunidad del estado de la emergencia. Sin embargo, no referencia el protocolo de actuación y medios de comunicación del Gerente o su delegado con el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo u otras entidades interinstitucionales.

Por lo anterior, la evaluación del protocolo de los medios de comunicación no cumple con lo mínimo establecido en la norma, aún en un proceso tan importante como lo es la coordinación con la gestión del riesgo de desastres que adelanta el municipio ante una emergencia. En consecuencia, este ítem no aplica y queda categorizado como desaplicado y no aplica con un valor de 2.

#### 9.1.1.3.3 Protocolo de actuación.

La norma establece que los protocolos de actuación para cada evento, se obtienen de la secuencia de acciones, en donde se expresan las actividades relacionadas, para cada nivel de alerta en la mencionada resolución (p. 16).

El Plan de contingencia relaciona los *Protocolos de actuación para movimientos en masa o deslizamientos* y *Protocolo de actuación para avenidas torrenciales e inundaciones*. En el plan presentado, los protocolos de actuación en las alarmas amarilla

y naranja descritos, no describen de manera específica las acciones que se establecen en la resolución.

Estos a nivel general presentan todo lo que establece la norma. Sin embargo, en los niveles de alarma naranja, omiten actividades que la norma establece textualmente tales como el momento en el cual se inicia la aplicación de los protocolos de comunicación, ejecución de obras de emergencia si están dan lugar.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta que, a la fecha del presente análisis, el Plan de emergencia y contingencia se encuentra desactualizado, la valoración es de 3, es decir se cataloga como desactualizado y aplica.

#### 9.1.1.3.4 Formato para evaluación de daños.

Dentro del plan, el prestador del servicio relaciona en el anexo 1, el Formato establecido para la evaluación de daños tal y como lo muestra Minvivienda y UNGRD (2014, p. 58). No obstante, la resolución menciona que estos deben incluirse como un componente básico de capacitación usándolo en todos los simulacros e incluyendo una explicación de cómo usarlos.

Al no encontrar evidencia de la capacitación sobre el manejo del formato de evaluación de daños, instrucción de como diligenciarlo y adaptación de este en todos los simulacros, se cataloga este ítem como desactualizado y aplica con un valor de 4.

Una vez evaluados todos los ítems del aspecto 3, su valor se obtiene a través del promedio simple de estos y con su valor final de categoriza (tabla 51).

Tabla 51. Matriz de evaluación de evaluación del aspecto 3. Secuencia coordinada de acciones

Aspecto 3. Secuencia coordinada de acciones			
N.	Ítem	Valor	Categoría
1	Línea de mando	3	Desactualizado y aplica
2	Comunicaciones	2	Desactualizado y no aplica
3	Protocolo de actuación	3	Desactualizado y aplica
4	Formato de evaluación de daños	3	Desactualizado y aplica

De acuerdo a la tabla 51, el aspecto 3 se evalúa como un aspecto desactualizado que aplica lo indicado en la resolución.

#### **9.1.1.4 Aspecto 4: El análisis posterior al evento.**

Sobre este aspecto, la Resolución 154 de 2914 afirma que “es el principal método para verificar la efectividad y aplicabilidad del plan de emergencia y contingencia diseñado” (p.17), que consiste en realizar una evaluación de cómo funcionó la atención de emergencias y la forma como la persona prestadora lo atendió, en donde se realiza una comparación del plan diseñado antes del evento, se reinician los procesos de capacitación y realizan los simulacros de forma permanente.

En la avenida torrencial de 31 de marzo de 2017, el sistema de abastecimiento presentó daños significativos en las estructuras de bocatoma, aducción, desarenador y línea de conducción de agua cruda (Aguas Mocoa, 2019, p. 27). Como consecuencia de esto, el plan de emergencia y contingencia del año 2017 realizado en el año 2018 por el prestador del servicio de acueducto, debió registrar la evaluación del plan tal y como lo estipula este aspecto: el análisis posterior al evento. Sin embargo, dada la revisión del Plan de Emergencia y Contingencia del año 2018, no se encuentra información alguna sobre la avenida torrencial del 2017.

Al no presentarse información, Aguas Mocoa debió realizar dicho análisis en el Plan de Emergencia y Contingencia del año 2018, documento objeto del presente análisis. En este sentido, al revisar la información señalada sobre este aspecto (p. 122), el autor refiere sobre las medidas a tomar en caso de la evaluación del evento, la presentación de un informe y evaluación de impactos con el fin de tener un mejoramiento continuo y ajuste del mencionado plan.

Así mismo, menciona la necesidad del diligenciamiento de un formato diseñado por la empresa, para la recolección rápida de la información, llamado Formato de evaluación del plan de contingencia señalado en el anexo 2 de la resolución.

Lo anterior, refleja que no se ha realizado la evaluación del Plan de Contingencia, o al menos luego de la avenida torrencial del 2017, que permita hacer una adecuada evaluación y ajuste de dicho plan, con el fin de aumentar la capacidad de respuesta ante las avenidas torrenciales y deslizamientos en la cuenca del río Mulato, eventos que, de acuerdo al estudio de la amenaza del presente estudio, y también realizado por Aguas Mocoa (2019) son tan recurrentes y afectan gravemente la prestación del servicio. Por esta razón, este aspecto además de considerarse desactualizado, no cuenta como válido de acuerdo a lo establecido en la normatividad (valor 1).

Una vez analizados y evaluados los 4 aspectos como lineamientos mínimos en la elaboración del Plan de Emergencia y Contingencia de Aguas Mocoa en el estudio de la capacidad de respuesta del prestador del servicio de acueducto, la tabla 52.

Tabla 52. Matriz de evaluación del Capítulo 1 *Preparación de la respuesta formulación de los planes de emergencia y contingencia*, Aguas Mocoa S.A E.S.P. (2019).

Nivel	Valor	Descripción	Aspecto 1	Aspecto 2	Aspecto 3	Aspecto 4
Capacidad muy baja	1	No está definido				x
Capacidad Baja	2	Desactualizado y no aplica				
Capacidad Media	3	Desactualizado y aplica	x	x	x	
Capacidad Alta	4	Actualizado y no aplica				
Capacidad muy Alta	5	Actualizado y aplica				

De acuerdo a la tabla 52, la obtención del promedio simple de los aspectos del capítulo 1 arroja un valor de  $2.5 = 3$ , es decir el capítulo 1 arroja una capacidad media.

### 9.1.2 Ejecución de la Respuesta.

Son las acciones que desarrollará el prestador del servicio de acueducto, durante las situaciones de emergencia; esta se define como la etapa de la atención y ejecución de las acciones previstas en la preparación y la reacción inmediata para la atención y respuesta oportuna de la población. En esta etapa se aplica todo el Plan de Contingencia

y Emergencia, y se desarrolla paso a paso la secuencia de acciones establecidas en este documento.

El plan de Emergencia y Contingencia (Aguas Mocoa, 2019), señala en la ejecución de respuesta, un protocolo de atención para remoción en masa, deslizamientos, inundaciones y avenidas torrenciales. Este protocolo es relacionado a modo general, ya que incluye todos los eventos dentro del mismo, en donde se descarta información específica de cada uno de los potenciales daños que cada emergencia pueda generar.

Cabe resaltar que el desastre es la materialización de los riesgos compuestos por factores como la amenaza y vulnerabilidad, y que para cada evento la amenaza varía en frecuencia y magnitud y, a su vez la vulnerabilidad varía en exposición y fragilidad. En consecuencia, de esto, la categorización se establece como desactualizado y no aplica, con un valor de 2.

Finalmente, teniendo la evaluación del capítulo 1 y 2 relacionados en la resolución 154 de 2014, como lineamientos mínimos en la formulación del plan de emergencia y contingencia, en la tabla 53 se concluye dicho análisis.

Tabla 53. Matriz de evaluación de la Capacidad de respuesta del Sistema de Acueducto Palmeras (2019).

