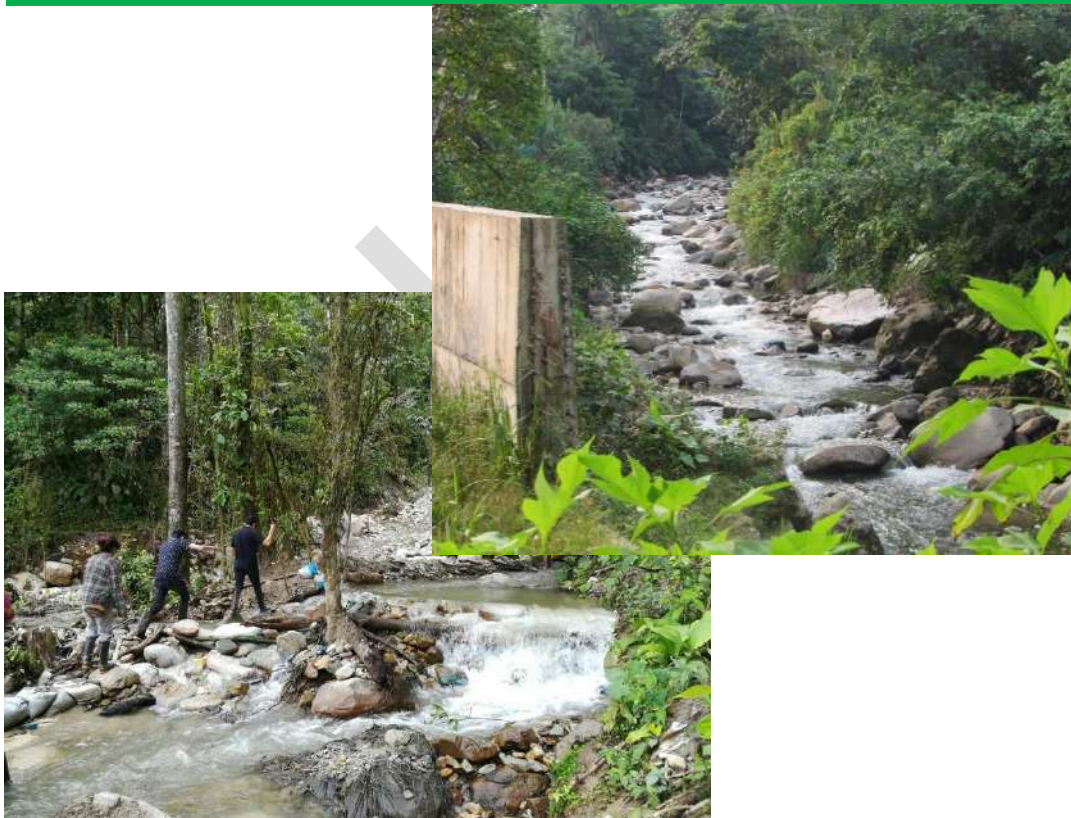




UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA  
SEDE AMAZONIA

## ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE MOCO A (PUTUMAYO)



### CONVENIO 588 DE 2016

Estudio para el Acotamiento de la Ronda Hídrica de los ríos Mulato, el Hacha y la quebrada Yahuaraca, en la zona urbana de los municipios de Mocoa, Florencia y Leticia, departamentos de Putumayo, Caquetá y Amazonas en cumplimiento al Plan de Acción 2016 -2019 “Ambiente para la Paz”

**Mocoa, Putumayo 2018**

## **Dirección**

DR. JHON CHARLES DONATO RONDON

Director Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia

PROF. SANTIAGO DUQUE ESCOBAR

Director Convenio 588/2016. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia. Instituto de Investigaciones IMANI. Grupo de Investigación Limnología Amazónica

DR. LUIS ALEXANDER MEJÍA BUSTOS

Director General Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia,  
CORPOAMAZONIA

DRA. ROSA EDILMA AGREDA CHICUNQUE

Supervisora Convenio 588/2016. Subdirectora de Planificación y Ordenamiento Ambiental  
CORPOAMAZONIA

## **Coordinación**

CLAUDIA JULIANA DULCEY CALA

Coordinadora Técnica UN - Sede Amazonia Convenio 588/2016

ROSA MARÍA CASTRO MATEUS

Coordinadora Administrativa UN - Sede Amazonia Convenio 588/2016

## **Supervisión**

YUDY ANDREA ÁLVAREZ SIERRA

Líder Apoyo a la Supervisión CORPOAMAZONIA Convenio 588/2016

CAMILO AUGUSTO OTAYA DÍAZ

Apoyo Técnico a la Supervisión CORPOAMAZONIA Convenio 588/2016

FRANCO ORTEGA PETIVI

Apoyo Administrativo a la Supervisión CORPOAMAZONIA Convenio 588/2016

**Equipo Técnico (UN Amazonia)**

JUAN SEBASTIÁN ACERO CORTÉS

Geólogo - Componente Geomorfológico

*M. Sc.* OLGA LUCIA PULIDO MÉNDEZ

Ingeniera Ambiental – Componente Hidrología

*M. Sc.* DIEGO FERNANDO RESTREPO ZAMBRANO

Ingeniero Civil - Componente Hidráulico

*M. Sc. Ph. D.* ELIANA MARÍA JIMÉNEZ ROJAS

Ingeniera Forestal - Componente Ecosistémico

WILMAR MAURICIO YÉPEZ ROBLEDO

Ingeniero Forestal – Apoyo Fase de Campo Componente Ecosistémico Leticia y Mocoa

*Esp.* YOHANA MARCELA URREGO DÍAZ

Ingeniera Catastral y Geodesta - Componente Predial

JHOAN CAMILO BOTERO ROJAS

Ingeniero Topográfico - Apoyo Componente Predial

MILENA SUÁREZ MOJICA

Antropóloga – Componente Socio Ecológico - Historia Socio Ambiental

Componente Socio Ecológico – Servicios Ecosistémicos y Conflictos Socio Ambientales

ALEXIS RUFINO PARENTE

Hablante Tikuna – Apoyo Componente Socio Ecológico

*Esp.* CAMILO ANDRÉS CONCHA

Ingeniero Topográfico – Componente Sistemas de Información Geográfica - Procesamiento y Modelación

LIDA YELITZA VARGAS

Logística y Apoyo Componente Calidad de Agua

ADRIAN GUSTAVO CANDRE IGUEDAMA

Tecnólogo Forestal - Apoyo Componente Calidad de Agua

CARLOS EDUARDO CURI

Político – Apoyo Veeduría Ciudadana

*Ph. D.* JUAN GABRIEL LEÓN

Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira - Toma de Caudales  
Componente Hidrología

FUNDACIÓN GRUPO PROA (Camila Pérez, Kees van Vliet & Felipe Duque)

GENSAR S.A.S (Juan David Duque)

Componente Sistemas de Información Geográfica - Salidas Gráficas

### **Revisores Externos**

*Ph. D.* SERGIO ANDRÉS SALAZAR GALÁN

Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**Cítese como:** Duque S. R, Dulcey C. L., Acero J. S., Pulido O. L., Restrepo D., Jiménez E. M., Pérez C., Duque F., Suarez M., Van Vliet K., Urrego Y., Concha C., Duque J. D., & Vargas L. Y. 2018. Acotamiento de la ronda hídrica del río Mulato la zona urbana del municipio de Mocoa, departamento del Putumayo. Convenio 588 de 2016 entre UN Sede Amazonia & Corpoamazonia. Leticia. 368p

## Contenido

Listado de Figuras .....	7
Listado de Tablas.....	18
Listado de Anexos .....	21
1. PROPIEDAD INTELECTUAL Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN.....	22
2. INTRODUCCIÓN.....	23
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. ÁREA DE ESTUDIO .....	27
4.1 CLIMA.....	29
4.1.1 Precipitación.....	29
4.1.2 Temperatura.....	33
4.1.3 Humedad Relativa.....	34
4.2 ZONA DE VIDA .....	35
4.3 GEOMORFOLOGÍA.....	35
4.3.1 Estratigrafía.....	36
5. METODOLOGÍA .....	38
5.1 Fase 1: Determinación del Cauce Permanente .....	39
5.2 Fase 2: Caracterización físico-biótica para la definición del límite funcional.....	39
5.2.1 Componente Geomorfológico .....	40
5.2.2 Componente Hidrológico – Hidráulico.....	40

5.2.3	Componente Ecosistémico.....	67
5.2.4	Calidad Físicoquímica e Hidrobiológica río Mulato (macroinvertebrados).....	77
5.3	Fase 3: Caracterización socio-cultural dentro del límite funcional .....	78
5.3.1	Caracterización Predial .....	78
5.3.2	Caracterización Socio-cultural.....	87
5.4	Fase 4: Definición de Áreas Homogéneas y Medidas de Manejo Ambiental.....	91
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	93
6.1	Fase 1: Determinación del Cauce Permanente .....	93
6.1.1	Análisis Multitemporal .....	93
6.1.2	Delimitación del Cauce Permanente .....	96
6.2	Fase 2: Caracterización físico-biótica para la definición del límite funcional.....	97
6.2.1	Componente Geomorfológico .....	97
6.2.2	Componente Hidrológico – Hidráulico .....	138
6.2.3	Componente Ecosistémico.....	206
6.2.4	Delimitación de la Ronda Hídrica Integral .....	229
6.2.5	Caracterización Físicoquímica e Hidrobiológica (Macroinvertebrados) río Mulato	230
6.3	Fase 3: Caracterización socio-cultural dentro del límite funcional .....	244
6.3.1	Caracterización Predial .....	244
6.3.2	Caracterización Socio-cultural.....	273
6.4	Fase 4: Definición de Áreas Homogéneas y Medidas de Manejo.....	296
6.4.1	Contextualización general Áreas homogéneas .....	296
6.4.2	Áreas homogéneas río Mulato .....	303
6.4.3	Medidas de manejo generales .....	323
6.4.4	Medidas de manejo Zona acuática río Mulato.....	327
6.4.5	Medidas de manejo río Mulato Zona mosaico.....	332
6.4.6	Medidas de manejo Zona de tejido urbano .....	336
6.5	Mecanismo de participación: Comisión Ambiental del Río Mulato (CARM).....	339
7.	CONCLUSIONES .....	352
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	358

## Listado de Figuras

Figura 1. Cuencas colindantes a la cuenca del río Mulato.....	28
Figura 2 Área de Estudio río Mulato. La línea roja indica el límite de la cuenca baja del río Mulato.....	29
Figura 3. Localización de la estación Mocoa Acueducto respecto al río Mulato con una distancia entre sí de 2.2km; calculada entre la estación y el centroide del polígono del río Mulato.....	30
Figura 4. Localización de la estación Condagua respecto al cauce principal del río Mulato.....	30
Figura 5. Localización de la estación Villagarzón respecto al cauce principal del río Mulato.....	31
Figura 6. Localización de la estación Campucana respecto al cauce principal del río Mulato.....	31
Figura 7. Localización de la estación El Pepino respecto al cauce principal del río Mulato.....	32
Figura 8. Ciclo anual de la precipitación media mensual interanual 1987-2016 (n = 29 años) en las estaciones aledañas a la zona de estudio.....	32
Figura 9. Diagrama de burbujas para la precipitación media total multianual 1987- 2016 (n = 29 años) en las estaciones pluviométricas Condagua, Campucana, Mocoa Acueducto, El Pepino y Villagarzón; el tamaño y color de la burbuja representan la variación en la magnitud de dicha precipitación.....	33
Figura 10. Temperatura (°C) media interanual 2007-2016 (n=9 años) en la estación Acueducto Mocoa.....	33
Figura 11. Temperatura (°C) media mensual interanual 2007-2016 (n = 9 años) en la estación Acueducto Mocoa.....	34
Figura 12. Humedad relativa media mensual multianual 1990-2016 en la estación Acueducto Mocoa.....	34
Figura 13. Mapa geológico de la plancha 430-Mocoa. Fuente: Adaptado de Servicio Geológico Colombiano (2002). .....	36
Figura 14. Bloques transportados de rocas intrusivas del monzogranito de Mocoa. ....	37

Figura 15. Fotografías de la Formación Pepino (a. E=1.044.153 N=618.927; b. E=1.046.074 N=618.488; c. E= 1.045.056 N=618.086). .....	37
Figura 16. Lodolitas del grupo Orito (a. E=1.043.772 N=619.428; E=1.043.521 N= 619.446). ....	38
Figura 17. Depósitos cuaternarios de terraza (E=1.045.598 N=618.301). .....	38
Figura 18. Metodología para el cálculo de caudales máximos en la cuenca del río Mulato .....	41
Figura 19. Remoción de material del lecho del río Mulato a la altura de la bocatoma .....	42
Figura 20. Micromolinete <i>Water Global</i> . .....	43
Figura 21. Localización de las estaciones pluviométricas en las cuencas aledañas a la cuenca del río Mulato .....	44
Figura 22. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d; se resalta la localización de la zona de estudio. Fuente: Flórez & Bolaños (2009), modificada para mayor claridad en las regiones. ....	47
Figura 23. Especificaciones técnicas de la imagen ALOS PALSAR que fue empleada.....	48
Figura 24. Tamaño del material arrastrado en la avenida fluvio-torrencial del 31 de marzo y 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa, Putumayo.....	51
Figura 25 Sistema Fluvial Idealizado (Diaz-Granados 2015).....	52
Figura 26 Etapas de los ríos (Diaz-Granados, 2015).....	52
Figura 27 Perfil río Mulato.....	53
Figura 28 Derrumbes y arrastre de material por avenida fluvio-torrenciales (UPC,GITS 2013).....	54
Figura 29 Clasificación de las avenidas fluvio-torrenciales según el tipo de suelo (UPC,GITS 2013) .....	54
Figura 30 Esquema del angulo de alcance y sus variables (UPC,GITS 2013) .....	57
Figura 31 Unión de los Modelos de Elevación Digital del ALOS-PALSAR .....	58
Figura 32 HEC-RAS 5.0.....	59
Figura 33 Modelo Digital del Terreno GEOSPATIAL .....	60
Figura 34 Construcción del modelo a partir del MDT.....	61
Figura 35 Geometría del modelo en HEC-RAS 5.0 .....	61
Figura 36 Sección del Modelo Hidráulico.....	62
Figura 37 Primer puente río Mulato. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, 2017.....	64
Figura 38 Puente 1 en el modelo HEC-RAS .....	64
Figura 39 Segundo puente río Mulato.....	65
Figura 40 Puente 2 en el modelo HEC-RAS .....	65
Figura 41 Tercer puente río Mulato. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonia, 2017.....	66
Figura 42 Puente 3 en el modelo HEC-RAS .....	66



Figura 43. Procedimiento para la delimitación del componente ecosistémico (Adaptado de MADS 2017).....	68
Figura 44. Cálculo de la altura (H) representativa de las comunidades vegetales que componen la ronda hídrica.....	68
Figura 45. Relictos de bosque en la parte alta del Río Mulato.....	69
Figura 46. Muestreo de la vegetación en parcelas temporales (100 m <sup>2</sup> ), en las cuales se evaluaron tres categorías de tamaño: 1) Fustales (F): individuos con diámetro a 1,3 m del suelo en 100 m <sup>2</sup> (DAP ≥ 10 cm), 2) Latizales (L): individuos con DAP entre 2,5 y 9,9 cm, 3) Brinzales (B): individuos entre 0,3-1,5 m de altura.....	70
Figura 47. Técnicas de medición de alturas. A: Medición de un árbol vertical con el observador por encima del nivel del suelo; B: Medición de un árbol vertical con el observador por debajo del nivel del suelo; C: Medición de un árbol inclinado con el observador por encima del nivel del suelo; D: Medición de un árbol inclinado con el observador por debajo del nivel del suelo (Tomado de Vallejo <i>et al.</i> 2005).....	72
Figura 48. Mediciones forestales del diámetro y la altura en un área de chíparos ( <i>Zygia longifolia</i> (Willd.) Britton & Rose) remanentes en la ronda del Río Mulato.....	73
Figura 49 Área de Estudio Caracterización Predial.....	79
Figura 50. Fotorrestitución predial del área de estudio. Fuente: Ortofoto Geospacial 2017, Digitalización predial y área de estudio.....	81
Figura 51. Fotorrestitución predial del área de estudio. Fuente: Ortofoto Geospacial 2017, Digitalización predial y área de estudio.....	82
Figura 52. Mapa índice planos de campo. Fuente: Ortofoto Geospacial 2017, diseño de recorrido de campo elaboración propia.....	83
Figura 53. Mapa de campo Plancha 1. Fuente: Ortofoto Geospacial 2017, base temática (Predial y área de estudio) resultado de Fotorrestitución.....	84
Figura 54. Descarga de datos GPS en Garmin BaseCamp. Fuente: Elaboración propia con base en datos GPS 2017.....	86
Figura 55. Ajuste de fotorrestitución a). Fotorrestitución inicial b). Fotorrestitución posterior a reconocimiento en campo. Fuente: Ortofoto Geospacial 2017.....	87
Figura 56. Esquema metodológico equipo social. Caracterización socio-cultural y aporte a áreas homogéneas y medidas de manejo en el corto, mediano y largo plazo.....	91
Figura 57. Imágenes históricas del río Mulato. Fuente: IGAC (1962, 1972, 1983, 2006), Google Earth (2001), Geospacial (2017).....	93
Figura 58. Interpretación visual del cauce histórico del río Mulato. Fuente: Equipo Rondas Hídricas.....	95
Figura 59. Cauce permanente del río Mulato.....	97
Figura 60. Sistema hídrico por tipo de curso de agua.....	98
Figura 61. Sistema hídrico clasificado por morfología.....	99
Figura 62. Cálculo de la sinuosidad del río Mulato.....	101

Figura 63. Patrón de drenaje del río Mulato sobre modelo de sombras.....	102
Figura 64. Perfil longitudinal del cauce principal del río Mulato (El eje Y representa la altura, mientras el eje X representa la distancia horizontal recorrida del río).....	103
Figura 65. Contraste topográfico por el trazo de la falla La Tebaida.....	103
Figura 66. Ubicación de perfiles transversales. Fuente: Equipo Rondas Hídricas.....	104
Figura 67. Perfil transversal 1.....	105
Figura 68. Perfil transversal 2.....	105
Figura 69. Perfil transversal 3.....	106
Figura 70. Perfil transversal 4.....	106
Figura 71. Perfil transversal 5.....	107
Figura 72. Perfil transversal 6.....	107
Figura 73. Perfil transversal 7.....	108
Figura 74. Perfil transversal 8.....	108
Figura 75. Perfil transversal 9.....	109
Figura 76. Perfil transversal 10.....	109
Figura 77. Mapa de pendientes para la cuenca del río Mulato.....	111
Figura 78. Cambio en el ángulo de inclinación por el trazo de la Falla La Tebaida. Nótese cómo el ángulo $\beta$ es mayor que el ángulo $\alpha$ .....	112
Figura 79. Mapa de pendientes de la zona media y terminal de la cuenca del río Mulato.....	113
Figura 80. Curva hipsométrica del río Mulato. <span style="float: right;"><i>Fuente:</i></span> <i>Informe técnico visita técnica Mocoa. PUJ (2017).</i> .....	114
Figura 81. Tipos de corrientes mayores por perfil longitudinal, perfil transversal y vista en planta. Fuente: Rosgen (1994).....	115
Figura 82. Clasificación de corrientes de acuerdo a sinuosidad, atrincheramiento, relación W/D, pendiente y granulometría de depósitos. Fuente: Rosgen (1994).....	116
Figura 83. Ambientes morfogenéticos en la cuenca del río Mulato. Fuente: Adaptado de SGC (2015).....	117
Figura 84. Unidades geomorfológicas escala 1:25.000 en la cuenca del río Mulato. Fuente: Adaptado de SGC (2015).....	118
Figura 85. Sierras denudadas en la cuenca del río Mulato. Fuente: Juan Sebastián Acero.....	119
Figura 86. Mapa de unidades geomorfológicas escala 1:2000.....	121
Figura 87. Barra lateral en el área de estudio (E=1.048.060 N=618.247).....	121
Figura 88. Barra longitudinal e isla vegetada madura en la vereda el Libano (E=1.045.081 N=618.076).....	122
Figura 89. Depósitos fluviotorrenciales aterrazados a ambos costados del río Mulato.....	123
Figura 90. Construcciones de la vereda Villanueva sobre depósito fluviotorrencial aterrazado reciente (E=1.047.022 N=618.308).....	123

Figura 91. Depósito fluviotorrencial reciente compuesto por 2 niveles diferentes (E=1.046.052 N=618.477).....	124
Figura 92. Escarpe de erosión menor poco disectado (E=1.045.631 N=618.280).....	124
Figura 93. Terrazas bajas de acumulación del río Mocoa (E=1.048.389 N=618.229). ....	125
Figura 94. Depósitos aluviales del río Mocoa (E=1.048.415 N=618.227). ....	125
Figura 95. Canal principal del río Mulato adelante del puente José Homero (E=1.047.903 N=618.364).....	126
Figura 96. Canal secundario del río Mulato frente a vereda El Líbano (E=1.046.061 N=618.480).....	126
Figura 97. Canales secundarios del río Mulato (a. E=1.045.687 N=618.524; b. E=1.046.622 N=618.118). Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	127
Figura 98. Escalón de bloques (Feb), en cercanías al puente José Homero (E=1.047.938 N=618.349).....	127
Figura 99. Ladera coluvial a la altura de la institución etnoeducativa bilingüe Inga Mocoa (E=1.045.737 N=618.543). ....	128
Figura 100. Ladera de talus (E=1.045.761 N=618.569).....	128
Figura 101. Loma denudada fuertemente erosionada en la cuenca del río Mulato. ....	128
Figura 102. Ladera de valle incisivo urbanizado del río Mulato (E=1.046.698 N=618.280). ....	129
Figura 103. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa por detonantes climáticos y sismo, escala 1:100.000. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2014). ....	130
Figura 104. Corona de flujo de detritos en la parta alta de la cuenca de la quebrada Taruca. ..	131
Figura 105. Procesos morfodinámicos en la cuenca media del río Mulato. A la izquierda deslizamiento traslacional en rocas del Grupo Orito. A la derecha deslizamiento traslacional en los depósitos fluviotorrenciales aterrazados.....	131
Figura 106. Socavación lateral del río Mulato por flujo de alta energía en la parte externa de una curva en la vereda el Líbano (E=1.045.719 N=618.412). ....	131
Figura 107. Proceso de avulsión en el río Mulato. Arriba ortofoto del 15 de febrero de 2017. Abajo ortofoto del 4 de Abril de 2017.....	132
Figura 108. Procesos morfodinámicos dentro del área de estudio. ....	133
Figura 109. Tipos de morfología de canal. Fuente: Rinaldi (2015). ....	135
Figura 110. Cruces (riffles), en el río Mulato. ....	135
Figura 111. Vista 3D de los depósitos fluviotorrenciales de eventos pasados. Fuente: Adaptado de Google Earth.....	136
Figura 112. Delimitación de la ronda hídrica del componente geomorfológico del río Mulato. ..	137
Figura 113. Caudales puntuales mensuales en la bocatoma Líbano 2013-2016. Fuente: Aguas Mocoa S.A. E.S.P. ....	139
Figura 114. Inconsistencias en los datos crudos; se muestra que en el año 1993 para el mes de septiembre existen 31 datos, cuando este mes es de 30 días. Fuente: IDEAM .....	141

Figura 115. Precipitación media total multianual 1981-2010; se indica el área del departamento de Mocoa, en donde se localiza la zona de estudio. Fuente: IDEAM, 2014. ....	142
Figura 116. Número de días de lluvia período 1987-2016 en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Condagua, El Pepino y Villagarzón .....	143
Figura 117. Precipitación registrada en la estación IDEAM Villagarzón para a) máxima en 24 horas en los meses de mayo 1965-1971 y b) precipitación total diaria para el mes de mayo de 1971.....	146
Figura 118. Precipitación máxima en 24 horas registrada en el mes de febrero en las estaciones Campucana, Condagua, El Pepino y Villagarzón 1978-1989. ....	147
Figura 119. Precipitación total diaria registrada durante el mes de mayo de 1994 en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Condagua, El Pepino y Villagarzón. Fuente: Equipo Rondas Hídricas; construida a partir de datos IDEAM. ....	148
Figura 120. Precipitación total diaria registrada durante el mes de junio de 1997 en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Condagua y El Pepino. ....	148
Figura 121. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia estación Mocoa Acueducto 44015040.	150
Figura 122. Suelos en la zona de estudio, escala 1:1'000 000. Fuente: visor web de mapas del IGAC (www.igac.gov.co).....	151
Figura 123. Hietograma de precipitación total y efectiva para el período de retorno de 5 años.	155
Figura 124. Hidrograma unitario sintético del río Mulato para un pulso de precipitación efectiva .....	156
Figura 125. Generación del hidrograma de crecienta del río Mulato para período de retorno de 5 años.....	156
Figura 126. Hidrogramas de crecienta del río Mulato para varios períodos de retorno .....	157
Figura 127. Relación entre el caudal máximo estimado y el tiempo de retorno .....	159
Figura 128 Caudal maximo contra período de retorno.....	161
Figura 129 Hidrogramas de crecienta para diferentes períodos de retorno .....	162
Figura 130 Inundación T=2.33 años .....	163
Figura 131 Zona inundable T=2.33 años, Marzo 2017 .....	164
Figura 132 Zona inundable T=2.33 años, Abril 2017 .....	164
Figura 133 Velocidad de flujo T=2.33 años.....	165
Figura 134 Inundación T=5 años .....	165
Figura 135 Zona inundable T=5 años .....	166
Figura 136 Velocidad de flujo T=5 años.....	166
Figura 137 Inundación T=10 años. ....	167
Figura 138 Zona inundable T=10 años .....	167
Figura 139 Velocidad de flujo T=10 años.....	168
Figura 140 Inundación T=20 años. ....	169
Figura 141 Velocidad de flujo T=20 años.....	169

Figura 142 Inundación T=25 años .....	170
Figura 143 Zona inundable T=25 años .....	171
Figura 144 Velocidad de flujo T=25 años.....	171
Figura 145 Inundación T=50 años .....	172
Figura 146 Velocidad de flujo T=50 años.....	173
Figura 147 Velocidad de flujo T=50 años. Barrio 17 de Julio y Pablo VI.....	173
Figura 148 Velocidad de flujo T=50 años. Barrio José Homero .....	174
Figura 149 Inundación T=100 años .....	175
Figura 150 Zona inundable T=100 años .....	175
Figura 151 Velocidad de flujo T=100 años.....	176
Figura 152 MDT ALOS-PALSAR 12.5 m .....	177
Figura 153 Mapa de cohesión. Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	178
Figura 154 Deslizamiento localizado en la cuenca alta del río Mulato, (1°08'59.92" N, 76°40'50.98" W) .....	178
Figura 155 Mapa de profundidad de suelo. Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	179
Figura 156 Mapa del angulo de fricción. Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	180
Figura 157 Mapa de conductividad hidraulica. Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	180
Figura 158 Mapa de la densidad saturada del suelo. Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	181
Figura 159 Mapa de pendientes. Fuente: Equipo Rondas Hídricas .....	181
Figura 160 Iniciacion de deslizamientos (Alta Probabilidad). Fuente: Equipo Rondas Hídricas	182
Figura 161 Iniciacion de deslizamientos (Alta Probabilidad) .....	183
Figura 162 Iniciacion de deslizamientos (Alta Probabilidad) .....	184
Figura 163 Iniciacion de deslizamientos (Media Probabilidad) .....	184
Figura 164 Iniciacion de deslizamientos (Media Probabilidad) .....	185
Figura 165 Iniciacion de deslizamientos (Baja Probabilidad) .....	186
Figura 166 Iniciacion de deslizamientos (Baja Probabilidad) .....	186
Figura 167 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad) .....	187
Figura 168 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad) .....	188
Figura 169 Sector de la Bocatoma del Acueducto .....	189
Figura 170 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad) .....	189
Figura 171 Propagación de la avenida Fluvio-torrencial (Alta Probabilidad) .....	190
Figura 172 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad) .....	191
Figura 173 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Media Probabilidad).....	191
Figura 174 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Media Probabilidad).....	192
Figura 175 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Media Probabilidad).....	192

Figura 176 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Media Probabilidad).....	193
Figura 177 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Baja Probabilidad) .....	193
Figura 178 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Baja Probabilidad) .....	194
Figura 179 Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Baja Probabilidad) .....	194
Figura 180 Zonas de afectación de la avenida fluvio-torrencial (Resolución 447 de 2017).....	196
Figura 181 Modelo de iniciación y Propagación de Avenidas Fluvio-torrenciales, Quebrada Taruca. .....	196
Figura 182 Modelo de iniciación y Propagación de Avenidas Fluvio-torrenciales, Quebrada Taruca .....	197
Figura 183 Modelo de iniciación y Propagación de Avenidas Fluvio-torrenciales, Quebrada Taruca .....	197
Figura 184 Definición de Riesgo de Inundaciones.....	198
Figura 185 Índices de Amenaza, Defra/Environment Agency, UK.....	199
Figura 186 Mapa Índices de Amenaza .....	200
Figura 187 Mapa Índices de Vulnerabilidad.....	202
Figura 188 Mapa de Riesgo.....	203
Figura 189 Mapa Barrios en Riesgo .....	204
Figura 190 Polígono de la ronda hídrica ajustada.....	205
Figura 191 Ronda Hídrica, Componente Hidráulico.....	205
Figura 192 Ronda Hídrica, Lotes y Construcciones afectadas .....	206
Figura 193. Mapa de zonas de vida presentes en la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo): 1) Cuenca alta: Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), 2) Cuenca media: Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM), 3) Bosque húmedo Tropical (bh-T), en esta última zona de vida se encuentra el polígono de estudio. ....	207
Figura 194. Localización de los puntos de muestreo dentro del polígono de estudio (línea roja punteada) y, fuera de él, para la caracterización del componente ecosistémico del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).....	208
Figura 195. Densidad y riqueza específica encontradas para los fustales (DAP≥10 cm) en cada una de las parcelas de muestreo dentro de la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).....	218
Figura 196. Índice de Valor de Importancia (IVI) para las 20 especies con los valores más altos (Especies con DAP≥10 cm) en la vegetación muestreada en la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo). ....	222
Figura 197. Altura promedio de los fustales (DAP≥ 10 cm) en cada parcela de muestreo (100 m <sup>2</sup> ) en el Río Mulato (Mocoa, Putumayo).....	223
Figura 198. Distribución de los individuos de la palma chonta o bombona ( <i>Iriartea deltoidea</i> ) de acuerdo a la altura (H total promedio) en los sitios de muestreo en Mocoa, Putumayo.....	225
Figura 199. Densidad de drenaje para la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo). ....	226
Figura 200. Densidad de drenaje y áreas aferentes (N) para la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo). ....	227

Figura 201. Componente ecosistémico de la ronda hídrica del Río Mulato (Mocoa, Putumayo) .....	228
Figura 202 Ronda Hídrica Integral río Mulato, Mocoa (Putumayo) .....	229
Figura 203. Valores de temperatura (°C) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato....	230
Figura 204. Valores de temperatura comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).....	230
Figura 205. Valores de oxígeno disuelto (mg/ y %) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	231
Figura 206. Valores de oxígeno disuelto (mg/L) comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).....	231
Figura 207. Valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	232
Figura 208. Valores de pH para las estaciones de estudio sobre el río Mulato. ....	233
Figura 209. Valores de pH comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).....	233
Figura 210. Valores de Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	234
Figura 211. Valores de Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).....	235
Figura 212. Valores de Coliformes Fecales y Totales (UFC/100 cm) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	235
Figura 213. Valores de Alcalinidad (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato. ....	236
Figura 214. Valores de Color (U de C) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato. ....	237
Figura 215. Valores de Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	237
Figura 216. Valores de Fósforo Total (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	238
Figura 217. Valores de Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	239
Figura 218. Valores de Materia orgánica (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	239
Figura 219. Abundancia de macroinvertebrados para las estaciones estudiadas sobre el río Mulato.....	241
Figura 220. Área de barrios y veredas en porcentaje.....	244
Figura 221. Distribución espacial de barrios y veredas en el área de estudio predial.....	245
Figura 222. Bienes inmuebles caracterizados por barrio y vereda. ....	246
Figura 223. Distribución espacial de lotes y construcciones en el área de estudio predial.....	247
Figura 224. Estrato socioeconómico en al área de estudio predial.....	248

Figura 225. Distribución espacial del estrato socioeconómico por barrios en el área de estudio predial.....	249
Figura 226. Tenencia de los bienes inmuebles en el área de estudio. ....	251
Figura 227. Fotografías del estado de conservación de las construcciones en el área de estudio.....	254
Figura 228. Distribución espacial del estado de conservación de las construcciones en el área de estudio.....	254
Figura 229. Pendientes en el área de estudio predial.....	256
Figura 230. Clases de vías en el área de estudio predial. ....	258
Figura 231. Estado de las vías en el área de estudio predial.....	259
Figura 232. Influencia de las vías en el área de estudio predial. Servicios públicos.....	260
Figura 233. Servicio público domiciliario energía eléctrica en el área de estudio predial.....	263
Figura 234. Servicio público domiciliario acueducto en el área de estudio predial. ....	264
Figura 235. Servicio público domiciliario alcantarillado en el área de estudio predial. ....	265
Figura 236. Servicio público domiciliario gas natural en el área de estudio predial. ....	266
Figura 237. Servicio público domiciliario teléfono en el área de estudio predial. ....	267
Figura 238. Servicio público no domiciliario alumbrado público en el área de estudio predial. ..	268
Figura 239. Bienes inmuebles sin servicios públicos en el área de estudio predial. ....	269
Figura 240. Actividad económica de los bienes inmuebles en el área de estudio predial.....	271
Figura 241. Análisis multitemporal tejido urbano de la ronda del río Mulato.....	273
Figura 242 Mapa de unidades ecosistémicas y zonas de transformación actuales del río Mulato.....	276
Figura 243 Mapa de coberturas 1962 y 2017, basado en las fotos aéreas del IGAC (1962) y Geospacial (2017).....	280
Figura 244 Barrios y veredas zona urbana continua y discontinua.....	288
Figura 245 Crecimiento urbano Mocoa 1962-2017. Fuente: fotos aéreas adaptadas del IGAC (1962, 1972, 1983, 2006) y Geospacial (2017).....	292
Figura 246 Unidades ecosistémicas ronda hídrica Río Mulato.....	297
Figura 247 Cauce permanente del río Mulato.....	298
Figura 248 Mapa de Sistema Sociales.....	301
Figura 249 Mapa geomorfológico sintético para definición de ecosistemas. ....	302
Figura 250 Mapa de Susceptibilidad Geomorfológica.....	303
Figura 251 Mapa de Áreas Homogeneas en la ronda hídrica del río Mulato.....	304
Figura 252 Mapa del resguardo indígena Ingda – Área de manejo especial.....	305
Figura 253 Mapa conflicto socioambiental por ocupación de la ronda hídrica.....	306



Figura 254 Mapa conflicto socioambiental por contaminación hídrica (aguas residuales y residuos sólidos domésticos). .....	310
Figura 255 Vertimientos del municipio de Mocoa. Fuente: Adaptado de “Vertimientos municipio de Mocoa”. En: Diagnóstico Ambiental para la Estructuración de Lineamiento Técnicos de Ordenación Ambiental como soporte fundamental en los procesos de formulación e incorporación de los aspectos ambientales del esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Mocoa, departamento de Putumayo, 2014. ....	316
Figura 256. Registro único de víctimas (RUV), 1 de noviembre de 2017. ....	318
Figura 257 Análisis multitemporal tejido urbano de la ronda del río Mulato. ....	319
Figura 258 Conflicto socioambiental actividades productivas vs. medidas de conservación .....	320
Figura 259 Mapa servicios ecosistémicos priorizados para la ronda hídrica del río Mulato .....	322
Figura 260 Mapa subzonas de uso y manejo dentro de las áreas homogéneas de la ronda hídrica del polígono de estudio del río Mulato (Mocoa, Putumayo). ....	324
Figura 261 Esquema organizativo de la Comisión Ambiental del Río Mulato - CARM .....	341
Figura 262 Categorías o perfiles de los actores sociales .....	343
Figura 263 Mapa de servicios ecosistémicos priorizados en la actualidad bajo la valoración sociocultural. ....	357

## Listado de Tablas

Tabla 1. Secciones de aforo .....	42
Tabla 2. Características de las estaciones existentes en la zona de estudio.....	43
Tabla 3. Distancia lineal entre estaciones vecinas.....	45
Tabla 4 Tipos de desastres por inundaciones (UPC, GIT 2013).....	55
Tabla 5 Definición de amenaza.....	56
Tabla 6 Coeficientes de Manning (Ven Te Chow, 1997).....	63
Tabla 7. Escala de valores para la clasificación de densidades de drenaje (MADS 2017). .....	76
Tabla 8. Rangos de clasificación de áreas aferentes (Universidad Nacional de Colombia & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2012). ...	76
Tabla 9. Valor de N según área de la cuenca y densidad de drenaje (MADS & UNAL 2012). ....	76
Tabla 10. Relación de variables analizadas en las diferentes estaciones de estudio .....	78
Tabla 11. Inventario de información predial existente (vector y raster) .....	80
Tabla 12. Parámetros Origen de Coordenadas Gauss Krüger (MAGNA – SIRGAS-COLOMBIA OESTE).....	85
Tabla 13. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Mulato .....	100
Tabla 14. Clasificación del relieve por pendientes. Fuente: Carvajal, 2011. ....	111
Tabla 15. Distribución por área de subunidades geomorfológicas en la cuenca del río Mulato. ....	120
Tabla 16. Inventario de procesos morfodinámicos.....	133
Tabla 17. Características de las secciones aforadas.....	139
Tabla 18. Caudales promedio, mínimo y máximo 2013-2016 en la Bocatoma Líbano .....	140

Tabla 19. Relación de datos existentes/faltantes por estación y para el período 1983-2017.....	141
Tabla 20. Eventos históricos de avenidas torrenciales del río Mulato (Adoptado de Romo (2015) y de INGEOMINAS (1994); Valencia (1997); Fajardo (1999) citado por Jojoa (2003).....	143
Tabla 21. Comportamiento de las lluvias en relación con los eventos históricos de avenidas torrenciales del río Mulato Fuente: Elaboración del Proyecto Rondas Hídricas.....	145
Tabla 22. Valores de intensidad de eventos extremos para la estación Mocoa Acueducto.....	149
Tabla 23. Parámetros base para el cálculo del tiempo de concentración .....	150
Tabla 24. Tiempos de concentración para la cuenca del río Mulato .....	151
Tabla 25. Relación entre las coberturas de la tierra en la cuenca y CN. Fuente: Equipo Técnico Rondas Hídricas .....	153
Tabla 26. Parámetros de los eventos de precipitación de diseño por tiempo de retorno .....	154
Tabla 27. Hietograma de precipitación total y efectiva para el tiempo de retorno 5 años .....	154
Tabla 28. Parámetros del hidrograma unitario sintético para el pulso de precipitación efectiva	155
Tabla 29. Resumen de resultados de eventos de precipitación-escorrentía para la cuenca del río Mulato .....	157
Tabla 30. Verificación de la aplicabilidad de la metodología del número de curva 3 km aguas arriba de la desembocadura del río Mulato .....	160
Tabla 31 Caudales asociados a periodos de retorno .....	161
Tabla 32 Factor de escombros para diferentes profundidades .....	200
Tabla 33 Tablas de pesos por parámetro .....	201
Tabla 34 Valores del Índice de Vulnerabilidad .....	202
Tabla 35. Zonas de vida en la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo). .....	206
Tabla 36. Detalles de las parcelas establecidas y datos de riqueza y estructura de los fustales (DAP $\geq$ 10 cm) de las coberturas presentes en el Río Mulato (Mocoa, Putumayo). .....	209
Tabla 37. Composición florística registrada en los muestreos realizados en todas las categorías de tamaño (Brinzales, Latizales, Fustales) en el Río Mulato (Mocoa, Putumayo). .....	212
Tabla 38. Composición florística y estructura de los fustales (DAP $\geq$ 10 cm) registrados en las parcelas de muestreo en la vegetación de la cuenca del Río Mulato. ....	219
Tabla 39. Rango de alturas registradas por unidad ecosistémica en el área de estudio de la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).....	224
Tabla 40. Valores de la ronda para el componente ecosistémico del Río Mulato (Mocoa, Putumayo). .....	228
Tabla 41. Valores comparables con la legislación colombiana .....	240
Tabla 42. Relación taxonómica de macroinvertebrados encontrados en las estaciones sobre el río Mulato .....	240
Tabla 43. Índice EPT para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	242
Tabla 44. Resultados índice BMWP para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.....	242

Tabla 45. Zonas de transformación, unidades ecosistémicas, extensión del área y asentamientos.....	275
Tabla 46 Cambio de coberturas entre 1962 y 2017. Fotos aéreas del IGAC (1962) y Geospatial (2017) .....	281
Tabla 47 Funciones de regulación zona seminatural y cuenca media.....	283
Tabla 48. Funciones de hábitat zona seminatural y zona acuática cuenca media.....	284
Tabla 49. Funciones de producción zona seminatural y zona acuática cuenca media. ....	285
Tabla 50. Funciones de información zona seminatural y zona acuática cuenca media.....	287
Tabla 51. Funciones de información zona seminatural y zona acuática cuenca media .....	287
Tabla 52. Funciones de regulación de la zona urbana y zona acuática cuenca baja .....	293
Tabla 53. Funciones de producción de la zona urbana y zona acuática cuenca baja .....	294
Tabla 54. Funciones de modificación del paisaje en zona urbana y zona acuática cuenca baja	295
Tabla 55 Sistemas sociales ronda hídrica del río Mulato .....	299
Tabla 56 Vertimientos de aguas residuales sobre el río Mulato.....	311
Tabla 57 Conexiones erradas vertidas al río Mulato.....	311
Tabla 58 población desplazada recibida en Mocoa 2000-2011.....	318
Tabla 59 Medidas de manejo para la ronda hídrica del río Mulato (Mocoa, Putumayo). ....	325
Tabla 60 Descripción de los perfiles de los actores sociales.....	344
Tabla 61. Objetivos medidas de manejo por áreas.....	344
Tabla 62 Perfiles de los actores río Mulato.....	346
Tabla 63. Cambio de coberturas entre 1962 y 2017 .....	356

## Listado de Anexos

- ANEXO 1. Síntesis teórica de los desarrollos metodológicos determinación de caudales máximos.
- ANEXO 2. Caudales medidos por la empresa Aguas Mocoa S.A. E.S.P.
- ANEXO 3. Mapa con la localización de las estaciones
- ANEXO 4. Respuesta solicitud de información IDEAM
- ANEXO 5. Pre-procesamiento de información precipitación
- ANEXO 6. Ficha de reconocimiento predial
- ANEXO 7. Manual de diligenciamiento predial
- ANEXO 8. Análisis descriptivo río Mulato
- ANEXO 9. Caudales Aforados río Mulato
- ANEXO 10. Curvas IDF río Mulato
- ANEXO 11. Precipitación efectiva tiempos de retorno
- ANEXO 12. Hidrograma río Mulato
- ANEXO 13. Relación fotográfica Macroinvertebrados río Mulato
- ANEXO 14. Historia Socio-Ambiental río Mulato

## 1. PROPIEDAD INTELECTUAL Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN

*Toda información que se produzca objeto del presente convenio gozará de protección legal de acuerdo al Artículo 61 de la Constitución Política, las Leyes 23 de 1982; 44 de 1993; el Decreto 460 de 1995 y demás normas que las sustituyan, reglamenten o complementen. Las partes intervinientes son las únicas titulares de los derechos de autor sobre los resultados del convenio, a quienes se les atribuyen los derechos patrimoniales; sin perjuicio de lo anterior, los resultados podrán ser difundidos por cualquiera de las partes, dando los créditos correspondientes. Los datos y la información, deberán utilizarse exclusivamente para los objetivos del convenio y no puede ser reproducida, comercializada, ni cedida a terceros sin previa autorización de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, CORPOAMAZONIA. El uso de la información obliga a reconocer los créditos correspondientes a las partes, en todos los informes y publicaciones que se realicen, así como en todos los medios de divulgación que se utilicen*  
**(Cláusula Décimo Sexta del Convenio 588 de 2016).**

## 2. INTRODUCCIÓN

Las rondas hídricas son las franjas adyacentes a los cuerpos de agua que permiten mantener la integridad hidrológica, hidráulica y ecológica del cauce, el suelo y la vegetación asociada (Fowler, 2000); asegurar el flujo base en el cauce y regular las crecidas y con ello, mantener la diversidad de la vegetación riparia y del hábitat acuático que a su vez, influyen la buena calidad del agua al proteger el ingreso de fuentes difusas, atrapando y filtrando sedimentos, nutrientes y metales, suministrando materia orgánica, estabilización al suelo y regulación de condiciones microclimáticas (Fowler, 2000, Dosskey *et al.*, 2010).

En el contexto internacional, la delimitación de las zonas de protección ambiental y fajas paralelas a las fuentes hídricas es muy variable. En los Estados Unidos, cada Estado maneja unos lineamientos, funciones a proteger y parámetros de acotamiento particulares y con ello, anchos de ronda diferentes, que van desde 1m para fines de estabilización de riberas a más de 100m para asegurar la protección de hábitats naturales (Barrios & Guzmán, 2015). En Brasil, las áreas de protección permanente en ríos o arroyos naturales son dependientes de la amplitud del curso de agua, con franjas marginales que van desde 30m hasta 500m a cada lado del cauce (Código Florestal - Lei 4.771/1965). En Chile, la legislación sobre aguas establece que los cursos hídricos tienen franjas de protección de 5m hasta 60m. Sin embargo, estos anchos pueden ser modificados dependiendo del orden del cauce, el área de la cuenca y el grado de fragilidad del suelo (Barrios & Guzmán, 2015).

En Colombia, las rondas hídricas fueron reguladas por primera vez con el Código de Recursos Naturales (Ley 2811 de 1974), mediante el Artículo 83, literal d, definidas como *la faja paralela a la línea de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30m, siendo un bien inembargable e imprescriptible del Estado.*

Actualmente, a partir del artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 - Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, el concepto de Ronda Hídrica ha adquirido la visión de funcionalidad ecosistémica, reconociendo que su delimitación debe ser dependiente de las particularidades de los sistemas hídricos y su entorno. Además, le confiere la responsabilidad a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales para que efectúen, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la *faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente,*

para lo cual debe realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el gobierno nacional.

Con base en ello, CORPOAMAZONIA tiene como prioridad en su Plan de Acción 2016-2019 “*Ambiente para la Paz*” garantizar el Acotamiento de la Ronda Hídrica en las zonas urbanas de las principales cabeceras municipales, para que sean incorporadas como Determinantes Ambientales, siendo entonces *normas de superior jerarquía que deben acoger los Planes de Ordenamiento Territorial Municipal y los instrumentos que lo desarrollan; es decir, que obligan o condicionan y sirven para resolver conflictos que se presentan en el diseño y ejecución de toda clase de proyectos y acciones relacionadas con el ordenamiento del territorio* (Massiris, 2000, citado en CORPOAMAZONIA, 2014).

De allí, CORPOAMAZONIA y la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE AMAZONIA firmaron el convenio interadministrativo 588 del 21 de diciembre de 2016, cuyo objeto es realizar el Estudio para el acotamiento de la Ronda Hídrica de los ríos Mulato, el Hacha y de la quebrada Yahuaraca, en la zona urbana de los municipios de Mocoa, Florencia y Leticia, departamentos de Putumayo, Caquetá y Amazonas en cumplimiento del Plan de Acción 2016-2019 “Ambiente para la Paz”. Este proyecto se convierte entonces en el estudio piloto para la definición de los lineamientos generales del acotamiento de Rondas Hídricas en la Amazonia colombiana, teniendo en cuenta las particularidades físico-bióticas y socio-culturales de esta región del territorio colombiano.

Este documento presenta el **Informe Final sobre el Acotamiento de la Ronda Hídrica del río Mulato en el área urbana del municipio de Mocoa (Putumayo)**, como primer producto del Convenio 588 de 2016, dada la priorización requerida por CORPOAMAZONIA el día 5 de Abril de 2017, a raíz de la emergencia presentada entre el 31 de marzo y 01 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa (Putumayo). El municipio de Mocoa mediante decreto No. 0056 de 2017 (1 de abril de 2017) “*Declaró una situación de calamidad pública en el Municipio de Mocoa y se dictan otras disposiciones*”; por su parte la Gobernación del Putumayo bajo el Decreto No. 0068 de 2017 (1 de abril de 2017) “*Declaró situación de calamidad pública en el departamento del Putumayo por los graves daños ocasionados por la creciente súbita de la quebrada Taruca, Taruquita, La Misión, ríos Mulato y Sangoyaco y deslizamientos en el municipio de Mocoa*”. Y la Presidencia de la República mediante Decreto No. 599 de 2017 (6 de abril de 2017) “*Declaró la situación de desastre en el municipio de Mocoa - Departamento de Putumayo*” y con Decreto No. 601 de 2017 (6 de abril de 2017) “*Declaró el Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica en el municipio de Mocoa*”.

El río Mulato es un sistema hídrico que atraviesa el centro del municipio de Mocoa (Putumayo), en la región suroeste del país conocida como piedemonte andino-amazónico. En esta zona confluyen elementos biológicos de la planicie costera del Pacífico, de las montañas andinas y de la planicie amazónica, presentando entonces una gran variedad de ecosistemas que albergan la mayor riqueza de especies de los Andes del Norte, y quizá de toda Suramérica, en relación con su área. Además, el Piedemonte Andino-Amazónico posee los centros urbanos con mayor población para la región sur de la Amazonia ya que desde hace más de 3000 mil años ha sido el sitio de confluencia de comunidades indígenas provenientes tanto de la Amazonia como de los Andes, albergando un conocimiento profundo sobre estos ecosistemas y representando una diversidad cultural invaluable para el territorio Colombiano (Naranjo, 2012). Finalmente, esta región es un sitio de recarga hídrica muy importante dado que las masas de aire húmedo y caliente que llegan de la planicie amazónica y densos bancos de neblina son arrastrados hasta sus altas cumbres, generando lluvias abundantes y constantes (Naranjo, 2012), aportando un servicio



ecosistémico fundamental para el municipio de Mocoa al ser una de las principales fuentes de abastecimiento de agua.

El documento final del acotamiento de la ronda hídrica del río Mulato se encuentra estructurado en cuatro fases: 1) Determinación del Cauce Permanente, 2) Caracterización Físico-Biótica para la definición del límite funcional, 3) Caracterización socio-cultural dentro del límite funcional y 4) Definición de Áreas Homogéneas y Medidas de Manejo. Lo anterior cumple con los lineamientos establecidos por la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de Rondas Hídricas en Colombia del MADS (2017), aunque la caracterización socio-cultural es mucho más detallada abarcando aspectos fundamentales como análisis predial, análisis de actores sociales, trayectoria socioecológica, unidades ecosistémicas y zonas de transformación y servicios ecosistémicos. La finalidad no es únicamente definir el área y extensión del límite funcional en una zona particular del río Mulato sino además, proponer las áreas homogéneas y con ello, las medidas de manejo en el corto, mediano y largo plazo de tal forma, que se den herramientas para la implementación de este instrumento de protección de los recursos naturales como determinante ambiental.

FUNDAMENTAL

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Acotar la ronda hídrica del río Mulato en sus áreas suburbana y urbana según lo establecido en el Convenio de Investigación 588 de 2016.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Definir el cauce permanente del río Mulato .

Realizar la caracterización físico-biótica del río Mulato y su área de influencia para la definición del límite funcional.

Realizar la caracterización socio-ecológica y predial, estableciendo el marco de información base para la definición de áreas homogéneas en la ronda hídrica del río Mulato .

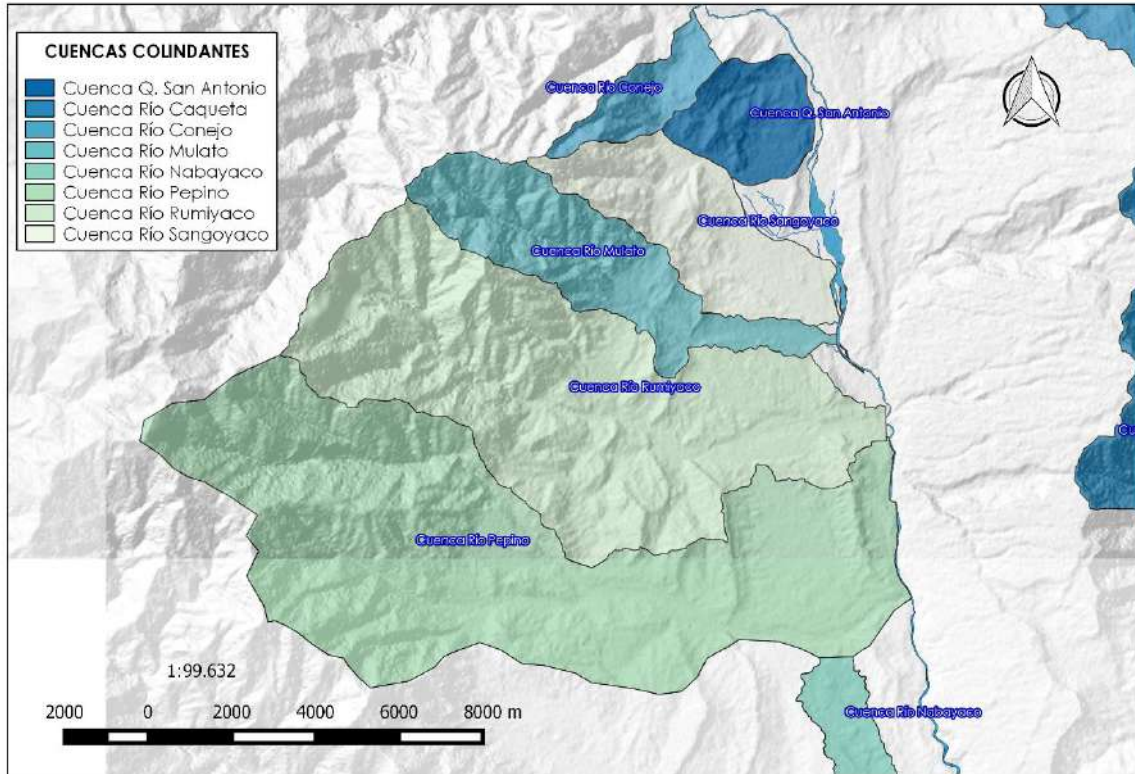
Establecer las áreas homogéneas y medidas de manejo a corto, mediano y largo plazo para la gestión y manejo adecuado de la ronda hídrica del río Mulato .

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

La Zona Hidrográfica del río Caquetá (COD 44) drena sus aguas en la Subzona Hidrográfica Alto río Caquetá (COD 4401), que a su vez hace parte del Nivel Subsiguiente Cuenca Hidrográfica del río Mocoa (4401-01), con una extensión de 67.432ha (IDEAM, 2013).

Del área de la cuenca del río Mocoa, 34.600 ha que representan el 50.4 % corresponden a la reserva forestal del río Mocoa creada mediante Acuerdo 014 del 25 de Abril de 1984, con jurisdicción tanto en Mocoa como en San Francisco. El territorio de la cuenca del río Mocoa está localizado en los municipios de Mocoa, Villagarzón y San Francisco, ubicados sobre la zona andina amazónico y en el Piedemonte amazónico, al noroeste del departamento del Putumayo (IDEAM, 2013).

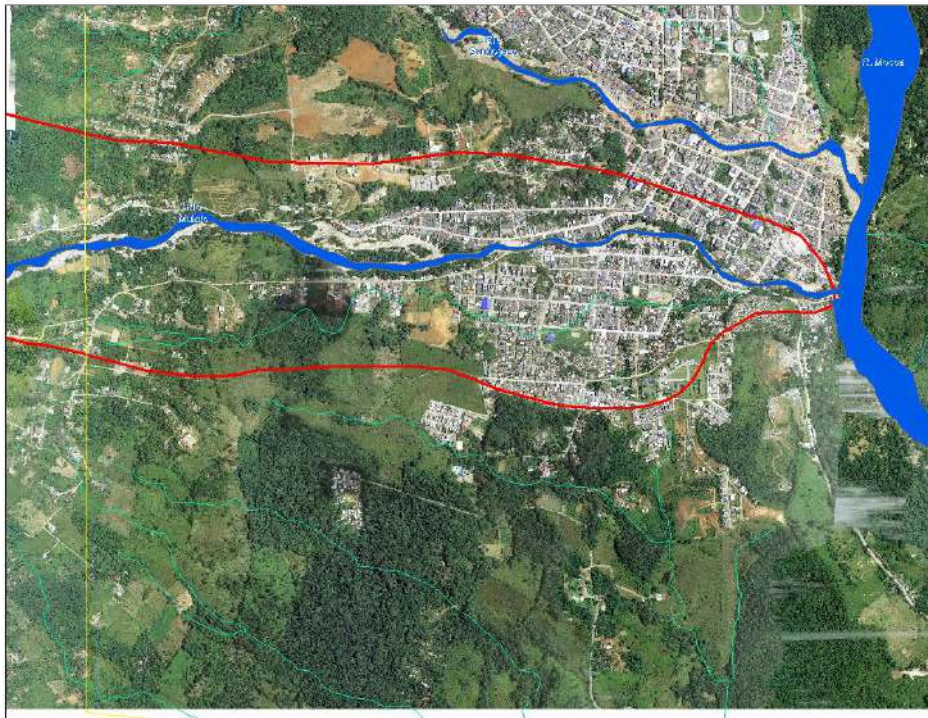
La cuenca del río Mulato tiene una extensión de 1761,1 ha y está ubicada al occidente del área urbana de Mocoa, en el departamento colombiano del Putumayo. El río Mulato se localiza en el piedemonte amazónico sobre el costado oriental de la Cordillera Oriental y se destaca por presentar un régimen torrencial alto debido a las condiciones de precipitación, pendiente y forma del canal del cauce (Romo, 2015). La cuenca del río Mulato limita al norte con la cuenca del río Sangoyaco y al sur con la cuenca del río Rumiyocho (Figura 1).



**Figura 1.** Cuencas colindantes a la cuenca del río Mulato.

Para comprender el comportamiento del sistema hídrico río Mulato es necesario estudiar toda su cuenca, no obstante, es importante aclarar que el estudio para el acotamiento de la ronda hídrica cubrió longitudinalmente únicamente 3km, desde la vereda El Líbano ( $1^{\circ}08' 41.39''N$   $76^{\circ}40'01.20''O$ ) hasta la desembocadura del río Mulato en el río Mocoa ( $1^{\circ}08' 37.18''N$

76°40'31.45"O), abarcando una franja adyacente que cubre los límites de la cuenca baja del río Mulato (**Figura 2**).



**Figura 2** Área de Estudio río Mulato. La línea roja indica el límite de la cuenca baja del río Mulato.

## 4.1 CLIMA

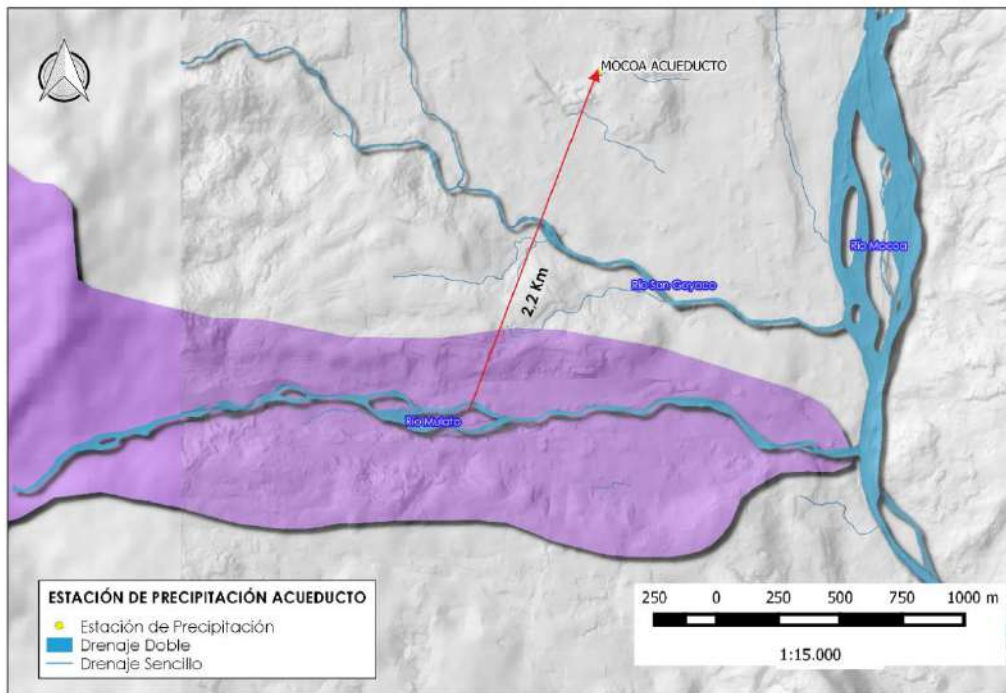
La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los vientos Alisios del Noreste y Sureste, estas corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de latitudes subtropicales de los dos hemisferios, confluyen en una franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT); el departamento del Putumayo se encuentra en su totalidad dentro de la ZCIT, hecho que genera una serie de condiciones especiales en cuanto a clima, vegetación, suelos y regulación hídrica (Romo, 2015).

### 4.1.1 Precipitación

La precipitación media mensual en las estaciones pluviométricas<sup>1</sup> ubicadas en áreas aledañas a la zona de estudio (**Figura 3**, **Figura 4**, **Figura 5**, **Figura 6** y **Figura 7**), para el período 1987-2016 ( $n = 29$  años<sup>2</sup>), muestra en todos los casos un régimen unimodal de lluvias (**Figura 8**). Para las estaciones Villagarzón, Campucana, Mocoa Acueducto y Condagua se observa que el pico de lluvias ocurre entre los meses de abril y julio, siendo junio, para las estaciones Campucana y Mocoa Acueducto, el mes con más altas precipitaciones; mientras que para las estaciones Villagarzón y Condagua el mayor ocurre en mayo. A diferencia de las anteriores, la estación El Pepino muestra el pico de lluvias a partir de febrero, el cual se extiende hasta el mes de agosto.

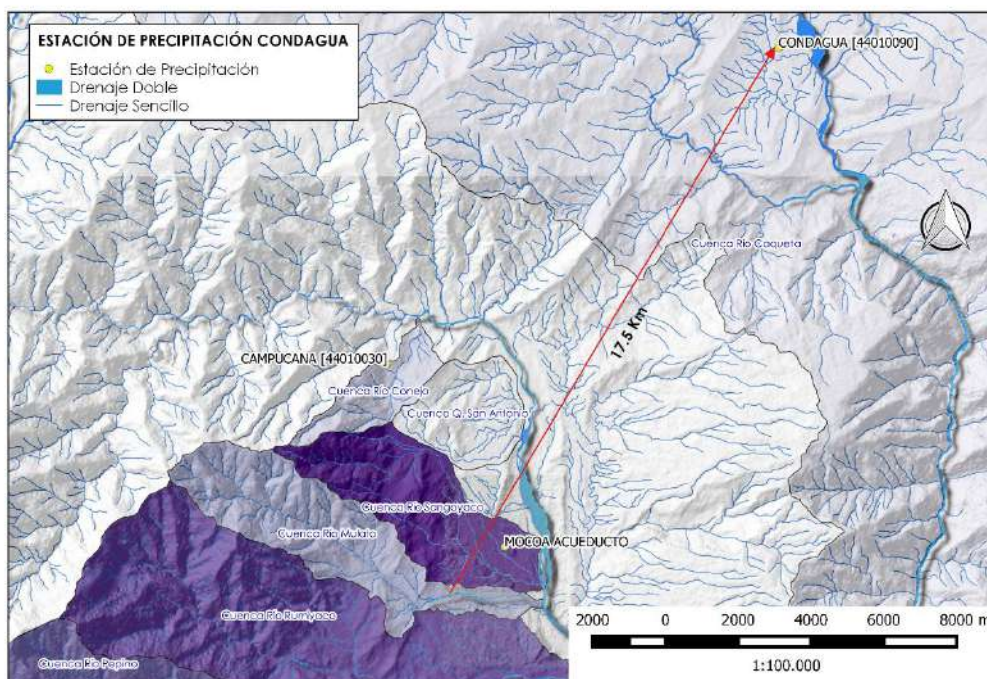
<sup>1</sup> Mayores detalles respecto a las características de las estaciones mencionadas pueden ser consultados en el apartado de *resultados y discusión* del componente de hidrología.

<sup>2</sup> Para la estación El Pepino el período en la serie es de 1987-2012 ( $n=25$  años).



**Figura 3.** Localización de la estación Mocoa Acueducto respecto al río Mulato con una distancia entre sí de 2.2km; calculada entre la estación y el centroide del polígono del río Mulato.

Este incremento en las lluvias en el período abril - junio se debe principalmente a la ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical sobre el territorio colombiano, específicamente sobre el centro del mismo; sumado a lo anterior, en ese período empiezan a influir los sistemas sinópticos de la Amazonia, haciendo que las precipitaciones en la zona se incrementen (Armenta, 2013).



**Figura 4.** Localización de la estación Condagua respecto al cauce principal del río Mulato

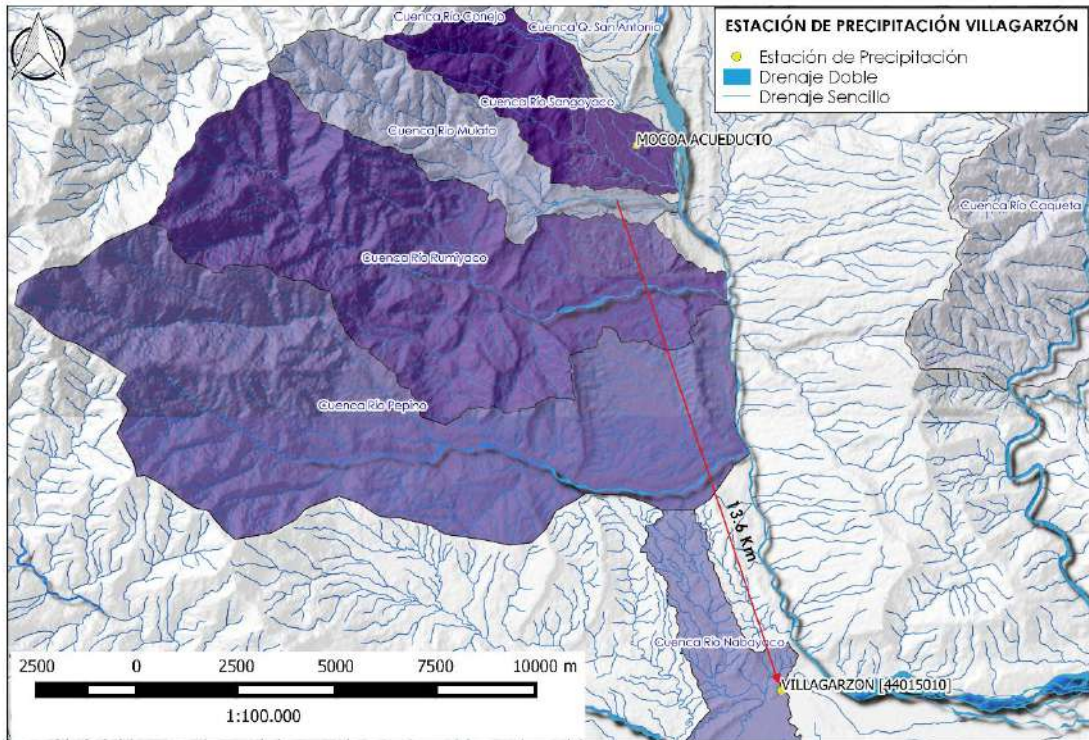


Figura 5. Localización de la estación Villagarzón respecto al cauce principal del río Mulato

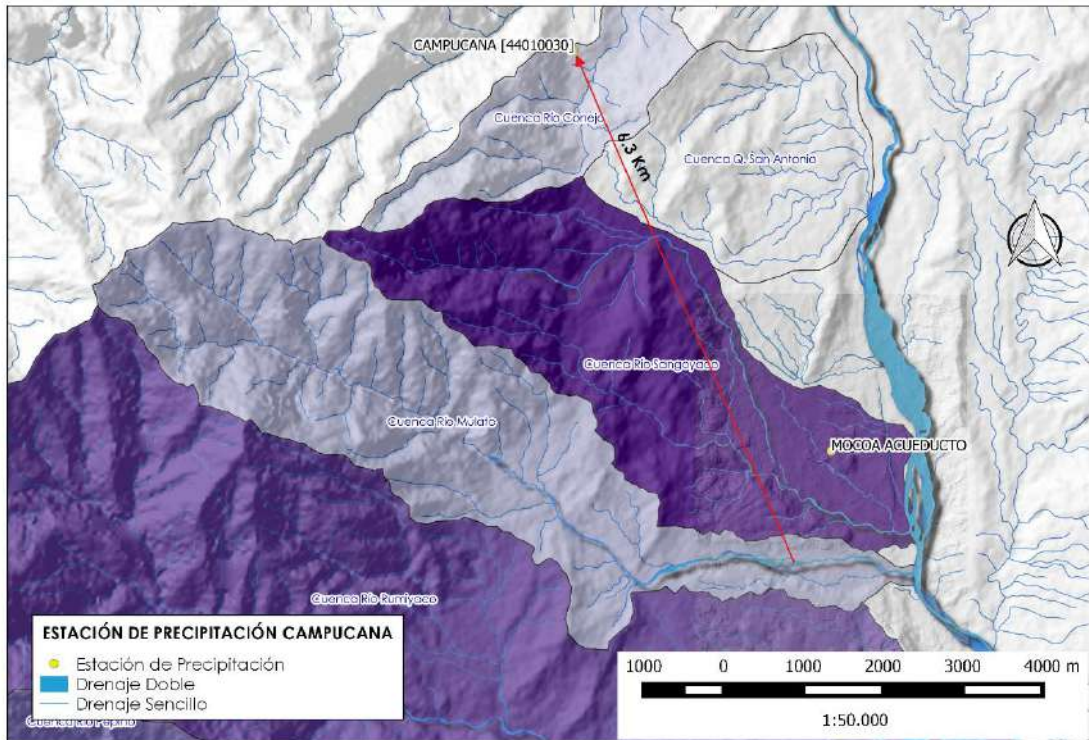
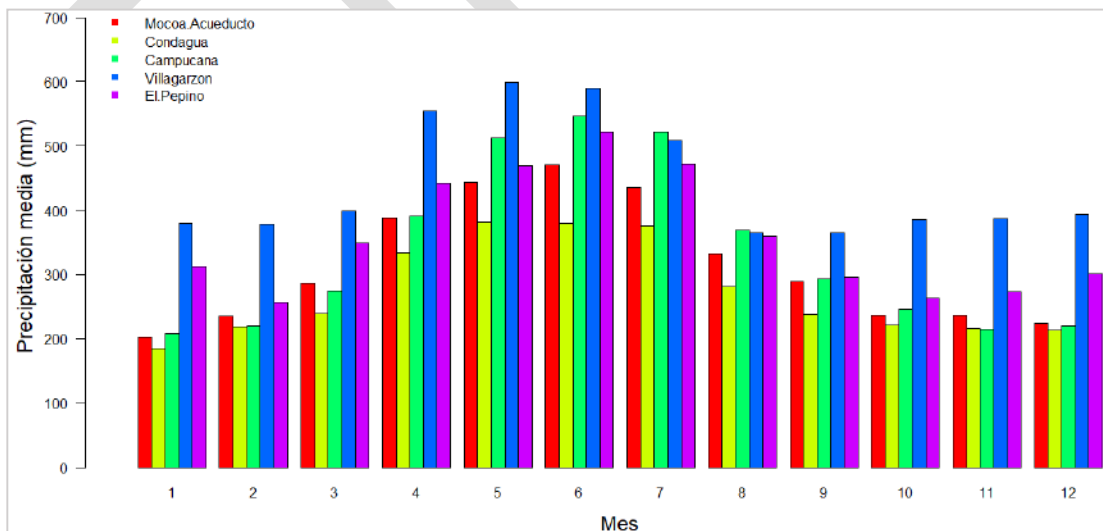


Figura 6. Localización de la estación Campucana respecto al cauce principal del río Mulato



**Figura 7.** Localización de la estación El Pepino respecto al cauce principal del río Mulato

El período de disminución de lluvias ocurre entre los meses de agosto a marzo (**Figura 8**), siendo los dos primeros meses del año los que registran las más bajas precipitaciones. Según Armenta (2013), esto se debe principalmente a la ubicación de la ZCIT en la latitud más sur en su oscilación meridional a lo largo del año. Hacia el mes de marzo, empiezan a incrementarse los valores de precipitación, alcanzando valores entre 200 – 400mm.

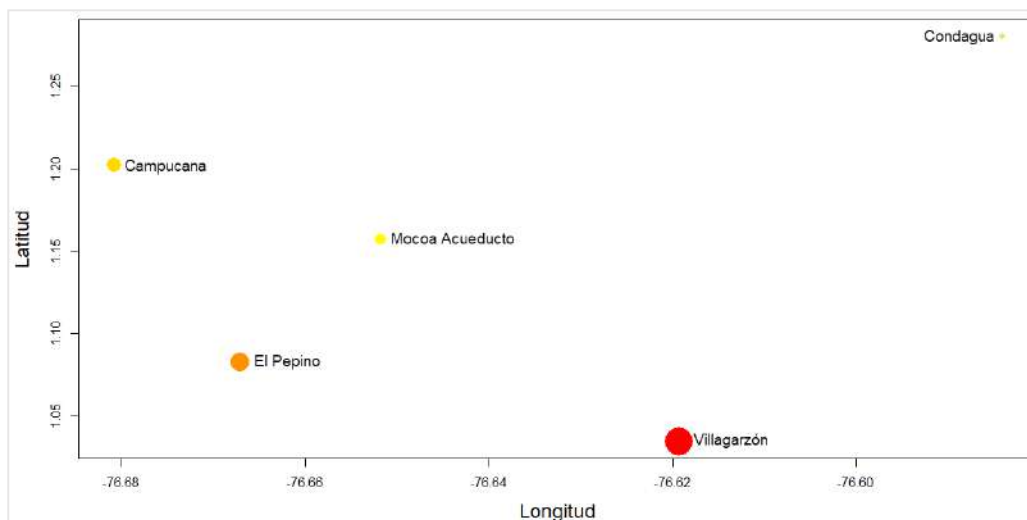


**Figura 8.** Ciclo anual de la precipitación media mensual interanual 1987-2016 (n = 29 años<sup>3</sup>) en las estaciones aledañas a la zona de estudio

<sup>3</sup> Para la estación El Pepino el período en la serie es de 1987-2012 (n=25 años).



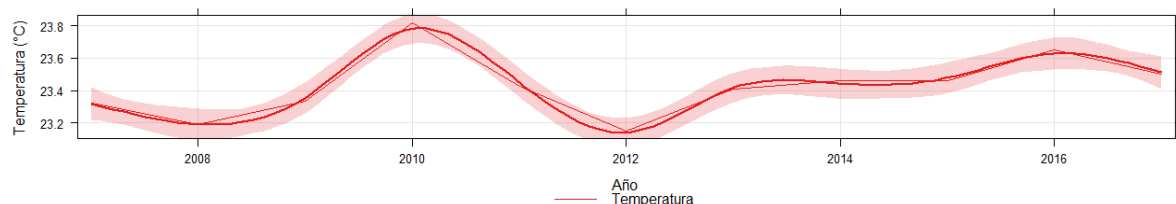
El promedio de lluvia total interanual en las estaciones previamente mencionadas, presenta un gradiente en el eje geográfico entre el valle del Putumayo (Estación Condagua) hacia el Piedemonte (Estación Villagarzón), donde se observa un aumento en la precipitación a medida que disminuye la latitud, esto es, a medida que se acerca más hacia el Piedemonte Amazónico (**Figura 9**), encontrando una precipitación media total anual en la estación Condagua de 3283 mm, 4013 mm para la estación Campucana, 3778 mm en Mocoa Acueducto, 4397 mm en El Pepino y alcanzando los 5309 mm en Villagarzón. Este gradiente en la precipitación es causado por la dirección de los vientos en la zona, la cual es predominantemente del Este, lo que concentra a barlovento la humedad, la nubosidad y la precipitación por la acción del ascenso del viento; produciendo valores máximos de precipitación para el piedemonte Amazónico (Armenta, 2013).



**Figura 9.** Diagrama de burbujas para la precipitación media total multianual 1987- 2016 (n = 29 años) en las estaciones pluviométricas Condagua, Campucana, Mocoa Acueducto, El Pepino<sup>4</sup> y Villagarzón; el tamaño y color de la burbuja representan la variación en la magnitud de dicha precipitación

#### 4.1.2 Temperatura

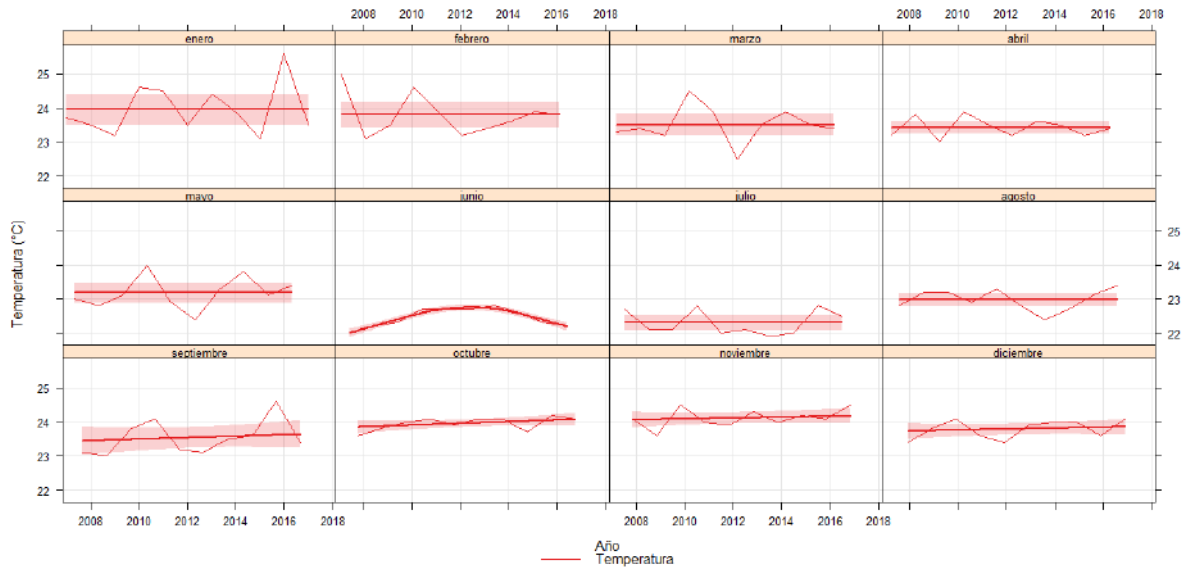
La temperatura media en el municipio de Mocoa tiene un valor casi constante de 23°C a lo largo de todo el año (Jojoa, 2003), como lo reflejan los datos registrados en la estación Acueducto Mocoa para la temperatura media interanual en el período 2007-2016 (**Figura 10**), los cuales oscilan entre 23,2 - 23,8°C.



**Figura 10.** Temperatura (°C) media interanual 2007-2016 (n=9 años) en la estación Acueducto Mocoa

<sup>4</sup> Para la estación El Pepino el período en la serie es de 1987-2012 (n=25 años).

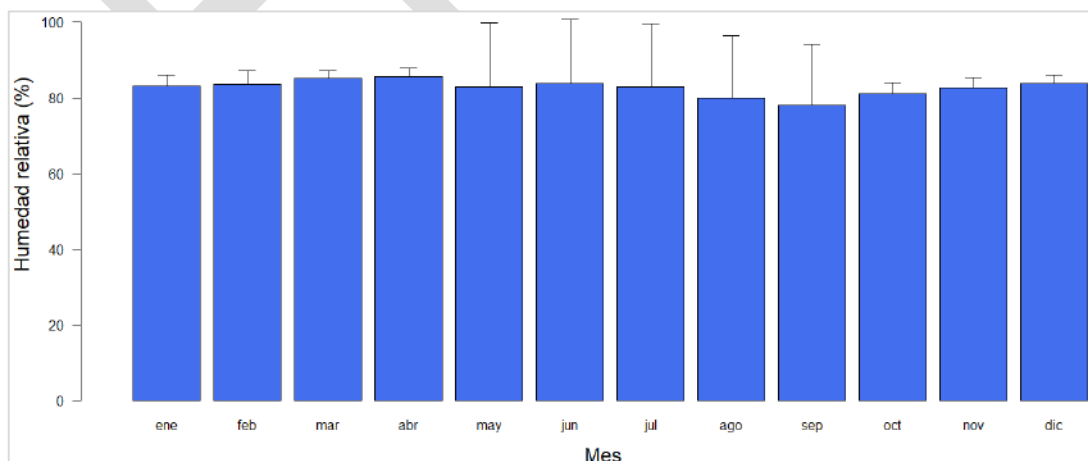
Los valores medios mensuales interanuales, para el mismo período, muestran una disminución de la temperatura en los meses de junio y julio, los cuales están por debajo de los 23°C del promedio anual (**Figura 11**). En tal sentido, Jojoa (2003) menciona que los mínimos de temperatura en los meses de mayo, junio y julio alcanzan los 11°C. De manera similar, la temperatura media mensual interanual en los meses de octubre a marzo es de 24°C, meses que corresponden con el período del año en el que las lluvias disminuyen (**Figura 11**).