<b>Nivel</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Capítulo 1 Preparación de la Respuesta Formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia</b>	<b>Capítulo 2 Ejecución de la respuesta</b>
Capacidad muy baja	1	No está definido		
Capacidad Baja	2	Desactualizado y no aplica		x
Capacidad Media	3	Desactualizado y aplica	x	
Capacidad Alta	4	Actualizado y no aplica		
Capacidad muy Alta	5	Actualizado y aplica		

Con base a lo anterior, se evalúa la capacidad de respuesta del sistema Palmeras como media (2). El proceso evaluativo permite identificar no solo deficiencias, sino también fortalezas existentes en el sistema y de la empresa prestadora. Tanto el análisis

de vulnerabilidades, como el análisis de capacidades y de la respuesta del sistema permite mejorar el conocimiento de este, y con ello aplicar medidas que permitan mejorarlo para aumentar su nivel de respuesta. Estas medidas pueden estar encaminadas a la inclusión de nuevos procesos dentro de la empresa prestadora y por ente del sistema, a la aplicación de medidas de protección con intervención directa sobre la infraestructura del sistema o al refuerzo y priorización de procesos que ya existían.

El plan de contingencia debe ser una herramienta de evaluación diseñada para orientar y facilitar la toma de decisiones de las instituciones competentes, a través del análisis y priorización de las recomendaciones fruto de la evaluación. Es necesario disponer de información lo suficientemente robusta como para poder analizarla, compararla (entre diversos acueductos), priorizarla y finalmente visibilizarla para poder tomar decisiones sustentadas que permitan articular medidas concretas de respuesta y preparación, clave para el proceso de mejora de la infraestructura actual. Con esto se quiere resaltar las limitaciones, y la necesidad de realizar estudios técnicos específicos y en profundidad cuando el propio proceso lo identifique y recomiende en el marco de la normatividad vigente.

## 10. ANÁLISIS DE RIESGO DEL SISTEMA PALMERAS DEL ACUEDUCTO

Una vez identificadas los factores de riesgo como las amenazas ante deslizamientos y avenidas torrenciales, los componentes físico, institucional, operacional, técnico y económico de la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta del prestador del servicio de acueducto, se procede a realizar la evaluación del riesgo.

Basados en el desarrollo del marco conceptual de la gestión del riesgo de desastres y desde la perspectiva sectorial de la prestación de los servicios públicos domiciliarios, es necesario considerar integralmente el riesgo dentro de dos (2) enfoques (MVCT, UNGRD. 2014):

- a. *Riesgo sobre el proceso de prestación de los servicios públicos domiciliarios*: relacionando el sistema con las características del entorno asociado a los eventos evaluados y la susceptibilidad en el territorio.
- b. *Riesgos generados por efecto de la prestación de los servicios públicos domiciliarios sobre la sociedad*: Relacionado con la capacidad de respuesta del prestador del servicio.

### 10.1. RIESGO ANTE DESLIZAMIENTOS Y AVENIDAS TORRENCIALES

En esta sección se toman como base los resultados obtenidos de la amenaza ante deslizamientos detonados por lluvias como factor detonante del modelo SHIA\_Landslide (Aristizábal, E., Vélez, J. y Martínez, H., 2016); deslizamientos detonados por lluvias y sismos de la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en masa (SGC, 2017); avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias a través del análisis multivariado propuesto por Saaty (1980); y avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos a través de la metodología mencionada anteriormente.

La vulnerabilidad fue determinada para todo el sistema de acueducto, de acuerdo a la metodología del MVCT (2014), la cual se calculó una categoría alta. Y, en virtud de la Res. 154 de 2014, la capacidad de respuesta del prestador del servicio asociada al Plan de Emergencia y Contingencia adoptado por la empresa, es media.

Para el análisis del riesgo, se analizan los factores amenaza vulnerabilidad y capacidad de respuesta, tal y como se describe en la figura 41,

		Vulnerabilidad			Capacidad de Respuesta
		1	2	3	
Amenaza	1	113	123	133	3
		112	122	132	2
		111	121	131	1
	2	213	223	233	3
		212	222	232	2
		211	221	231	1
	3	313	323	333	3
		312	322	332	2
		311	321	331	1

Figura 40. Criterios de evaluación del riesgo

### 10.1.1 Riesgo ante deslizamientos y avenidas torrenciales en la cuenca del Río Mulato.

Para determinar el riesgo del sistema de acueducto, se hizo necesario determinarlo para cada amenaza presentada en la cuenca del río Mulato (tabla 54).

Tabla 54. Evaluación del riesgo de la cuenca del río Mulato

	Amenaza	Vulnerabilidad	Capacidad de Respuesta	Riesgo
Deslizamientos detonados por lluvias	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio

A partir de la tabla 54 se determinó que la cuenca presenta riesgo alto ante deslizamientos detonados por lluvia-sismos; así mismo esta, presenta riesgo medio ante deslizamientos detonados por lluvias y avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y lluvias-sismos.

### 10.1.2 Riesgo ante deslizamientos y avenidas torrenciales para el sistema de acueducto.

El riesgo presentado en el sistema Palmeras del acueducto municipal, se relaciona en la tabla 55.

Tabla 55. Evaluación del riesgo del Sistema de acueducto Palmeras

Evento	Amenaza	Vulnerabilidad	Capacidad Respuesta	Riesgo
Deslizamientos detonados por lluvias	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto

De la tabla 55, se concluye que el sistema Palmeras presenta riesgo medio ante deslizamientos detonados por lluvias; así mismo esta, presenta riesgo alto ante deslizamientos detonados por lluvias-sismos y avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y lluvias-sismos.

### 10.1.3 Riesgo ante deslizamientos y avenidas torrenciales para cada componente del sistema Palmeras del acueducto municipal.

Ahora bien, se realizó la evaluación del riesgo para cada componente, teniendo que, para cada uno de ellos, varía la amenaza. En la tabla 56, se describe el riesgo ante cada amenaza estudiada para cada uno de ellos.

Tabla 56. Amenazas de cada componente del sistema de acueducto Palmeras del municipio de Mocoa.

	Amenaza		Vulnerabilidad	Capacidad de Respuesta	Riesgo
	Descripción	Categoría			
<b>Bocatoma</b>	Deslizamientos detonados por lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
<b>Línea de aducción</b>	Deslizamientos detonados por lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
<b>Línea de conducción</b>	Deslizamientos detonados por lluvias (periodo de retorno 20 años)	Baja (1)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Baja (1)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
<b>Planta de tratamiento</b>	Deslizamientos detonados por lluvias (periodo de retorno 20 años)	Baja (1)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio

<b>Tanque de almacenamiento</b>	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
	Deslizamientos detonados por lluvias (periodo de retorno 20 años)	Baja (1)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Alta (3)	Alta (3)	Media (2)	Alto
<b>Red de Distribución</b>	Deslizamientos detonados por lluvias (periodo de retorno 20 años)	Baja (1)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Deslizamientos detonados por lluvias y sismos	Baja (1)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias (periodo de retorno 20 años)	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio
	Avenidas torrenciales detonadas por deslizamientos con lluvias y sismos	Media (2)	Alta (3)	Media (2)	Medio

En la tabla 56, se concluye que los componentes del sistema de acueducto Palmeras, presentan riesgo medio y alto ante deslizamientos y avenidas torrenciales. Así mismo, al considerar que los periodos de retorno de 20 años y 2000 años (20 lluvia, 100 sismo), los componentes del sistema de acueducto que presentan la condición más crítica de riesgo son las líneas de aducción y conducción al igual que el tanque de almacenamiento, seguidos de la bocatoma y planta de tratamiento. El elemento con menos riesgo ante los fenómenos evaluados es la red de distribución.

El componente más crítico del sistema, es la línea de conducción que presenta un riesgo alto ante avenidas torrenciales detonados por lluvias con un periodo de retorno de 20 años. La línea de aducción, tanque de almacenamiento y bocatoma presentan riesgo alto a fenómenos con periodos de retorno de 2000 años (lluvias y sismos). Por último, la red de distribución, se consideró como el componente menos crítico al presentar riesgo medio ante los eventos analizados.

## 11. DISCUSIÓN

Arias (2011) citado por Navarro, Araya, Pérez, Moreira y Estrada (2013), afirma que el crecimiento urbano y el aumento poblacional son dos variables que demandan grandes cantidades de agua, haciendo que los acueductos sean más complejos, no solo por los volúmenes de agua producida sino por la ubicación del sistema, el cual presenta constantemente fallas de diversa naturaleza o presenta un servicio que no satisface al usuario final. Pero también existen otras variables que suman y vuelven los sistemas más vulnerables, como es el caso de la degradación de los recursos hídricos y sus áreas de protección, que se ven reducidos cada día por el crecimiento urbano, agrícola y ganadero.