**Figura 11.** Temperatura (°C) media mensual interanual 2007-2016 (n = 9 años) en la estación Acueducto Mocoa

#### 4.1.3 Humedad Relativa

La humedad relativa media mensual multianual para el periodo 1990-2016 (n=27 años) es casi constante a lo largo del año, siendo ésta del 80% (**Figura 12**).



**Figura 12.** Humedad relativa media mensual multianual 1990-2016 en la estación Acueducto Mocoa

## 4.2 ZONA DE VIDA

La vegetación dentro del polígono de estudio en la cuenca del Río Mulato es característica del piedemonte andino-amazónico, corresponde a la zona de vida bosque húmedo Tropical (bh-T), la cobertura remanente en el área de la cuenca muestra que son bosques de tierra firme con diferentes grados de intervención, que han estado sometidos a la extracción selectiva de especies forestales maderables y no maderables, como es el caso de la palma *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav., conocida como bombona, barrigona o chonta. Esta palma es muy usada en construcción, carpintería, ebanistería y artesanías en la Amazonia colombiana, especialmente en el piedemonte amazónico, particularmente en Mocoa, donde se desarrolla una pequeña industria alrededor de ella (Navarro *et al.*, 2014).

No obstante, estos últimos autores muestran que dadas las condiciones naturales de la zona, la abundancia de la especie, su crecimiento y actual sistema de extracción, es viable que la actividad artesanal en la región crezca, siempre y cuando se implementen programas de enriquecimiento y repoblamiento de áreas degradadas, disminuya la deforestación y se establezcan tallas mínimas de cosecha basadas en alturas y no en diámetros, dadas las características biológicas de las palmas (Navarro *et al.*, 2014).

## 4.3 GEOMORFOLOGÍA

Como ya se mencionó, el municipio de Mocoa se encuentra localizado en la región conocida como el Piedemonte Amazónico (Robertson & Castiblanco, 2011). En este sentido, la provincia fisiográfica la cual domina los procesos geológicos que ocurren en este territorio ubican al municipio dentro de la extensión regional de la Cordillera Andina en su confluencia con la Sierra de los Churumbelos, la Serranía de la Fragua y la penillanura amazónica, todas estas provincias localizadas al sur del Macizo Colombiano (Ujueta, 1999), generando particularidades en el comportamiento climático de la zona. El río Mulato ha sido históricamente uno de los cursos fluviales más importantes del sur del casco urbano del municipio de Mocoa debido al crecimiento urbano alrededor de éste y a su uso como fuente abastecedora de agua.

En este sentido, la provincia fisiográfica la cual domina los procesos geológicos que ocurren en su territorio ubican al municipio dentro de la extensión regional de la Cordillera Andina en su confluencia con la Sierra de los Churumbelos, la Serranía de la Fragua y la penillanura amazónica, todas estas provincias localizadas al sur del Macizo Colombiano (Ujueta, 1999), generando particularidades en el comportamiento climático de la zona.. Éste río se encuentra limitado en la parte urbana al norte por las calles 5 y 7, y al sur por la calle 4.

La cuenca del río Mulato es una cuenca elongada en dirección Oeste-Este, rasgo que se debe principalmente al control litológico y estructural de las unidades geológicas aflorantes y, dependiendo del tipo de rocas, presenta diferente densidad de drenaje, lo cual resulta en un patrón de drenaje característico que será discutido más adelante. Para la caracterización geológica de la zona de estudio se tomó como base la cartografía oficial del Servicio Geológico Colombiano (Servicio Geológico Colombiano, 2003), específicamente la plancha 430-Mocoa del 2002. Las unidades geológicas encontradas a lo largo de la cuenca comprenden rasgos de edades desde el Triásico hasta el Cuaternario (**Figura 13**), poniendo en contacto rocas ígneas intrusivas con rocas sedimentarias de ambientes fluviales por medio de la falla de la Tebaida, cuyo trazo es SW-NE y tiene una aparición regional.

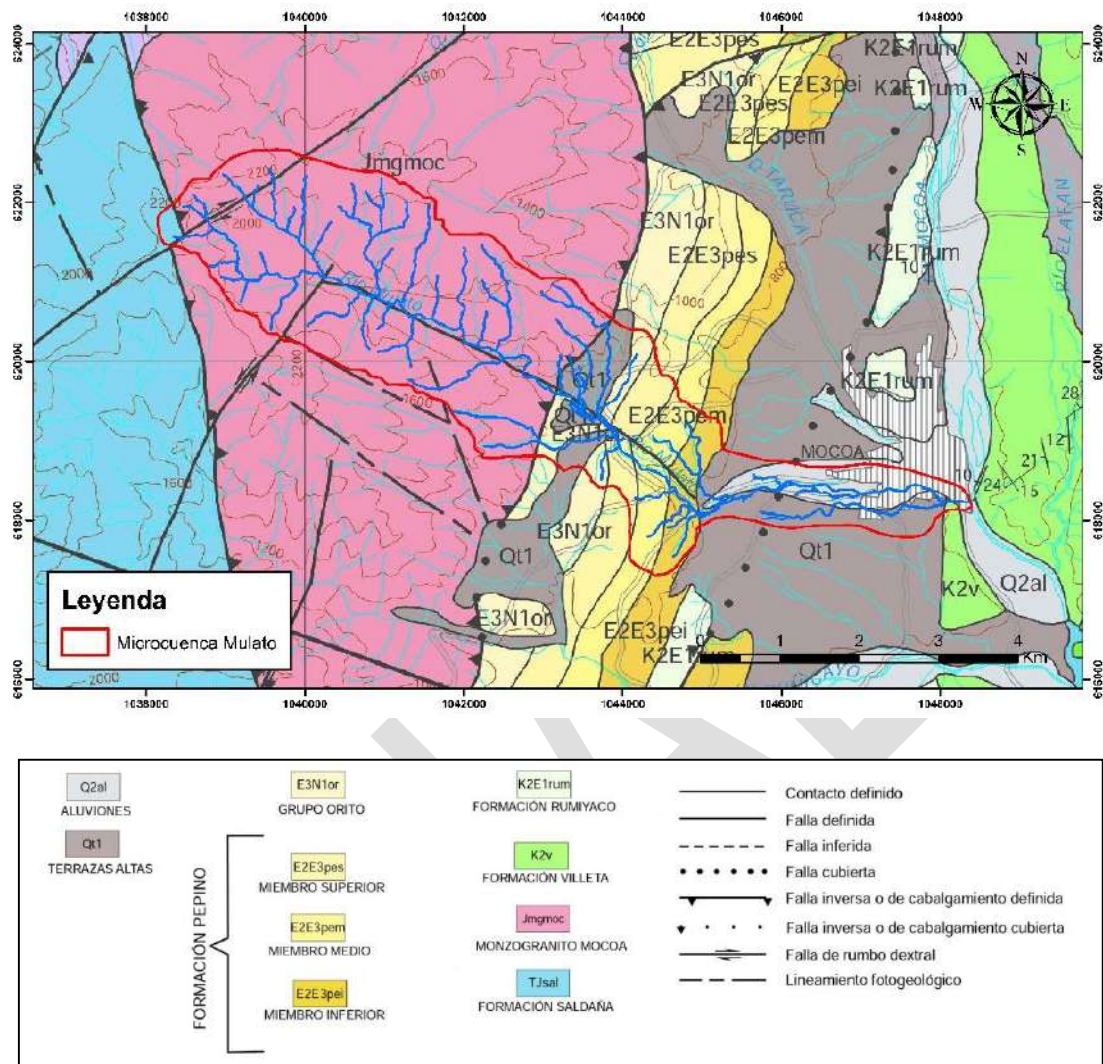


Figura 13. Mapa geológico de la plancha 430-Mocoa. Fuente: Adaptado de Servicio Geológico Colombiano (2002).

#### 4.3.1 Estratigrafía

**Formación Saldaña (Tjsal):** Se trata de rocas que datan del Triásico tardío y Jurásico temprano (237-174 millones de años (m.a)), descritas por primera vez por Royo y Gómez (Royo y Gomez, 1942). Ésta unidad aflora únicamente en la parte más alta de la cuenca, la cual resultó inaccesible. Está constituida por una secuencia vulcanosedimentaria de tobas, flujos de lava, ignimbritas, areniscas tobáceas y limolitas, que presentan colores morado, rojo, gris y verdes. No es representativa para el análisis de cuenca pues abarca aproximadamente solo 10Ha del total del área de la cuenca, sin embargo, se pudieron observar unos pocos clastos de naturaleza volcánica en los materiales de transporte del río.

**Monzogranito Mocoa (Jmgmoc):** Cuerpo intrusivo de composición predominantemente monzogranítica (Figura 14), con variaciones a granito, granodiorita, cuarzomonzonita, cuarzodiorita y monzodiorita, con facies porfídicas de composición similar hacia los bordes del intrusivo y, cuya nomenclatura estratigráfica formal de litodema fue propuesta por González y Núñez (2001). Presenta textura fanerítica media a gruesa. Su edad es Jurásica (201.3-145 m.a),

determinada a partir de datación absoluta. Se presenta en la cuenca alta del río Mulato y constituye la fuente principal de clastos que se transportan a lo largo de su cauce. Su mejor exposición es en la carretera Mocoa-Sibundoy.



**Figura 14.** Bloques transportados de rocas intrusivas del monzogranito de Mocoa.

**Formación Pepino (E2E3pe):** Tiene su primera referencia publicada en el trabajo de Olsson quien la localiza en la cuenca del Amazonas (Olsson, 1956). Se ubica al sur de Mocoa cerca de la población de San José de Pepino, es una secuencia sedimentaria de origen fluvial y de edad Eoceno (56-33.9 m.a). Está subdividida en tres submiembros: el miembro Pepino Inferior (E2E3pei), el cual se compone principalmente de conglomerados polimícticos clastosoportados, junto con litoarenitas y lodolitas en menor proporción; el miembro Pepino Medio (E2E3pem), que está constituido por arenitas lodosas, lodolitas arenosas, lodolitas abigarradas y arenitas cuarzosas de grano medio; el miembro Pepino superior (E2E3pes), formado por estratos gruesos y muy gruesos de conglomerados polimícticos clastosoportados en litoarenitas submaduras de grano grueso, e intercalaciones de estratos gruesos de lodolitas y limolitas (Ver **Figura 15**).



**Figura 15.** Fotografías de la Formación Pepino (a. E=1.044.153 N=618.927; b. E=1.046.074 N=618.488; c. E= 1.045.056 N=618.086).

**Grupo Orito (E3N1or):** Unidad sedimentaria de edad Oligoceno-Mioceno medio (33.9-11.63 m.a), compuesta por las formaciones Orito, Belén y Ortegüaza. Se trata de una sucesión monótona de limolitas, lodolitas y sublitoarenitas, de color amarillo y rojo con moteado gris, verde y morado, esporádicas costras de yeso y capas delgadas de carbón (Servicio Geológico Colombiano, 2003). En el área de estudio se observaron clastos de lodolitas varicoloreadas y lodolitas grises in-situ de la Formación Orito (**Figura 16**).



Figura 16. Lodolitas del grupo Orito (a. E=1.043.772 N=619.428; E=1.043.521 N= 619.446).

**Terrazas altas (Qt1):** Se trata de depósitos cuaternarios fluviales (2.58 m.a -presente), originados por dinámica fluvial, los cuales se clasificaron de acuerdo a la diferencia de altura con respecto al nivel de caudal actual de los ríos que drenan el área. En el área de estudio se presenta como depósitos aterrazados de composición heterogénea (Figura 17).



Figura 17. Depósitos cuaternarios de terraza (E=1.045.598 N=618.301).

## 5. METODOLOGÍA

Según el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011, la ronda hídrica corresponde a “la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho y el área de protección o conservación aferente”. Siguiendo tal concepto y el documento en revisión sometido a audiencia pública Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia (MADS, 2017), para acotar la ronda hídrica del río Mulato se llevaron a cabo cuatro fases: 1) Delimitación del Cauce Permanente, 2) Caracterización físico-biótica para la definición del límite funcional, 3) Caracterización socio-cultural dentro del límite funcional y, 4) Definición de áreas homogéneas y medidas de manejo ambiental en el corto, mediano y largo plazo.

Para llevar a cabo la Fase 2 se estudiaron los componentes geomorfológico, hidrológico-hidráulico y ecosistémico. Por su parte, en la Fase 3, se incluyeron los resultados del estudio socio-ecológico y predial, información base para la zonificación de las rondas hídricas en áreas homogéneas. En la última etapa o Fase 4, se definieron las áreas homogéneas y las acciones de manejo de la ronda hídrica ya establecida.

## 5.1 Fase 1: Determinación del Cauce Permanente

- a. Para la primera etapa se obtuvieron la mayor cantidad de insumos necesarios, desde la bibliografía de consulta básica para el marco teórico, hasta las imágenes de sensores remotos de diferente escala (fotografías aéreas históricas, satelitales, ortofotos, imágenes LIDAR, RADAR, etc). Igualmente, se tuvieron en cuenta trabajos anteriores realizados en la misma zona de estudio, que para este caso son los documentos técnicos de CORPOAMAZONIA, como los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), el Plan de Manejo Ambiental y los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), elaborados para la cuenca y el municipio perteneciente al área de cuenca, además de artículos científicos realizados para la zona.
- b. En un software de procesamiento y análisis espacial se procedió a la visualización de la información y a la interpretación de imágenes históricas con un rango temporal que superó los 50 años y, mediante fotogrametría, se evaluó el comportamiento histórico del sistema fluvial en la zona de interés.
- c. Con la interpretación de imágenes, el registro histórico de eventos, la información de caudales y la creación de perfiles transversales por interpolación de los modelos de elevación digital disponibles, se determinó el ancho de banca llena con el cual se delimita de manera preliminar el cauce permanente.
- d. Mediante la visualización de los datos de campo dentro del software de análisis y procesamiento espacial, se inició la validación de las interpretaciones geomorfológicas realizadas previamente.
- e. Con la combinación de la foteointerpretación de imágenes históricas, el Modelo Digital de Terreno disponible (con topografía y batimetría de control) y, la información recopilada en campo, se generó la cartografía final del cauce permanente rectificado.

## 5.2 Fase 2: Caracterización físico-biótica para la definición del límite funcional

Se presentan los criterios metodológicos utilizados para caracterizar físico-bióticamente el sistema hídrico del río Mulato y con ello, definir su límite funcional, es decir, la envolvente que se genera al superponer los tres componentes: geomorfológico, hidrológico-hidráulico y ecosistémico, y que asegura la protección de la dinámica natural de este sistema hídrico, con ello su rehabilitación.

Al final de esta fase se dedica un pequeño apartado a la caracterización fisicoquímica e hidrobiológica que se realizó en el río Mulato, fue un muestreo en un único sitio que da una referencia general de calidad. Este aspecto aunque debe hacer parte de la caracterización físico-biótica no tiene como fin la definición del límite funcional, sino aportar información valiosa para las medidas de manejo que deben implementarse en la rehabilitación de un sistema acuático. La ronda hídrica es integral, más aún cuando un sistema provee un servicio a la sociedad al ser fuente de abastecimiento de agua, el grado de presión antrópica y por ende, la alteración de su calidad es una problemática totalmente plausible, así que, caracterizar los niveles de contaminación hídrica teniendo en cuenta las sustancias disueltas o suspendidas y la fauna acuática que habita este sistema da una visión funcional real y completa del sistema acuático, generando herramientas técnicas para la toma de decisiones útiles en la rehabilitación del río Mulato.

### 5.2.1 Componente Geomorfológico

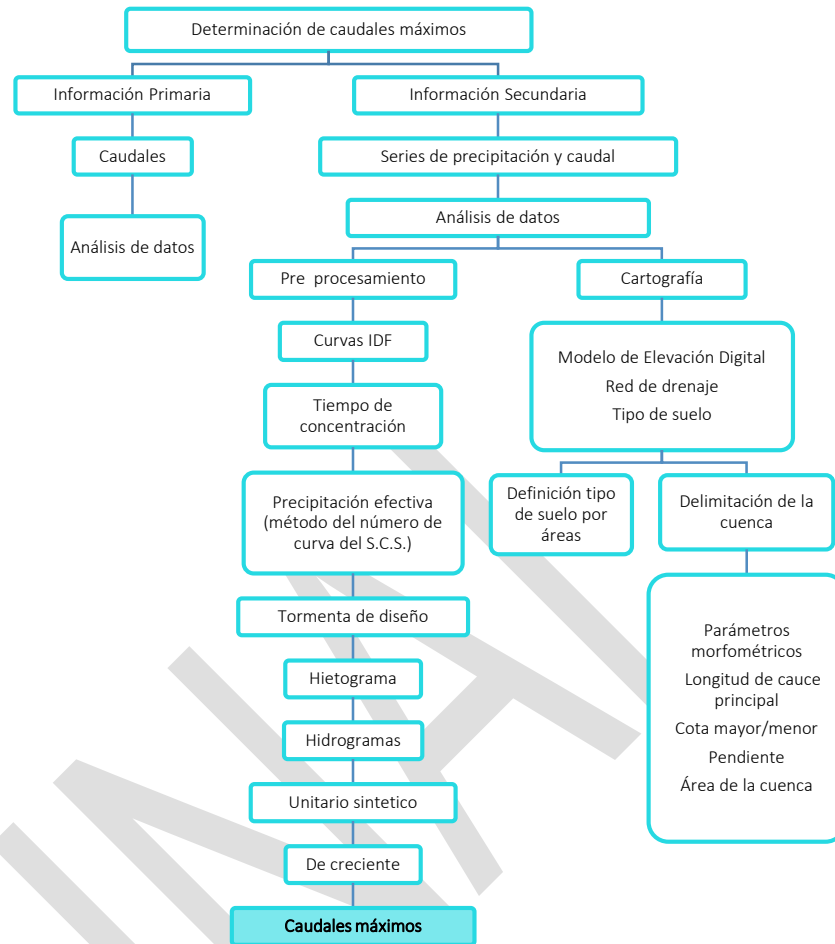
- a. Se utilizaron los insumos a, b y c de la Fase 1 para establecer el límite del trabajo geomorfológico.
- b. En esta etapa se evaluaron los parámetros morfométricos de la cuenca y del cauce, con los cuales se estableció el tipo de sistema hídrico a estudiar, clasificado por tipo de curso de agua y por morfología a escala de tramos. Además, se identificaron los procesos morfodinámicos visibles y la relación de unidades geomorfológicas de macroescala para la delimitación de unidades por jerarquía morfogenética, para producir la cartografía preliminar y para clasificar el territorio en sistemas morfoestructurales y provincias.
- c. En la visita de campo se delimitaron con mayor detalle las unidades geomorfológicas observadas, partiendo de macroescala hacia microescala, describiendo los rasgos litológicos composicionales y las medidas de cada geoforma. También, se realizó la verificación de los procesos morfodinámicos definidos previamente y el inventario completo de los mismos en toda el área de estudio, teniendo en cuenta la interacción de eventos y geoformas dentro y fuera de la zona de interés que tuvieran un impacto final en los rasgos hidrológicos, hidráulicos y morfológicos del cauce permanente del río.
- d. Mediante la visualización de los datos de campo dentro del software de análisis y procesamiento espacial, se inició la validación de las interpretaciones geomorfológicas previas y la depuración de unidades geomorfológicas para la descripción de geoformas a escala 1:2.000.
- e. Con la combinación de la fotointerpretación de imágenes históricas, el Modelo Digital de Terreno disponible y, la información recopilada en campo, se generó la cartografía final de unidades geomorfológicas en escalas 1:25.000 y 1:2.000.

### 5.2.2 Componente Hidrológico – Hidráulico

El procedimiento metodológico empleado se muestra de manera global en el esquema de la **Figura 18**; en los numerales siguientes, se precisan los detalles de cada una de las etapas y en el **Anexo 1** se puede consultar una síntesis teórica de los desarrollos metodológicos para la determinación de caudales máximos, con especial énfasis en el modelo lluvia-escorrentía del número de curva CN del *Soil Conservation Service (S.C.S)* del *U.S. Department of Agriculture*, empleado en el desarrollo de este estudio.



5.2.2.1 Subcomponente Hidrológico



**Figura 18.** Metodología para el cálculo de caudales máximos en la cuenca del río Mulato

**Levantamiento de Información Primaria**

**a. Identificación de las secciones a aforar:** un aspecto que vale la pena destacar en relación al levantamiento de información primaria, específicamente la relacionada con la medición de caudales, es que esta no es posible incorporarla dentro del modelo hidrológico-hidráulico, ya que: i) es de carácter puntual y por tanto no representa las condiciones de un evento de crecida y menos aún, para hacer inferencias con miras a la estimación de caudales de creciente a diferentes tiempos de retorno y ii) el enfoque metodológico aplicado está basado en el modelo lluvia-escorrentía y no de caudal, justamente por la ausencia de información histórica – suficiente en cantidad y calidad – de caudales del río Mulato. El propósito entonces de dichas mediciones, es el de tener una idea general de algunos de los aportes aguas arriba del punto de cierre del modelo lluvia-escorrentía.

Las secciones de aforo fueron escogidas priorizando tres criterios: *i)* la facilidad logística para el acceso a los puntos de medición, *ii)* correspondencia espacial con registros existentes de caudal y *iii)* la seguridad del personal en campo respecto a la estabilidad del terreno, ya que durante los días en los que se efectuó la comisión de campo, en la zona se estaban ejecutando simultáneamente labores de encauzamiento del río Mulato con retroexcavadoras (**Figura 19**), generando una importante remoción del sustrato, alteración de la geometría del cauce e

inestabilidad del mismo. Dichas labores pretendían restablecer el acueducto urbano de Mocoa, cuyo sistema de captación fue destruido tras la avenida fluviotorrencial ocurrida entre el 31 de marzo y el 01 de abril de 2017.



**Figura 19.** Remoción de material del lecho del río Mulato a la altura de la bocatoma

Generalmente, la selección de la sección de aforo se efectúa en zonas del cauce estables para que la velocidad del agua no presente alteraciones debido a cambios por sedimentación o socavación del lecho y/o los taludes; sin embargo, dadas las circunstancias, difícilmente se podía encontrar una sección de aforo con esas características. En ese sentido, se seleccionaron para aforo una sección sobre el río Mulato y dos de sus afluentes (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Secciones de aforo

Corriente	Descripción	Localización	Coordenadas (WGS84)	
			N	W
Río Mulato	Cauce principal	Bocatoma	1°9'24,185"	76°41'25,234"
Afluente 1	Afluente del río Mulato	Las Córdoba	1°9'17,368"	76°41'11,068"
Afluente 2	Afluente del río Mulato	Las Córdoba	1°9'14,746"	76°41'5,481"

**b. Medición de caudales por vadeo:** las mediciones de caudal en el río Mulato y sus afluentes fue realizada empleando el método área – velocidad y empleando la técnica de aforo por vadeo descrita en Olaya & Wilches (2007) para corrientes con profundidades inferiores a un metro (1 m) y velocidades inferiores a un metro por segundo (<1 m/s). La velocidad del flujo en función del nivel del agua para los distintos puntos de las secciones transversales se determinó empleando un micromolineté hidrométrico *Water Global* (**Figura 20**).



**Figura 20.** Micromolinetete Water Global.

Fuente: <http://www.globalw.com/products/flowprobe.html>

### Levantamiento de Información Secundaria

**a. Series de caudal:** como parte de la compilación de los insumos básicos, se recopilamos unos pocos datos de caudal del río Mulato, los cuales fueron medidos por CORPOAMAZONIA en el marco de sus procedimientos como autoridad ambiental, esto es, seguimiento al acueducto municipal, concesiones para captación de agua que han sido otorgadas, etc. De manera similar, se compilamos registros de caudal medidos por la empresa Aguas Mocoa S.A. E.S.P. en el sector de la bocatoma Líbano (**Anexo 2**).

**b. Series de precipitación:** en el área de estudio existen – y existieron – varias estaciones pluviométricas con registros de precipitación a escala diaria (**Tabla 2**); sin embargo, todas las estaciones se encuentran fuera de la cuenca de aporte del río Mulato, como se muestra en la **Figura 21**; el mapa con la localización de las estaciones puede ser consultado con mayor detalle en el **Anexo 3**.

**Tabla 2.** Características de las estaciones existentes en la zona de estudio

Estación	Código IDEAM	Tipo	Este*	Norte*	Fecha de instalación	Fecha de suspensión
Mocoa Acueducto	44015040	CON	1047376	619742	15/04/1983	Activa
Acueducto Mocoa Automática	44015060	AUT	1047376	619742	29/03/2006	Activa
Mocoa	44010010	CON	1045725	622617	15/01/1959	15/11/1979
Mocoa	44015050	CON	1045725	622617	15/10/1964	15/09/1967
Campucana	44010030	CON	1044148	624736	15/11/1977	Activa
Condagua	44010090	CON	1054902	633363	15/04/1981	Activa
Fondo Ganadero	44010050	CON	1049436	615246	15/10/1978	15/04/1983
El Pepino	44010020	CON	1045677	611507	15/10/1963	28/08/2014
El Pepino Automática	44015070	AUT	1045677	611510	11/11/2005	Activa
Villagarzón	44010020	CON	1050966	606230	15/08/1964	Activa

\* Coordenadas en MAGNA Colombia Oeste. Fuente: IDEAM, 2017

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

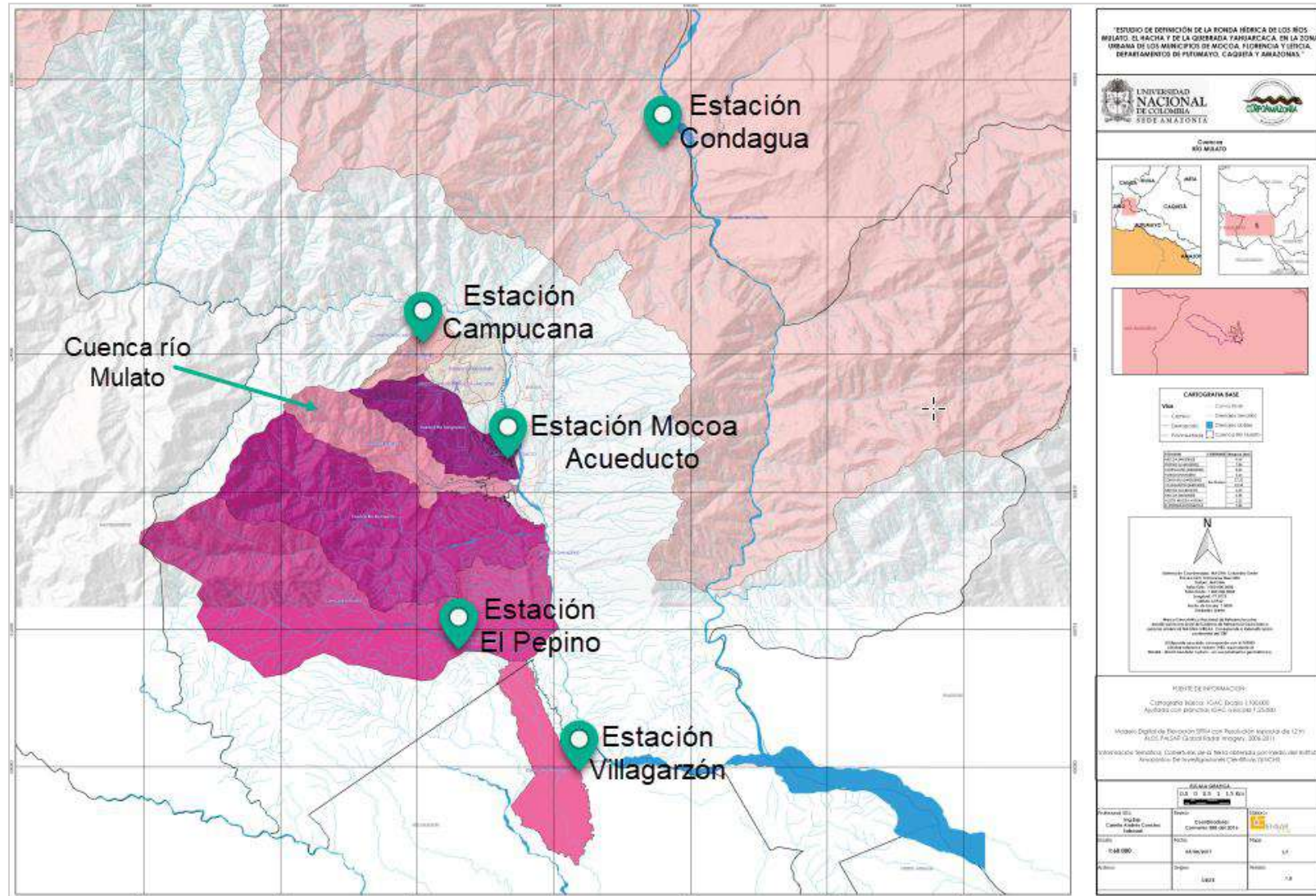


Figura 21. Localización de las estaciones pluviométricas en las cuencas aledañas a la cuenca del río Mulato

Para superar este hecho, se asumió que la precipitación real en la cuenca del río Mulato tiene un comportamiento similar al de las estaciones ubicadas en cuencas colindantes, que por su ubicación geográfica tienen una marcada influencia sobre la zona de estudio y por ende, los valores registrados en estas son representativos de la cuenca no instrumentada. La estación Mocoa Acueducto 44015040 es la más cercana a la cuenca del río Mulato (2,2 km) y además, cuenta con una longitud de la serie histórica mayor que la estación Acueducto Mocoa Automática 44015060 ubicada en el mismo lugar, razón por la cual se emplearon los datos de la primera estación para los análisis hidrológicos para la determinación de caudales máximos en el río Mulato. No obstante, la hipótesis de la similitud en el comportamiento de las estaciones aledañas a la zona de estudio debe ser validada, teniendo en cuenta el gradiente altitudinal y las distancias entre las estaciones respecto a la zona de estudio (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Distancia lineal entre estaciones vecinas

Estación	Altitud (msnm)	Mocoa Acueducto	Campucana	Condagua	El Pepino	Villagarzón
Mocoa Acueducto	650	-	6 km	15,7 km	8,5 km	14 km
Campucana	1400		-	13,8 km	13,5 km	20 km
Condagua	500			-	24 km	27,6 km
El Pepino	760				-	7,8 km
Villagarzón	440					-

En cuanto a la información proporcionada por las demás estaciones, tres de ellas (Mocoa 44010010, Mocoa 44015050 y Fondo Ganadero 44010050) no corresponden con la ventana temporal de análisis 1983 – 2017, por lo que no pueden ser consideradas como estaciones de referencia. Teniendo en cuenta que lo que se pretende es completar datos en la estación Mocoa Acueducto 44015040, las estaciones de referencia deben tener registros completos. Para ello, se priorizaron las estaciones automáticas sobre las convencionales, ya que en las automáticas el registro es continuo; sin embargo, para las estaciones IDEAM categoría automática climatológica no hay registros disponibles validados por la Subdirección correspondiente en el banco de datos y no pueden utilizarse para la toma de decisiones, ya que no han surtido el proceso de verificación y están sujetos a cambios (**Anexo 4**), lo que implica entonces que estas estaciones también fueron descartadas. Finalmente, se consideraron como posibles estaciones vecinas de referencia: Campucana 11010030, Condagua 44010090, El Pepino 44010020 y Villagarzón 44010020.

**c. Características climáticas:** para la descripción de las características climáticas se estimó la precipitación media anual a partir de los datos de la estación Mocoa Acueducto, como el promedio multianual para el período 1987-2015. De manera similar, se comparó la serie multianual de días de lluvia al año en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Condagua, El Pepino y Villagarzón.

**d. Relación avenidas torrenciales históricas vs precipitación:** se recopiló información de inundaciones producto de avenidas torrenciales históricas, para establecer si existe relación entre tales eventos y el comportamiento de las lluvias registrado en las cinco estaciones previamente

mencionadas. Para dicho análisis, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas, así como la precipitación mensual multianual.

### **Análisis de Consistencia de los datos**

**a. Pre-procesamiento de información de series históricas de precipitación:** sobre las series históricas recopiladas como posibles estaciones de referencia, se consolidaron bases de datos en Excel para cada una de ellas, se revisó la coherencia entre el número de días por mes vs los datos reportados y otras inconsistencias como símbolos en lugar de valores numéricos, etc. El desarrollo de esta etapa de pre-procesamiento demandó una gran cantidad de tiempo y esfuerzo, el cual se estima en un mes y medio, dada la extensa longitud de las series en las estaciones. En dicho tiempo, la información diaria se inspeccionó visualmente, dato a dato, como lo sugieren Zongxing et al (2012) y Aguilar et al (2003); no obstante, en el **Anexo 5** se explica en detalle el procedimiento efectuado.

Por cada estación se consolidaron entre 14,000 y 22,000 datos, con los cuales se generó, para cada estación, una base de datos crudos. Posteriormente, se calculó el número total de datos existentes y faltantes para la serie de cada estación y para el período de análisis en el que se completarían los datos de la estación Mocoa Acueducto 44015040, esto es, desde el 01/01/1983 – 31/03/2017, dado que es hasta el mes de marzo del año 2017 que se tienen datos entregados por el IDEAM para la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación Campucana de la cual se tienen datos hasta el mes de mayo de 2017. El anterior proceso, permitió establecer cuáles de las posibles estaciones consideradas cumplen con las condiciones para ser utilizadas como estaciones de referencia.

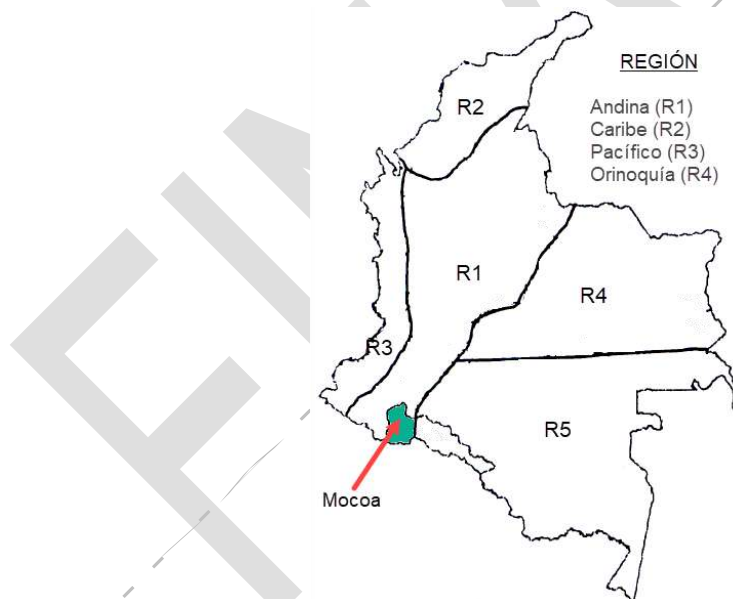
**b. Completado de datos faltantes:** existen varios métodos para estimar datos faltantes en la estación de interés (ver **Anexo 1, numeral C**), los cuales están sujetos a criterios como el número de estaciones vecinas con el que se cuenta, a la resolución temporal de los registros, a la correspondencia dentro de la misma área de influencia topoclimática de las estaciones, etc. En tal sentido, este proceso requiere la definición del método más adecuado que se va a emplear, sobre las bases de datos generadas tras la etapa de pre-procesamiento. Como se explicó en el respectivo apartado, dicha etapa demandó una buena parte de tiempo y esfuerzo, pero que teniendo en cuenta la necesidad de entregar los resultados finales de manera anticipada, se optó entonces por trabajar con las series de precipitación máxima en 24 horas, por lo que el completado de datos diarios faltantes no se realizó; sin embargo, este ejercicio se tendrá en cuenta en el informe final que se espera tener al finalizar el convenio.

Acá es importante dejar claro que los valores diarios de precipitación corresponden al agua total caída en 24 horas; mientras que la precipitación máxima en 24 horas corresponde a la máxima precipitación producida dentro de ese intervalo de horas, extrayéndose así un único valor para determinado mes. Teniendo clara la diferencia, cabe mencionar que el IDEAM suministra una base de datos de los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas, en la que los datos faltantes ya han sido estimados por otros métodos, por lo que para los análisis efectuados con dichos datos, parten de una serie que ya ha sido completada por dicha institución.

## Modelo lluvia-escorrentía

a. **Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia IDF:** la intensidad de la precipitación corresponde a la precipitación total o *precipitación efectiva* durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , por lo que sus unidades están dadas en mm/h. Dicha precipitación efectiva es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo, por tanto, se convierte en escorrentía directa hacia la salida de la cuenca; no obstante, en este estudio la escorrentía fue estimada para toda la cuenca del río Mulato con punto de cierre 3 km aguas arriba de la desembocadura sobre el río Mocoa. Para tal propósito, la información de precipitación máxima de 24 horas de la estación Mocoa Acueducto 44015040 fue usada como insumo para el cálculo de caudales máximos, a pesar de que dicha escala temporal es superior a las tormentas que usualmente generan los eventos de creciente en cuencas medianas como la del río Mulato (área menor a 20 km<sup>2</sup>); para superar este hecho, se construyeron las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) empleando la metodología propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998). Según la zonificación establecida para asignar los coeficientes de regionalización, la estación Mocoa Acueducto 44015040 está ubicada en la región Andina (R1; ver **Figura 22**), por tanto, los valores de los coeficientes y de  $M$  usados para construir las curvas IDF son:

$$a = 0,94; b = 0,18; c = 0,66; d = 0,83; M = 104,95 \text{ mm}$$



**Figura 22.** Regiones en Colombia para definición de parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$ ; se resalta la localización de la zona de estudio. Fuente: Flórez & Bolaños (2009), modificada para mayor claridad en las regiones.

b. **Tiempo de concentración:** en virtud de la importancia del parámetro tiempo de concentración, se efectuó el cálculo por los métodos de Kirpich, Témez, Giandotti y S.C.S Ranser (mayores detalles de estos métodos pueden ser consultados en el **Anexo 1**); a partir de los resultados obtenidos, se definió un valor representativo para la cuenca.

Los parámetros relativos a la morfometría de la cuenca, requeridos para el cálculo del tiempo de concentración, fueron obtenidos empleando el Modelo de Elevación Digital (DEM) corregido de alta resolución ALOS PALSAR, de la misión de la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa JAXA. Este modelo tiene una resolución espacial de 12.5 metros, es de libre acceso y se encuentra

disponible en la página web <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>; las características las imágenes del mencionado modelo se especifican en la **Figura 23**.

<b>Dataset:</b> ALOS <b>Granule:</b> ALPSRP250910010
<b>Granule Details</b>
<b>ALOS PALSAR</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Acquisition Date: 2010-10-10</li><li>• Beam mode: FBD</li><li>• Path: 151</li><li>• Frame: 10</li><li>• Ascending/Descending: Ascending</li><li>• Polarization: HH+HV</li><li>• Off Nadir Angle: 34.3°</li><li>• Faraday rotation: 1.95°</li><li>• Absolute Orbit: 25091</li><li>• Frequency: L-Band</li></ul>

**Figura 23.** Especificaciones técnicas de la imagen ALOS PALSAR que fue empleada

Como parte del pre-procesamiento del modelo, se realizó el corte de la zona de estudio y se efectuaron las correcciones de anomalías en el valor de las celdas mediante rellenado. Los cálculos del área de la cuenca, longitud, pendiente, cota máxima y cota mínima del cauce principal fueron realizados empleando como insumos el modelo digital de terreno descrito previamente y el TIN (*Triangulated Irregular Network*), obtenido a partir del DEM.

Estimación de la precipitación efectiva: bajo un evento de lluvia de intensidad variable una parte del agua se infiltra en el suelo, cuya cantidad dependerá del tipo suelo, de la cobertura de este, de la pendiente y de las condiciones antecedentes de humedad en el suelo antes de dicho evento de precipitación, entre otras. El método del número de curva de escorrentía (CN) se basa en la definición de un número adimensional para porciones del área de estudio con características similares en cuanto a cobertura de suelo, tipo de suelo, pendientes y condición de humedad antecedente. Específicamente, para la estimación de caudales máximos, propósito de este estudio, se utilizó la condición de humedad tipo III, la cual está relacionada con suelos saturados antes del evento de precipitación, escenario en el que se genera un mayor escurrimiento. De acuerdo con cada condición de humedad se calculó el valor de CN representativo para la cuenca con el siguiente ajuste:

$$\text{Condición de humedad III: } CN(III) = \frac{23 * CN}{10 + 0,13 * CN}$$

La definición de las coberturas vegetales fue establecida empleando la capa de coberturas de la tierra producida por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi (Murcia *et al.*, 2016), aplicando la metodología *Corine Land Cover* adaptada a las condiciones de Colombia. Esta información fue utilizada en conjunto con la cartografía proporcionada por CORPOAMAZONIA al componente de Sistemas de Información Geográfica SIG del proyecto Rondas Hídricas.