Otra de las variables analizadas es el comportamiento y concentración de las lluvias que, por su ubicación geográfica, el sistema ha experimentado daños por esta causa; además, las lluvias actúan como detonante ocasionando deslizamientos del terreno y avenidas torrenciales ocasionando caída y transporte de materiales, de árboles sobre las nacientes, los tanques de almacenamiento y la red de conducción.

Los factores condicionantes en la cuenca dependen de su propia naturaleza, forma y estructura del terreno; en el área de estudio el relieve y la geomorfología como factores pueden provocar los deslizamientos y avenidas torrenciales que sumados a las lluvias y sismo desencadenan los eventos analizados.

Pero también se deben entender que los deslizamientos y avenidas torrenciales son fenómenos sujetos a muchos grados de incertidumbre debido a que éstos incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, materiales, restricciones geológicas y temporalidades. Que a su vez afectan en gran medida las infraestructuras existentes y a la sociedad misma, por lo tanto, es necesario considerarlos a la hora de planificar, coordinar y ejecutar un plan de ordenamiento en el territorio. Cuando la incertidumbre se presenta o no de la ocurrencia del evento generalmente se toman

decisiones equivocadas en las concepciones del diseño, en consecuencia, el costo de las infraestructuras proyectadas resulta alto y poco funcionales.

En consecuencia, existe la necesidad de medidas de prevención, previsión y control de estos eventos que se presentan en la cuenca del río Mulato. Desde las diversas figuras que ofrece el ordenamiento territorial colombiano se hace posible prevenir los desastres desde una objetiva y real identificación de las amenazas, como, por ejemplo, a partir de una adecuada utilización del territorio. Por consiguiente, las herramientas que ofrecen los planes de manejo de emergencia y contingencia acompañados con la ordenación de cuencas que por ahora está en construcción en el municipio, son elementos fundamentales a la hora de reglamentar la gestión del riesgo en la medida de orientar los procesos de reasentamiento poblacional y ubicación de infraestructura, como el que hubiera evitado la catástrofe de Mocoa del año 2017 y la destrucción de la infraestructura de servicios públicos.

## 12. CONCLUSIONES

Las precipitaciones en un periodo de 40 años que fueron registradas por las estaciones Acueducto y Campucana, en la cuenca del río Mulato muestran un régimen de tipo unimodal de la precipitación presentando un periodo húmedo en los meses mayo, junio y julio. El mes de junio se presenta como el más húmedo en las dos estaciones con una precipitación media de 120 mm; los meses de diciembre y enero son los más secos con una precipitación aproximada de 50 mm.

Las pendientes encontradas en la cuenca del Mulato se consideran como abruptas o escarpadas con una inclinación mayor a  $19^\circ$  que corresponden al 63% de su área. Así mismo, el 17% de su área se consideran muy inclinada en la zona media. Finalmente, la parte baja con un 20% de su área es baja a muy baja.

La torrencialidad de la cuenca del Mulato (índice de Melton), indica que el 54.5% de área de la cuenca presenta valores superiores a 0.5. El 45.5 % de su área valores menores a 0.5. Esta condición de la cuenca por sus fuertes pendientes tiene la tendencia a la generación de crecientes en sus fuentes o drenajes en tiempo relativamente cortos, que a su vez favorecen la ocurrencia de las avenidas torrenciales las cuales son caracterizadas por altas velocidades.

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) en la cuenca indica la relación existente entre las características de la forma de la cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas históricas en la cuenca. Cabe resaltar que esa relación se presenta en el 59% de la cuenca.

La infraestructura existente de acueducto presenta una amenaza media ante deslizamientos detonados por lluvias y alta ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos; y ante avenidas torrenciales detonados por deslizamientos con lluvias y lluvias-sismos, la amenaza es alta para ambas condiciones.

La vulnerabilidad física, institucional, económica, operacional y técnica considerando los factores mínimos que establece el ministerio de vivienda y la unidad nacional de gestión de riesgo y desastre se calificó como alta. En esta evaluación la vulnerabilidad operacional y técnicos presentaron los mayores rangos de valores. Esta situación está asociada a las condiciones de daños, continuidad del servicio, plan de emergencia, sectorización, comunicación y gestión de los procesos de información.

Como lo indica la resolución 154 de 2014 y su anexo 1, en el sentido de evaluar la capacidad de respuesta de la empresa prestadora del municipio y considerando el documento que sirve de base para este aspecto como es el plan de emergencia y contingencia presentado por el prestador se considera como media. El proceso evaluativo permitió identificar no solo deficiencias, sino también fortalezas existentes en el sistema y de la empresa prestadora. Tanto en el análisis de vulnerabilidades como el análisis de capacidades y de la respuesta del sistema que permita mejorar el conocimiento de este, y con ello aplicar medidas que permitan mejora para aumentar su nivel de respuesta.

En la evaluación del riesgo el sistema de acueducto ante deslizamientos detonado por lluvias es medio y detonados por lluvias y sismos es alto. El 100% de los elementos del sistema se encuentran en riesgo medio ante lluvia como único factor detonante; el 50% de los componentes presentan riesgo alto y 50% riesgo medio ante deslizamientos detonados por lluvias y sismos.

Ante avenidas torrenciales la condición de riesgo alta, es la misma para estos eventos detonados por deslizamientos con lluvias y lluvias-sismos. La línea de conducción presenta riesgo alto ante este fenómeno detonado solo por lluvias; para la condición lluvia sismo, solo la bocatoma y red de distribución que representan el 30% del sistema presentan riesgo medio y los otros componentes equivalentes al 70% presentan riesgo alto.

Las situaciones descritas en los párrafos anteriores, significa que el sistema presenta pérdida operativa ocasionando la suspensión del servicio ante la ocurrencia de estos fenómenos para la condición de periodo de retorno de 20 años para el caso de lluvias y 20 y 100 años para lluvias y sismos respectivamente.

Ante avenidas torrenciales en la cuenca del río Mulato, el 88% de su área se encuentra ante amenaza media; el 11% amenaza baja y el 1% amenaza alta. Si bien es cierto, las proporciones indicadas son importantes, existe un efecto acumulado aguas arriba que caracteriza las avenidas torrenciales haciendo que la fuente hídrica principal, genere mayores impactos negativos en la parte baja repercutiendo en daños en la infraestructura física de servicios públicos y pérdidas de vidas humanas.

### 13. RECOMENDACIONES

Es necesario considerar por parte de la empresa prestadora del servicio de acueducto del municipio de Mocoa, que se debe entender la interrelación entre los componentes del sistema de acueducto, perspectivas de vulnerabilidad, capacidades y resiliencia con el propósito garantizar el servicio de acueducto ante los eventos analizados en la cuenca del río mulato, por lo tanto, es necesario realizar los estudios técnicos correspondientes a detalle en las zonas más afectadas.

Para entender mejor como se interrelacionan las diferentes variables entre sí (Vulnerabilidades, Capacidades y Resiliencia con los diferentes componentes y grupos de componentes de un acueducto), se requiere tener en cuenta lo siguiente:

1. Componentes críticos. Comprometen de manera directa el funcionamiento del acueducto y su capacidad para abastecer agua segura en condiciones aceptables de calidad, cantidad y continuidad. Este grupo está formado por los componentes físicos que forman parte de la línea por la que transcurre el agua desde su captación hasta que llega al usuario final. Estos componentes corresponden a la fuente de agua, bocatoma, aducción, conducción, tanque de almacenamiento, planta de tratamiento, red de distribución y red eléctrica.

2. Componentes Secundarios: Comprometen el funcionamiento global del acueducto, pero no lo hacen de manera directa, es decir son necesarios para el funcionamiento de los componentes críticos o de apoyo a la gestión por parte de los componentes funcionales. Estos componentes corresponden a red de comunicaciones, red de acceso a componentes, edificaciones medianas y menores.

3. Componentes Funcionales: Están relacionados con la operación, la administración y la gestión del servicio de agua y mantenimiento de la infraestructura que forma parte del sistema. Al igual que los componentes críticos, su mal funcionamiento

podría comprometer de manera directa el funcionamiento del acueducto, comprenden: operación y mantenimiento, administración y organización y usuarios.