**c. Tormenta de diseño:** para la estimación de caudales máximos se asumió la duración del evento de precipitación igual al tiempo de concentración de la cuenca; esta aproximación se realiza porque se presume que, a partir de ese tiempo, la totalidad de la cuenca estará aportando agua al



punto de cierre y que eventos de mayores duraciones no generarán un aumento en el caudal pico transportado por la corriente. De esta manera, los elementos de la tormenta de diseño fueron calculados como:

Duración: igual al tiempo de concentración representativo de la cuenca.

Intensidad: se calculó a partir de la relación propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998).

$$I = \frac{0,94 * T^{0,18} * 104,95^{0,83}}{1,15^{0,66}}$$

Magnitud: producto entre la intensidad de lluvia y su duración; calculado para cada tiempo de retorno.

Precipitación efectiva del evento: se estimó a partir de la metodología de la U.S. SCS del número de escurrimiento (Aparicio, 1992), mediante la relación:

$$P_e = \frac{\left[ P - \frac{508}{CN} + 5,08 \right]^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20,32}$$

Donde,

$P_e$ : precipitación efectiva (cm)

$P$ : precipitación total (cm)

$CN$ : número de escurrimiento

**d. Construcción del hietograma:** se aplicó la metodología de bloque alterno, que consiste en dividir la totalidad del evento de precipitación en pulsos, así:

- Se tomó la duración de un pulso y se asumió que es el pulso con mayor intensidad.
- Se calculó la magnitud de un pulso y se tomó como la porción de mayor magnitud del evento.
- Se tomaron dos pulsos y se calculó su intensidad y magnitud.
- Se calculó la magnitud diferencial entre un pulso y dos pulsos y esa, es la magnitud del segundo pulso más intenso.
- Así sucesivamente hasta juntar los cinco pulsos.
- Luego las magnitudes se organizaron de la siguiente manera: la magnitud menor en el primer intervalo, la siguiente magnitud en el último, la tercera en el segundo lapso, la cuarta en el penúltimo pulso y la quinta en el centro.
- Por último, para construir el hietograma de precipitación efectiva se calculó el potencial de infiltración  $\Phi$  de la cuenca para cada evento de lluvia (Chow *et al*, 1988).

**e. Hidrograma unitario sintético:** se calculó mediante el hidrograma unitario sintético del *United States Soil Conservation Service*; el evento de diseño quedó compuesto por cinco pulsos de precipitación y por consiguiente, es equivalente a un evento global compuesto por cinco eventos sucesivos.

**f. Hidrograma de creciente:** para construir el hidrograma de creciente para cada tiempo de retorno, se multiplicó cada pulso del evento de precipitación efectivo por todas las ordenadas del hidrograma unitario sintético; los anteriores resultados se sumaron para obtener un único hidrograma.

### 5.2.2.2 Subcomponente Hidráulico

El objetivo inicial de este subcomponente era definir los niveles de inundación del río Mulato para diferentes períodos de retorno. Sin embargo, es importante presentar algunos antecedentes que llevaron a evidenciar la necesidad de relacionar de manera complementaria modelaciones de avenidas fluvio-torrenciales tanto para el río Mulato como para la Quebrada La Taruca mediante una metodología específica, la cual está siendo utilizada por primera vez en el país.

Entre el 31 de marzo y el 1 de abril de 2017 se presentaron los más recientes deslizamientos y fenómenos de remoción en masa en las partes alta y media de las cuencas de los ríos Sangoyaco y Mulato, así como de las quebradas Taruca, Conejo y Almorzadero, los cuales provocaron el represamiento y colmatación de dichos sistemas hídricos y desencadenaron una avenida fluvio-torrencial (con flujo de lodos, detritos de gran volumen y material vegetal) que superó la capacidad hidráulica e hidrológica de dichos cauces; posteriormente, generaron procesos de socavación en los taludes y con ello, desbordamientos, inundaciones y una tragedia de gran magnitud en el municipio de Mocoa.

Mediante el boletín Número 1 del 2 de Abril de 2017, CORPOAMAZONIA (2017) explicó que según el IDEAM, entre las 10:00 pm del 31 de marzo y la 1:00 am del 1 abril de 2017, registró una precipitación de 129,3 mm en el municipio de Mocoa, equivalente a la lluvia que caería en condiciones normales durante 10 días en esta zona del piedemonte amazónico. Así mismo, tras realizar sobrevuelos en la zona y teniendo en cuenta los resultados de varios estudios previos que han sido efectuados, concluyó que las características de los suelos (arenosos y arcillosos), la geología estructural (fallas geológicas), la topografía del terreno (pendientes entre 50 y 100%), el cambio de uso de suelo (en algunos casos) y la precipitación extrema presentada, desencadenaron deslizamientos y fenómenos de remoción en masa en la parte alta y media de las microcuencas de los ríos Sangoyaco y Mulato y las quebradas Taruca, Conejo y Almorzadero, lo que posiblemente provocó el represamiento y colmatación de los cauces principales de las fuentes hídricas mencionadas, generando una avenida fluvio-torrencial que afectó diez y siete barrios en la ciudad de Mocoa, con centenares de víctimas fatales y grandes pérdidas económicas.

Los sobrevuelos realizados días después de la catástrofe evidenciaron una gran cantidad de deslizamientos en las zonas montañosas, los cuales alimentaron la avenida fluvio-torrencial. CORPOAMAZONIA expresó que existen evidencias geomorfológicas y geológicas que indican la ocurrencia de eventos fluvio-torrenciales en el pasado, adicionalmente los habitantes de Mocoa hablan de un evento similar que sucedió hace aproximadamente 60 años.

Según la Universidad Javeriana (2017), la velocidad promedio del flujo fue de aproximadamente 10 m/s y un caudal de aproximadamente 2500 m<sup>3</sup>/s en la quebrada Taruca. Según la hidrología calculada por la Universidad el evento del 31 de Marzo y 1 de Abril en el municipio de Mocoa (Putumayo) tiene una probabilidad de ocurrencia cada 40 años.

Definitivamente estos hechos en la región no son aislados y ya han sido documentados y estudiados. Jojoa (2003), por ejemplo realizó el análisis de amenazas y vulnerabilidad geológica en las cuencas de las quebradas Taruca y el río Sangoyaco, en el que se establece que el municipio de Mocoa tiene una abundante pluviosidad con una fuerte infiltración en los suelos, que generalmente, son derivados de rocas meteorizadas y de textura arenosa y arcillo-limosa, con una tendencia a sobresaturarse y fluir. Lo anterior, sumado a las condiciones propias de la zona como las fuertes pendientes en las laderas, interactúan generando fenómenos de remoción en masa que causan el represamiento de las corrientes, originando amenazas naturales representadas en

flujos de detritos e inundaciones, que han afectado en las últimas décadas a diferentes zonas del municipio, incluido algunos barrios ribereños del casco urbano.

Así mismo, el autor asegura que las amenazas hidrometeorológicas como inundaciones y avenidas torrenciales en cuencas con alta pendiente, es decir, presencia de grandes cantidades de agua en muy corto tiempo, frecuentes en ríos de la zona montañosa como los nacimientos de los ríos Pepino, Mulato, Sangoyaco y quebrada Taruca, generan inundaciones repentinas que se manifiestan con los siguientes fenómenos: *i)* fuertes aguaceros sobre terrenos débiles o sin vegetación que aceleran deslizamientos en las montañas cercanas al cauce de los ríos y quebradas, *ii)* las rocas, la vegetación y demás materiales que han caído a los ríos y quebradas forman un represamiento natural de las aguas, *iii)* el agua ejerce gran fuerza sobre el represamiento hasta que lo rompe arrastrándolo consigo y *iv)* la gran cantidad de agua junto con los materiales sólidos que arrastra a medida que bajan, representa un gran poder destructor. Adicionalmente, la geomorfología de las cuencas de los ríos Mocoa, Mulato y Sangoyaco y quebrada Taruca presentan pendientes superiores al 75% y se caracterizan por la inestabilidad debida a la alta meteorización que tienen las rocas y fracturamiento que presentan por la existencia de fallas geológicas; dichos cursos de agua poseen cauces muy fuertes, que debido al cambio de pendiente tienen forma de cono en la parte alta y en la parte baja se amplía. Los sedimentos que se depositan en esos conos son de gran tamaño, alcanzando diámetros superiores a un metro; las acumulaciones forman bancos de arena y grava los cuales demuestran el poder de arrastre de estas corrientes en época de crecientes. Lo descrito anteriormente pudo evidenciarse en la avenida fluviotorrencial ocurrida entre el 31 de marzo y el 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa, donde cada uno de los fenómenos enumerados ocurrió fielmente, arrastrando material de gran tamaño (**Figura 24**).

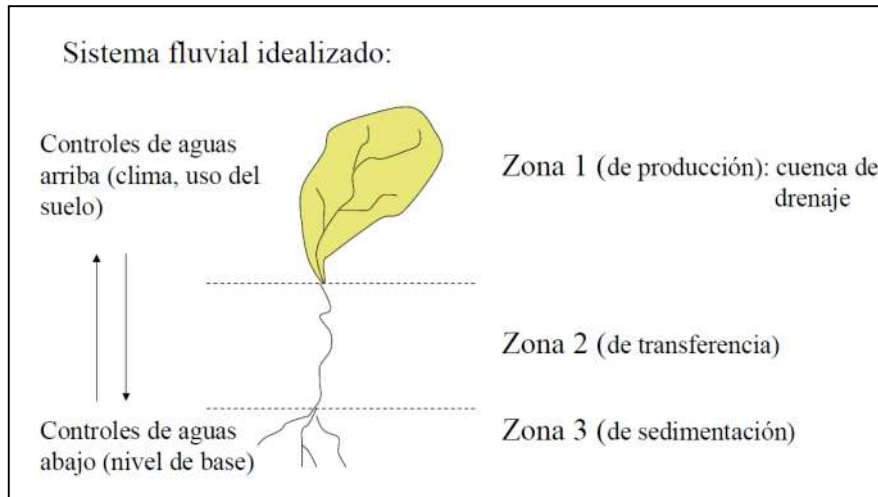


**Figura 24.** Tamaño del material arrastrado en la avenida fluviotorrencial del 31 de marzo y 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa, Putumayo.

Por ello, se procedió a realizar modelos de avenida fluviotorrenciales para el río Mulato y la quebrada La Taruca, de tal forma, que se pueda integrar información actualizada en términos de las amenazas y vulnerabilidad de la zona urbana asociada al río Mulato principalmente y con esto, determinar el riesgo de inundación, herramienta base para la toma de decisiones.

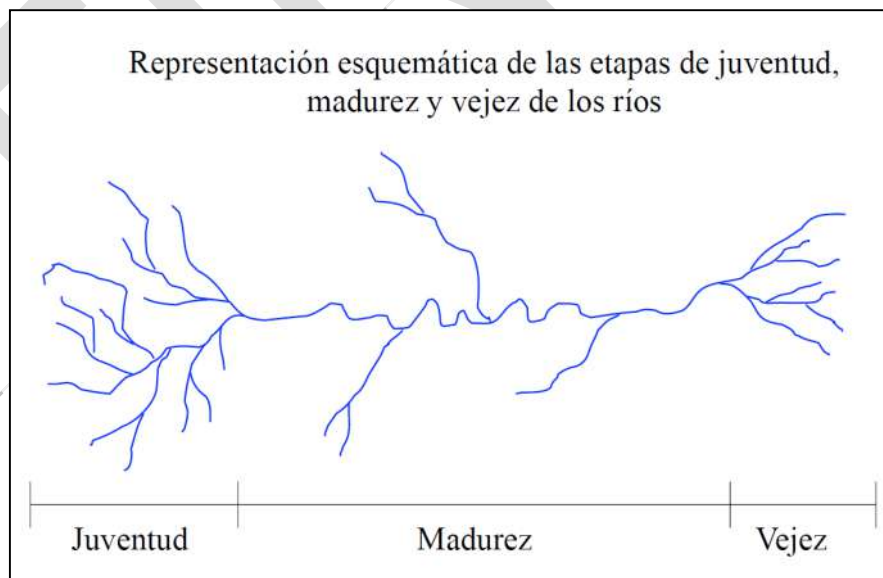
### Modelo Avenida Fluviotorrencial (Flujo de Detritos)

Las cuencas hidrográficas pueden ser analizadas como un sistema fluvial idealizado, el cual se divide en tres grandes zonas: **Zona 1** (de producción): cuenca de drenaje, **Zona 2** (de transferencia): planicies de inundación y **Zona 3** (de sedimentación): deltas (ver **Figura 25**). En el caso específico del río Mulato se tienen claramente definidas dos zonas, la de producción y la de transferencia.



**Figura 25** Sistema Fluvial Idealizado (Diaz-Granados 2015)

Los ríos también pueden ser analizados a partir de su edad, la **Figura 26** muestra las tres etapas de los ríos, juventud, madurez y vejez.

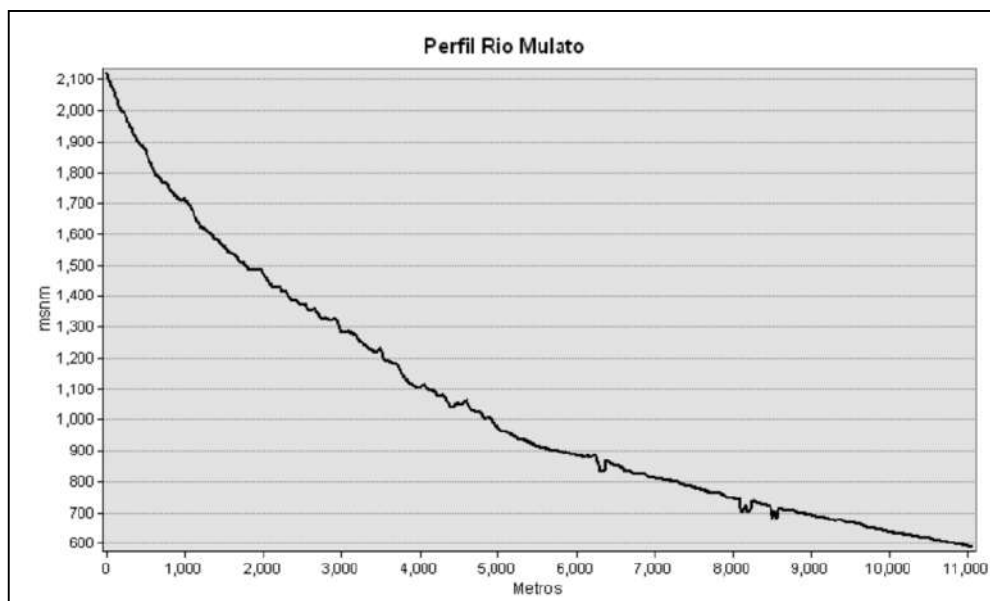


**Figura 26** Etapas de los ríos (Diaz-Granados, 2015)

En su juventud el río presenta una erosión vertical dominante, cuenta con numerosos tributarios cortos y rectos, secciones transversales en forma de V, muy pronunciadas, no se presenta una planicie de inundación clara, así como presencia y acumulación de grandes rocas en su cauce. En su etapa de madurez se puede apreciar una erosión lateral importante y pendientes más suaves.

Generalmente su drenaje es bueno, no presenta grandes cascadas y puede presentar meandros dinámicos en su planicie de inundación. En su etapa de vejez hay una erosión lateral dominante. Acá los valles del río suelen ser más anchos que la envolvente de los meandros, generalmente crean áreas extensas cerca a desembocaduras de ríos o mares.

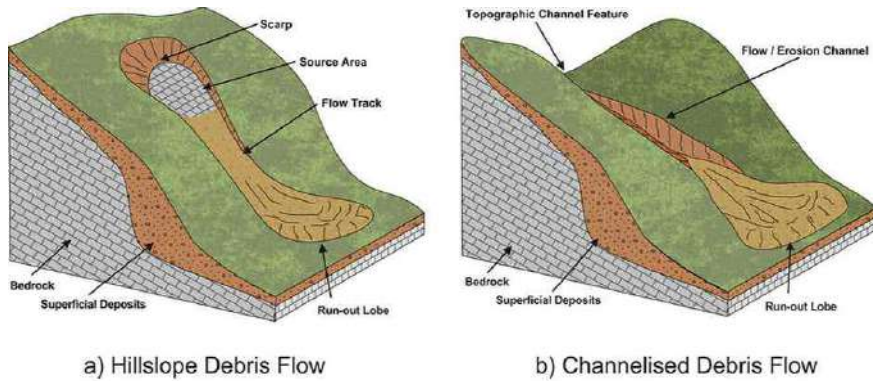
El río Mulato tiene principalmente dos etapas geomorfológicas, la juventud, en su parte alta y la madurez en la parte baja. El perfil del río cuenta con pendientes elevadas en su zona montañosa, donde el río está principalmente encañonado y tiene características de río de montaña. Cuando ha recorrido aproximadamente 3 km su pendiente se comienza a suavizar, aproximadamente a los 6 km la pendiente se estabiliza y comienza a tener características de río con menores restricciones geomorfológicas y mayor movimiento en su propia planicie de inundación (**Figura 27**).



**Figura 27** Perfil río Mulato

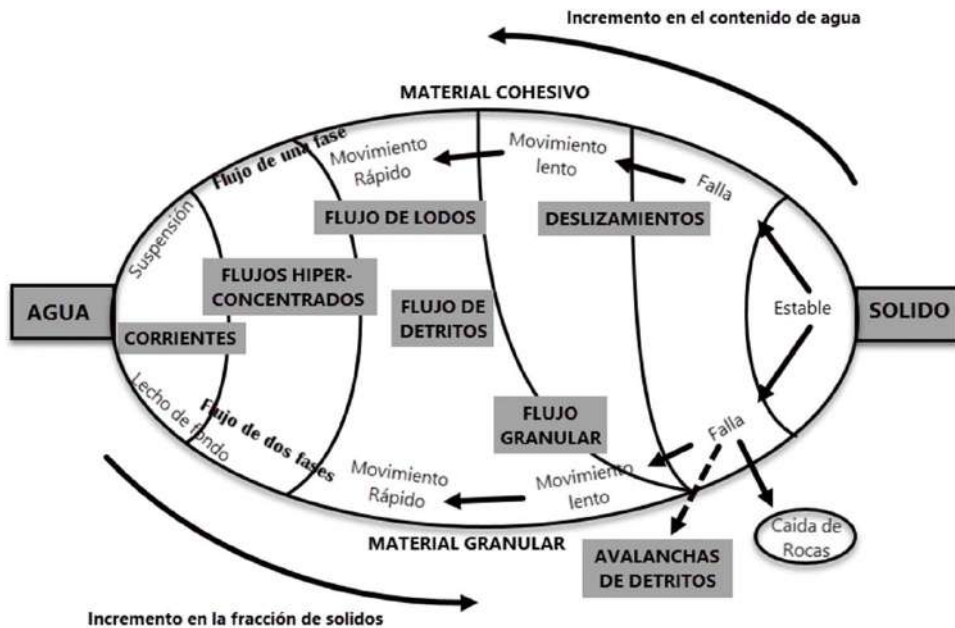
Una avenida fluvio-torrencial (o flujo de detritos) o por su nombre en inglés "*Debris Flow*", es un proceso erosivo que ocurre frecuentemente en áreas con pendientes pronunciadas. La iniciación de este proceso puede darse en terrenos altos y zonas inhabitadas, la propagación del flujo y su depositación puede poner en peligro zonas urbanas. Normalmente la generación de este tipo de avenidas comienza en lugares muy apartados, donde se hace difícil la recolección de datos o el lograr observaciones de campo. Por otro lado la rápida recuperación de la vegetación puede llegar a esconder muy rápidamente las cicatrices y marcas de los derrumbes, inclusive en imágenes aéreas. Como consecuencia, y dada la complejidad de la medición de la susceptibilidad de las avenidas fluvio-torrenciales de detritos a escala regional, este tipo de estudios sobre el comportamiento físico de las avenidas fluvio-torrenciales está aumentando su interés investigativo a nivel mundial. Existen dos tipos de modelos que se pueden aplicar en un estudio de avenidas fluvio-torrenciales, modelos físicamente basados y modelos estadísticos.

Las avenidas fluvio-torrenciales se pueden generar directamente por el deslizamiento de la capa superficial de sedimento, o por la acumulación de estos eventos, transportados a través del cauce de un río, a una zona de depositación **Figura 28**.



**Figura 28** Derrumbes y arrastre de material por avenida fluvio-torrenciales (UPC,GITS 2013)



La **Figura 29** representa la ubicación de las avenidas fluvio-torrenciales con respecto al tipo de suelo y su contenido de humedad, mostrando los dos extremos en cuanto al contenido de sólidos y agua en un flujo. En el extremo izquierdo de la figura se encuentran los flujos completamente libres de sólidos, es decir, solo agua. En el extremo derecho se encuentran los flujos de sólidos sin ninguna presencia de agua en el flujo, por ejemplo un derrumbe de rocas. A medida que se recorre la gráfica de izquierda a derecha va aumentando el contenido de sólidos, hacia arriba, materiales granulares (es decir, con presencia de sólidos gruesos) y hacia abajo material cohesivo (sólidos finos). Dentro de este ovalo se encuentran todos los tipos de flujo, iniciando en las corrientes de agua como los ríos, y a medida que aumenta la cantidad de sólidos, los flujos de lodos, flujos de detritos, deslizamiento de tierras, avalanchas de detritos hacia la caída de rocas. Lo ocurrido en el desastre de la ciudad de Mocoa se puede ubicar dentro del grupo del flujo de detritos, donde se presentó un flujo combinado de agua y gran cantidad de material granular y cohesivo de movimiento rápido.



**Figura 29** Clasificación de las avenidas fluvio-torrenciales según el tipo de suelo (UPC,GITS 2013)

La siguiente **Tabla 4** compara las características principales de una inundación convencional y un flujo de detritos causado por una avenida fluvio-torrencial.

**Tabla 4** Tipos de desastres por inundaciones (UPC, GIT 2013)

	<b>Desastres basados en sedimentos:</b>	<b>Desastres basados en Agua:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla de taludes</li> <li>• Avenidas fluvio-torrenciales</li> <li>• Derrumbes</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundaciones de ríos</li> <li>• Inundaciones de llanuras</li> </ul> 
Características del fenómeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afecta pequeñas áreas</li> <li>• Ocurre súbitamente debido a fuertes lluvias</li> <li>• Resulta acabando con vidas humanas</li> <li>• Normalmente ocurre en los mismos lugares repetidamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afecta áreas extensas</li> <li>• Ocurre debido a las crecientes de los ríos</li> <li>• Genera daños en el caso que fallen diques o estructuras de contención</li> <li>• Es un evento repetitivo</li> <li>• Puede generar pérdidas humanas.</li> </ul>
Características de las acciones de evacuación y reacción de las personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difícil de predecir y definir su período de retorno, pues no solo depende de la lluvia sino de la topografía y las condiciones geológicas</li> <li>• Difícil de reconocer visualmente</li> <li>• Debido a su ocurrencia súbita es más difícil evacuar a la población</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más fácil de determinar su nivel de amenaza, puede ser observado</li> <li>• Por el nivel del agua se pueden tomar acciones de evacuación a tiempo</li> <li>• Se puede reconocer el daño que puede causar a partir de la lectura del nivel de agua</li> </ul>

**a. Modelo de Iniciación de la Avenida Fluviotorrencial:** para la iniciación existen diferentes modelos que pueden ser utilizados, la diferencia entre cada uno radica en la cantidad de información necesaria para alimentar dichos modelos y su complejidad matemática.

Para el presente proyecto se utilizó una aproximación del modelo de iniciación. El modelo SHALSTABProgram (Shalstab, Montgomery & Dietrich, 1994), utiliza parámetros básicos de condición del suelo para predecir probabilidades de deslizamientos. La presión de poros es estimada en esta metodología de una manera muy simple, asumiendo condiciones permanentes de una lluvia de intensidad constante y duración indefinida. Se asume que el material se encuentra saturado (la lámina de agua subterránea coincide con la superficie del terreno), y se relaciona la lluvia  $q$  y la transmisividad del suelo  $T$  para cada una de las celdas del modelo digital del terreno con la siguiente fórmula.

$$\frac{q}{T} = \frac{\sin \theta}{(a/b)} \left( \left( \frac{c'}{\rho_w g z \cos^2 \alpha \tan \varphi} \right) + \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} \right) \left( 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi} \right) \right)$$

Donde:

q: lluvia (m/day)

T: Trasmisividad del suelo (m<sup>2</sup>/día)

α : Pendiente

a/b : Área acumulada por unidad de ancho de flujo (m)

c' : Cohesión del suelo (Pa)

φ : Angulo de fricción interna del suelo.

ρ<sub>s</sub> : Densidad aparente saturada del suelo (kg/m<sup>3</sup>)

g : Aceleración de la gravedad

z : Profundidad del suelo (m)

ρ<sub>w</sub> : Densidad del Agua (kg/m<sup>3</sup>)

En esta metodología el modelo determina únicamente las áreas más susceptibles a deslizamientos y no permite calcular el volumen total del flujo de detritos. Por esta razón este método es llamado de tipo “permanente-cualitativo”. Los resultados están dados en términos de log(q/T) y se clasifican en 3 clases **Tabla 5**:

**Tabla 5** Definición de amenaza

Susceptibilidad	Log(q/T)
ALTA	<-2.9
MEDIO	<-2.4 y>-2.9
BAJO	>-2.4

**b. Modelo de Propagación de la Avenida Fluviotorrencial:** para la propagación del modelo se está utilizando el modelo DebrisDice, también desarrollado por Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos - GITS de la Universidad Politécnica de Cataluña - UPC, considerado un modelo de código abierto. DebrisDice es un modelo estocástico de propagación de avenidas fluvio-torrenciales, la metodología del modelo permite obtener resultados cualitativos en términos de áreas de inundación, sin embargo no es el modelo clásico de amenaza en términos de flujo y velocidad. No obstante esta herramienta es muy útil por su relación de tiempos de cálculo y calidad de los resultados. Con la correcta calibración, los resultados pueden llegar a ser muy similares a modelos complejos en una y dos dimensiones. El modelo estocástico consiste en un algoritmo de movimiento de flujo incorporado a un algoritmo de movimiento aleatorio para generar la trayectoria del flujo de la avenida fluviotorrencial. Gamma (1999) y Hürlimann et al.(2008) combinaron el algoritmo de flujo D8 (O'Callaghan and Mark, 1984) con un modelo aleatorio de Montecarlo. Este modelo ha sido aplicado exitosamente en cuencas de los pirineos españoles (Bregoli 2011).

Utilizando los resultados del modelo de iniciación, o información levantada en campo, esta metodología permite calcular el camino de la propagación sobre el terreno y la trayectoria del flujo



n-inter. Finalmente la probabilidad de invadir una celda P<sub>xy</sub>, es calculada para cada celda del modelo digital del terreno independientemente utilizando la siguiente ecuación:

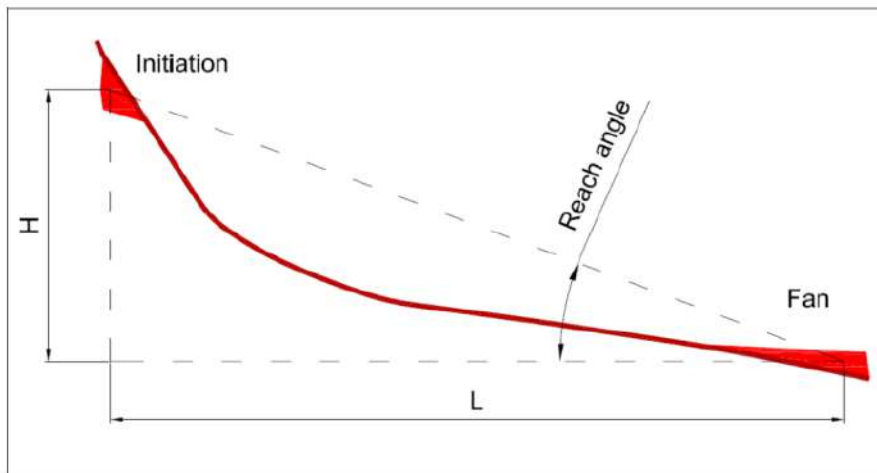
$$P_{xy} = \frac{n_{afect}}{n_{iter}}$$

Donde n-afect es el número de trayectorias que entran a una celda. El resultado del modelo es un mapa que contiene la información de la probabilidad en cada una de las celdas del modelo digital del terreno de la afectación debido a la ocurrencia del flujo de detritos. Los resultados dependen en gran medida de la resolución del DEM y del número de iteraciones. Se recomiendan 100 iteraciones para áreas extensas.

El mecanismo de detenimiento del cálculo de flujo está determinado por la siguiente relación entre el ángulo de alcance y el total de volumen generado por el flujo de detritos.

$$\tan\beta = \frac{H}{L_{max}} = 0.97V^{-0.105}$$

Donde β es el ángulo de alcance, H es el gradiente entre el centro de masa del deslizamiento y la zona de depósito, L<sub>max</sub> es la distancia de viaje y V es el volumen en m<sup>3</sup> de todo el sedimento transportado **Figura 30**.



**Figura 30** Esquema del ángulo de alcance y sus variables (UPC,GITS 2013)

El cálculo de la velocidad del flujo se realiza aplicando la fórmula de Voellmy para flujos granulares (1955).

$$\frac{1}{2} \frac{dv^2}{ds} = g(\sin\alpha - \mu_m \cos\alpha) - \frac{v^2}{k}$$

Donde v es la velocidad del flujo, s el camino del flujo, μ<sub>m</sub> es el coeficiente de fricción de deslizamiento, k es el coeficiente de turbulencia. Cuando la velocidad es cero, el flujo se detiene.

Para correr el modelo se requieren los parámetros generales, el archivo resultado de la iniciación en formato ASCII y el Modelo Digital de Elevación DEM en este el mismo formato.

### Modelo Digital del Terreno (MDT)

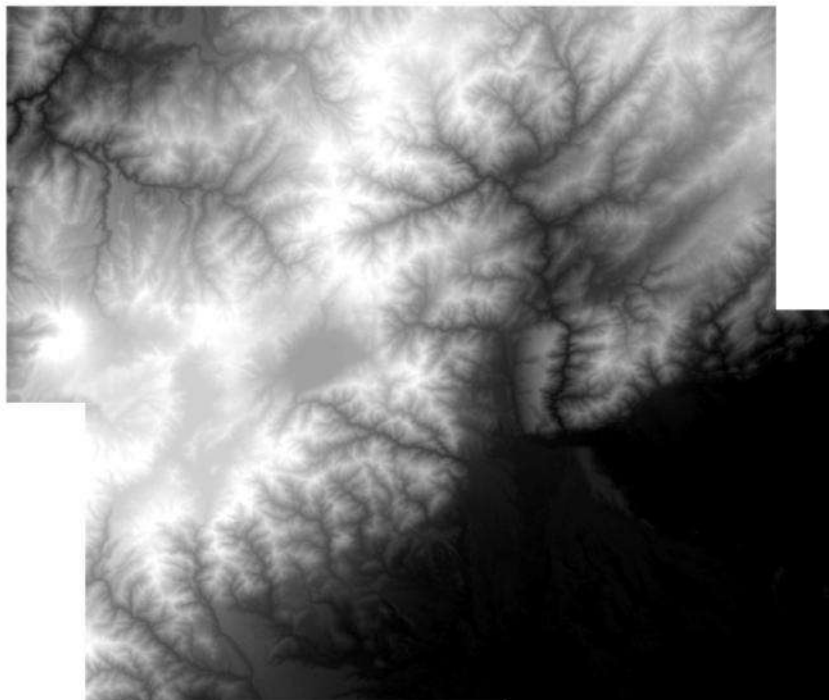
Debido a que el DEM suministrado por la empresa GEOSPATIAL, encargada de levantar el Modelo Digital del Terreno no incluye toda la cuenca del río Mulato, se procedió a descargar el Modelo Digital de Elevaciones del satélite PALSAR-ALOS de resolución 12.5 metros para la totalidad de la cuenca.

Se descargaron cuatro imágenes MDT de 12.5m de resolución espacial correspondientes al satélite ALOS-PALSAR:

- AP\_26681\_FBS\_F0000\_RT1.dem.tif
- AP\_26681\_FBS\_F0010\_RT1.dem.tif
- AP\_27104\_FBS\_F0000\_RT1.dem.tif
- AP\_27104\_FBS\_F0010\_RT1.dem.tif

Las imágenes pueden ser descargadas de la siguiente página: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

Se realizó el mosaico de imágenes correspondiente, corrigiendo inconsistencias en la información espacial.



**Figura 31** Unión de los Modelos de Elevación Digital del ALOS-PALSAR

## Modelo Hidráulico

### a. Métodos de cálculo

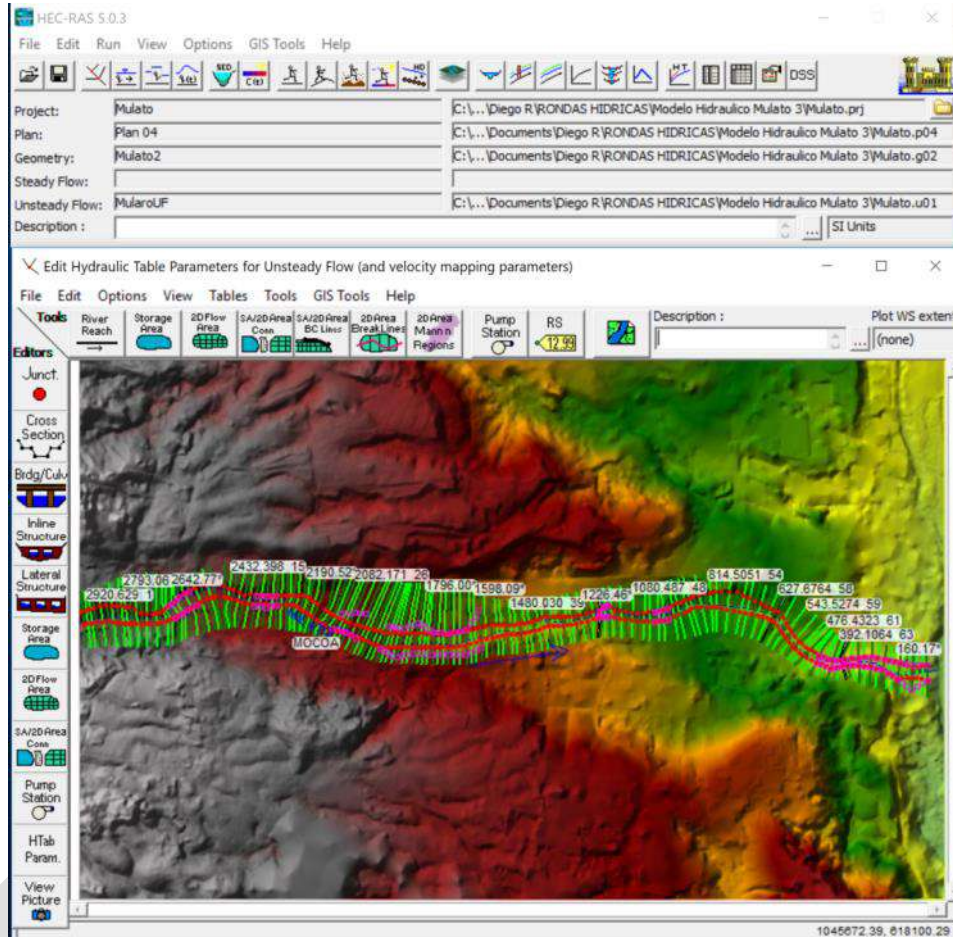


Figura 32 HEC-RAS 5.0

Para desarrollar el análisis hidráulico del río mulato se hizo uso del software HEC-RAS 5.0 desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos para análisis hidrodinámicos de ríos **Figura 32**. El software permite realizar simulaciones de ríos para flujo permanente, no permanente en una dimensión y dos dimensiones, adicionalmente permite hacer simulaciones de calidad de agua y transporte de sedimentos.

Una de las características más importantes y útiles de HEC-RAS es su representación geométrica y georeferenciada de los modelos, esto permite describir morfológicamente el río acercándose lo más posible a la realidad.

Para la simulación del río Mulato se desarrollaron dos tipos de análisis:

**Análisis en flujo permanente:** este componente de modelación calcula la superficie del agua para flujo permanente gradualmente variado. El componente de flujo permanente realiza cálculos para flujo subcrítico, supercrítico y flujo mixto. El procedimiento computacional está basado en la solución de las ecuaciones de energía en una dimensión. Las pérdidas de energía son calculadas por fricción, utilizando la fórmula de Manning, y las contracciones y expansiones del flujo a través del coeficiente por el cambio en la cabeza de velocidad). La ecuación de momento es utilizada en

situaciones donde el perfil de superficie es rápidamente variado. Estas condiciones incluyen flujo mixto como los resaltos hidráulicos, flujo en puentes, y confluencias en los ríos.

**Análisis en flujo no permanente:** este componente de HEC-RAS es capaz de simular flujos en una y dos dimensiones, o modelos acoplados en una/dos dimensiones para una red completa de canales abiertos, planicies de inundación y abanicos aluviales. El análisis de flujo no permanente puede ser analizado en condiciones de flujo subcrítico, supercrítico y mixto (resaltos hidráulicos). Las ecuaciones de Saint Venant son utilizadas para describir el flujo del agua en el espacio, a partir de la conservación de la masa y la energía.

**Ecuaciones de Saint Venant:**

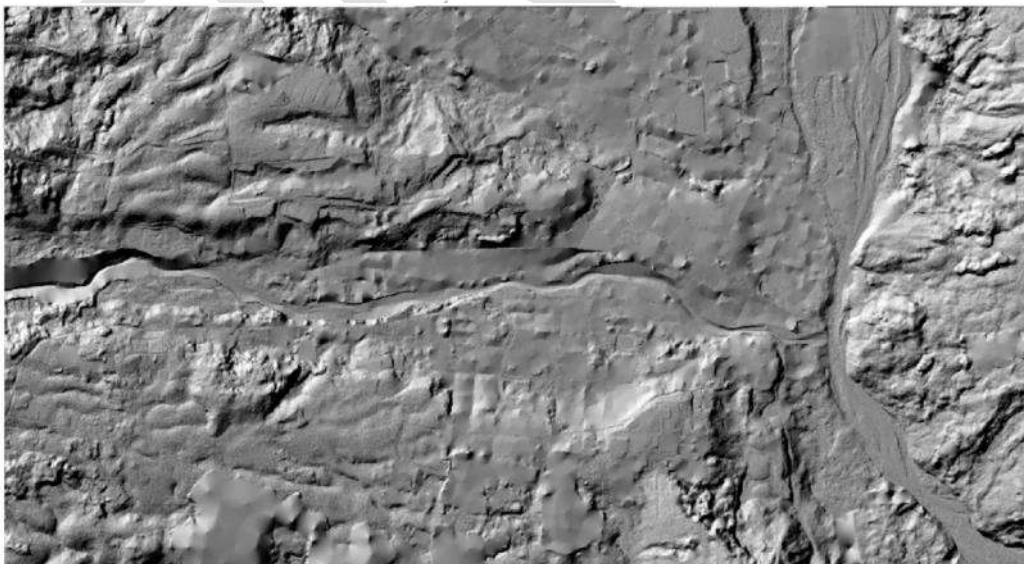
Continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_o)}{\partial t} = q$$

Momento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_f - S_o) - \beta q v_x + BW_f = \Omega$$

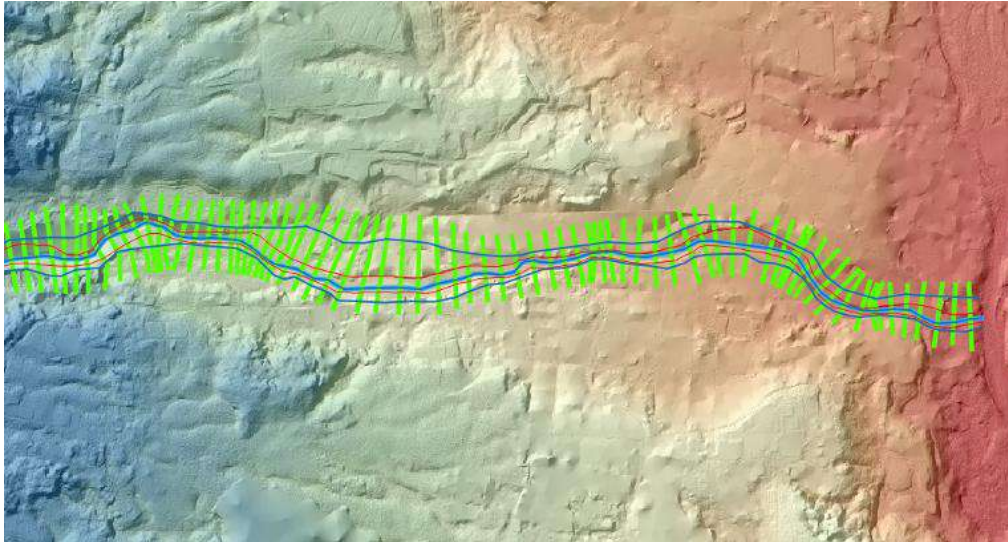
**b. Desarrollo topológico del modelo:** El desarrollo del modelo del río Mulato estuvo basado en el modelo digital del terreno desarrollado por la empresa GEOSPATIAL para el proyecto. El modelo digital cubre gran parte de la ciudad de Mocoa, este se recortó con el fin de utilizar únicamente la zona urbana por donde pasa el río Mulato.