Para el caso de amenazas:

1. Sismo: Se debe considerar el mapa de amenazas de la zona y el análisis geológico del suelo, marcar el grado de amenaza en que se encuentra el acueducto. Se deben considerar la magnitud (Escala de Richter) e intensidad (Escala de Mercalli modificada) máximas, frecuencia y periodos de recurrencia de eventos sísmicos que se hayan dado anteriormente en la zona.

2. Deslizamiento: De acuerdo con el mapa de amenazas de la zona y el histórico de eventos, identificar si existe riesgo de deslizamiento por diferentes causas sobre algunos de los componentes del acueducto (componentes localizados en terrenos con pendientes o taludes inestables, suelos arcillosos, componentes con cimentaciones muy superficiales).

3. Avenidas torrenciales. De acuerdo con el mapa de amenazas y el histórico de eventos de la zona, identificar si existe riesgo por diferentes causas sobre algunos de los componentes del acueducto (teniendo en cuenta toda su extensión). Componentes ubicados en cauce del río o terrazas inundables, al borde de terrazas en parte cóncavas de meandros, en zonas bajas de una llanura de inundación, al borde de la cuenca o quebradas con huellas de inundación.

Es necesario analizar cada uno de los componentes del acueducto y visibilizar estas debilidades y/o fortalezas. El proceso evaluativo facilita la comprensión de las características del acueducto, y sólo a través de ella es posible establecer las medidas de mejora necesarias. Una vez establecidas las posibles medidas de mejora, es necesaria la toma de decisiones, sin la cual, no es posible establecer, priorizar y llevar cabo estas medidas.

Otro aspecto que debe ser analizado debe ser la educación y la gestión ambiental en el área de influencia de la cuenca. Es necesario identificar que muchos de los eventos presentados se aceleran por acciones humanas. Por lo tanto, la ausencia de programas educativos y de gestión ambiental coadyudan al deterioro de la cuenca que ofrece servicios ecosistémicos a la infraestructura existente.

Vigilar y monitorear periódicamente los cambios que presenta la cuenca mediante un plan de monitoreo coordinado por las instituciones que estén encargados de programa de riesgos por medio de levantamientos topográficos periódicos y visitas técnicas.

Realizar capacitaciones y charlas acerca del peligro de los deslizamientos y avenidas torrenciales en las zonas localizadas o de influencia de la cuenca, a fin de que las personas se encuentren preparadas ante este tipo de desastres naturales. Es fundamental el plan de gestión de riesgos, así como la difusión del proyecto que deberá contar con el respaldo y la participación ciudadana a fin de garantizar el éxito de este.

Se deben considerar las condiciones más desfavorables en el trazado de la conducción y ubicación de las estructuras hidráulicas considerando la redundancia pues ello garantiza identificar y analizar las fuentes alternas de abastecimiento que puedan ser utilizadas en caso de desastre. Así mismo, se deben identificar y aplicar las medidas necesarias para la protección de la fuente y el entorno a la captación, tales como reforestación, caracterizaciones antropogénicas hacia la fuente, cerco perimetral como medidas periódicas de la fuente de agua.

## REFERENCIAS

- Agencia de Renovación del Territorio PDET. (2020). Diagnóstico Ordenamiento Territorial Municipios PDET, municipio de Mocoa, Putumayo.
- Aguas Mocoa. (s.f). Plan Maestro de Acueducto de Mocoa. Mocoa, Putumayo. Colombia
- Aguas Mocoa S.A E.S.P. (2019). Plan de Emergencia y Contingencia 2018. Mocoa, Putumayo. Colombia.
- Aguas Mocoa S.A E.S.P. (2018). Plan de Emergencia y Contingencia 2017. Mocoa, Putumayo. Colombia.
- Alcántara, I. (1999). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Recuperado [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-6112000000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-6112000000100002&script=sci_arttext)
- Arboleda, C., Forero, E. (2016). Identificación de riesgos en la red del acueducto Acuacombia del municipio de Pereira (Tesis de especialización). Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Especialización en Sistemas de Información geográfica. Manizales, Colombia.
- Aristizábal, E., Arango, M. y García, I. (2020). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos." Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 29 (1): 242-258. doi: 10.15446/rcdg.v29n1.72612. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/download/72612/html>

Aristizábal, E., Vélez, J. y Martínez, H. (2016). Influencia de la lluvia antecedente y la conductividad hidráulica en la ocurrencia de deslizamientos detonados por lluvias utilizando el modelo SHIA\_LANDSLIDE. doi: <https://doi.org/10.24050/reia.v13i26.863>.

Centro Internacional de Agua y Saneamiento IRC. (2008). Gestión integral del riesgo para la protección de los servicios de agua potable y saneamiento ante las amenazas naturales.

Cerón, E. (2012). Plan Municipal de Desarrollo “si hay desarrollo para Mocoa” 2012 – 2015. Municipio de Mocoa.

Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1523 del 24 de abril de 2012 *por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*. Bogotá D.C.: Congreso de la República de Colombia.

Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la Amazonía Corpoamazonía (2011). Caracterización ambiental, plan departamental de agua Departamento de Putumayo.

Departamento Nacional de Planeación DNP. (2019). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad. Bogotá D.C., Colombia.

Departamento Nacional de Planeación DNP. Documento CONPES 3904. (2017). Plan para la reconstrucción del municipio de Mocoa, 2017-2022, concepto favorable a la nación para contratar un empréstito externo hasta por la suma de usd 30 millones, o su equivalente en otras monedas, para financiar la implementación del

plan maestro de alcantarillado del municipio de Mocoa (Fase I), y declaración de importancia estratégica del plan maestro de alcantarillado del municipio de Mocoa (Fase I). Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.

Giménez, E., González, A. (s.f). Guía del Evaluador y Herramienta de Evaluación. Índice de Acueductos Seguros. República Dominicana. Recuperado de <https://www.inapa.gob.do/index.php/proyectos?download=106:ias-guia-del-evaluador-y-herramienta-vf>

Grases, J., Contreras, I., Grases, G. (1997). Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales – caso estudio del sistema de abastecimiento de agua potable Tuy I”. Caracas, Venezuela. Recuperado de [file:///C:/Users/Usuario/Dropbox/Mi%20PC%20\(DESKTOP-0TR50NE\)/Downloads/4.16vulnerabilidad\\_sistemas\\_agua\\_potable%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Dropbox/Mi%20PC%20(DESKTOP-0TR50NE)/Downloads/4.16vulnerabilidad_sistemas_agua_potable%20(1).pdf)

Moritz, S. (2019). Package “imputeTS”. Time Series Missing Value Imputation. URL <https://github.com/SteffenMoritz/imputeTS>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). Manual de Reconocimiento predial. Anexo D. Bogotá D.C., Colombia.

Medina C., Astudillo, J. (s.f). Ubicación e identificación de los principales deslizamientos de la vía Macará-Sabiango de la Provincia de Loja. Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16361/1/Astudillo%20Correa%20Junior%20Ernesto%20Medina%20Calva%20Carlos%20Eduardo.pdf>

Mejía, J., Merchán, A. (2017). Análisis de la vulnerabilidad en el sistema de abastecimiento de agua en el corregimiento de Cotoprix (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá D.C., Colombia.

Melo, N., Salazar, D. (2009). Diseño de un Plan de Contingencia para el Acueducto Rural “Acuacombia” en el Corregimiento Combia Baja, Municipio de Pereira Departamento de Risaralda (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1299/62816M528.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Resolución 1096 de 2000. "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT – Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2014). Herramienta metodológica para la formulación de programas de Gestión del Riesgo de Desastres en los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. ISBN: 978-958-57631-7-3. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT. (2014). Lineamientos de Política de Gestión de Gestión del Riesgo de Desastres en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. Recuperado de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/27151/Politica-Gestion-Riesgo-Sectorial-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT. (2014). Resolución 154 de 2014 de 02 de abril de 2014 *Por la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de*

*los Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y se dictan otras disposiciones.*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio MVCT. (25 de septiembre de 2018). Proposición N. 005 – “Avances en el proceso de reconstrucción de Mocoa – Putumayo”. Presentada por los Honorables Representantes de la Cámara Carlos Ardila Espinosa y Jimmy Harold Díaz Burbano. Recuperado de

Ministerio de Vivienda (08 de octubre de 2018). Luz Verde para la Reconstrucción del acueducto de Mocoa. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2018/octubre/luz-verde-para-la-reconstruccion-del-acueducto-de-mocoa>

Morales, Y., González O. (2000). Análisis de Vulnerabilidad de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXII, No. 4, 2001. Ciudad de la Habana, Cuba. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/vulnerabilidad5.pdf>

Municipio de Medellín, Área metropolitana del Valle de Aburrá, Municipio de Envigado, Corantioquia. (2009). Informe Final amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión. Medellín, Colombia. Recuperado de <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Plan%20de%20Desarrollo/Secciones/Informaci%C3%B3n%20General/Documentos/Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo/documentos/Amenaza,%20vulnerabilidad%20y%20riesgo/Libro%20I.pdf>.