**Figura 33** Modelo Digital del Terreno GEOSPATIAL

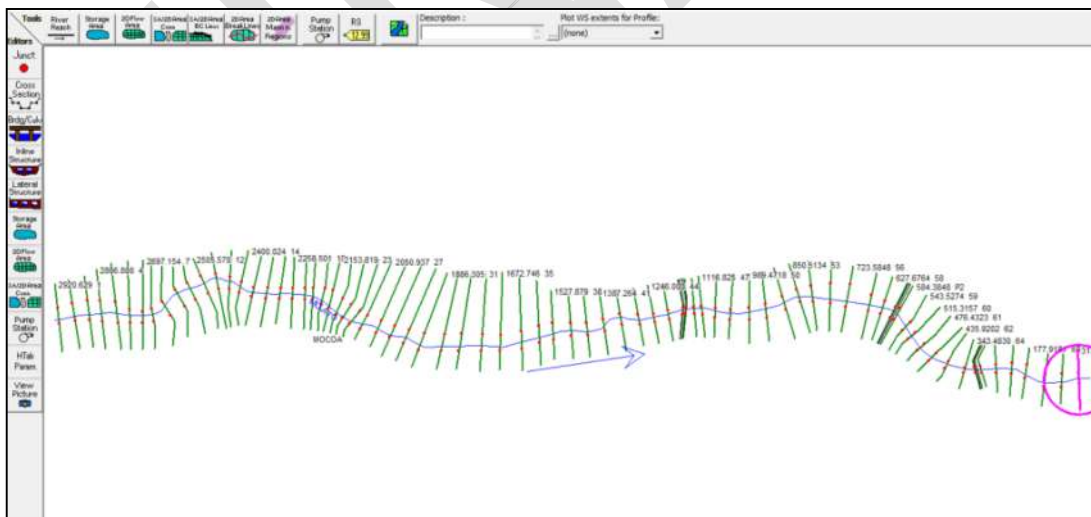
El MDT entregado tiene una resolución de 1 metro y fue utilizado para generar las secciones hidráulicas del río (**Figura 33**).

La topología fue desarrollada utilizando el software libre GISWATER, el cual permite generar las líneas de las secciones hidráulicas y traducir la información del MDT al formato de geometría de HEC-RAS, ver **Figura 34**.



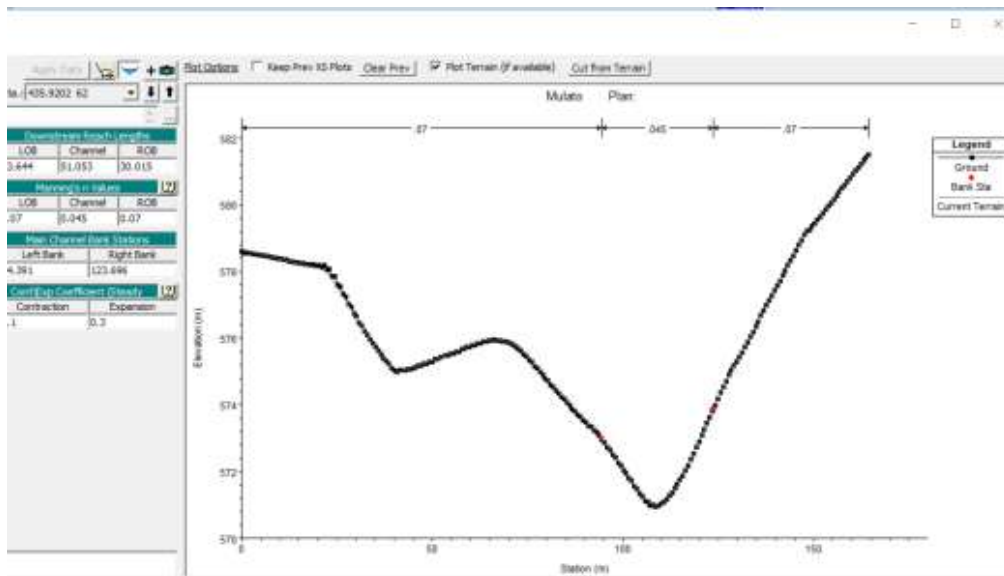
**Figura 34** Construcción del modelo a partir del MDT.

Para la construcción del modelo se definieron diferentes tipos de líneas, el eje del río, los bordes físicos, los bordes de la planicie de inundación y las secciones a modelar **Figura 35**. A continuación se muestra el resultado del procedimiento de exportación.



**Figura 35** Geometría del modelo en HEC-RAS 5.0

Las secciones creadas generan un punto por cada pixel del modelo digital del terreno, la **Figura 36** muestra una sección del modelo que contiene 235 puntos que delimitan la sección hidráulica.



**Figura 36** Sección del Modelo Hidráulico

Una vez generada la topología del modelo, se deben agregar los parámetros físicos que definen la fricción del agua con el terreno. Se definieron dos tipos de terrenos con coeficientes de fricción de Manning,  $n = 0.045$  para el cauce principal del río y  $n = 0.07$  para la planicie de inundación del río. A continuación se muestra una tabla con los valores típicos de  $n$  de Manning para diferentes paisajes, ver **Tabla 6**.

**Tabla 6** Coeficientes de Manning (Ven Te Chow, 1997).

Valores del coeficiente de rugosidad  $n$  (continuación)  
(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<i>b.</i> Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
<i>a.</i> Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<i>b.</i> Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
<i>c.</i> Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
<i>d.</i> Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de $n$ es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
<i>a.</i> Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.060
<i>b.</i> Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.100

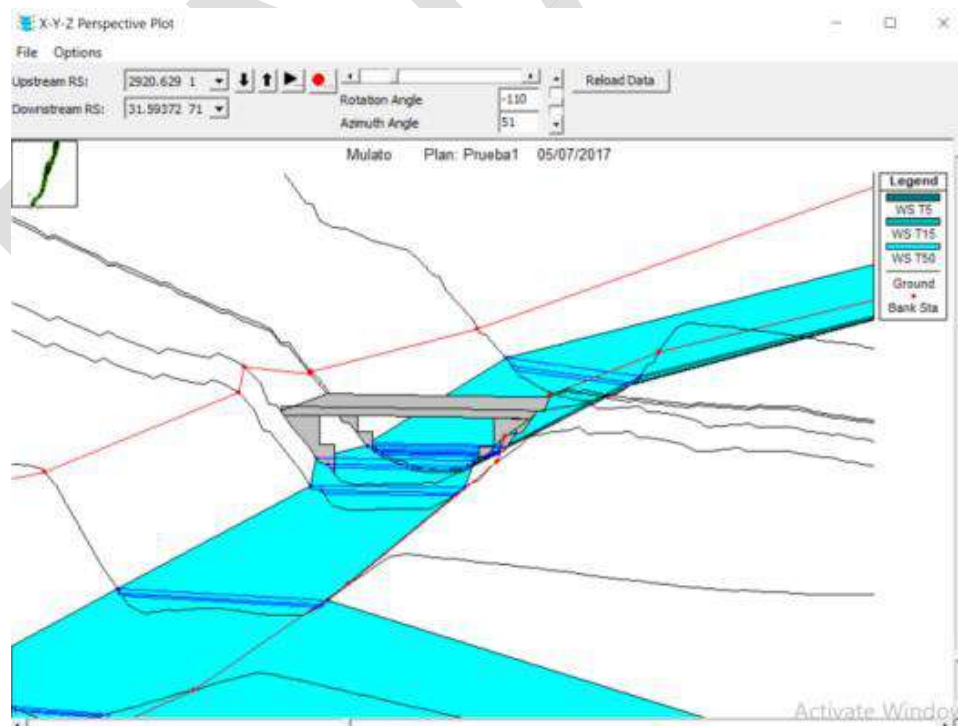
**c. Implementación de estructuras hidráulicas:** dentro de HEC-RAS se añadieron los puentes de acuerdo a las mediciones realizadas sobre el río Mulato durante la visita de campo al municipio de Mocoa. A continuación se presentan los puentes añadidos al modelo hidráulico.

#### Puente 1

El primer puente se encuentra ubicado a una distancia de 300 metros aguas arriba de la desembocadura del río Mulato en el río Mocoa, ver **Figura 36**.



**Figura 37** Primer puente río Mulato. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, 2017.



**Figura 38** Puente 1 en el modelo HEC-RAS

### Puente 2

El segundo puente se encuentra ubicado a la distancia de 575 metros aguas arriba de la desembocadura del río Mulato en el río Mocoa, ver **Figura 39**.





Figura 39 Segundo puente río Mulato

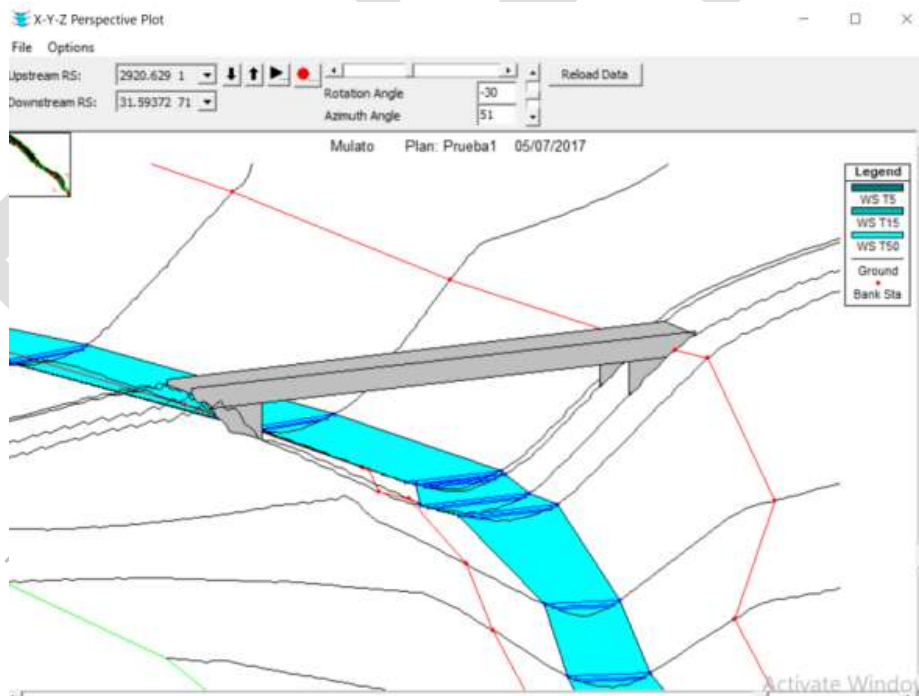


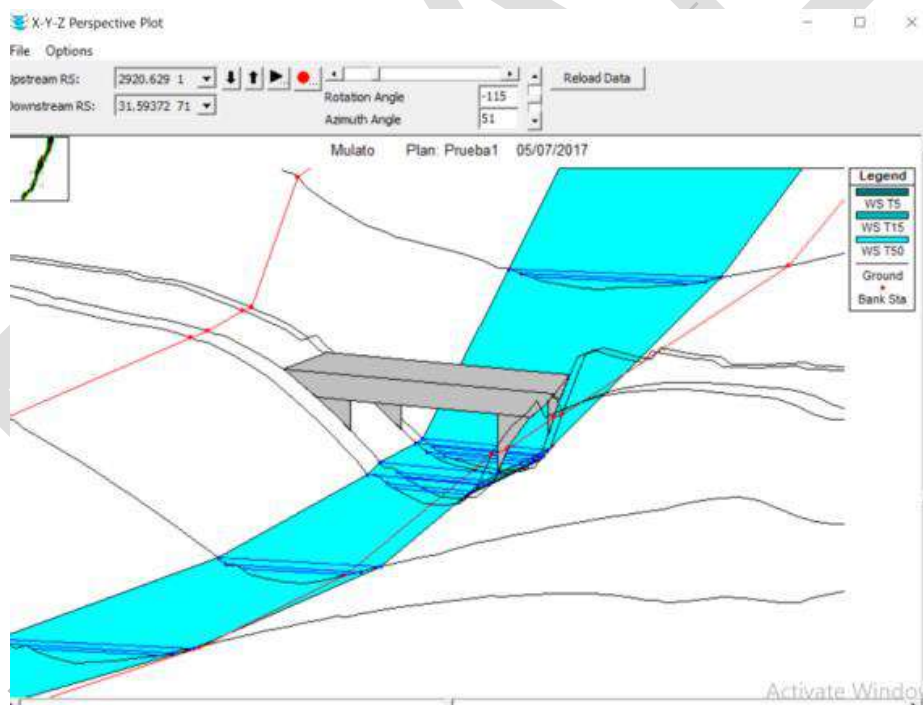
Figura 40 Puente 2 en el modelo HEC-RAS

### Puente 3

El tercer puente se encuentra ubicado a la distancia de 1100 metros aguas arriba de la desembocadura del río Mulato en el río Mocoa. Este puente sufrió graves daños durante el flujo de detritos por lo que fue demolido, ver **Figura 41**.



**Figura 41** Tercer puente río Mulato. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonia, 2017.



**Figura 42** Puente 3 en el modelo HEC-RAS

### 5.2.3 Componente Ecosistémico

El cuerpo de agua y sus riberas constituyen un ecosistema único, hábitat de múltiples especies de flora y fauna, estrechamente interrelacionadas, necesarias casi todas ellas, para un funcionamiento equilibrado del ecosistema. La zona o faja de terreno necesaria para que se den estas dinámicas conforman el componente ecosistémico de las rondas hídricas, se trata de una franja que cumple funciones de corredor biológico con viabilidad ecosistémica (MADS & UNAL 2012). De acuerdo a estos últimos Autores (MADS & UNAL, 2012) para la delimitación del componente ecosistémico de las rondas hídricas se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

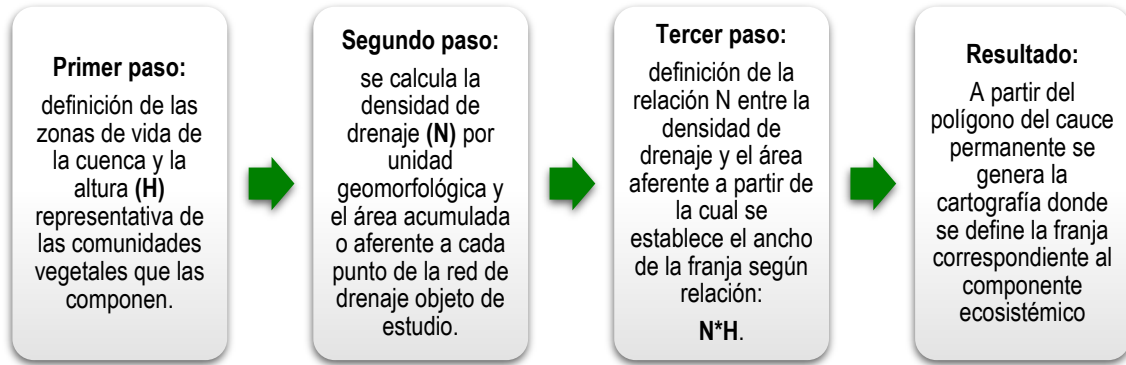
- Hay un efecto de borde que requiere que la franja tenga un ancho mínimo para su viabilidad.
- Hay un ancho mínimo que se requiere para el efecto tampón a través del cual la ronda protege la corriente de la llegada de escorrentía con posibles contaminantes.
- Las rondas hídricas deben tener viabilidad ecosistémica relacionada con la vegetación natural que se establecería allí.
- Se considera que el ancho de la franja se debe relacionar con la altura del dosel.
- En las zonas con menos ríos y por ende menos rondas, éstas tienen un mayor valor ecológico y deben ser un poco más anchas.
- En las corrientes pequeñas la viabilidad ecosistémica la garantiza la suma de las franjas a los dos lados.
- En los ríos más anchos en que se desconectan los márgenes la viabilidad ecosistémica para el componente terrestre la debe garantizar cada margen.
- Los ríos más grandes (que drenan cuencas más grandes) constituyen un hábitat acuático más importante y deben tener franjas un poco más anchas.

Específicamente para el caso de las cuencas de interés del proyecto en el cual se enmarca el presente trabajo, se debe así mismo considerar:

- Las áreas deforestadas que requieren reforestación y recuperación de suelos y por consiguiente de la vegetación.
- La presencia de especies de flora y fauna endémicas, en alguna de las categorías de amenaza de acuerdo a los Libros Rojos de plantas y animales, y a listas rojas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -UICN.
- Así mismo, los ecosistemas de importancia estratégica o con determinantes ambientales.
- Considerar los aspectos socio-culturales relacionados a los servicios ecosistémicos de los ecosistemas presentes en la microcuenca.

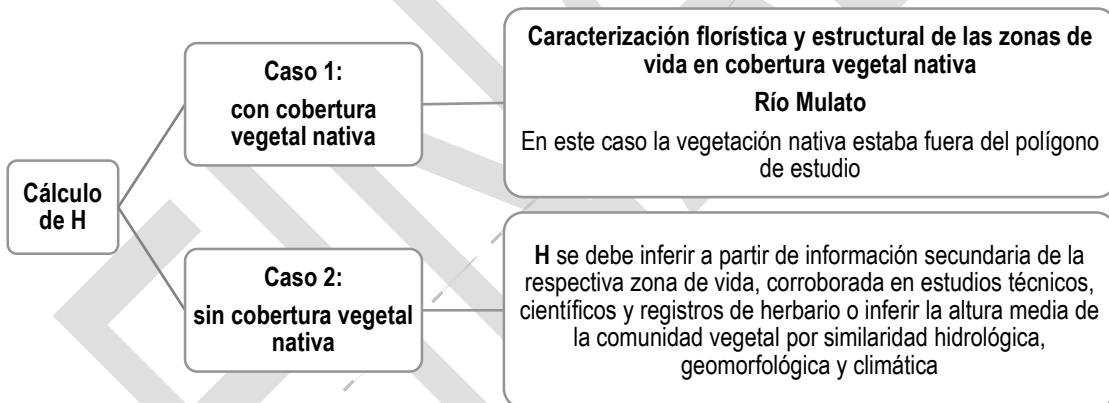
La guía del MADS (2017), busca atender a la funcionalidad de los corredores biológicos, por tanto, considera que éstos pueden medirse en función de la altura de los árboles dominantes de una asociación climática determinada, la cual varía y se hace más compleja a medida que aumentan la temperatura y la humedad disponible en el ecosistema, dado que la altura de los árboles dominantes es un referente genuino de la complejidad y la biomasa que permite al sistema las condiciones climáticas.

De acuerdo a la Guía del Ministerio (MADS 2017, pág. 89), para delimitar el componente ecosistémico de la ronda hídrica se procede de la siguiente manera (**Figura 43**):



**Figura 43.** Procedimiento para la delimitación del componente ecosistémico (Adaptado de MADS 2017).

Para el cálculo de la altura (H) representativa de las comunidades vegetales que componen la cuenca, se debe considerar la caracterización florística y estructural de las zonas de vida si existe o no vegetación nativa, así como se muestra en la **Figura 44**.



**Figura 44.** Cálculo de la altura (H) representativa de las comunidades vegetales que componen la ronda hídrica.

Por lo tanto, para el Río Mulato de acuerdo a las figuras anteriores se procedió como se describe a continuación.

#### 5.2.3.1 Actividades previas

1) Se identificaron previamente las coberturas vegetales, usando cartografía e imágenes satelitales antes y después del evento de la avenida fluvio-torrencial ocurrida entre el 31 de marzo y el 1 de abril del 2017, de esta identificación se hizo una preselección de posibles sitios para el muestreo de la vegetación teniendo en cuenta sitios preferiblemente boscosos con el menor grado de intervención reciente, asociados a la zona de vida del área de estudio, entendiéndose como Zona de Vida una unidad natural en la cual la vegetación, la actividad humana, el clima, la fisiografía, las formación geológica y el suelo, están todos interrelacionados con una combinación reconocida y única (Holdridge 1976). Esta revisión de la cartografía base del polígono de interés se centró en los siguientes aspectos:

- Cobertura vegetal y tipos de bosque presentes en el área, se revisaron los fragmentos de cobertura boscosa presente en el polígono y fuera de él dado el estado actual de las coberturas vegetales del Río Mulato.
- Usos del suelo.
- Áreas protegidas y otras figuras de conservación y protección.
- Se determinaron preliminarmente las áreas a muestrear dentro y fuera del polígono, considerando, el estado de conservación de la cobertura boscosa, el área de las mismas, y una margen aproximada entre 100 m a 200 m de cauce, y a partir de esto se estableció el número de parcelas a establecer.

2) Posteriormente, se hicieron dos recorridos a lo largo del Río Mulato, con miembros de la comunidad y el equipo técnico del proyecto. Estos recorridos, en conjunto con la revisión cartográfica permitieron identificar los lugares que presentaban vegetación en buen estado de conservación para selección de los sitios de muestreo y dentro de la misma zona de vida. Particularmente, debido a que en el polígono de estudio del Río Mulato no se tenía vegetación boscosa en buen estado de conservación, pero sí existían relictos de bosque en la parte media y alta de la cuenca (Figura 45) con similitud al área de estudio en cuanto a la zona de vida, es decir altitud, latitud, climatología, suelo y topografía, se utilizaron estos sitios para determinar las características estructurales de esta vegetación.



**Figura 45.** Relictos de bosque en la parte alta del Río Mulato.

3) Una vez se identificó la vegetación arbórea característica de la zona de vida, se calculó la altura total promedio (H) de los árboles que representan la comunidad, usando parcelas de muestreo temporales. A esta cobertura se le calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI). De acuerdo a los resultados del índice de valor de importancia (IVI), se identificaron las tres (3) especies con mayor IVI y se procedió al cálculo del promedio de la altura media de estas especies, lo cual

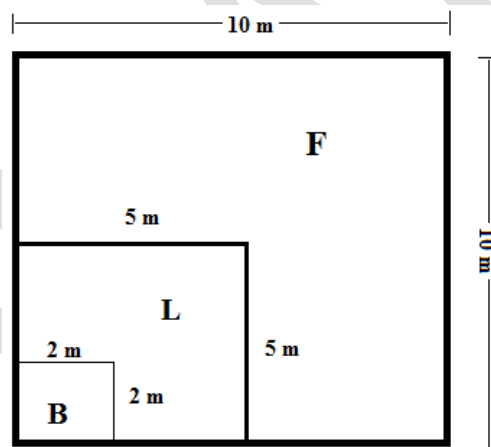
conforma el parámetro estructural H. Este procedimiento se describe en detalle en los muestreos de campo y el análisis de la información.

4) Adicionalmente, se recopiló y revisó toda la información secundaria disponible sobre la vegetación y las características bióticas en instituciones y bases de datos on line de las áreas de interés o de la región dependiendo de la información disponible. Se consultaron los instrumentos de planificación: Planes de Desarrollo Municipal, POMCAS, determinantes ambientales, entre otros relacionados.

5) Se organizó la logística de materiales, equipos y contactos en terreno para ingresar a campo.

### 5.2.3.2 Estructura y composición florística

Se realizaron parcelas temporales de 100 m<sup>2</sup>, dado el tamaño de los fragmentos de bosque en los polígonos de estudio y las áreas aledañas con vegetación en buen estado de conservación. En cada sitio de muestreo se evaluaron tres categorías de tamaño (**Figura 46**): 1) Fustales en 100 m<sup>2</sup>: individuos con diámetros a la altura del pecho DAP ≥ 10 cm, 2) Latizales en 25 m<sup>2</sup>: DAP entre 2.5 y 9.9 cm, 3) Brinzales en 4 m<sup>2</sup>: individuos con alturas entre 30 cm-1.5 m de altura.



**Figura 46.** Muestreo de la vegetación en parcelas temporales (100 m<sup>2</sup>), en las cuales se evaluaron tres categorías de tamaño: 1) Fustales (F): individuos con diámetro a 1,3 m del suelo en 100 m<sup>2</sup> (DAP ≥ 10 cm), 2) Latizales (L): individuos con DAP entre 2,5 y 9,9 cm, 3) Brinzales (B): individuos entre 0,3-1,5 m de altura.

Para cada parcela se registró:

- Nombre del sitio o localidad
- Coordenadas geográficas (latitud y longitud)
- Altitud (msnm)
- Orientación geográfica de la parcela
- Tipo de cobertura de acuerdo a la información disponible sobre coberturas de la tierra periodo 2016 (SINCHI 2016).
- Tipo de bosque
- Estado de conservación: Bueno: Intervención > 50 años, Intermedio: Intervención reciente 10-50 años, Bajo: Intervención reciente <10 años.

La información de estructura que se registró fue: morfoespecie, hábito de crecimiento (Vallejo *et al.* 2005), nombre local, DAP (diámetro a 1.3 m del suelo), altura, diámetros de copa y

observaciones ecológicas. Así mismo para la determinación de la composición florística y la caracterización de las coberturas vegetales como tal se llevaron a cabo las siguientes actividades (Villarreal *et al.* 2004):

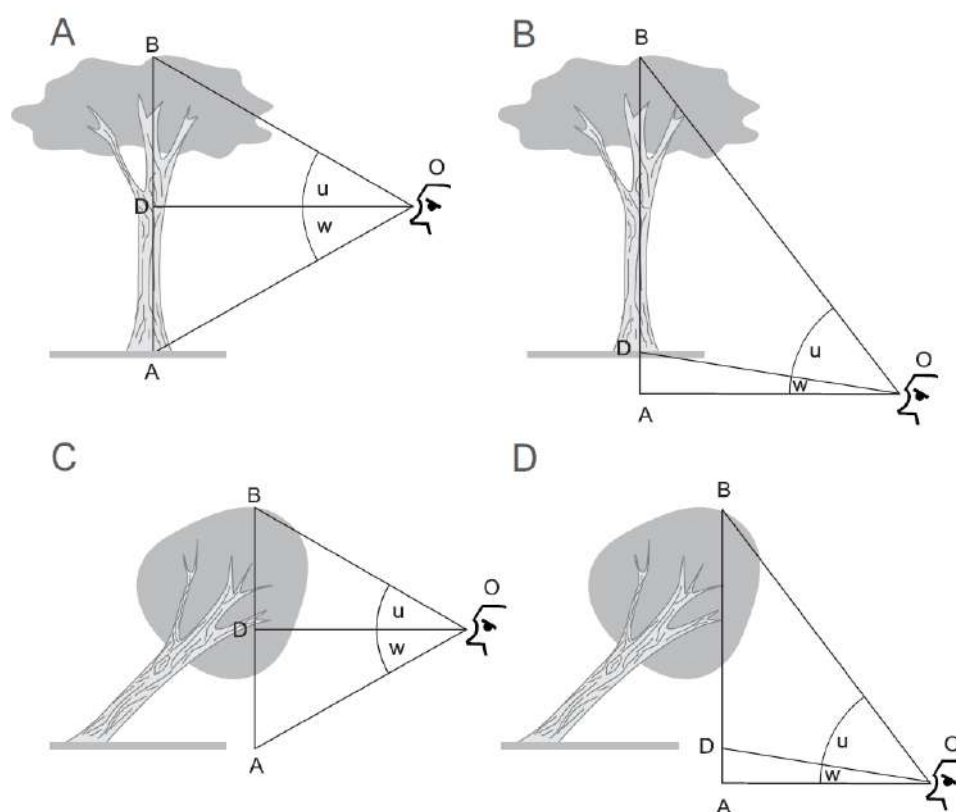
- Revisión y organización del material vegetal recolectado: identificación del material en Herbario y curaduría del material.
- Ordenación e ingreso de la información a bases de datos, procesamiento y análisis de los datos.
- Correlación de la información temática, y con los otros componentes.
- Realización de ajustes necesarios a la interpretación inicial, de acuerdo con la verificación y validación en campo, y elaboración de las leyendas definitivas de los mapas temáticos.
- Sistematización de datos para el almacenamiento y manipulación de la información espacial, y para la caracterización de los parámetros estructurales de las coberturas presentes en las áreas de estudio.
- Ingreso de la información a bases de datos, y posteriormente listados de especies de flora y fauna reportados o registrados en la zona.
- Integración de la información a los sistemas de información geográfica: para obtener Cobertura actual, ecosistemas, áreas temáticas con base en la cartografía del proyecto.
- Revisión del estado de conservación actual de las especies encontradas o registradas en los muestreos.

#### 5.2.3.3 Medición de la altura

La altura es la variable de la estructura vertical de los ecosistemas forestales que sugiere la complejidad que puede tener éste. No obstante, ha sido una variable poco medida en bosques tropicales, lamentablemente la gran dificultad que implica hacer una medición rigurosa de la altura ha causado que la estimación “a ojo” de la misma sea una práctica bastante difundida (Véase Vallejo *et al.* 2005). Sin embargo, estos mismo autores recomiendan que bajo ninguna circunstancia se recomienda calcular las alturas “a ojo” en estudios serios de vegetación, puesto que se ha comprobado por la comparación cuantitativa de distintos métodos e instrumentos de medición que dichas observaciones conducen a grandes desviaciones y sesgos con respecto al valor real de la variable, y que unas veces sobreestiman y otras subestiman los valores reales.

Por tal razón, dado que la altura es la variable determinante para la caracterización de la vegetación que define el componente ecosistémico de la ronda hídrica, las alturas fueron medidas usando un hipsómetro, tipo clinómetro (Referencia Sunto Tandem/360PC/360R DG), siendo la altura medida la total del individuo (Véanse **Figura 47** y **Figura 48**).

Para la medición de la altura de los árboles se siguió la metodología presentada por Vallejo *et al.* (2005). Los hipsómetros miden ángulos o se calibran para medir directamente las distancias verticales en diferentes puntos del árbol a partir de los cuales se puede calcular la altura. Todos estos instrumentos funcionan a partir de principios geométricos o trigonométricos (**Figura 47**).



**Figura 47.** Técnicas de medición de alturas. A: Medición de un árbol vertical con el observador por encima del nivel del suelo; B: Medición de un árbol vertical con el observador por debajo del nivel del suelo; C: Medición de un árbol inclinado con el observador por encima del nivel del suelo; D: Medición de un árbol inclinado con el observador por debajo del nivel del suelo (Tomado de Vallejo *et al.* 2005).

De acuerdo a estos últimos autores (Vallejo *et al.* 2005) se describen las cuatro técnicas básicas para medir la altura de árboles con cualquier tipo de hipsómetro, según la posición relativa del medidor con relación al individuo (Véase **Figura 47**). En cada uno de los cuatro procedimientos que se describen es necesario tener en cuenta algunas recomendaciones: Primero, el observador se debe localizar en un sitio donde pueda observar simultáneamente la base y la cima del árbol; segundo, algunos hipsómetros especifican la distancia horizontal OD, como 15, 20, 30 o más metros; y tercero, la distancia horizontal idealmente debe ser similar en magnitud a la altura que se desea medir, para evitar error en la medición del ángulo de inclinación.

**Medición de un árbol vertical con el observador por encima del nivel del suelo.** Localizada la base del árbol y dependiendo del hipsómetro se registra ya sea el ángulo  $w$  o la altura  $AD$ . Luego, visualizando la cima del árbol se registra bien el ángulo  $u$  o directamente la altura  $DB$ . Luego se calcula la altura total mediante:  $\text{Altura total} = AD + DB$  o mediante  $\text{Altura total} = OD \times [(\tan(u) + \tan(w))]$  (**Figura 46-A**).

**Medición de un árbol vertical con el observador por debajo del nivel del suelo.** Localice la base del árbol tal como se muestra en la **Figura 46-B**. Luego, dependiendo del hipsómetro, registre el ángulo  $w$  o la altura  $AD$ ; a continuación dirija la mirada hacia la base del árbol y según su hipsómetro, registre bien el ángulo  $w$  o el valor de  $AD$ . Luego, localice el tope del árbol y registre



el ángulo  $u$  o la altura  $AB$ . A partir de dicha información, calcule la altura mediante una de las siguientes expresiones:  $\text{Altura total} = AB - AD$  o bien,  $\text{Altura total} = OA \times [\tan(u) - \tan(w)]$ .

**Medición de un árbol inclinado con el observador por encima del nivel del suelo.** Localice el punto  $A$  proyectando una vertical desde la cima del árbol hasta el suelo, teniendo en cuenta que la distancia  $OD$  es la distancia horizontal desde el observador hasta el punto localizado en el suelo directamente debajo del ápice y no hasta la base del tronco. Localice el punto  $A$  y dependiendo del hipsómetro registre el ángulo  $w$  o la altura  $AD$ . Localice la cima del árbol y registre el ángulo  $u$  o la altura  $DB$ . Luego, calcule la altura total mediante una entre las dos expresiones:  $\text{Altura total} = AD + DB$ , o bien de manera alterna,  $\text{Altura total} = OD \times [\tan(u) + \tan(w)]$ , como se muestra en la **Figura 46-C**.

**Medición de un árbol inclinado con el observador por debajo del nivel del suelo.** Localice el punto  $D$  proyectando una vertical hasta el suelo desde el ápice del árbol, como en el caso anterior. Luego, recuerde que la distancia  $OA$  es la distancia horizontal desde el observador hasta el punto localizado en el suelo directamente debajo del ápice y no hasta la base del tronco. Localice el punto  $D$  y dependiendo del hipsómetro registre el ángulo  $w$  o la altura  $AD$ . Visualice a través del instrumento la punta superior del árbol y registre el ángulo  $u$  o la altura  $DB$ . Ahora puede calcular la altura total, mediante una de las expresiones:  $\text{Altura total} = AD - DB$ , o bien empleando la alternativa  $\text{Altura total} = OA \times [\tan(u) - \tan(w)]$  (**Figura 46-D**).



**Figura 48.** Mediciones forestales del diámetro y la altura en un área de chíparos (*Zygia longifolia* (Willd.) Britton & Rose) remanentes en la ronda del Río Mulato.

#### 5.2.3.4 Índice de Valor de Importancia (IVI)

De acuerdo al MADS (2017), otro de los parámetros importantes para evaluar la estructura de las coberturas vegetales dentro del componente ecosistémico es el IVI; éste es un indicador de la importancia fitosociológica de una especie dentro de un ecosistema forestal (Finol 1971), debido a que proporciona un índice de importancia de cada especie y aporta elementos cuantitativos fundamentales en el análisis ecológico, como la densidad y la biomasa (por especie y por parcela). Este último, es un carácter básico para interpretar la productividad de un sitio, la cual depende en gran medida del bioclima y de los recursos edáficos. El IVI se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IVI = A_R + D_R + F_R$$

Donde:

$A_R$ = Abundancia relativa

$D_R$ = dominancia relativa

$F_R$ = frecuencia relativa

**Nota:** El IVI se calcula para árboles mayores de 10 cm de diámetro y 3 m de altura.

### Abundancia Relativa ( $A_{Ri}$ )

$$A_i = \left( \frac{n_i}{N} \right) \times 100$$
$$A_{Ri} = \left( \frac{A_i}{\sum_{i=1...n} A_i} \right) \times 100$$

Donde:

$A_i$ = Abundancia absoluta de la especie i

$n_i$ = Número de individuos de la especie i

$N$ = Número total de individuos

$\sum A_i$ = Sumatoria del número de individuos totales de la muestra

### Dominancia Relativa ( $D_{Ri}$ )

$$D_i = \left( \frac{S_i}{S} \right) \times 100$$
$$D_{Ri} = \left( \frac{D_i}{\sum_{i=1...n} D_i} \right) \times 100$$

Donde:

$D_i$ = Dominancia absoluta de la especie i.

$S$ = Área basal en  $m^2$  de la especie i ( $m^2$ )

$S$  = Área basal de todas las especies ( $m^2$ )

### Frecuencia Relativa ( $F_{Ri}$ )

$$F_i = \left( \frac{f_i}{F_t} \right) \times 100$$
$$F_{Ri} = \left( \frac{F_i}{\sum_{i=1...n} F_i} \right) \times 100$$

Donde:

$f_i$  = Frecuencia absoluta de la especie i.

$F_i$  = Número de parcelas en las que aparece la especie i.

$F_t$  = Número total de parcelas

De acuerdo a lo propuesto por la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas del MADS (2017) teniendo en cuenta los resultados del índice, se identificaron las tres (3) especies con mayor IVI y con ellas se procedió a calcular la altura promedio de estas especies, lo cual conformó el parámetro estructural H. Es importante resaltar que de acuerdo a la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas del MADS (2017) el IVI sólo se calcula para árboles con diámetro mayor a 10 cm y altura superior a 3 m.

#### 5.2.3.5 Riqueza específica

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades (Moreno 2001):

Se estimó la riqueza específica (S), la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. Se calculó la riqueza específica para cada parcela y tipo de cobertura.

#### 5.2.3.6 Ronda Hídrica Ecosistémica

Con la altura (H), el ancho del retiro, se calculó de acuerdo al tipo de elemento (tipo de corriente o cuerpo de agua) y la relación entre la densidad de drenaje de las corrientes y el área de la cuenca aferente (MADS 2017). Para definir la distancia del componente ecosistémico como tal se siguieron los pasos propuestos por MADS (2017) y que se describen a continuación.

#### **Definición de unidades geomorfológicas (UG)**

Se determinaron las unidades geomorfológicas en escala 1:25000, información proveída y detallada por el componente geomorfológico del proyecto de acotamiento de rondas hídricas.

#### **Cálculo de la Densidad de drenaje (Dd) por UG**

Posteriormente, se determinó la densidad de drenaje de la cuenca del Mulato, entendida como el cociente entre la longitud total de los cauces que conforman su sistema fluvial, expresada en km, y el área total de la cuenca, expresada en km<sup>2</sup>. La longitud de los drenajes asociados a cada unidad geomorfológica se calcula a partir de la red de drenaje a escala 1:25000 definida en el componente hidrológico.

La densidad de drenaje (Dd) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_i = \frac{L_i}{A_i}$$

Donde:

$D_i$  = Densidad de drenaje de la unidad geomorfológica i (km/km<sup>2</sup>).

$L_i$  = Longitud de drenaje asociado a la unidad geomorfológica i (km).

$A_i$  = Área de la unidad geomorfológica i (km<sup>2</sup>).

Posteriormente, se usa una escala de valores que compila los resultados del estudio de densidad de drenaje en 1283 cuencas en el departamento del Tolima- Colombia realizado por Londoño (2001), y con esto se clasifica la categoría de la densidad de drenaje (considerando cartografía a escala 1:25000) de acuerdo con la **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Escala de valores para la clasificación de densidades de drenaje (MADS 2017).

<b>Densidad de drenaje</b>		
<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
< 1.5 km/km <sup>2</sup>	1.5 – 3.0 km/km <sup>2</sup>	> 3.0 km/km <sup>2</sup>

### Cálculo de áreas acumuladas (Aa)

Luego se calculó el área aferente en cada punto de la red de drenaje utilizando el mapa de áreas acumuladas (Aa), el cual se obtuvo a partir de un MDT de 12,5 m de resolución espacial del Sensor Palsar localizado en el satélite a los por el medio del cual se complementa la información.

El mapa de áreas acumuladas (Aa) contiene información del área de la cuenca aferente a cada punto de la red de drenaje. Los valores obtenidos para cada celda se reclasificaron de acuerdo con los rangos propuestos en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Rangos de clasificación de áreas aferentes (Universidad Nacional de Colombia & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2012).

<b>Área de cuenca aferente (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Clase</b>
$0 < a \leq 1$	1
$1 < a \leq 10$	2
$10 < a \leq 100$	3
$100 < a \leq 1000$	4
$1.000 < a \leq 10.000$	5
$10.000 < a \leq 100.000$	6

### Definición de N (Relación entre Dd y Aa)

La variable N se calculó como la relación entre la densidad de drenaje por unidad geomorfológica y el área de la cuenca aferente a cada punto de la corriente objeto de estudio; de esta manera se expresó la relación natural del patrón de drenaje y la morfología del territorio. Para el cálculo de N se empleó la tabla de doble entrada en la que se relacionan el área de la cuenca aferente en Km<sup>2</sup> y la Densidad de drenaje en Km/Km<sup>2</sup> (**Tabla 9**).

**Tabla 9.** Valor de N según área de la cuenca y densidad de drenaje (MADS & UNAL 2012).

<b>Área de cuenca aferente (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor de N</b>		
	<b>Densidad de drenaje</b>		
	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
	<b>&lt; 1.5 km/km<sup>2</sup></b>	<b>1.5 – 3.0 km/km<sup>2</sup></b>	<b>&gt; 3.0 km/km<sup>2</sup></b>
$0 < a \leq 1$	2.0	1.5	1
$1 < a \leq 10$	2.5	2.0	1.5
$10 < a \leq 100$	3.0	2.5	2.0
$100 < a \leq 1000$	3.5	3.0	2.5
$1.000 < a \leq 10.000$	4.0	3.5	3.0
$10.000 < a \leq 100.000$		4.0	

### Estimación del ancho del componente ecosistémico (N\*H)

Finalmente, de acuerdo a MADS (2017) el ancho de retiro del componente ecosistémico comprende, además de la altura de los árboles representativos de la zona de vida (H), la relación entre la densidad de drenaje de las corrientes y el área de la cuenca aferente (N). Lo anterior se estima con la siguiente ecuación:

$$\text{Componente ecosistémico} = H_i * N_i$$

Donde:

$H_i$  = Altura media de las especies representativas de la zona de vida en el pixel  $i$  (m)

$N_i$  = Relación de la densidad de drenaje con el área de la cuenca aferente en el pixel  $i$ .