Navarro, A., Araya, F., Pérez, D., Moreira, C. y Estrada, M. (2013). Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla. *Tecnología en Marcha*. Vol. 26, N.º 3. Pág. 63-74. Costa Rica.

Páez, J. (2016). Modelación matemática de flujos de avalancha (tesis de maestría). Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia.

Patrimonio Autónomo Fideicomiso Asistencia Técnica – Findeter, Mario German García García. (2017). Contrato de obra PAF-ATF-O-025-2017. Reconstrucción del Sistema de Acueducto de Mocoa – Putumayo. Recuperado de: [https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATF-O-025-2017/PAF-ATF-O-025-2017%40Paf-Atf-O-025-2017\\_Mocoa\\_Vfirma.pdf](https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATF-O-025-2017/PAF-ATF-O-025-2017%40Paf-Atf-O-025-2017_Mocoa_Vfirma.pdf)

Pontificia Universidad Javeriana PUJ, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2017). Implementación de un modelo acoplado/integrado para la generación de caudal sólido y líquido. Recuperado de [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/27207/Productos\\_Mocoa6\\_Implementaci%C3%B3n\\_modelo\\_acoplado.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/27207/Productos_Mocoa6_Implementaci%C3%B3n_modelo_acoplado.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Pontificia Universidad Javeriana PUJ, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2018). Diagnostico Socioterritorial de las Microcuencas de los Ríos Mulato y Sangoyaco y las Quebradas la Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa – Putumayo. Bogotá D.C. Colombia.

Ramos, M. (27 de febrero de 2019). ¿Por qué Mocoa sufre por desabastecimiento de agua constantemente? *Contagio Radio*. Recuperado de <https://www.contagioradio.com/mocoa-desabastecimiento-agua-articulo-62351/>

Rojas, I. (2019). Análisis de riesgo del sistema de captación del acueducto de Ibagué-Tolima, por procesos erosivos en la cuenca del Río Combeima. Tesis de Maestría. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Sevilla, A. (s.f). EBITDA. Economipedia. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/ebitda.html#:~:text=El%20EBITDA%20es%20un%20indicador,y%20amortizaciones%20de%20la%20empresa>).

Saaty, T. (1990). Multicriteria Decision Making- The Analytic Hierarchy Process, Volumen 1. AHP Series. Editorial McGraw Hill. New York, United States América

Servicio Geológico Colombiano SGC. (2018). Amenaza por Movimientos en Masa Tipo Flujo de las Cuencas de las Quebradas Taruca, Taruquita, San Antonio y El Carmen y los Ríos Mulato y Sangoyaco, Municipio de Mocoa, Escala 1:5.000

Servicio Geológico Colombiano SGC (2018). Evaluación de la amenaza por movimientos en masa en el área urbana, periurbana y de expansión del municipio de Mocoa – Putumayo Escala 1:5.000.

Servicio Geológico Colombiano SGC (2017). Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en masa. Bogotá, D.C., Colombia.

Servicio Geológico Colombiano SGC, Universidad Nacional de Colombia UNAL. (2016). Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Convenio Especial de Cooperación 020 de 2013. Bogotá D.C., Colombia.

Servicio Geológico Colombiano SGC. (s.f.). Anexo B. Susceptibilidad por geomorfología. Recuperado de <http://recordcenter.sgc.gov.co/B21/AmeMM133PuertoBerrio/Documento/Pdf/AnexoB.pdf>

Servicio Geológico Colombiano SGC. (s.f.). Sistema Nacional de Bibliotecas Enrique Hubach Eggers. Catálogo de Bibliotecas. Recuperado de [https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=73723&shelfbrowse\\_itemnumber=78705](https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=73723&shelfbrowse_itemnumber=78705).

Suarez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Superservicios. (2018). Evaluación Integral de Prestadores, Aguas Mocoa S.A. E.S.P. Superintendencia Delegada para Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Dirección Técnica de Gestión de Acueducto y Alcantarillado. Bogotá D.C. Colombia

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Superservicios. (2018). Superservicios insta a empresas de acueducto, alcantarillado y aseo a cumplir planes de emergencia y contingencia. Comunicado 034 – 2018. Recuperado de: <https://www.superservicios.gov.co/sala-de-prensa/comunicados/superservicios-insta-a-empresas-de-acueducto-alcantarillado-y-aseo-a>.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2020). Análisis de integración de la gestión en el plan de desarrollo departamento del Putumayo. Recuperado de:

[http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Reduccion/Analisis\\_PDT\\_PUTU MAYO.xls](http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Reduccion/Analisis_PDT_PUTU_MAYO.xls)

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2018). Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa, en el marco de las declaratorias de calamidad pública y desastre del Municipio de Mocoa, Putumayo, debidas al evento presentado el 31 de marzo de 2017. Publicaciones UNGRD. Repositorio. Recuperado de: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27207>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2018). Impactos recurrentes y sus causas en Colombia. Subdirección para el conocimiento del riesgo. Bogotá D.C., Colombia.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2016). Plan Nacional de gestión del riesgo de Desastres, una estrategia de desarrollo 2015 - 2025. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá D.C., Colombia.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2012). Guía Metodológica para la elaboración del plan departamental de la Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá D.C., Colombia.

Valencia, M., Figueroa, A., Ruiz, D., Otero, J., Martínez, J., Ceballos, V., Joaquín, S., González, D. (2014). Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia.

Vera, J., Albarracín, P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. "Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 27, no. 2, p 109-136. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2309>.

Villota, B. 2013. Análisis de la Gestión Administrativa de los Sistemas de Acueducto de la Zona Rural de Cali. El Caso de Tres Empresas Comunitarias Prestadoras de Servicios Públicos. (Tesis de maestría). Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

Vivas, Y. (2018). Sistemas de Acueducto y Alcantarillado de Yopal y Mocoa: Una oportunidad para evaluar el cumplimiento de la normativa colombiana en Colombia (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes, programa de Ingeniería Civil. Bogotá, D.C., Colombia.

Yepes, V. (2018). Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Universitat Politècnica de València. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

## ANEXOS

Anexo 1. Precipitaciones medias mensuales multianuales estaciones Mocoa Acueducto y Campucana

### PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN CAMPUCANA - 44010030

Latitud 1.202500 Longitud -76.681 Altitud 1400

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1979	4.74	2.79	10.58	20.07	18.16	159.13	157.71	57.26	65.00	93.32	72.43	79.87
1980	44.44	49.07	44.38	53.41	55.23	49.73	61.51	44.88	29.30	19.14	27.002	15.897
1981	5.32	11.25	9.94	15.83	14.71	16.60	16.74	8.97	11.73	10.48	9.43	7.03
1982	6.16	7.11	9.39	16.23	22.35	13.70	11.30	11.47	21.43	16.12	7.24	10.81
1983	32.06	83.14	52.81	76.83	113.63	80.97	86.42	107.06	75.67	76.48	105.73	79.26
1984	74.52	115.97	79.81	130.07	59.03	84.27	142.42	93.00	86.10	61.74	88.90	87.06
1985	78.52	33.86	68.23	68.77	129.90	208.17	146.00	138.65	59.63	35.94	82.03	52.74
1986	38.45	45.14	116.35	93.10	87.87	120.73	147.19	49.00	155.57	158.71	59.10	50.35
1987	34.06	63.41	19.32	71.30	188.97	195.64	131.48	177.06	63.87	42.81	50.57	49.32
1988	44.26	84.28	121.90	122.13	176.65	223.37	185.90	162.32	93.93	37.84	111.93	54.84
1989	148.16	70.43	50.32	124.77	230.03	173.60	183.10	149.55	47.80	107.94	58.53	34.32
1990	125.90	94.61	103.45	79.83	183.71	216.07	180.13	107.87	98.37	56.65	75.54	73.20
1991	53.90	109.52	35.87	110.23	101.00	173.93	127.00	146.97	87.73	77.94	85.77	61.39
1992	46.77	51.28	81.35	84.73	88.35	99.53	217.90	151.68	71.80	81.29	32.53	55.68
1993	26.74	131.29	98.97	131.27	154.52	160.87	160.06	77.29	83.50	52.90	71.60	79.48
1994	69.84	42.39	92.58	140.10	125.19	127.77	171.32	126.65	82.10	112.71	54.47	98.52
1995	36.71	40.07	61.16	140.50	142.84	163.50	123.42	58.19	81.57	66.26	67.57	38.90
1996	63.00	111.21	55.16	56.33	138.00	161.83	180.84	86.94	96.43	85.61	37.07	25.26
1997	49.61	67.68	83.94	164.10	97.94	129.60	133.84	114.10	50.17	85.74	38.23	20.90
1998	22.35	61.00	47.42	82.67	87.64	131.30	82.71	36.16	24.73	46.58	68.60	18.50
1999	70.81	48.04	30.52	91.87	68.68	91.03	117.06	44.68	42.63	32.48	29.24	37.97
2000	97.48	58.07	61.81	64.57	157.10	96.53	56.94	101.42	44.73	62.23	38.80	53.84
2001	48.29	24.68	32.61	70.67	59.81	123.27	93.35	92.65	51.17	18.87	22.53	30.42
2002	32.00	45.68	56.39	46.93	60.61	79.27	59.39	63.71	36.60	48.26	91.63	43.61
2003	22.10	43.00	52.06	84.59	89.32	54.57	74.03	73.16	61.17	61.81	57.93	60.32
2004	18.61	37.86	60.42	73.34	171.52	145.53	136.90	82.39	125.17	48.55	64.27	25.32
2005	53.29	119.89	65.77	191.77	74.45	150.59	143.13	72.68	67.47	94.28	76.17	68.68
2006	71.68	26.61	69.65	139.43	211.74	69.73	70.65	50.13	67.73	47.65	14.50	18.10
2007	24.90	2.46	101.63	82.06	200.52	265.00	115.52	145.23	92.00	94.58	61.80	80.63
2008	89.10	60.45	35.74	61.27	135.10	148.40	112.81	42.39	111.00	65.42	76.97	58.00
2009	55.00	106.18	75.48	97.87	99.60	201.57	169.00	95.68	72.00	56.71	54.20	33.48
2010	16.26	41.39	95.23	140.17	88.58	137.00	77.45	66.13	99.93	78.94	43.20	35.06



2006	83.16	59.54	79.71	91.73	139.90	80.30	96.45	79.81	91.83	56.68	90.13	97.71
2007	66.60	19.64	52.28	49.57	83.45	56.62	53.43	116.64	85.27	22.13	50.10	126.61
2008	58.32	65.76	28.16	74.73	103.74	99.03	58.00	37.84	102.47	108.29	46.50	35.52
2009	61.42	65.75	82.37	136.33	118.74	165.30	104.55	58.32	104.93	50.58	32.10	49.23
2010	10.16	34.39	94.13	102.47	58.71	124.07	59.48	62.42	39.33	53.00	30.83	34.77
2011	18.23	34.89	61.47	88.30	66.65	82.97	70.55	30.29	48.30	31.16	22.47	95.97
2012	13.19	42.17	83.55	59.21	58.45	38.84	52.13	50.20	62.97	30.70	34.83	25.63
2013	23.68	63.25	49.55	59.33	100.77	81.07	109.87	54.87	48.93	69.57	36.67	21.69
2014	34.94	42.30	55.07	75.13	56.07	56.90	67.39	58.70	38.38	66.10	58.87	33.00
2015	37.16	36.86	50.17	76.45	74.00	103.78	80.17	18.60	33.79	26.45	65.33	30.48
2016	68.81	84.69	79.74	121.10	103.68	171.67	80.00	64.97	86.27	30.16	91.93	42.32
2017	73.16	54.04	118.77	112.77	83.00	77.90	92.65	88.81	56.03	34.61	63.90	23.87
2018	34.70	55.93	72.71	96.57	88.77	108.80	103.55	112.55	79.37	61.26	26.23	57.03

■ Valores imputados mediante el método estadístico de estacionalidad

## Anexo 2. Tablas IDF, estaciones Acueducto Mocoa y Campucana

Tiempo (min)	Tabla IDF Estación Mocoa - Acueducto											
	Periodo de Retorno (años)											
	2.33		5		10		25		50		100	
	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)
30	93,1	46,6	109,8	54,9	124,4	62,2	146,7	73,4	166,2	83,1	188,3	94,1
60	58,9	58,9	69,5	69,5	78,7	78,7	92,8	92,8	105,2	105,2	119,2	119,2
90	45,1	67,6	53,2	79,8	60,2	90,4	71,0	106,6	80,5	120,7	91,2	136,8
120	37,3	74,6	44,0	88,0	49,8	99,7	58,8	117,5	66,6	133,1	75,4	150,8
150	32,2	80,5	38,0	94,9	43,0	107,5	50,7	126,8	57,5	143,6	65,1	162,7
180	28,5	85,6	33,7	101,0	38,1	114,4	45,0	134,9	50,9	152,8	57,7	173,1
210	25,8	90,2	30,4	106,4	34,4	120,5	40,6	142,2	46,0	161,0	52,1	182,4
240	23,6	94,4	27,8	111,3	31,5	126,1	37,2	148,8	42,1	168,5	47,7	190,9
270	21,8	98,3	25,8	115,9	29,2	131,3	34,4	154,8	39,0	175,4	44,2	198,7
300	20,4	101,9	24,0	120,1	27,2	136,1	32,1	160,5	36,4	181,8	41,2	206,0
330	19,1	105,2	22,6	124,1	25,6	140,6	30,1	165,8	34,1	187,8	38,7	212,8
360	18,1	108,4	21,3	127,8	24,1	144,8	28,5	170,7	32,2	193,4	36,5	219,1
390	17,1	111,4	20,2	131,3	22,9	148,8	27,0	175,5	30,6	198,8	34,6	225,2
420	16,3	114,2	19,2	134,7	21,8	152,6	25,7	179,9	29,1	203,8	33,0	230,9
450	15,6	116,9	18,4	137,9	20,8	156,2	24,6	184,2	27,8	208,7	31,5	236,4
480	14,9	119,5	17,6	140,9	20,0	159,7	23,5	188,3	26,7	213,3	30,2	241,7
510	14,4	122,0	16,9	143,9	19,2	163,0	22,6	192,2	25,6	217,8	29,0	246,7
540	13,8	124,4	16,3	146,7	18,5	166,2	21,8	196,0	24,7	222,0	27,9	251,5
570	13,3	126,7	15,7	149,4	17,8	169,3	21,0	199,6	23,8	226,1	27,0	256,2
600	12,9	128,9	15,2	152,0	17,2	172,2	20,3	203,1	23,0	230,1	26,1	260,7
630	12,5	131,1	14,7	154,6	16,7	175,1	19,7	206,5	22,3	234,0	25,2	265,1
660	12,1	133,2	14,3	157,0	16,2	177,9	19,1	209,8	21,6	237,7	24,5	269,3
690	11,8	135,2	13,9	159,4	15,7	180,6	18,5	213,0	21,0	241,3	23,8	273,4
720	11,4	137,2	13,5	161,8	15,3	183,3	18,0	216,1	20,4	244,8	23,1	277,4
750	11,1	139,1	13,1	164,0	14,9	185,8	17,5	219,1	19,9	248,3	22,5	281,3
780	10,8	141,0	12,8	166,2	14,5	188,3	17,1	222,1	19,4	251,6	21,9	285,0
810	10,6	142,8	12,5	168,4	14,1	190,7	16,7	225,0	18,9	254,8	21,4	288,7
840	10,3	144,6	12,2	170,5	13,8	193,1	16,3	227,8	18,4	258,0	20,9	292,3
870	10,1	146,3	11,9	172,5	13,5	195,4	15,9	230,5	18,0	261,1	20,4	295,8
900	9,9	148,0	11,6	174,5	13,2	197,7	15,5	233,2	17,6	264,1	19,9	299,2
930	9,7	149,6	11,4	176,5	12,9	199,9	15,2	235,8	17,2	267,1	19,5	302,6
960	9,5	151,3	11,1	178,4	12,6	202,1	14,9	238,3	16,9	270,0	19,1	305,9
990	9,3	152,9	10,9	180,3	12,4	204,2	14,6	240,8	16,5	272,8	18,7	309,1
1020	9,1	154,4	10,7	182,1	12,1	206,3	14,3	243,3	16,2	275,6	18,4	312,2
1050	8,9	155,9	10,5	183,9	11,9	208,3	14,0	245,7	15,9	278,4	18,0	315,3
1080	8,7	157,4	10,3	185,7	11,7	210,3	13,8	248,1	15,6	281,0	17,7	318,4
1110	8,6	158,9	10,1	187,4	11,5	212,3	13,5	250,4	15,3	283,7	17,4	321,4
1140	8,4	160,4	10,0	189,1	11,3	214,3	13,3	252,7	15,1	286,2	17,1	324,3
1170	8,3	161,8	9,8	190,8	11,1	216,2	13,1	254,9	14,8	288,8	16,8	327,2
1200	8,2	163,2	9,6	192,4	10,9	218,0	12,9	257,1	14,6	291,3	16,5	330,0

1230	8,0	164,6	9,5	194,1	10,7	219,9	12,6	259,3	14,3	293,7	16,2	332,8
1260	7,9	165,9	9,3	195,7	10,6	221,7	12,4	261,4	14,1	296,2	16,0	335,5
1290	7,8	167,2	9,2	197,2	10,4	223,4	12,3	263,5	13,9	298,5	15,7	338,2
1320	7,7	168,6	9,0	198,8	10,2	225,2	12,1	265,6	13,7	300,9	15,5	340,9
1350	7,5	169,9	8,9	200,3	10,1	226,9	11,9	267,6	13,5	303,2	15,3	343,5
1380	7,4	171,1	8,8	201,8	9,9	228,6	11,7	269,6	13,3	305,5	15,0	346,0
1410	7,3	172,4	8,7	203,3	9,8	230,3	11,6	271,6	13,1	307,7	14,8	348,6
1440	7,2	173,6	8,5	204,8	9,7	232,0	11,4	273,6	12,9	309,9	14,6	351,1

Tomado y adaptado de Ideam

Tiempo (min)	2.33		5		10		25		50		100	
	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)
30	114,8	57,4	135,4	67,7	153,3	76,7	180,8	90,4	204,9	102,4	232,1	116,1
60	72,6	72,6	85,7	85,7	97,1	97,1	114,5	114,5	129,7	129,7	146,9	146,9
90	55,6	83,4	65,6	98,3	74,3	111,4	87,6	131,4	99,2	148,8	112,4	168,6
120	46,0	91,9	54,2	108,4	61,4	122,8	72,4	144,9	82,1	164,1	93,0	185,9
150	39,7	99,2	46,8	117,0	53,0	132,5	62,5	156,3	70,8	177,1	80,2	200,6
180	35,2	105,5	41,5	124,5	47,0	141,0	55,4	166,3	62,8	188,4	71,1	213,4
210	31,8	111,2	37,5	131,2	42,5	148,6	50,1	175,2	56,7	198,5	64,3	224,9
240	29,1	116,4	34,3	137,3	38,9	155,5	45,8	183,4	51,9	207,7	58,8	235,3
270	26,9	121,1	31,7	142,9	36,0	161,8	42,4	190,9	48,1	216,2	54,4	245,0
300	25,1	125,6	29,6	148,1	33,5	167,7	39,6	197,8	44,8	224,1	50,8	253,9
330	23,6	129,7	27,8	152,9	31,5	173,3	37,2	204,3	42,1	231,5	47,7	262,3
360	22,3	133,6	26,3	157,5	29,7	178,5	35,1	210,5	39,7	238,4	45,0	270,1
390	21,1	137,3	24,9	161,9	28,2	183,4	33,3	216,3	37,7	245,0	42,7	277,6
420	20,1	140,8	23,7	166,0	26,9	188,1	31,7	221,8	35,9	251,3	40,7	284,7
450	19,2	144,1	22,7	170,0	25,7	192,5	30,3	227,1	34,3	257,2	38,9	291,4
480	18,4	147,3	21,7	173,7	24,6	196,8	29,0	232,1	32,9	262,9	37,2	297,9
510	17,7	150,4	20,9	177,3	23,6	200,9	27,9	236,9	31,6	268,4	35,8	304,1
540	17,0	153,3	20,1	180,8	22,8	204,9	26,8	241,6	30,4	273,7	34,5	310,1
570	16,4	156,2	19,4	184,2	22,0	208,7	25,9	246,1	29,3	278,8	33,2	315,8
600	15,9	158,9	18,7	187,4	21,2	212,3	25,0	250,4	28,4	283,7	32,1	321,4
630	15,4	161,6	18,1	190,6	20,6	215,9	24,2	254,6	27,5	288,4	31,1	326,7
660	14,9	164,2	17,6	193,6	19,9	219,3	23,5	258,6	26,6	293,0	30,2	332,0
690	14,5	166,7	17,1	196,5	19,4	222,7	22,8	262,6	25,9	297,5	29,3	337,0
720	14,1	169,1	16,6	199,4	18,8	225,9	22,2	266,4	25,2	301,8	28,5	341,9
750	13,7	171,5	16,2	202,2	18,3	229,1	21,6	270,1	24,5	306,0	27,7	346,7
780	13,4	173,8	15,8	204,9	17,9	232,1	21,1	273,8	23,9	310,1	27,0	351,4
810	13,0	176,0	15,4	207,6	17,4	235,1	20,5	277,3	23,3	314,1	26,4	355,9
840	12,7	178,2	15,0	210,1	17,0	238,1	20,1	280,7	22,7	318,1	25,7	360,3
870	12,4	180,3	14,7	212,7	16,6	240,9	19,6	284,1	22,2	321,9	25,1	364,6
900	12,2	182,4	14,3	215,1	16,2	243,7	19,2	287,4	21,7	325,6	24,6	368,9

930	11,9	184,5	14,0	217,5	15,9	246,4	18,8	290,6	21,2	329,3	24,1	373,0
960	11,7	186,5	13,7	219,9	15,6	249,1	18,4	293,8	20,8	332,8	23,6	377,1
990	11,4	188,4	13,5	222,2	15,3	251,7	18,0	296,9	20,4	336,3	23,1	381,0
1020	11,2	190,3	13,2	224,5	15,0	254,3	17,6	299,9	20,0	339,8	22,6	384,9
1050	11,0	192,2	13,0	226,7	14,7	256,8	17,3	302,9	19,6	343,1	22,2	388,7
1080	10,8	194,1	12,7	228,9	14,4	259,3	17,0	305,8	19,2	346,4	21,8	392,5
1110	10,6	195,9	12,5	231,0	14,1	261,7	16,7	308,7	18,9	349,7	21,4	396,1
1140	10,4	197,7	12,3	233,1	13,9	264,1	16,4	311,5	18,6	352,9	21,0	399,7
1170	10,2	199,4	12,1	235,2	13,7	266,4	16,1	314,2	18,3	356,0	20,7	403,3
1200	10,1	201,2	11,9	237,2	13,4	268,8	15,8	316,9	18,0	359,1	20,3	406,8
1230	9,9	202,9	11,7	239,2	13,2	271,0	15,6	319,6	17,7	362,1	20,0	410,2
1260	9,7	204,5	11,5	241,2	13,0	273,2	15,3	322,2	17,4	365,1	19,7	413,6
1290	9,6	206,2	11,3	243,1	12,8	275,4	15,1	324,8	17,1	368,0	19,4	416,9
1320	9,4	207,8	11,1	245,0	12,6	277,6	14,9	327,4	16,9	370,9	19,1	420,2
1350	9,3	209,4	11,0	246,9	12,4	279,7	14,7	329,9	16,6	373,7	18,8	423,4
1380	9,2	210,9	10,8	248,8	12,3	281,8	14,5	332,4	16,4	376,5	18,5	426,6
1410	9,0	212,5	10,7	250,6	12,1	283,9	14,2	334,8	16,1	379,3	18,3	429,7
1440	8,9	214,0	10,5	252,4	11,9	285,9	14,1	337,2	15,9	382,0	18,0	432,8