Posteriormente con este valor numérico en cada pixel de la red de drenaje, se reclasificó en formato "raster" para trazar el componente a partir del cauce permanente.

#### 5.2.4 Calidad Físicoquímica e Hidrobiológica río Mulato (macroinvertebrados)

Chapman (1996) comenta que la calidad de un ambiente acuático es definida como la composición y bienestar de la biota acuática y otros autores, indican que la calidad es la aptitud para los usos como medio de sustento del ser humano y los animales, riego de la tierra y recreación, entre otros (Correa, 2000).

También se considera la calidad hidrobiológica medida a través del estudio de comunidades acuáticas tales como los macroinvertebrados debido a que presentan ventajas respecto a otros organismos del ecosistema acuático. Entre estas ventajas, Rosenberg & Resh (1993) destacan: (a) presencia en prácticamente todos los sistemas acuáticos continentales, lo cual posibilita realizar estudios comparativos; (b) su naturaleza sedentaria, la que permite un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente; (c) los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, que pueden ser realizados con equipos simples y de bajo costo, y (d) la disponibilidad de métodos e índices para el análisis de datos, los que han sido validados en diferentes ríos del mundo.

En este apartado se hace una aproximación general de la posible calidad del agua de un tramo del río Mulato tomando en cuenta tanto algunas condiciones físicas y químicas del agua y la caracterización con macroinvertebrados.

Los resultados de la calidad de agua están basados en el análisis de 14 parámetros físicos y químicos, en dos estaciones; Bocatoma río Mulato y la quebrada Córdoba, la cual es un afluente de este río. Los resultados fueron comparados con la Legislación Nacional de Recursos Hídricos de Colombia, considerando la resolución 2115 de 2007: Artículos 2, 3, 4, 6 y 7 y Resolución 1594 de 1984. También se analizó la taxonomía y abundancia de macroinvertebrados, así como Índice Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera (EPT) e Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), en siete hábitats sobre el área de influencia de la bocatoma del río Mulato (**Tabla 10**), con el objeto de tener un estimado de la calidad hidrobiológica del río Mulato y su afluente, quebrada La Córdoba.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL**  
**MUNICIPIO DE MOCOA (PUTUMAYO)**

**Tabla 10.** Relación de variables analizadas en las diferentes estaciones de estudio

Parámetros / Análisis	Bocatoma	Bocatoma - zona remanso	Bocatoma -caída canal secundario	Bocatoma - palizada	Qda. Córdoba 2	Zona rápido	Qda. Córdoba
Temperatura	X				X		
Oxígeno Disuelto	X				X		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	X				X		
pH	X				X		
Conductividad	X				X		
Coliformes Fecales	X				X		
Coliformes Totales	X				X		
Alcalinidad	X				X		
Color	X				X		
Nitrógeno Total Kjeldahl	X				X		
Fósforo Total	X				X		
Sólidos Disueltos Totales	X				X		
Sólidos Totales	X				X		
Materia orgánica	X				X		
Abundancia macroinvertebrados	X	X	X	X	X	X	X
Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)	X	X	X	X	X	X	X
Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	X	X	X	X	X	X	X

### 5.3 Fase 3: Caracterización socio-cultural dentro del límite funcional

Una vez definido el límite funcional, se procedió a realizar la caracterización socio-cultural en donde se cubrieron aspectos socio-ecológicos como insumos para identificar y profundizar en las relaciones sociales, económicas y culturales de las poblaciones humanas locales y los ecosistemas. En este sentido, desde una perspectiva multidisciplinar se indaga sobre las transformaciones y dinámicas que se han configurado en el río Mulato y su área de influencia.

Adicional se realizó un análisis predial, el objetivo principal es la caracterización física de los bienes inmuebles localizados alrededor del río Mulato, este será un insumo para dimensionar la realidad de la presencia de asentamientos urbanos y herramienta de análisis para la interpretación de la ronda hídrica del río Mulato.

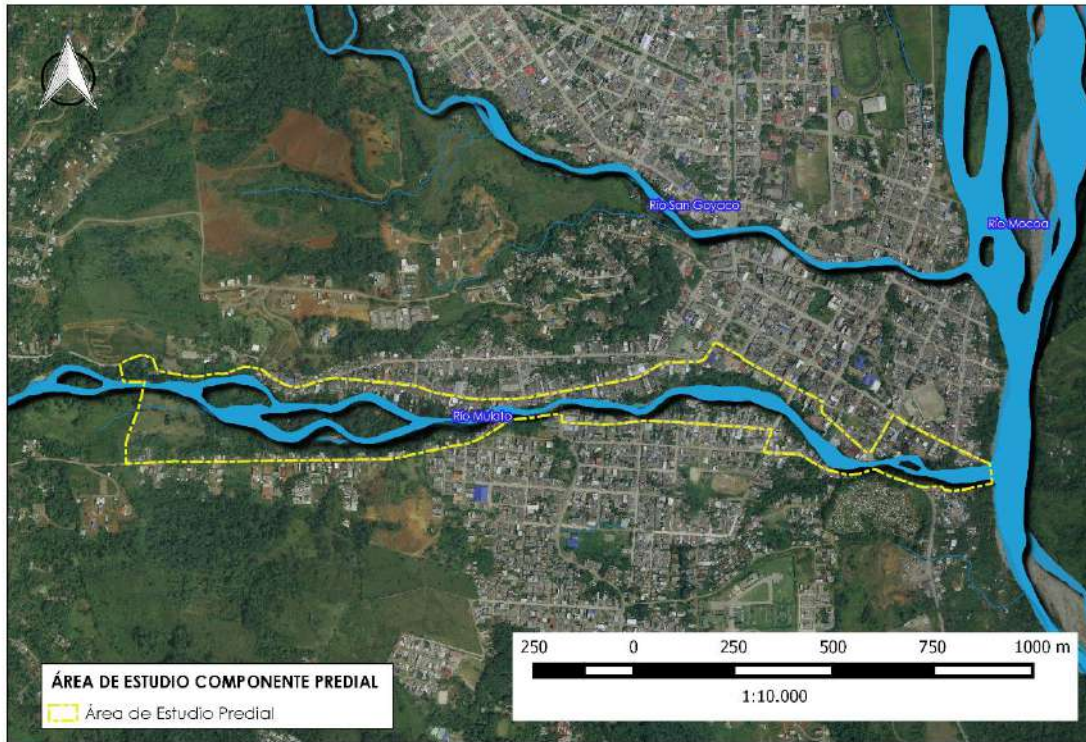
#### 5.3.1 Caracterización Predial

El ítem predial junto con el social son variables estudiadas para el manejo de las rondas hídricas y no son componentes de análisis en el proceso de acotamiento.

La delimitación del área de estudio predial a caracterizar en el municipio de Mocoa, se trazó con base en la ortofoto obtenida a partir de sensores remotos (Geospatial 2017). Se estableció un área de 32,17 ha, la cual comprende toda la zona urbana y parte de la rural de la ronda del río Mulato.

Su delimitación contempló aspectos como la pendiente, antecedentes de inundaciones y las áreas afectadas luego del fenómeno natural ocurrido entre el 31 de marzo y el 1 de abril de 2017.

La **Figura 49**, muestra en color amarillo el área de estudio predial en la que se realizó la caracterización física.

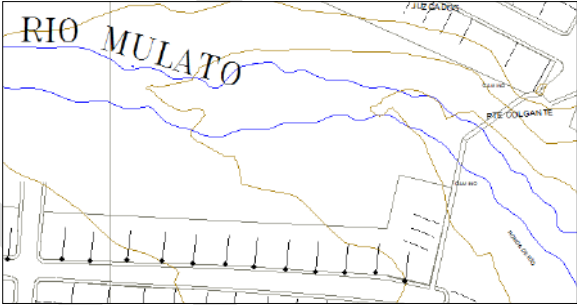



**Figura 49** Área de Estudio Caracterización Predial

#### 5.3.1.1 Revisión de información espacial existente (predial)

Previo al trabajo de campo, se revisó la información cartográfica predial existente: manzanas, lotes, construcciones, zonas homogéneas físicas y geoeconómicas, estudios previos, entre otros, en formato vectorial y raster, los cuales son necesarios para la elaboración de los planos cartográficos y el trabajo de campo. En la **Tabla 11** se relacionan las fuentes de información evaluadas.

**Tabla 11.** Inventario de información predial existente (vector y raster)

FUENTE	TIPO	DESCRIPCIÓN	MUESTRA GRÁFICA	OBSERVACIONES
<p><b>Anexo cartográfico componente urbano PBOT Mocoa 2008</b></p>	<p>Vector DWG</p>	<p>Mapa predial urbano más actualizado del municipio de Mocoa.</p>		<p>Información desactualizada e incompleta. No existe una delimitación clara de los bienes inmuebles.</p>
<p><b>Base cartográfica Catastro IGAC (año desconocido)</b></p>	<p>Vector Shapefile</p>	<p>Base de datos predial</p>		<p>Información desactualizada, con base en la imagen satelital 2017.</p>



Ortofoto  
Geospacial  
2017

Raster

Imagen correspondiente al año 2017 y tiene una resolución espacial de 0,10 cm.



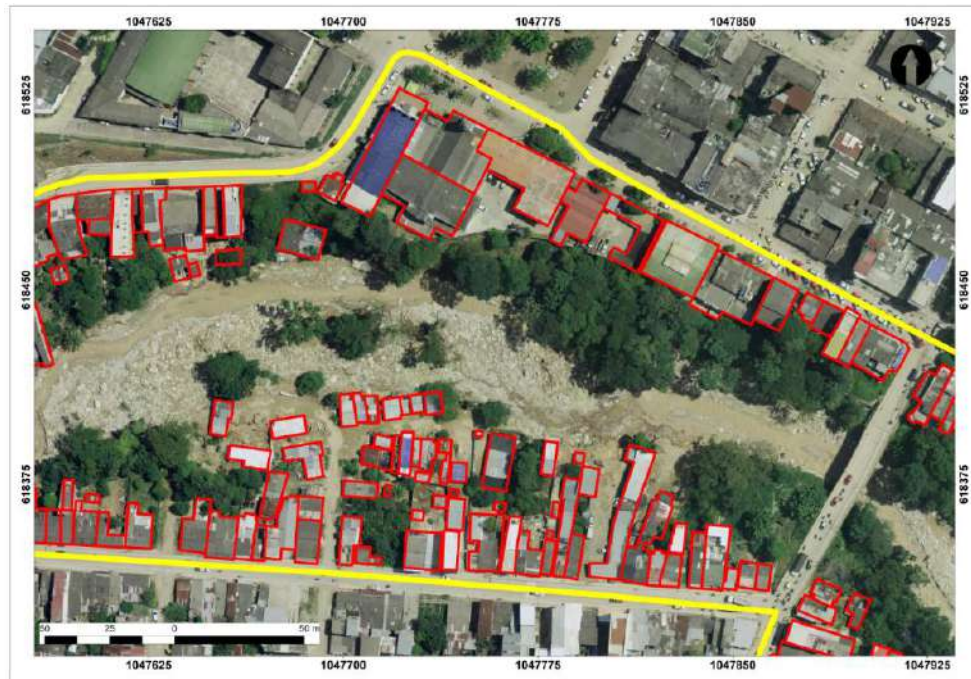
Imagen utilizada para la fotorrestitución predial. Insumo base del componente para la caracterización física de los bienes inmuebles.

### 5.3.1.2 Fotorrestitución



**Figura 50.** Fotorrestitución predial del área de estudio. Fuente: Ortofoto Geospacial 2017, Digitalización predial y área de estudio.

En la **Tabla 11**, se evidencia inexactitud posicional y capas incompletas en la geometría de los predios de las fuentes de información PBOT (2008) e IGAC (año desconocido), comparadas con la ortofoto GeoSpatial año 2017. Por esta razón fue necesario realizar una fotorrestitución de los predios identificados en el área de estudio predial con su correspondiente ID\_Cartográfico sobre la fuente de información más actualizada con la que cuenta el proyecto (Ortofoto GeoSpatial 2017). En la **Figura 51** se muestra un ejemplo de la digitalización de los predios objeto de estudio.



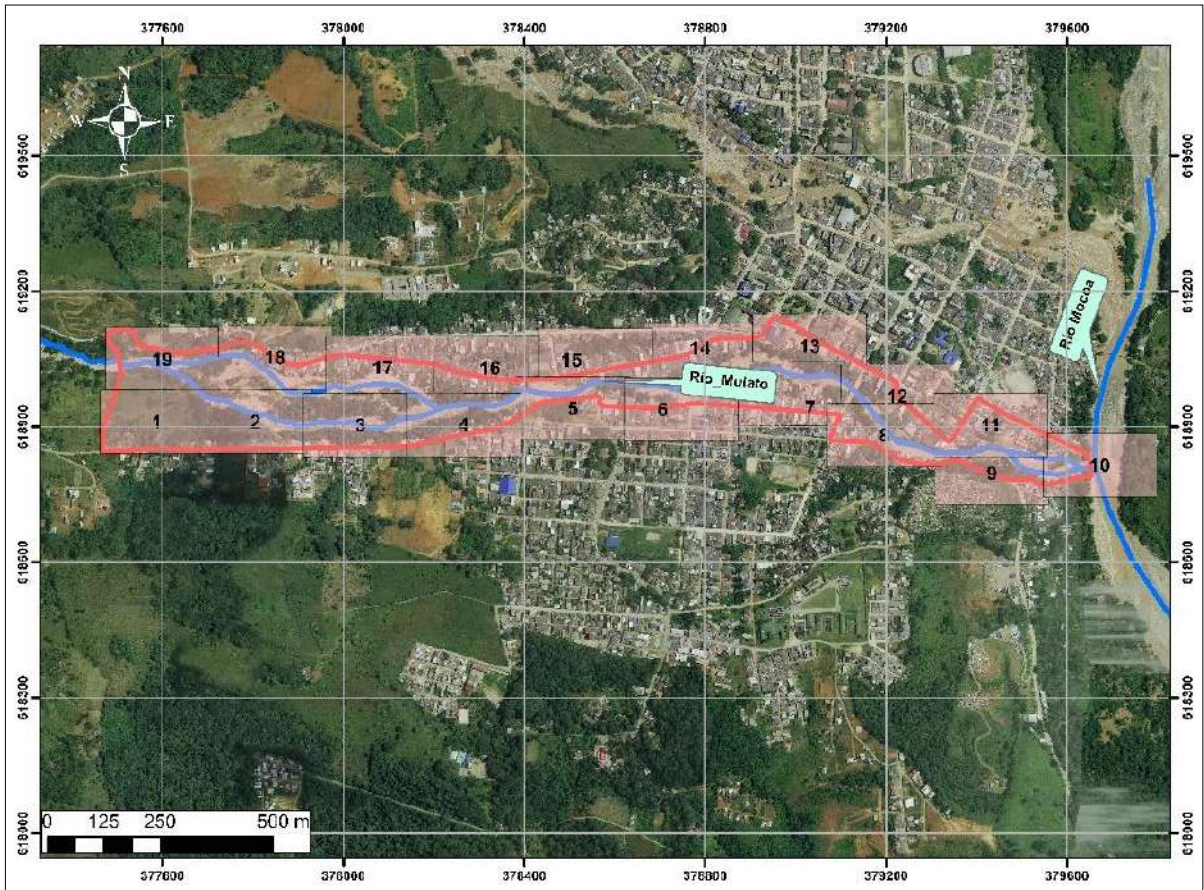
**Figura 51.** Fotorrestitución predial del área de estudio.

Fuente: Ortofoto Geospatial 2017, Digitalización predial y área de estudio.

### 5.3.1.3 Elaboración de mapas de campo

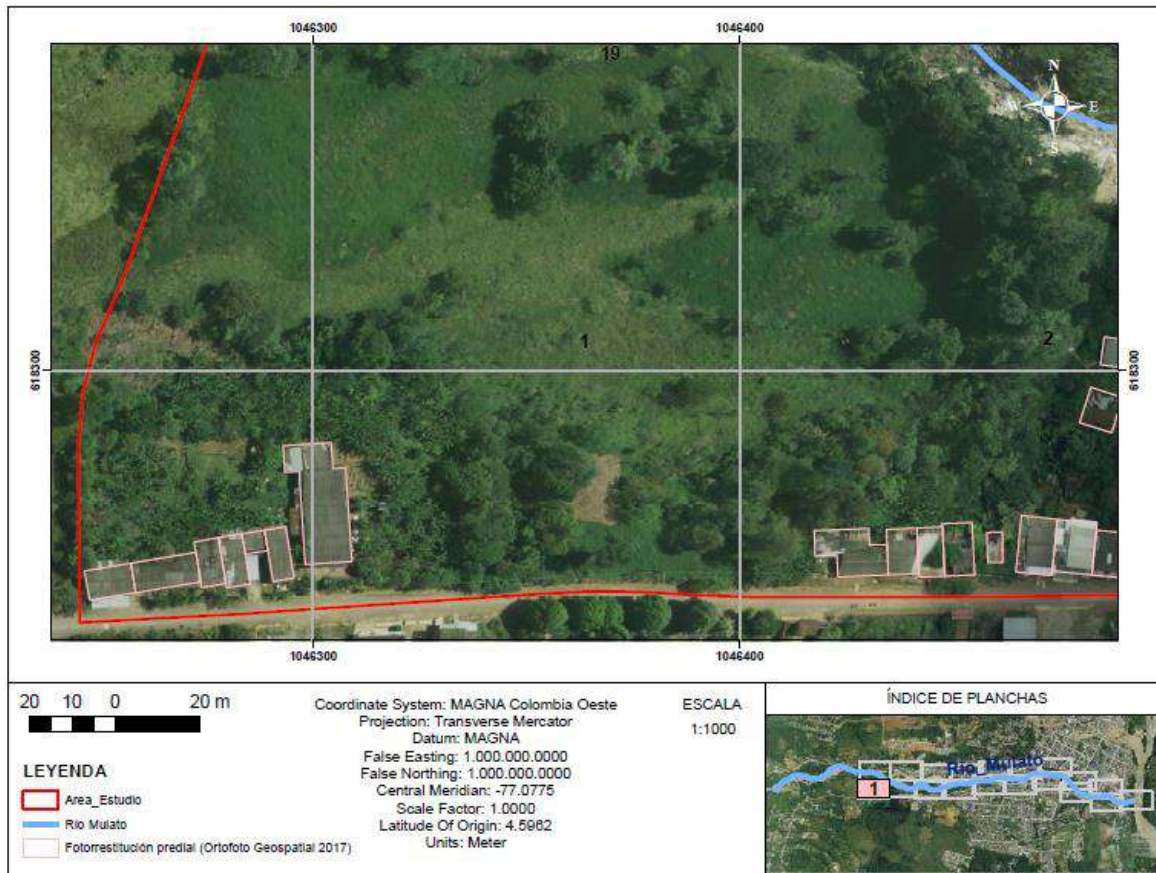
Una vez finalizada la fotorrestitución vectorial, se generaron los planos cartográficos como insumo fuente para el trabajo en campo. En total se elaboraron 19 hojas a escala 1:1000 en tamaño de papel carta. En la **Figura 52** se presenta el mapa índice que permite la ubicación de cada plano y en la **Figura 53** se presenta la muestra de uno de los planos llevados a campo.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)



**Figura 52.** Mapa índice planos de campo.

Fuente: Ortofoto Geospatial 2017, diseño de recorrido de campo elaboración propia.



**Figura 53.** Mapa de campo Plancha 1.

Fuente: Ortofoto Geospacial 2017, base temática (Predial y área de estudio) resultado de Fotorrestitución.

#### 5.3.1.4 Diseño de la ficha de reconocimiento predial

La ficha de reconocimiento predial es un instrumento diseñado para la recolección de datos en campo, se realizó con base en lineamientos de los documentos: **1.** Manual de reconocimiento predial de la Dirección de Sistemas de Información y Catastro (2011) (UAECD 2011), **2.** Manual de reconocimiento predial Colombia (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC 1988) y **3.** Manual de procedimientos para la determinación de Zonas Homogéneas Físicas Urbanas y Rurales (UAECD 2005).

Este formato hace referencia únicamente a la caracterización física de los inmuebles. Los componentes jurídico, fiscal y económico, no se encuentran incluidos ya que no hacen parte del alcance del proyecto. El formato fue diligenciado con base en observación del reconocedor en campo y entrevistas a personas de la zona de estudio. El **Anexo 6** muestra la ficha de reconocimiento predial diseñada para la comisión de campo y el **Anexo 7** el manual de diligenciamiento.

### 5.3.1.5 Configuración de equipos de posicionamiento global

El área de estudio se encuentra localizada en la zona Oeste del país, en el sistema de referencia espacial cartográfico MAGNA Colombia Oeste según el marco de referencia colombiano.

Teniendo en cuenta los parámetros del sistema de referencia espacial vigente y oficial que aplica para la zona de estudio, los dispositivos de posicionamiento global que se utilizaron en campo se configuraron con base en los parámetros que relaciona la **Tabla 12**.

**Tabla 12.** Parámetros Origen de Coordenadas Gauss Krüger  
(MAGNA – SIRGAS-COLOMBIA OESTE)

Formato de Posición	Cuadrícula Usuario	UTM	Falso Este	+1000000
			Falso Norte	491767,534
			Escala	+1.0000000
			Origen de la Longitud	W 077° 04'.6504
			Origen de la Latitud	N 00°00'.00"
Esferoide del Mapa		<b>WGS 84</b>		

### 5.3.1.6 Localización del predio

Con base en los mapas de campo producto de la fotorrestitución y la capa predial cargada previamente en el dispositivo de posicionamiento global (GPS), se procede a la ubicación del lote construido o no construido. Una vez se verifica la existencia, se asigna un código de identificación único y se procede con la adquisición de la información.

### 5.3.1.7 Diligenciamiento ficha predial

Una vez localizado el predio y la persona que permitirá el acceso, se procede a diligenciar la ficha técnica de reconocimiento predial; la cual se compone de información que posibilita la identificación física del inmueble (localización, linderos, topografía, servicios públicos domiciliarios, actividad económica del inmueble, clasificación de las vías, estrato socio-económico, estado de conservación, etc). El diligenciamiento comprende toma de datos por observación en campo y entrevista directa con los propietarios, ocupantes y/o poseedores. La identificación de linderos comprende la elaboración un croquis sobre la ortofoto, sustentada con fotografías terrestres y ubicación espacial (puntos GPS). En los casos en los que no se pueda recolectar la información, se acudirá a la caracterización mediante cartografía social y observación del reconecedor.

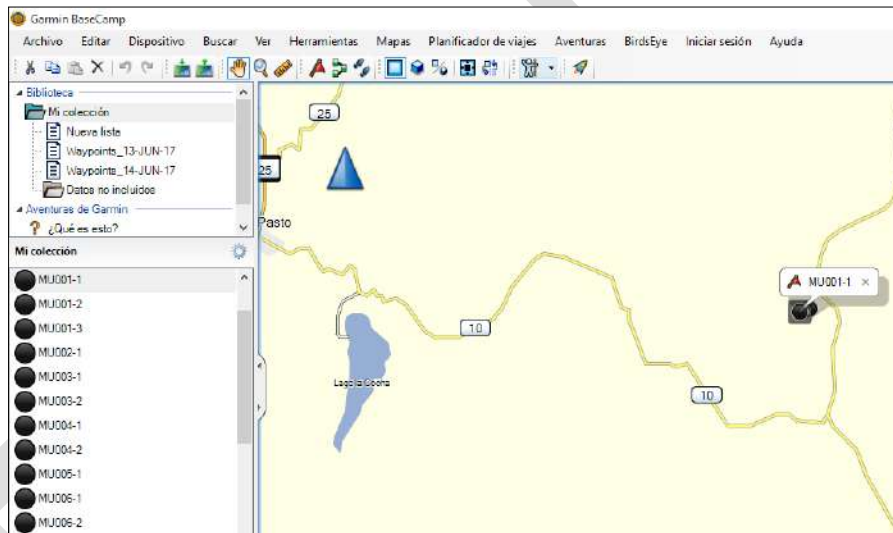
### 5.3.1.8 Toma de puntos GPS y fotografías

Posterior al diligenciamiento de la ficha predial se realiza la toma de puntos GPS, los cuales permitirán confirmar la geometría de los bienes inmuebles, así como la delimitación de linderos. Cabe mencionar que el alcance del presente proyecto no contempla un levantamiento de alta precisión, razón por la que se utilizó un navegador de mano gama media (eTrex® 30 – Garmin) el cual presenta un error de precisión de hasta tres metros.

Finalmente, se toman las fotografías terrestres de los lotes y construcciones, sustentando de esta forma la visita de reconocimiento. Las fotografías soportan aspectos físicos del inmueble como su estado de conservación, topografía, acceso y caracterización vial, entre otros.

#### 5.3.1.9 Descarga y estructuración de datos GPS y fotografías

La descarga de los datos GPS se realiza a través del software gratuito Garmin BaseCamp, el cual contiene la herramienta de visualización e interoperabilidad de los datos capturados (.gpx) en el navegador eTrex® 30 durante las comisiones de campo. La estructuración de los puntos GPS es a través de identificador cartográfico más un consecutivo el cual obedece al número de puntos tomados para el inmueble Ver **Figura 54**.



**Figura 54.** Descarga de datos GPS en Garmin BaseCamp.

Fuente: Elaboración propia con base en datos GPS 2017.

La descarga y estructuración de las fotografías terrestres se realiza siguiendo el mismo procedimiento que los datos GPS, se codifican a través del identificador cartográfico más un consecutivo el cual obedece al número de fotografías tomadas en campo.

#### 5.3.1.10 Ajuste de fotorrestitución

El reconocimiento de campo y la descarga de datos GPS son los insumos para el ajuste de la fotorrestitución predial. Este proceso comprende la edición de las construcciones digitalizadas antes de la comisión de campo, en la especialización de los lotes o límites de los bienes inmuebles y en la digitalización de las nuevas entidades identificadas en campo. El grado de precisión de los datos se encuentra condicionado a las ortofotos y a los datos GPS. La **Figura 55** muestra un ejemplo del ajuste de la fotorrestitución luego del trabajo de campo.



**Figura 55.** Ajuste de fotorrestitución a). Fotorrestitución inicial b). Fotorrestitución posterior a reconocimiento en campo. Fuente: Ortofoto Geospatial 2017

#### 5.3.1.11 Complementación de ficha de reconocimiento predial

La ficha predial se compone de datos que se calculan luego del reconocimiento de campo, estos corresponden a datos básicos de localización (coordenadas) e información general del predio (área del terreno y de las construcciones), adicionalmente es posible verificar la clasificación de las vías de acceso con base en las notas de campo y las fotografías.

#### 5.3.1.12 Estructuración de información e incorporación a Bases de Datos Geográficas

Comprende la digitación de los datos registrados en las fichas prediales y la construcción de la base de datos alfanumérica en Excel, posterior a la consolidación de todos los datos de campo se realiza la integración a la Base de Datos Geográfica a través del atributo **ID\_CARTOGRÁFICO** el cual es la llave primaria que identifica de forma única cada unidad predial.

#### 5.3.1.13 Elaboración de mapas y cálculo de estadísticas básicas.

A partir de la Base de Datos Geográfica, se realizan los mapas temáticos necesarios para el análisis predial, se contemplan mapas de pendientes, actividad económica de los inmuebles, vías de acceso, servicios públicos, entre otros, así como estadísticas básicas necesarias para el análisis de resultados.

### 5.3.2 Caracterización Socio-cultural

En términos generales, la metodología empleada sigue los lineamientos conceptuales y metodológicos del documento del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IavH) sobre la valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Rincón-Ruiz et al. 2014). Este acercamiento plantea una forma de caracterizar los sistemas socioecológicos dando así herramientas e insumos importantes para la toma de decisiones.

En este orden de ideas, el objetivo principal es caracterizar el sistema socioecológico de la ronda hídrica del río Mulato, a través de tres elementos: 1) Recopilación de la historia socioambiental a partir

de la conformación de los asentamientos humanos en esta zona y los cambios percibidos en el territorio desde la experiencia de sus pobladores. 2) Identificación y caracterización de servicios ecosistémicos percibidos bajo la valoración de los actores locales, 3) Identificación de los actores sociales de acuerdo al uso y acceso de los servicios ecosistémicos.

Este primer ejercicio de caracterización permite generar dos ejes de análisis esenciales en la discusión para la determinación de áreas homogéneas y medidas de manejo: 1) identificación de conflictos socioambientales asociados con la gestión y gobernanza de la ronda hídrica del río Mulato y 2) sistemas sociales relacionados con ese territorio. Finalmente, el análisis social del paisaje que consiste en la representación espacial de cada uno de los resultados generados es un aspecto transversal de este estudio.

Ahora, retomando cada uno de los elementos o ejes temáticos propuestos en el marco de la caracterización de este sistema: en primer lugar, la recopilación de la historia socioambiental, también conocida como trayectoria socioecológica, permite comprender cómo estos espacios se han constituido a través del tiempo, cuáles han sido los principales cambios y transformaciones desde una perspectiva histórica. En efecto, se abordan los diversos procesos de ocupación del área de estudio; así como las percepciones y los usos que los habitantes de esta región le han dado al territorio habitado. La aprehensión de estos procesos permite generar además de un contexto, un marco de referencia para el entendimiento del estado actual de los recursos naturales y las relaciones establecidas entre ellos y las personas que han forjado sus vidas en un espacio determinado.

Para el segundo elemento de servicios ecosistémicos (SE), en las últimas décadas es de gran importancia la documentación de estos por la estrecha relación que ellos tienen con el bienestar de la población en temas de salud, vivienda y supervivencia. Así, en el encuentro Millenium Ecosystem Assesment -MEA- (2005) a nivel internacional se definen los SE como “los beneficios a la sociedad derivados de la naturaleza”; bajo esta mirada se entiende que los sistemas sociales y ecológicos están íntimamente relacionados entre sí y por tal razón el concepto de SE ofrece una forma integral de entender las dinámicas e identificar los factores claves en el territorio, así como el valor que tienen los ecosistemas para la población (de Groot, 2002; Rincón-Ruiz *et al.* 2014). En Colombia este enfoque se ha materializado en la Política Nacional de la Gestión Integral de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos -PNGIBSE- y la respectiva guía de Valoración Integral de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos generada por el Instituto Alexander von Humboldt -IAvH- (Rincón-Ruiz *et al.* 2014); ambos documentos se basan en los aportes de autores como de Groot y colaboradores (2012) para la definición y categorización de los SE.

La discusión entorno a la definición y categorización de los SE ha girado sobre la clase de enfoque para su valoración, entre las cuales están la valoración ecológica, sociocultural y económica. En este estudio la aproximación a los sistemas socioecológicos va más allá de los criterios estrictamente biofísicos de la valoración ecológica o de la cuantificación monetaria de la valoración económica, y se centra en la importancia de los aspectos socioculturales a través de la valoración sociocultural, la cual se entiende como la identificación y percepción que hacen los actores sociales sobre los servicios ecosistémicos en sus territorios. Esta aproximación teórica se destaca por el reconocimiento del territorio como un sistema complejo adaptativo constituido por la integración del ser humano en la naturaleza, modificándose uno a otro por medio de retroalimentaciones entre el ecosistema, las



poblaciones y la tecnología, el conocimiento local y las instituciones (Berkes *et al.* 1998; Rincón-Ruiz *et al.* 2014).

Bajo esta aproximación de los SE, el análisis de los diferentes actores sociales en un determinado territorio tiene un enfoque orientado hacia ellos (Actor Oriented Approach), ya que es a partir de la valoración de los servicios ecosistémicos que hacen los actores sociales, tanto formales como informales, con diferentes lenguajes y puntos de vista, que se puede identificar cuáles son los beneficiarios de los servicios ecosistémicos que ofrece un ecosistema; de cómo se habitan y usan estos espacios. De este modo, se reconoce el rol de la acción humana sobre su entorno, tratando de comprender desde los puntos de vista de los actores, los diferentes usos y manejos relacionados con los servicios ecosistémicos.

De los diferentes usos del territorio, aquellos situados en un marco de gobernanza son importantes para nuestro análisis dado que las acciones sobre los ecosistemas implican modificaciones y transformaciones, y éstas se dan en contextos normativos y de gobernanza de diferentes escalas: constitucional, legal, resolución de conflictos, consulta pública y otros procesos de toma de decisión.

El análisis parte de la clasificación de los actores sociales de acuerdo a los diferentes niveles de gobernanza y gestión del territorio y sus servicios ecosistémicos. Luego se centra en el complejo conjunto de relaciones entre el ambiente social y natural que se da en un contexto histórico y geográfico definido, como lo es el acotamiento de la ronda hídrica del río Mulato. De este modo, se indaga sobre las diferentes formas de uso del espacio y paisaje, del contexto en que los actores se relacionan con otros actores.

Para el desarrollo de los ejes temáticos anteriormente descritos, se emplean las siguientes herramientas metodológicas.

El trabajo de campo fue diseñado a partir de varias herramientas metodológicas para acercarse de manera integral a la recopilación de la historia Socio-ambiental, la caracterización de los servicios ecosistémicos, análisis de actores, conflictos socioambientales y sistemas sociales. Estas herramientas incluyen las siguientes actividades: 1) revisión documental, 2) salidas de reconocimiento, 3) análisis de transecto con la participación de actores clave, 4) talleres de cartografía social, 5) entrevistas semiestructuradas y conversatorios (diálogos) abiertos desde un enfoque cualitativo y 6) aplicación de encuestas como método cuantitativo, para así recolectar y generar información desde diferentes fuentes y perspectivas que permitieron la triangulación de la información. A continuación se describen brevemente cada una de las anteriores herramientas:

**a. Revisión documental:** Consiste en la búsqueda de información secundaria sobre aspectos poblacionales, como datos censales, dinámicas poblacionales de urbanización, acceso a servicios públicos, jurisdicciones territoriales en bases de datos o bibliográficos de instituciones públicas y privadas; aspectos sociales y culturales de las poblaciones asentadas en la ronda hídrica. La búsqueda incluye una revisión de las políticas en materia ambiental sobre las rondas hídricas, referencia de estos espacios en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Planes de Desarrollo Municipales (PDM).

**b. Salidas de reconocimiento:** Se hacen recorridos por el área o polígono de estudio, identificando la zona urbana, de expansión urbana y rural, los límites de los barrios y veredas, reconociendo el tipo de asentamiento en la ronda hídrica, así como el uso de servicios ecosistémicos y los diferentes beneficiarios o actores clave.

**c. Análisis de transecto y observación participante:** Se desarrolla en compañía de conocedores locales del territorio, como actores claves sugeridos mediante el método “bola de nieve”. A partir de preguntas orientadoras, se indaga con los conocedores sobre aspectos puntuales del territorio: límites territoriales, usos actuales y pasados del suelo, cambios en los usos, conflictos percibidos, gestión de las autoridades ambientales y municipales, modos de aprovechamiento y beneficios percibidos de los ecosistemas y el paisaje. Se toman puntos de georreferenciación espacial de algunos de los anteriores aspectos (Spradley, 1980).

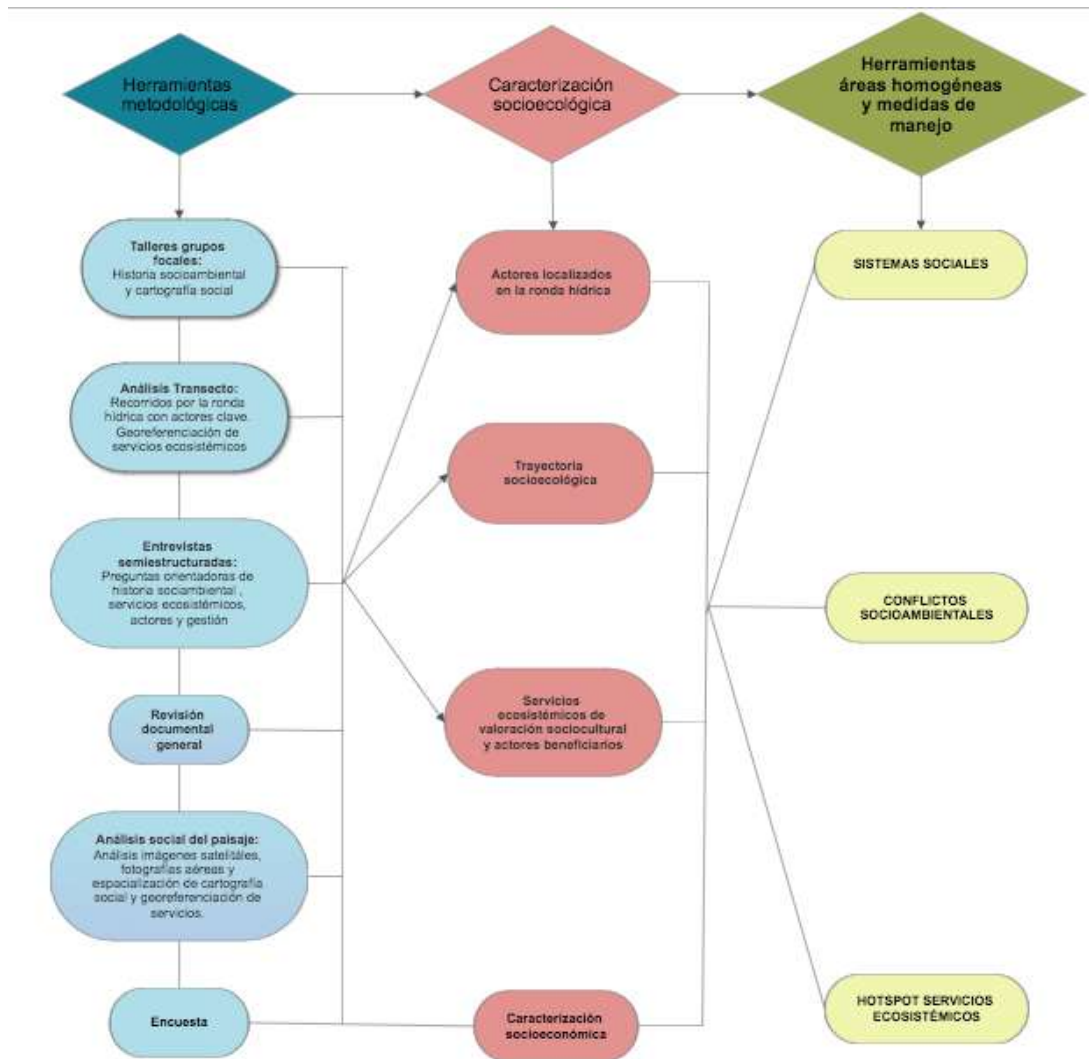
**d. Talleres de cartografía:** Es una actividad que se desarrolla con la participación de los conocedores que acompañaron las salidas de reconocimiento, donde se representan espacialmente aspectos relacionados con el territorio en mapas cartográficos base; se desarrollan preguntas para la identificación de servicios ecosistémicos y dinámicas entre actores y usos del espacio. (Diez et al. 2014; Andrade, 1998).

**e. Entrevistas:** son de tipo semi-estructurado, donde se aborda con actores sociales diferentes temas relacionados con el territorio. La entrevista es orientada por una serie de preguntas previamente establecida que indaga sobre las relaciones entre actores, tanto formales como informales, usos actuales y pasados del espacio, problemáticas asociadas a los usos y a la gestión de los recursos naturales del territorio.

**f. Encuestas:** esta herramienta se enfocó en la recolección de información primaria relacionada con la composición poblacional de este sector, las principales actividades económicas desarrolladas por los miembros del hogar, el uso de los recursos que brinda el río y sus riberas, las percepciones sobre este curso de agua y las principales problemáticas que perciben, entre otros aspectos. La determinación del número de personas encuestadas fue realizada bajo el modelo de muestreo aleatorio simple, basado en el número de socios inscritos que aportaron las Juntas de Acción Comunal y el levantamiento de información en campo (véase **Anexo 8** Análisis descriptivo río Mulato).

#### 5.4 Fase 4: Definición de Áreas Homogéneas y Medidas de Manejo Ambiental

Esta propuesta de manejo ambiental a través del análisis multidisciplinario de todo el equipo técnico del Convenio 588/2016, integra los criterios de definición de las áreas homogéneas que comprenden características fisicobióticas y socioculturales convergentes. De forma específica, incluye para su identificación los siguientes criterios: nivel de transformación de las unidades ecosistémicas, la delimitación de los ecosistemas acuáticos de importancia, los sistemas sociales y las áreas de riesgo. Como resultado se obtuvieron tres áreas homogéneas: ecosistema acuático, mosaico y tejido urbano.