Tomado y adaptado de Ideam


Anexo 3. Diagnóstico Ordenamiento Territorial Municipios PDET, Municipio de Mocoa

Versión 3. 31-08-2020 Corte: 31-07-2020

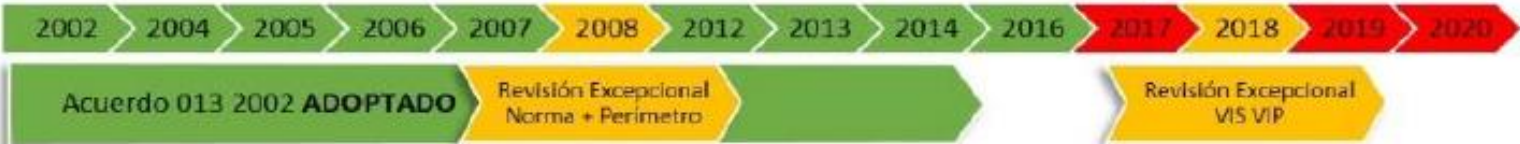
## DIAGNÓSTICO ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIOS PDET

Escoja el municipio que le interesa consultar en la siguiente casilla (lista desplegable)

MUNICIPIO	Mocoa
SUBREGIÓN PDET	PUTUMAYO
TIPO	PBOT
ESTADO	DESACTUALIZADO
FECHA	2020



**Línea de tiempo OT**



2002 2004 2005 2006 2007 2008 2012 2013 2014 2016 2017 2018 2019 2020

Acuerdo 013 2002 **ADOPTADO**    Revisión Excepcional Norma + Perímetro    Revisión Excepcional VIS VIP

Armonización PDET  
Inclusión gestión de riesgo

## Diagnostico de los Instrumentos de Ordenamiento Territorial

Documentos y Contenidos		I. Jurídico	Resumen	DTS	Memoria	Evaluación	Diagnostico
Municipio	Tipo y fecha de adopción						
Mocoa	Acuerdo-09/12/2000- Con soporte	✓	✓	✓	X	X	✓

Generalidades
✓ Plantea objetivos de Ordenamiento
✓ Define una visión de Ordenamiento
X No define la Estructura Ecológica Principal
X No caracteriza las áreas del Sistema de Servicios Públicos
✓ Clasifica el suelo
X No identifica el perímetro de servicios públicos domiciliarios
X No clasifica el uso del suelo

Conservación y Protección Ambiental
X No cuenta con Zonificación Ambiental
X El municipio no cuenta con los Determinantes Ambientales
X No identifica Servicios Ambientales

Cartografía	
✓ Posee la cartografía básica para desarrollar los análisis requeridos	
✓ Incorpora los límites políticos administrativos oficiales del IGAC	
<b>Escala Rural</b>	<b>Escala Urbana</b>
1:100.000	1:100.000

Restricciones y exclusiones
Posee Zonas de Reserva Forestal
Propiedades colectivas de las comunidades étnicas (Indígenas y negras).

Gestión del riesgo
X No cuenta con estudios de riesgo de desastres
✓ El municipio cuenta un Plan de Gestión de Riesgo
✓ Incorpora planos de Zonificación de Amenazas
✓ Clasifica las áreas en Riesgo
✓ Cuenta con mapa de Amenazas y Riesgos

### Conservación y Protección Ambiental

- X** No cuenta con Zonificación Ambiental
- X** El municipio no cuenta con los Determinantes Ambientales
- X** No identifica Servicios Ambientales
- X** No caracteriza la Estructura Biofísica
- ✓ Identifica los elementos Hidrológicos en el territorio
- X** No tiene POMCAs que cubran el territorio
- X** No incorpora Zonificación POMCAs
- ✓ Identifica las Áreas de Protección y Conservación Ambiental
- ✓ Identifica las Áreas de Ecosistemas Estratégicos

### Ordenamiento Rural

- ✓ Cuenta con Planeamiento Intermedio Rural
- X** No identifica los Centros Poblados Rurales
- X** No identifica Servicios Públicos Domiciliarios en lo Rural
- ✓ Identifica las Áreas rurales de Protección y Conservación Ambiental
- X** No identifica los inmuebles rurales de patrimonio cultural
- X** No identifica las Áreas con conflictos de OT

- ✓ El municipio cuenta un Plan de Gestión de Riesgo
- ✓ Incorpora planos de Zonificación de Amenazas
- ✓ Clasifica las áreas en Riesgo
- ✓ Cuenta con mapa de Amenazas y Riesgos

### Ordenamiento Productivo de la propiedad rural

- X** No cuenta con los Estudios Aptitud de Suelo de la UPRA
- X** No Incorpora cartografía de usos y cobertura del suelo UPRA
- X** No Identifica Áreas de producción agrícola, ganadera y de explotación minera
- X** No Incorpora en los análisis los datos del Censo Nacional Agropecuario
- X** No identifica las áreas con Sistemas de Adecuación de Tierras

### Formalización

- ✓ La fuente de distribución predial es el IGAC
- X** El municipio no expide licencias de construcción
- ✓ El municipio lleva registro de las solicitudes y/o tramites ante la ANT
- ✓ El municipio tiene POSP

## Capacidades institucionales para la Planeación y Ordenamiento Territorial

### Institucionalidad para la planeación

- ✓ La alcaldía cuenta con al menos un profesional con funciones orientadas al ordenamiento y planeación territorial
- ✗ La alcaldía no cuenta con un equipo de trabajo designado para atender temas Ordenamiento Territorial
- ✓ La alcaldía cuenta con las herramientas informáticas para atender temas OT



### Participación

- ✓ Se identifican instancias de participación
- ✓ Cuenta con Consejo Territorial de Planeación activo
- ✓ Cuenta con Consejo Consultivo de Planeación activo
- ✗ No tiene identificados los actores a consultar en los procesos participativos



### Planeación para el ordenamiento

Si considera actualizar el POT en el Plan de Desarrollo en la vigencia actual

#### El actual Plan de Desarrollo incluye en temas de Ordenamiento Territorial

Meta	Programa de Inversión	Proyectos de Inversión	Recursos Presupuestados / Comprometidos
SI	SI	No reporta	60.000.000- Con soporte



### Armonización PDET

198

Iniciativas sujeto de ordenamiento



La Visión del POT se corresponde con el PMTR - PDET

Otros instrumentos de planeación solicitados en las iniciativas:

POMCA, Plan de ordenamiento productivo, Delimitación y zonificación ambiental, Formalización de predios

Aspectos claves de O. T. para la implementación de iniciativas PDET

ordenamiento territorial en asuntos étnicos, actualización catastral, actualización del PBOT-Con soporte



### Instrumentos de financiación y gestión

- ✗ No tiene el catastro actualizado
- ✗ No ha solicitado ni recibido recursos de compensación predial

### Caracterización Social

- X No desarrolla proyecciones poblacionales
- X No identifica la estructura poblacional
- ✓ Incorpora la caracterización de asentamiento humanos
- X No Identifica todos los resguardos, Consejos comunitarios, cabildos y comunidades negras en el territorio

### Contacto:

[capacidadespdet@renovacionterritorio.gov.co](mailto:capacidadespdet@renovacionterritorio.gov.co)

### Seguimiento y evaluación

- X No cuenta con documento de evaluación POT
- ✓ Cuenta con expediente municipal
- X No incorpora un Plan de Ejecución
- X No tiene indicadores de seguimiento
- X No ha acordado espacios para reportar avances en la ejecución del POT



El futuro es de todos

Agencia de Renovación del Territorio



Versión 3. 31-08-2020 Corte: 31-07-2020

**¡Importante!** La información aquí reportada corresponde a un momento determinado del estado del ordenamiento territorial del municipio consultado. Si identifica que hay información desactualizada o información que uno corresponde, se agradece que reporte las inconsistencias al correo [capacidadespdet@renovacionterritorio.gov.co](mailto:capacidadespdet@renovacionterritorio.gov.co) para realizar los ajustes requeridos.