**Figura 56.** Esquema metodológico equipo social. Caracterización socio-cultural y aporte a áreas homogéneas y medidas de manejo en el corto, mediano y largo plazo.

Seguido a esta delimitación, se describió el contexto de cada una de estas áreas en relación a las zonas de manejo especial identificadas como es el caso del resguardo indígena Inga - Mocoa, los conflictos socioambientales y los servicios ecosistémicos priorizados que permiten, el diseño de medidas de manejo definiendo líneas de acción a corto (4 años), mediano (12-15 años) y largo plazo (+ 20 años).

Esta propuesta es la proyección de un escenario para el manejo y la gestión de la ronda hídrica, enfocada como un área de protección, conservación y uso sostenible. Este escenario se establece bajo la visión de sistemas socioecológicos que entienden al sistema social y ecológico como uno solo. De hecho, están estrechamente relacionados, integrando a la dimensión humana como parte de la naturaleza y de su manejo (Berkes & Folke 1998).

ENCUENTRO

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Fase 1: Determinación del Cauce Permanente

#### 6.1.1 Análisis Multitemporal



**Figura 57.** Imágenes históricas del río Mulato.

Fuente: IGAC (1962, 1972, 1983, 2006), Google Earth (2001), Geospatial (2017).

Para la cuenca del río Mulato y específicamente para lo que actualmente se considera zona urbana y de expansión de la ciudad de Mocoa se cuenta con fotografías aéreas pancromáticas obtenidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), de los años 1962, 1972, 1983 y 2006, siendo de mayor resolución espacial las del año 2006 representadas a una escala 1:10.960, mientras que las primeras son de menor escala (<1:15.000), por lo tanto puede llevar a tener mayor error al realizar la interpretación visual. También se cuenta con la imagen satelital disponible de Google Earth del año 2001 y dos ortofotografías de resolución espacial de 20cm obtenidas por la empresa GeoSpatial en el año 2017 para los meses de febrero y abril, teniendo cobertura reciente del terreno para antes y después del desastre y, en general, un cubrimiento temporal de 55 años con lo cual se obtiene una buena aproximación de la evolución del río en este tiempo (**Figura 57**).

Con la interpretación visual realizada (**Figura 58**), se pudo observar que entre los años 1962 y 1972 comenzó la formación de un canal secundario del río Mulato que corría paralelo al canal principal recostado al sur del valle, a la altura de los actuales límites entre la zona urbana y la vereda El Líbano, configurando un patrón multicanal y que el río tenía una mayor longitud al desembocar cerca de 40m más al este de donde actualmente finaliza su recorrido en el río Mocoa y donde también tenía su mayor ancho de cauce. Para el año 1983 se puede observar que el tramo multicanal se encuentra

mejor desarrollado teniendo sus dos brazos configurados como canales principales distribuyendo de manera equitativa el caudal del río.

Para el año 2001 se ve que el brazo norte del tramo multicanal se encuentra casi abandonado y el brazo sur se convierte en el canal principal. También es evidente la socavación lateral que ha desarrollado el río en los tramos convexos del mismo en algunos sectores y que el río Mocoa amplió su cauce generando un acortamiento de la longitud total del río Mulato. Para el año 2006 se puede observar un solo patrón de río recto a lo largo de toda el área de estudio con un desarrollo de bosque de galería estable en los taludes marginales del cauce, pero el cauce se ha ampliado en algunos sectores como 250m arriba del cruce del puente José Homero, debido posiblemente al incremento de vertederos domiciliarios que desembocan en el río y que aumentan su caudal en una distancia muy corta. Finalmente en las imágenes del año 2017 se puede ver el contraste del estado estable del cauce antes del evento y un estado inestable después de la avenida torrencial donde el río recuperó su brazo abandonado en el tramo multicanal referido y donde se dio un proceso de erosión y socavación intenso que amplió el cauce en muchos sectores, pero se mantuvo fijo en otros donde se encuentra más encañonado.

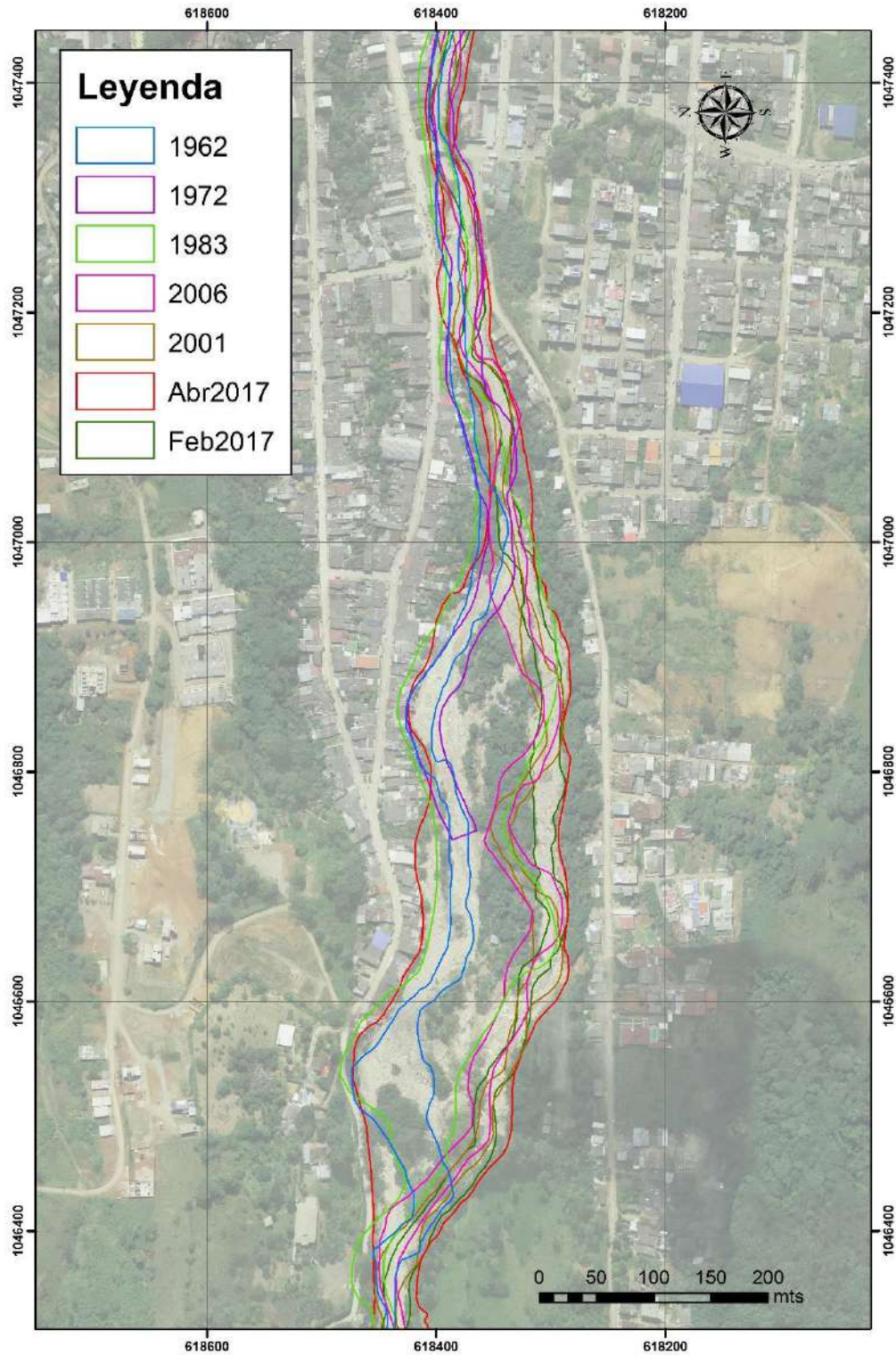


Figura 58. Interpretación visual del cauce histórico del río Mulato. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

### 6.1.2 Delimitación del Cauce Permanente

Para el caso del río Mulato, el cauce permanente está definido por el espacio ocupado por las vaguadas más los depósitos de barras y sedimentos, que en crecidas normales anuales y atípicas para un tiempo de retorno de 2,33 años aproximadamente (MADS, 2017), representan un solo curso de agua sin superar el ancho de banca llena, en cuyo caso ocurre un desbordamiento, y donde existe un rasgo geomorfológico evidente que separa los paisajes modelados por la acción del flujo de agua y de sedimentos. Como se pudo observar en las fotografías aéreas históricas y las imágenes satelitales, el cauce está determinado por alcance espacial lateral del río y de sus depósitos. Con ayuda del análisis multitemporal (en el cual se escogieron las áreas con mayor frecuencia de ocupación del canal), reconocimiento de campo y con la modelación hidráulica con caudales de períodos de retorno de 20 y 100 años se pudo delimitar el cauce permanente para este tipo de río el cual tiene un comportamiento de río recto de montaña con poca migración lateral pero con alta capacidad de modificar su cauce de acuerdo a eventos torrenciales como el ocurrido el 31 de marzo y 1 de abril de 2017. Los rasgos morfológicos como los taludes y el ancho del canal mayor fueron altamente modificados por la intensa erosión, pero las condiciones anteriores fueron recuperadas parcialmente por intervención de los comités de gestión del riesgo quienes dragaron y configuraron un dique artificial poco compacto con el material dragado. Estas condiciones se consideran temporales, pues la dinámica natural del río con crecidas anuales termina por recuperar la movilidad de su curso, como pasó en el caso de la zona frente al barrio Miraflores donde, como se observa en las fotografías históricas entre 1962 y 1972, el cauce presenta un patrón multicanal por desarrollo de una avulsión del río, y nuevamente en la fotografía de éste año se observa una recuperación del flujo por esta zona. Así mismo los procesos de socavación lateral de riberas, procesos de sedimentación, procesos de migración lateral y sumado a las intervenciones antrópicas, modifican constantemente la geometría hidráulica del cauce y por ende la dinámica misma del ecosistema.



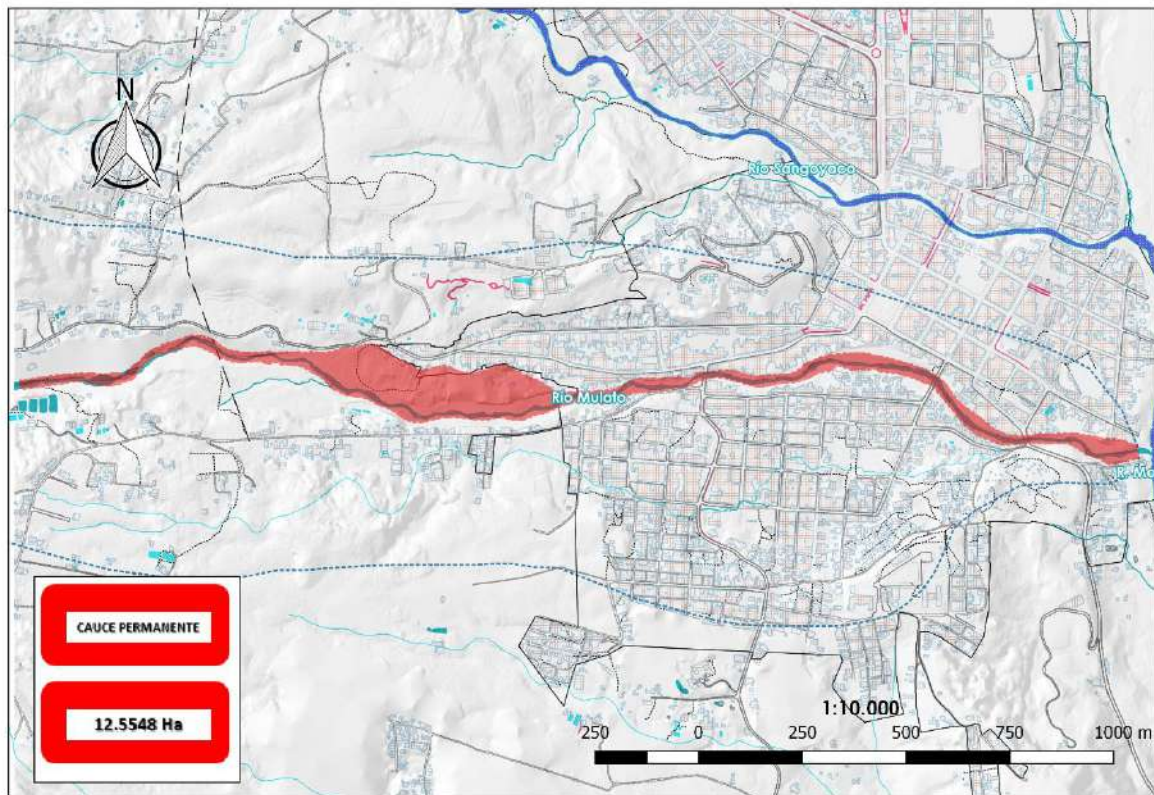


Figura 59. Cauce permanente del río Mulato.

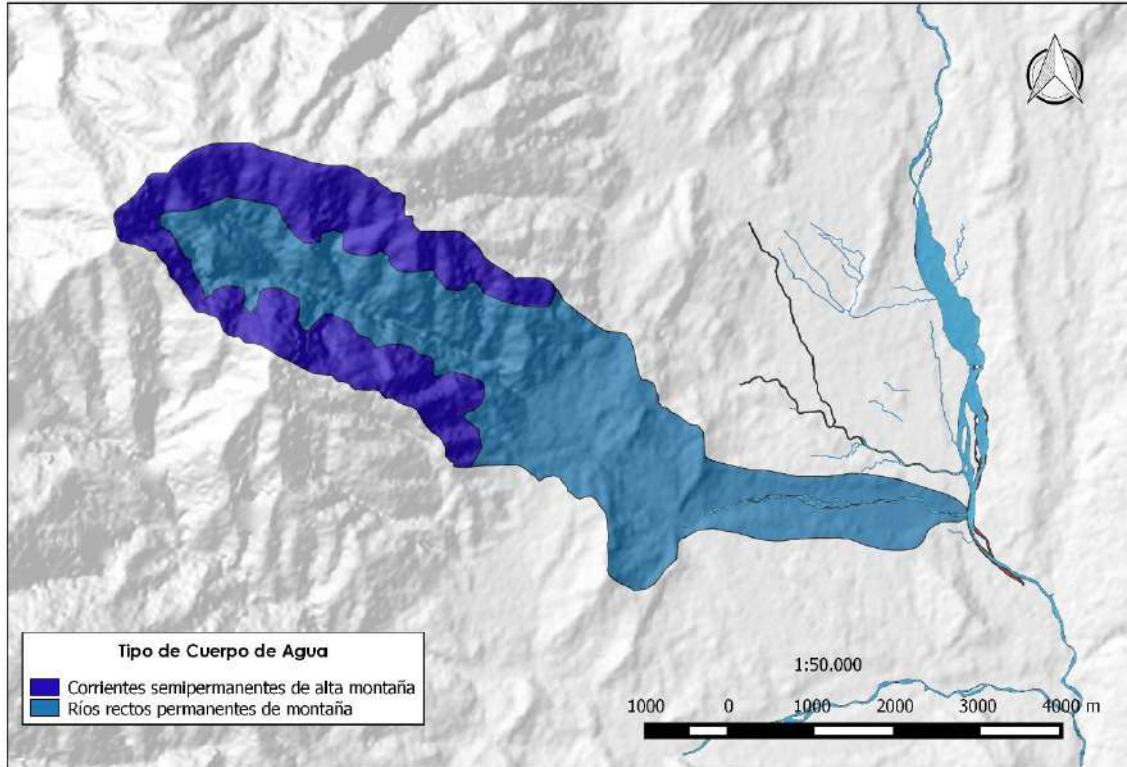
## 6.2 Fase 2: Caracterización físico-biótica para la definición del límite funcional

### 6.2.1 Componente Geomorfológico

El análisis geomorfológico que se realizó dentro del límite de trabajo definido en la primera etapa del estudio comprende la clasificación del sistema hídrico por tipo de curso de agua y por morfología, además del análisis de tres componentes principales: 1) morfometría, 2) morfogénesis y 3) morfodinámica. A partir de éstos, fue posible finalmente obtener la delimitación del componente geomorfológico de la ronda y cada uno de ellos se describe a continuación.

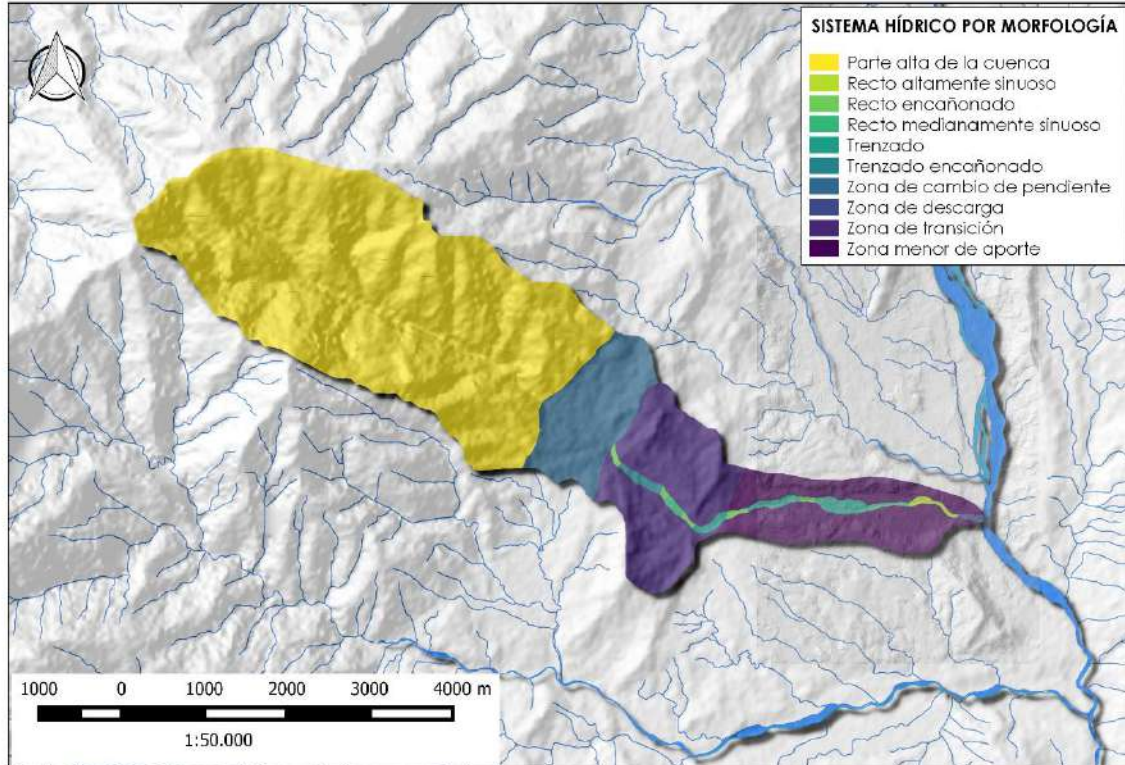
#### 6.2.1.1 Clasificación del sistema hídrico

La clasificación del Sistema del río Mulato se llevó a cabo a partir del análisis de las características observadas en las imágenes históricas y corroboradas directamente en campo.



**Figura 60.** Sistema hídrico por tipo de curso de agua.

La primera clasificación corresponde al tipo de curso de agua, en donde es claro que el sistema hídrico del río Mulato corresponde a un sistema lótico (aguas corrientes) con flujo natural inducido por gravedad, donde la cuenca alta posee cauces con régimen de flujo intermitente en zonas de alta pendiente cercanas a las divisorias mayores (**Figura 60**), donde el flujo de agua se da como respuesta directa a la precipitación, pero que el resto de tributarios y en la confluencia de estas corrientes intermitentes se da una corriente perenne o permanente, la cual también se alimenta gracias a la intersección del nivel freático con las laderas altas y no es interrumpida en ningún momento del año.



**Figura 61.** Sistema hídrico clasificado por morfología.

La segunda clasificación del sistema hídrico corresponde al tipo de morfología (**Figura 61**), llegando a la división de corrientes por tramo. Para el caso del río Mulato se tiene la parte alta de la cuenca que ocupa un poco menos de la mitad del área total de la cuenca con ríos y quebradas tributarias, que se comportan como corrientes rectas de alta montaña. Posteriormente al llegar al área donde afloran las rocas paleógenas, el sistema hídrico pasa a una zona de cambio de pendiente donde los procesos dominantes corresponden principalmente a procesos de depósito de carga de sedimentos. Luego se tienen alternancia de tramos entre rectos encañonados, rectos altamente sinuosos y trenzados, donde respectivamente aumentan los procesos de erosión, socavación y al mismo sedimentación, y va disminuyendo la incisión y el transporte. Finalmente el último tramo es una zona recta amplia donde se da principalmente transporte y descarga de material al río Mocoa y depósito de manera secundaria u ocasional.

#### 6.2.1.2 Morfometría

La cuenca del río Mulato es una cuenca de valle intramontano con rasgos de trazos rectilíneos, baja sinuosidad y con abundante carga sólida, lo que determina que es un río con una capacidad erosiva alta y que su comportamiento es torrencial en época de lluvias. Los parámetros morfométricos de cuenca (lineales, de forma y de relieve), fueron medidos a partir del Modelo de Elevación Digital de resolución 12,5m de la misión ALOS (Advanced Land Observation Satellite), y la delimitación de la microcuenca y el drenaje utilizados fueron los definidos formalmente por CORPOAMAZONIA. Los

resultados se muestran en la **Tabla 13**, y al final los parámetros serán comparados según la tabla de clasificación propuesta por Rosgen (1994).

**Tabla 13.** Parámetros morfométricos de la cuenca del río Mulato

Parámetros morfométricos	Valor
A	17,6488km <sup>2</sup>
P	26,2254km
Lx	10,87km
Ap	1,624km
Amáx	2,457km
Lc	12,862km
Ff	0,107
Kc	1,7479
U	5
Dd	2,98
S	1,08

- Área de la cuenca (A): Medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la división topográfica, es un factor que determina el tiempo que tardará una crecida en pasar por un punto específico, pues entre más grande sea, más tiempo tomará en atravesar la cuenca.
- Perímetro de la cuenca (P): Medida de la longitud total de la línea divisoria de aguas.
- Longitud Axial (Eje de la cuenca-Lx): Medida en línea recta de la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano aguas arriba de la cuenca.
- Ancho promedio de la cuenca (Ap): Cociente entre el área y la longitud axial de la cuenca.
- Ancho máximo de la cuenca (Amáx): Medida de la distancia máxima entre divisoria de aguas a lo largo de su eje menor (perpendicular a la dirección de corriente).
- Longitud del canal principal (Lc): Distancia total recorrida por el canal desde su nacimiento hasta la desembocadura.
- Factor de forma (Ff): Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (Ap) y la longitud de su cauce principal (Lc). Su resultado permite evaluar la elongación de una cuenca de drenaje.

Considerando que ésta medida tiende al valor de 1 cuando la cuenca es perfectamente cuadrada o circular, el resultado muestra que la forma de la cuenca es bastante alargada y muy poco achatada, lo cual en teoría se traduce en poca probabilidad de lluvias intensas simultáneas y a la vez un tiempo de concentración mayor.

- Coeficiente de compacidad ( $K_c$ ): Definido inicialmente como índice de Gravelius, es el resultado de la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca.

El resultado se aproxima al límite para definir la forma de la cuenca como rectangular oblonga, lo que se traduce en un mayor tiempo de concentración y llegada de crecidas a lo largo del cauce principal.

- Número de orden ( $U$ ): El número de orden hace referencia al orden jerárquico mayor que alcanza el cauce principal a partir de la subdivisión propuesta por Strahler. Se le asignan valores numéricos a los órdenes de la siguiente manera:

-A los cursos que son las nacientes de la red se les asigna el valor 1.

- La conjunción de dos cauces de orden 1, implica que la red de drenaje aumenta de magnitud por lo que a partir del lugar de confluencia se le asigna el valor 2.

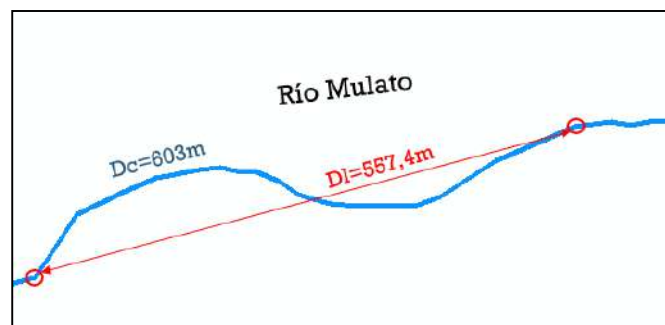
-El lugar de encuentro entre dos cauces de orden 2 implica que la magnitud de la red de drenaje vuelve a ascender por lo que el valor numérico correspondiente a partir de allí es 3.

Así se procede hasta finalizar con la jerarquización de la red de drenaje. El encuentro de un curso de orden inferior con otro de magnitud superior no significa cambio de orden de magnitud en la red de drenaje. Por ejemplo la confluencia de un curso de orden 1 con otro de orden 3 no varía la magnitud. La misma continúa siendo de 3. Sólo aumenta si se produce la confluencia entre dos cursos de agua de idéntica magnitud. El curso de agua cuyo cauce alcanza la máxima magnitud dentro del área ocupada por la cuenca, es el río principal.

- Densidad de drenaje ( $D_d$ ): Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área total de ésta.

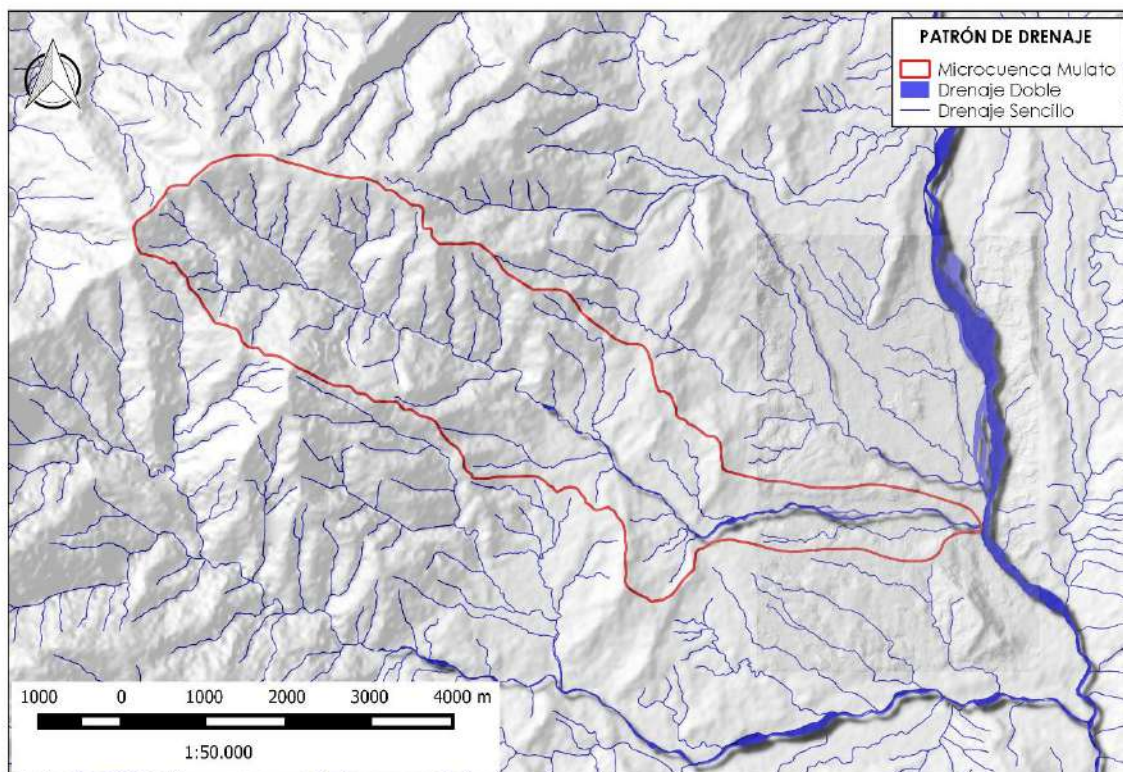
El resultado indica que es una cuenca bien drenada, por tanto existe una disección profunda que se ha desarrollado durante una larga evolución de la cuenca ayudada por un régimen de precipitaciones constantes en la zona.

- Sinuosidad ( $S$ ): Definida como el cociente entre la distancia real (trayectoria), entre dos puntos diferentes de un cauce y la distancia lineal recta entre los mismos puntos. En este caso fue medido a partir de un tramo del río donde presenta mayor variación lateral (**Figura 62**). El resultado indica que el río Mulato tiene una sinuosidad muy baja (cerca a 1), por lo cual se clasifica como un drenaje rectilíneo.



**Figura 62.** Cálculo de la sinuosidad del río Mulato.

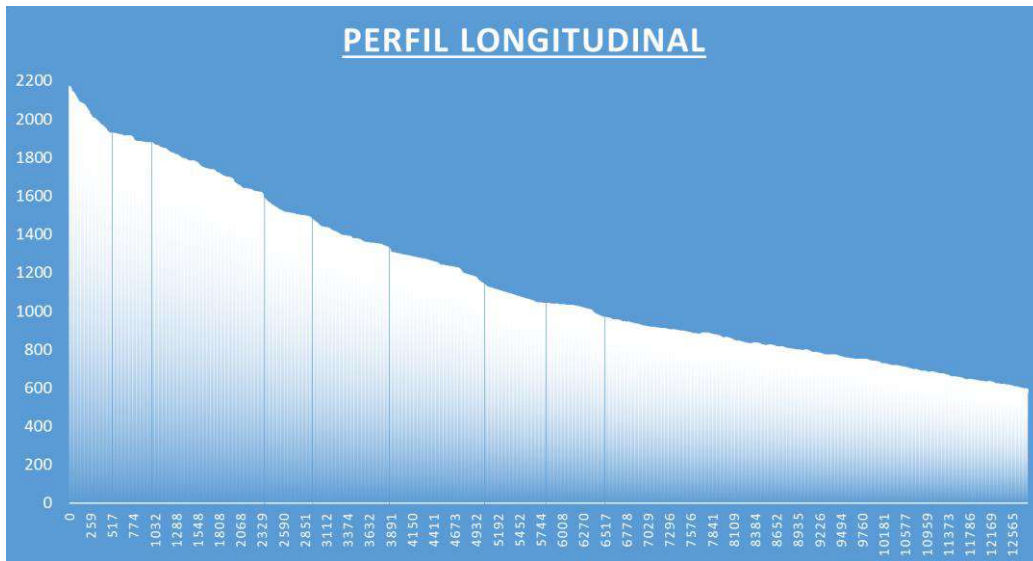
- Patrón de drenaje: Los patrones de drenaje fueron definidos inicialmente utilizando el trabajo de Howard (1967), quien establece cómo es la relación que existe entre la forma (patrón, densidad y textura), de un drenaje de una cuenca determinada con la superficie y los materiales geológicos sobre los cuales circula. Para el caso del río Mulato (**Figura 63**), éste tiene un patrón de drenaje subdendrítico a enrejado en el área donde circula sobre las rocas ígneas de la Monzodiorita de Mocoa, lo cual indica que éstas rocas han sido altamente meteorizadas y disectadas y, que al mismo tiempo existe un fracturamiento intenso por lo cual el agua sigue la dirección predominante de éstas fracturas, por lo cual estas corrientes pueden ser categorizadas como “subsecuentes” según Johnson (1932). Después el agua circula sobre los materiales geológicos sedimentarios cortando su disposición estructural (buzamiento), en un patrón de drenaje subdendrítico a subparalelo en la parte terminal, lo que indica que sigue su cauce con la pendiente que trae desde la parte alta y disecta por una dirección preferencial debido a un lineamiento estructural. Este tipo de corriente en el último tramo puede considerarse como “consecuente” y “antecedente” (Johnson, 1932), conforme a la estructura monoclinal que atraviesa.



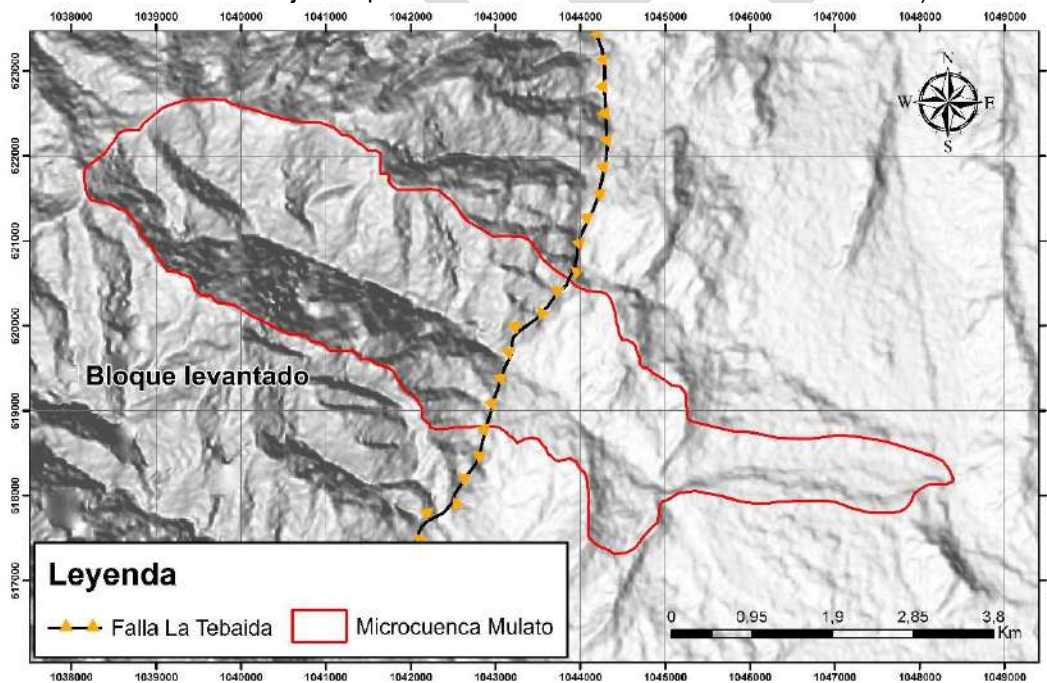
**Figura 63.** Patrón de drenaje del río Mulato sobre modelo de sombras.

- Perfil longitudinal del río: A partir del trazo del cauce principal del río Mulato, se extrajeron los valores de altura del Modelo Digital de Elevación lo que permitió visualizar el cambio de altura durante los diferentes tramos de su recorrido (**Figura 64**). La cota máxima de altura en la cuenca es de 2356m, mientras que la mínima (en la desembocadura), es de 582m, por lo cual en una longitud del cauce

principal de 12,6km se tiene una diferencia de altura de 1,77km. Esto tiene implicaciones en el análisis de pendientes que se hará más adelante.



**Figura 64.** Perfil longitudinal del cauce principal del río Mulato (El eje Y representa la altura, mientras el eje X representa la distancia horizontal recorrida del río).

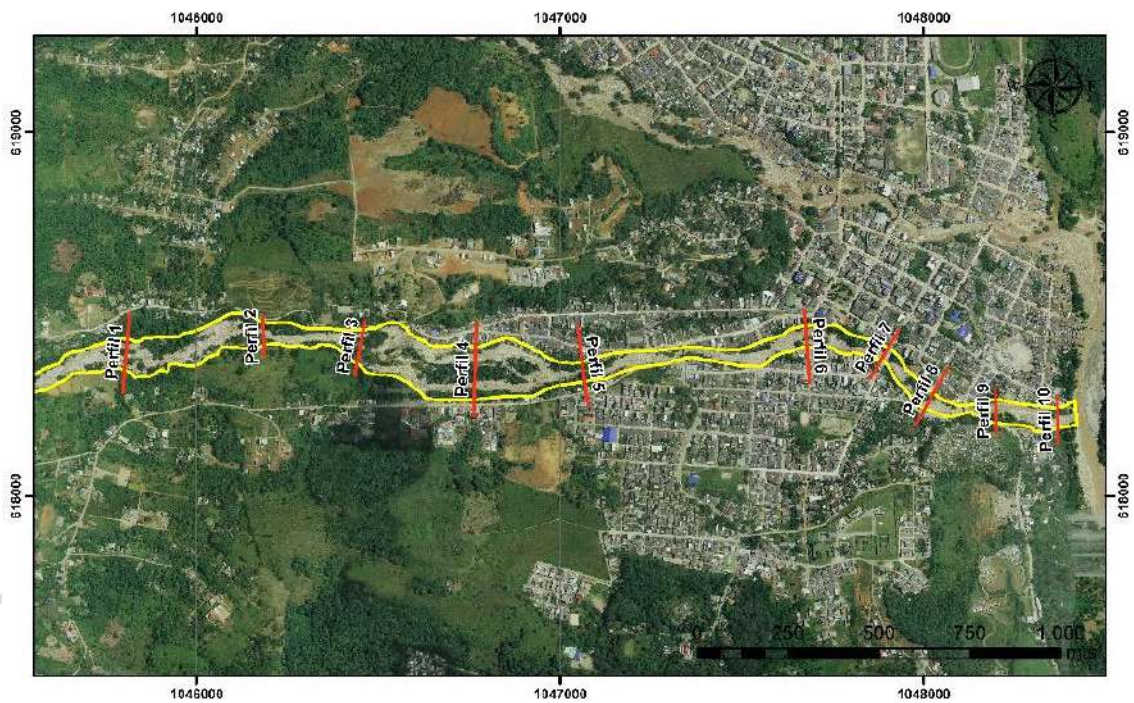


**Figura 65.** Contraste topográfico por el trazo de la falla La Tebaida.

En el perfil se hace evidente el cambio de pendientes que existe a lo largo de diferentes tramos, lo cual corresponde principalmente a la dinámica propia del río en un valle tan estrecho, donde se da un sistema de alternancia de pasos, rápidos, cascadas y pozos, que se relacionan con la geometría hidráulica del cauce. El cambio más importante se da a partir de la cota de 966m de altura, que coincide

exactamente con el trazo de la falla La Tebaida que separa el Monzogranito de Mocoa de las unidades terciarias, lo cual genera un contraste evidente en la topografía y en la textura del relieve en un modelo de sombras (**Figura 65**).

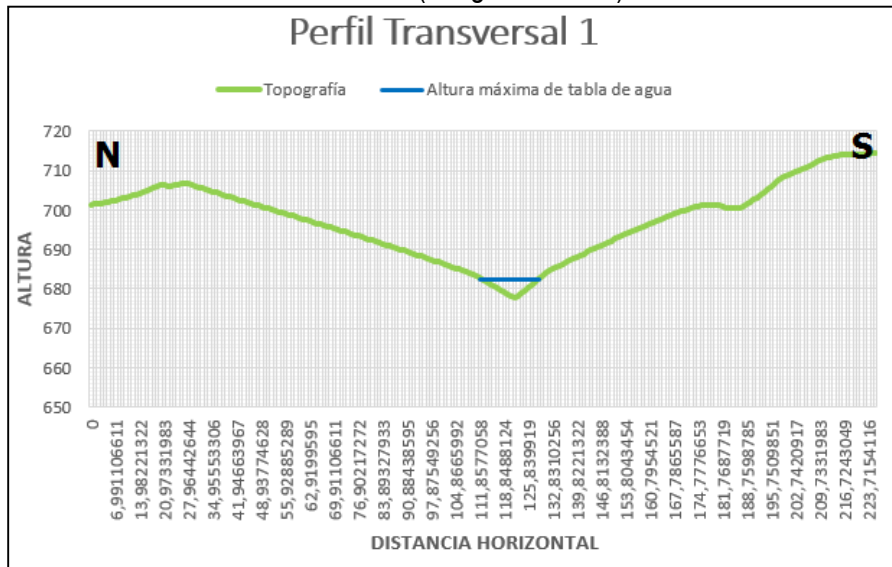
- Perfil transversal: Para entender la geometría hidráulica del cauce del río Mulato y poder delimitar el ancho a banca llena, se procedió a elaborar diferentes perfiles transversales en dirección norte-sur a lo largo de la zona urbana y de expansión de la ciudad, los cuales fueron elaborados a partir del levantamiento topográfico y batimétrico realizado en febrero de 2017 y que se muestran a continuación (**Figura 66**), ordenados según la cota de altura de mayor a menor (aguas abajo).



**Figura 66.** Ubicación de perfiles transversales. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

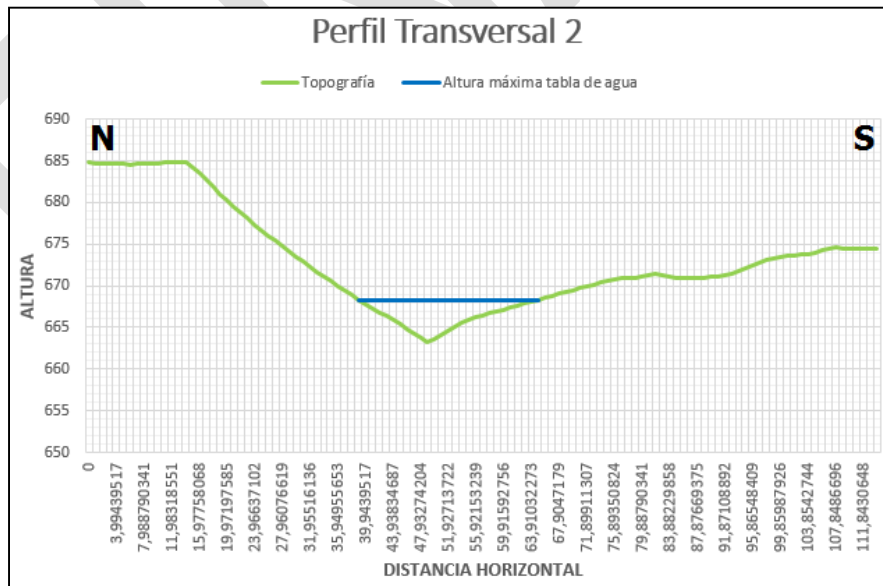


- Perfil 1: Banca llena entre E=1.045.809 N=618.342 (margen izquierda), y E=1.045.801 N=618.346 (margen derecha)



**Figura 67.** Perfil transversal 1.

- Perfil 2: Banca llena entre E=1.046.183 N=618.466 (margen izquierda), y E=1.046.185 N=618.416 (margen derecha).



**Figura 68.** Perfil transversal 2.

- Perfil 3: Banca llena entre E=1.046.458 N=618.456 (margen izquierda), y E=1.046.440 N=618.364 (margen derecha).

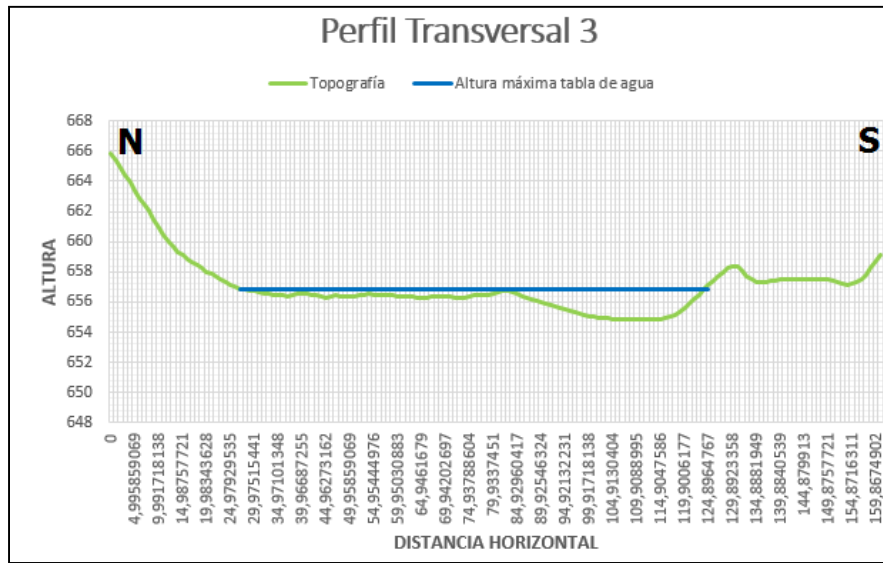


Figura 69. Perfil transversal 3.

➤ Perfil 4: Banca llena entre E=1.046.767 N=618.401 (margen izquierda), y E=1.046.763 N=618.272 (margen derecha).

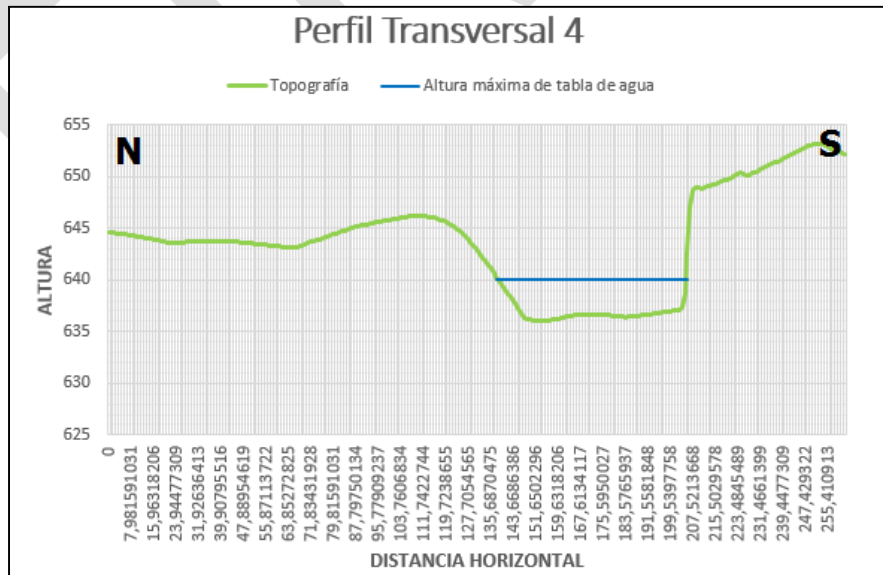
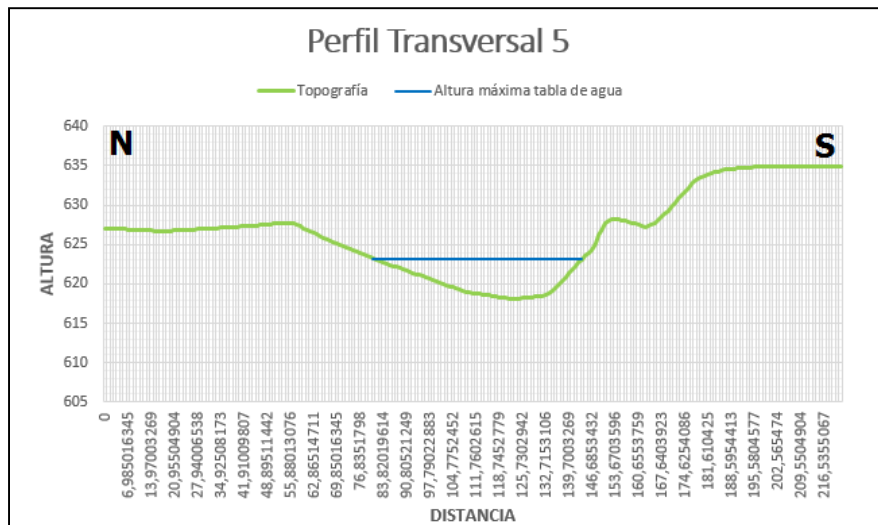


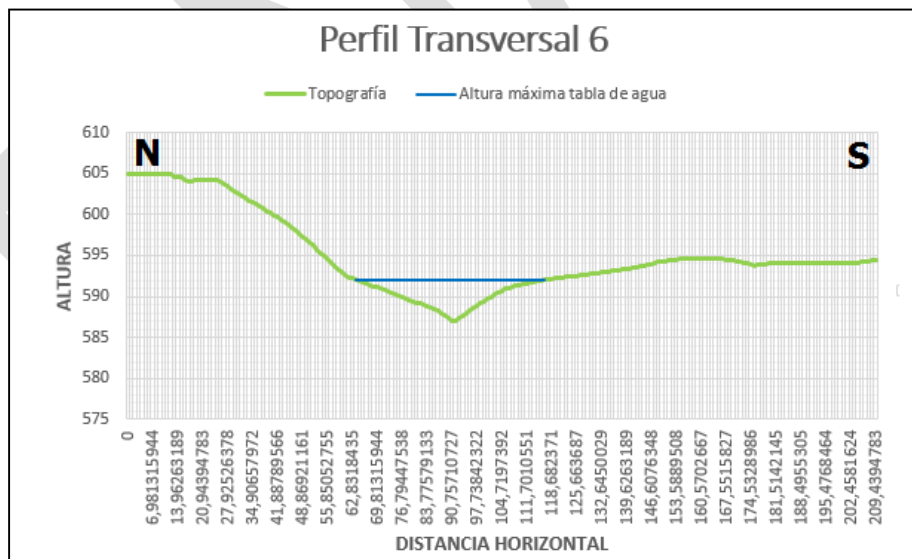
Figura 70. Perfil transversal 4.

➤ Perfil 5: Banca llena entre E=1.047.062 N=618.356 (margen izquierda), y E=1.047.065 N=618.331 (margen derecha).



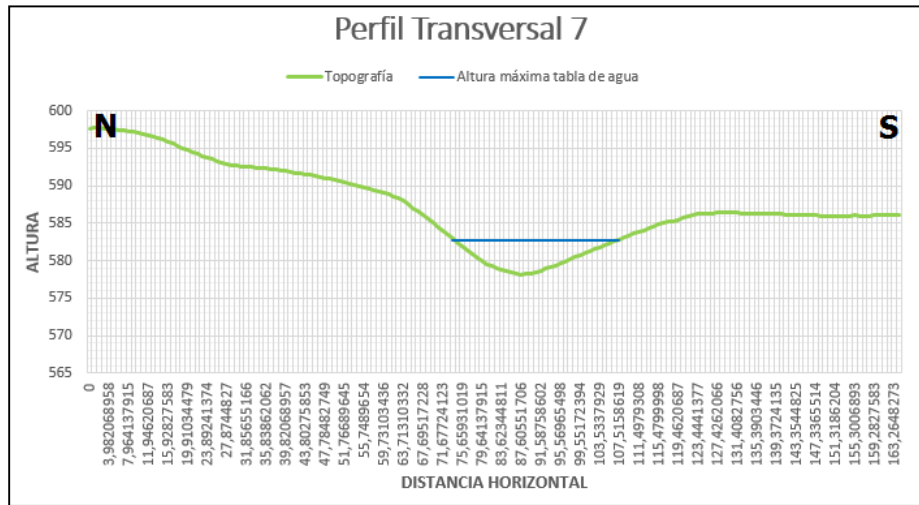
**Figura 71. Perfil transversal 5.**

➤ Perfil 6: Banca llena entre E=1.047.676 N=618.462 (margen izquierda), y E=1.047.679 N=618.413 (margen derecha).



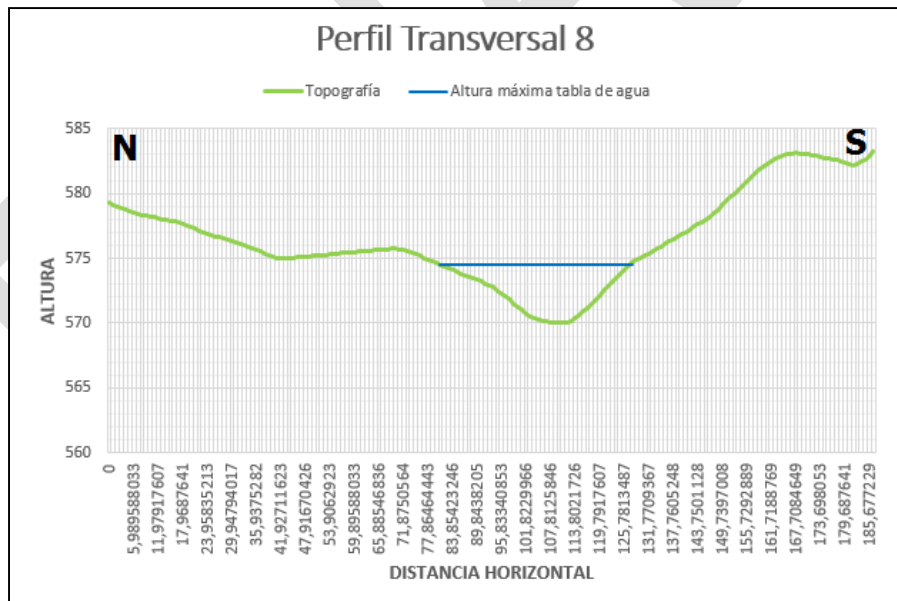
**Figura 72. Perfil transversal 6.**

➤ Perfil 7: Banca llena entre E=1.047.898 N=618.399 (margen izquierda), y E=1.047.884 N=618.376 (margen derecha).



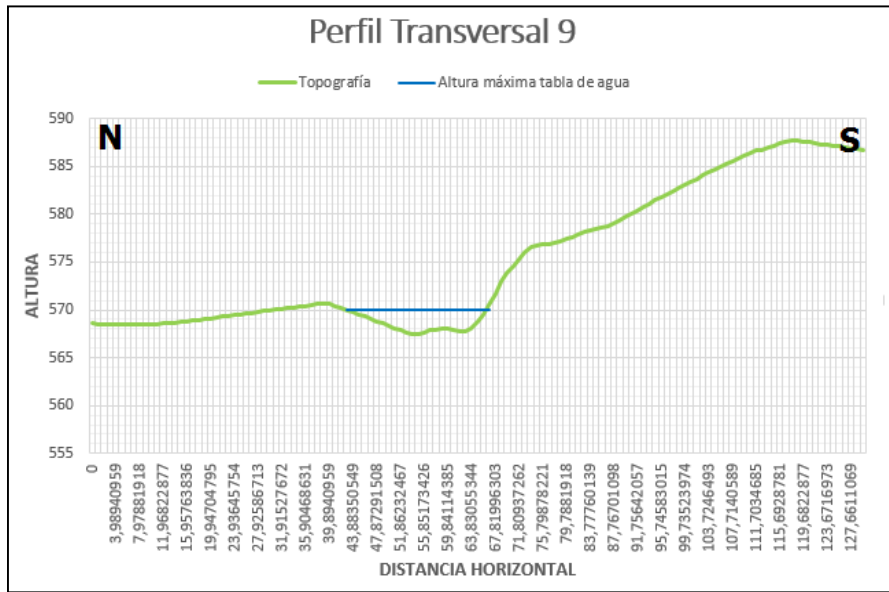
**Figura 73.** Perfil transversal 7.

- Perfil 8: Banca llena entre E=1.048.025 N=618.279 (margen izquierda), y E=1.048.004 N=618.240 (margen derecha).



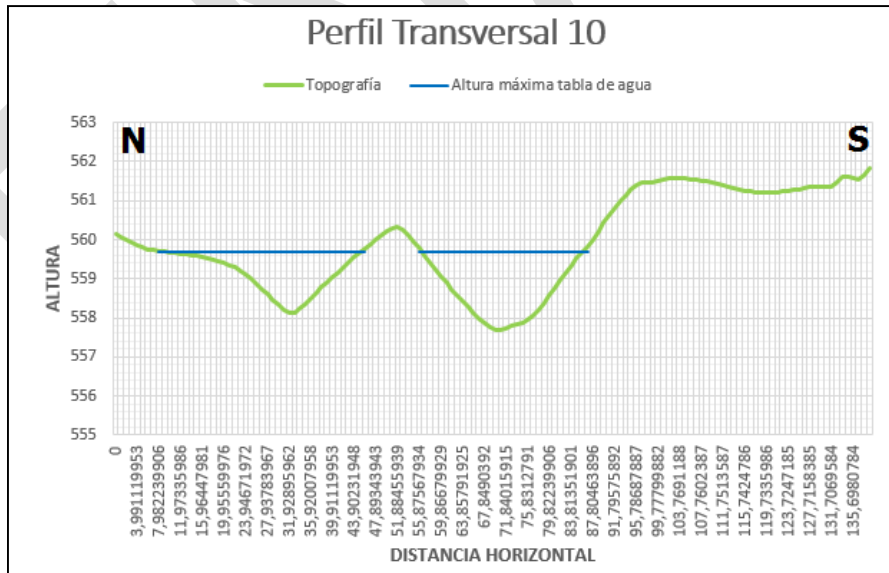
**Figura 74.** Perfil transversal 8.

- Perfil 9: Banca llena entre E=1.048.198 N=618.255 (margen izquierda), y E=1.048.199 N=618.231 (margen derecha).



**Figura 75. Perfil transversal 9.**

➤ Perfil 10: Banca llena entre E=1.048.368 N=618.231 (margen izquierda), y E=1.048.370 N=618.192 (margen derecha).



**Figura 76. Perfil transversal 10.**

De los anteriores perfiles se puede observar que en cada uno de ellos existe una geometría de cauce definido, donde los dos primeros reflejan un valle medianamente estrecho y profundo con forma de V bien definida. El ancho de banca llena para estos tramos estaba por el orden de los 30m, pero después del flujo de detritos del año 2017 la sección hidráulica se amplió por erosión de los taludes marginales configurando un ancho de banca llena entre los 65 y los 85m permitiendo una altura máxima de lámina de agua de aproximadamente 3,5m según las marcas observadas en campo.

observa una ampliación de cauce donde el ancho de banca llena antes de abril de 2017 correspondía a cerca de los 70m debido a la construcción de una obra hidráulica, específicamente un gavión de cerca de 3m de alto en el costado norte, que como se vio en el análisis multitemporal cambió el régimen de flujo de un patrón multicanal a un solo canal que corría por el costado sur de este tramo, pero que durante el flujo de detritos de 2017 fue destruido, con lo cual el río recuperó su canal norte y amplió el ancho de banca llena a cerca de 100m.

El perfil 4 también muestra un cauce donde el ancho de banca llena estaba por el orden de los 60m y una forma de valle encañonado amplio simétrico, pero que fue ajustado al igual que en el perfil 3 por la destrucción de obras hidráulicas aguas arriba dejando actualmente un ancho de banca llena de cerca de 130m donde la altura máxima de la lámina de agua es de 2m por encima de su nivel promedio. En el perfil 5 nuevamente se ve un valle estrecho asimétrico donde la vaguada (o parte más profunda del cauce) está recostada hacia la margen sur del canal y donde el ancho de banca llena es de alrededor de 50m permitiendo una altura máxima del nivel del agua de 3,4m.

En el perfil 6 se tiene una margen norte más empinada y una margen sur de poca altura, la cual puede ser superada en eventos de aumento de caudal intranuales fuertes donde la altura máxima para un ancho de banca llena de 55m es de alrededor de 3m. En el perfil 7 se tiene un valle profundo bastante estable controlado por obras hidráulicas asociadas a la construcción del puente José Homero, donde las marcas del evento registran una altura máxima del nivel del agua de 4,5m por encima de la base de los muros de concreto, configurando un ancho de banca llena de máximo de 36m. Para el perfil 8 se tiene un cauce con márgenes asimétricos donde nuevamente el talud de la margen sur tiene mayor pendiente, y donde el ancho de banca llena para un nivel máximo de agua de 4m de alto es de 45m.

En el perfil 9 se hace aún más evidente la asimetría del cauce causada por el levantamiento topográfico sobre el cual se encuentra construido el cementerio del barrio La Peña en la margen sur, y se tiene un ancho de banca llena de cerca de 60m para una altura máxima de nivel de agua de 2,8m sobre el nivel promedio. Finalmente en el perfil 10 se observa un levantamiento atípico en el medio correspondiente a una barra longitudinal en el medio de los dos canales principales que conforman el cauce, y que la altura máxima de la lámina de agua es de 2m en lo correspondiente al último tramo del río a la altura de los barrios San Agustín y La Peña, dando un ancho de banca llena de 55m, por lo cual es posible que en periodos de lluvias intensas ocurra un desborde del río afectando el barrio San Agustín principalmente.

- Pendientes: Uno de los parámetros más importantes a ser analizados es la pendiente del terreno, también obtenida a partir del procesamiento del MDT de 12,5m y del MDT construido a partir de la información recopilada y suministrada por la empresa GEOSPATIAL. A nivel general de cuenca (**Figura 77**), las pendientes predominantes en la zona de cabecera están por encima de 140%, por lo cual se clasifican como laderas muy empinadas según la clasificación de Ingeominas (Ver **Tabla 14**). Sin embargo, también hay presencia de laderas empinadas y extremadamente empinadas, que se encuentran dispersas a lo largo de toda la cabecera. El contraste entre la zona de cabecera y la zona de transición se puede observar en la **Figura 78** y se debe al trazo de la Falla de la Tebaida.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)

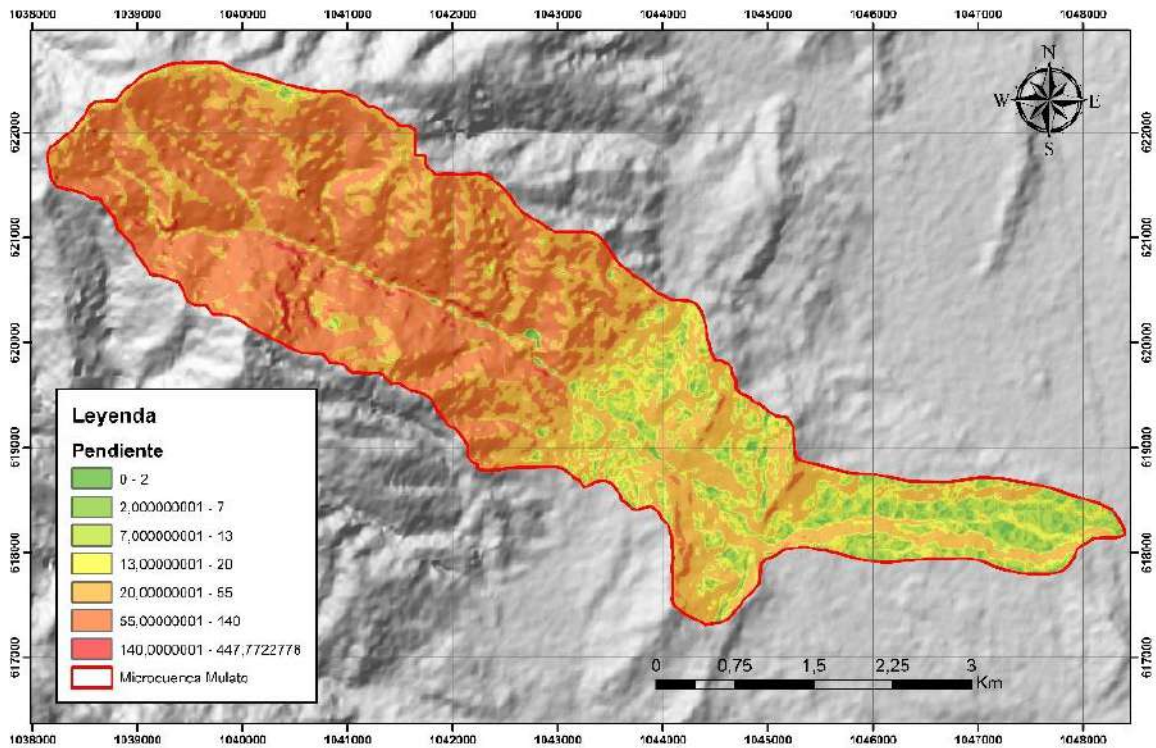
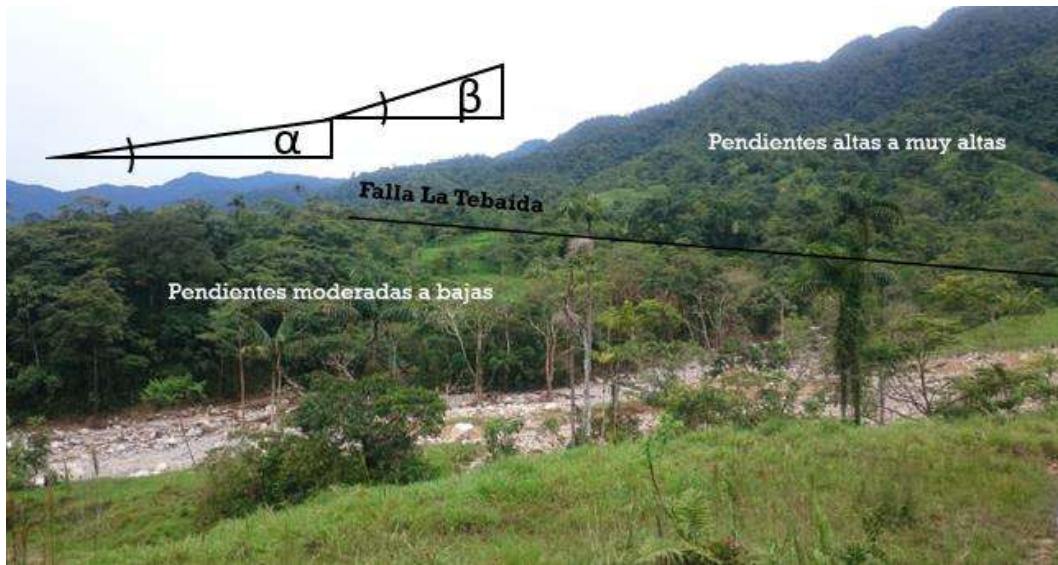


Figura 77. Mapa de pendientes para la cuenca del río Mulato.

Tabla 14. Clasificación del relieve por pendientes. Fuente: Carvajal, 2011.

Relieve	Pendientes
Plano o casi plano	0 - 2 %
Ondulado / Suavemente inclinado	3 - 7 %
Ondulado redondeado/ Inclinado	8 - 13 %
Colinado - redondeado / Moderadamente empinado	14 - 20 %
Colinado fuertemente disectado / Empinado	21 - 55 %
Fuertemente disectado -montañoso/ Muy empinado	56 - 140 %
Montañoso /Extremadamente empinado	> 140 %

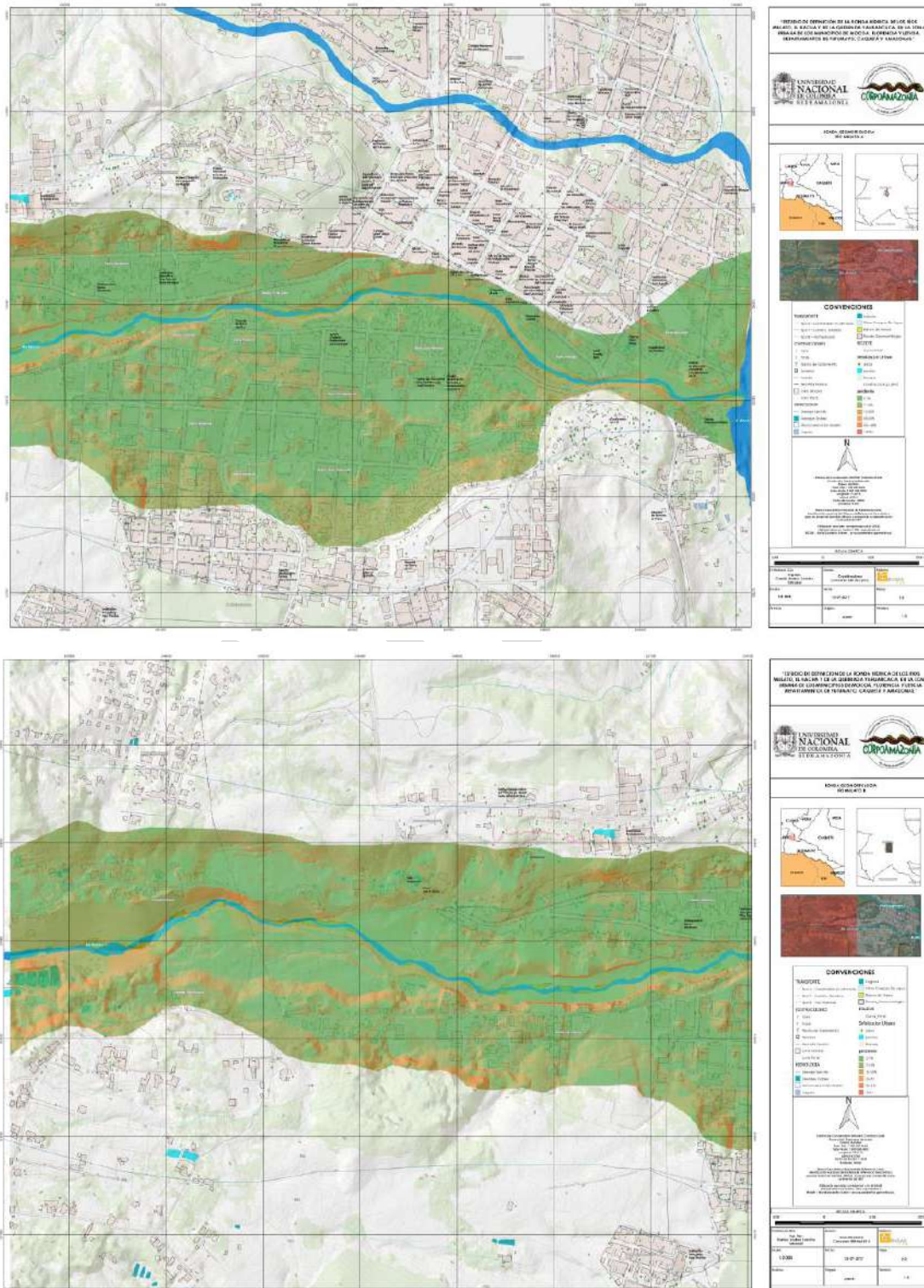


**Figura 78.** Cambio en el ángulo de inclinación por el trazo de la Falla La Tebaida. Nótese cómo el ángulo  $\beta$  es mayor que el ángulo  $\alpha$ .

En la zona de transición, es decir, donde el agua corre por encima de las unidades terciarias, las pendientes se tornan un poco más suaves, configurando relieves colinados empinados a moderadamente empinados, con algunos sectores de relieve ondulado inclinado, ilustrados con colores entre verde pálido y naranja pálido en el mapa de pendientes. Finalmente, en la zona de alternancia de tramos rectos y trezados se ve que en el cauce predomina el relieve suavemente inclinado a casi plano, pero en los alrededores varían las pendientes configurando relieves desde inclinados hasta empinados. Según el mapa de pendientes derivado del levantamiento topográfico (**Figura 79**), que se concentra en la zona urbana y sub-urbana, se puede observar que predominan las pendientes suaves de relieves suavemente inclinados, pero que hay zonas que corresponden a taludes marginales con pendientes fuertes que generan relieves inclinados a fuertemente empinados (con valores superiores al 100%), donde hay una mayor susceptibilidad de ocurrencia de procesos de ladera que no son de gran envergadura debido a la altura total del talud que representa una corta distancia de desplazamiento de material, y por tanto una baja energía potencial y velocidad de movimiento.

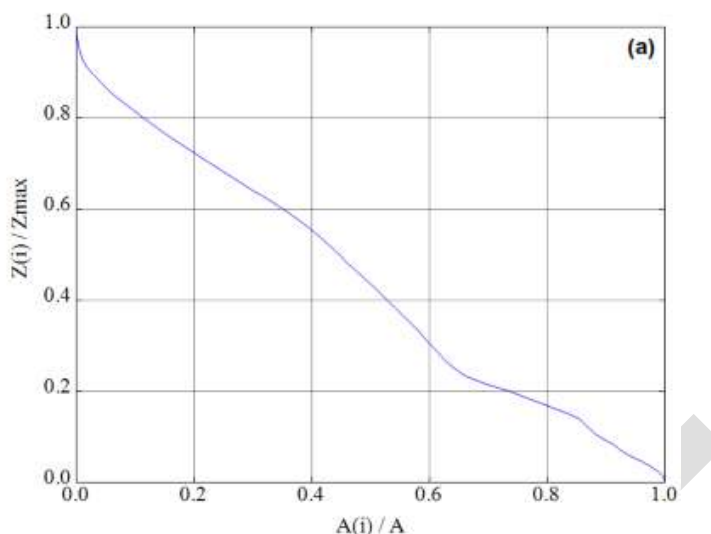


**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO DE MOCOA (PUTUMAYO)**



**Figura 79.** Mapa de pendientes de la zona media y terminal de la cuenca del río Mulato.

En el informe técnico realizado por la Pontificia Universidad Javeriana (Escobar-Vargas et al., 2017), realizan la curva hipsométrica de la cuenca del río Mulato (**Figura 80**), del cual concluyen que el 50% del área de la cuenca está por encima de los 1300msnm, por tanto, el área con las pendientes más fuertes también.



**Figura 80.** Curva hipsométrica del río Mulato.

Fuente: Informe técnico visita técnica Mocoa. PUJ (2017).

En el informe técnico realizado por la Pontificia Universidad Javeriana (Escobar-Vargas et al., 2017), realizan la curva hipsométrica de la cuenca del río Mulato (**Figura 80**), del cual concluyen que el 50% del área de la cuenca está por encima de los 1300msnm, por tanto, el área con las pendientes más fuertes también.

La pendiente media de la cuenca, medida a partir del Modelo Digital de Terreno es de 49%, mientras que la pendiente media del cauce principal calculada es de 13,79%, lo cual refleja un alto gradiente para el río Mulato. Sin embargo, los cambios de pendiente observados en el perfil longitudinal (**Figura 64**), reflejan los contrastes morfológicos existentes a lo largo de distintos tramos del río, principalmente en la cabecera y una pendiente promedio en la zona de transición, transporte y descarga de 6,74%, aproximadamente. Estos cambios de mayor a menor pendiente facilitan el depósito de material de arrastre, lo que se traduce en la formación de represas naturales, lo cual se convierte en una potencial amenaza cuando el represamiento alberga grandes volúmenes de material y el caudal aumenta gracias a las lluvias, pues termina desencadenando la liberación de todo el material represado de manera súbita aguas abajo por los cursos fluviales, aumentando la carga sólida y produciendo los flujos de detritos o avenidas torrenciales como las que ocurrieron el 31 de marzo y 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa.

Con todos los parámetros morfométricos analizados, se procedió catalogar el río Mulato dentro de la clasificación que propone Rosgen (1994), en la cual cada tipo de curso tiene características diferentes e implicaciones hidrodinámicas distintas, pero un mismo río puede tener tramos con rasgos particulares. A partir del perfil longitudinal, el perfil transversal y la vista en planta, se tiene una primera aproximación del río Mulato (**Figura 81**), que por sus características en la zona de cabecera es de tipo

Aa+, con un valle muy cerrado, transporte de bloques y cantos y un trazo rectilíneo, donde la relación “Ancho de canal”/ “Profundidad de canal” es menor a 12, mientras que en la zona de transición, transporte y descarga adopta una categoría A, donde la pendiente no supera el valor de 10% y se tiene una carga de sedimentos de grava principalmente, en un valle estrecho de muy baja sinuosidad con alto potencial erosivo. De igual manera se ve cómo cambia el atrincheramiento del perfil transversal 1 al perfil transversal 3, pues la relación  $W_{FP}/W_B$  (donde  $W_{FP}$  es el ancho de canal cuando el nivel es 2 veces la profundidad máxima de éste, y  $W_B$  es el ancho de banca llena), es mayor aguas abajo pasando de un valor de 1,2 a cerca de 1,9, teniendo en cuenta que la profundidad máxima del canal es de 1m en ambos casos, por lo cual se puede clasificar el primer tramo en un río tipo A3, mientras que en los últimos tramos su clasificación es tipo B1 y B3 (Figura 82), con desarrollo de barras longitudinales y laterales generalmente inestables, pues la carga de sedimento colmata rápidamente los canales en eventos de crecida, lo que lleva a procesos de avulsión y rompimiento migrando el curso sobre alturas menores dentro del mismo cauce encañonado. En este sistema se configura un cauce con capacidad limitada donde el tipo de morfología del lecho es plano con aparición esporádica de cruces y rápidos.

De igual manera se ve cómo cambia el atrincheramiento del perfil transversal 1 al perfil transversal 3, pues la relación  $W_{FP}/W_B$  (donde  $W_{FP}$  es el ancho de canal cuando el nivel es 2 veces la profundidad máxima de éste, y  $W_B$  es el ancho de banca llena), es mayor aguas abajo pasando de un valor de 1,2 a cerca de 1,9, teniendo en cuenta que la profundidad máxima del canal es de 1m en ambos casos, por lo cual se puede clasificar el primer tramo en un río tipo A3, mientras que en los últimos tramos su clasificación es tipo B1 y B3 (Figura 82), con desarrollo de barras longitudinales y laterales generalmente inestables, pues la carga de sedimento colmata rápidamente los canales en eventos de crecida, lo que lleva a procesos de avulsión y rompimiento migrando el curso sobre alturas menores dentro del mismo cauce encañonado. En este sistema se configura un cauce con capacidad limitada donde el tipo de morfología del lecho es plano con aparición esporádica de cruces y rápidos.

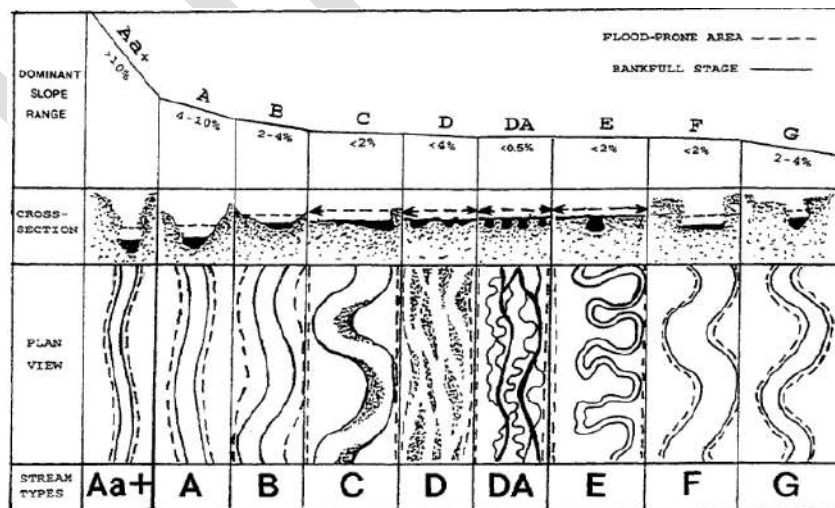


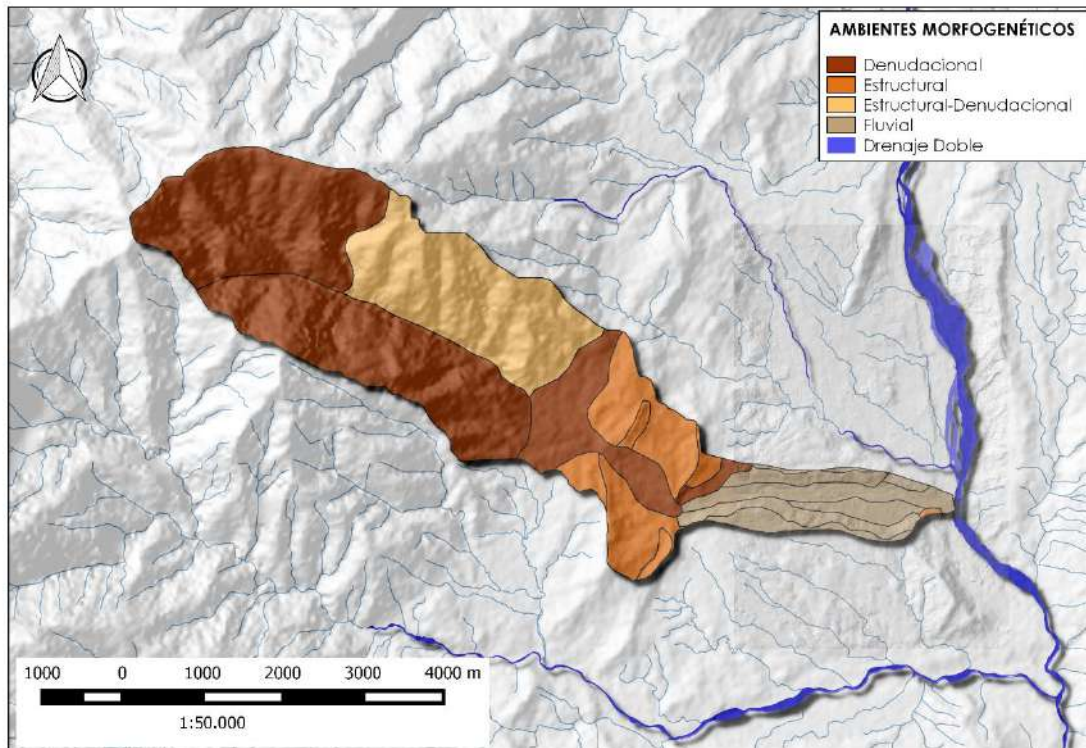
Figura 81. Tipos de corrientes mayores por perfil longitudinal, perfil transversal y vista en planta.  
 Fuente: Rosgen (1994).

Dominant Bed Material	A	B	C	D	DA	E	F	G
1 BEDROCK								
2 BOULDER								
3 CORRILE								
4 GRAVEL								
5 SAND								
6 SILT/CLAY								
ENTRH.	<1.4	1.4-2.2	>2.2	N/A	>2.2	>2.2	<1.4	<1.4
SIN.	<1.2	>1.2	>1.4	<1.1	1.1-1.6	>1.5	>1.4	>1.2
W/D	<12	>12	>12	>40	<40	<12	>12	<12
SLOPE	.04-.099	.02-.039	<.02	<.02	<.005	<.02	<.02	.02-.039

**Figura 82.** Clasificación de corrientes de acuerdo a sinuosidad, atrincheramiento, relación W/D, pendiente y granulometría de depósitos. Fuente: Rosgen (1994).

### 6.2.1.3 Morfogénesis

La clasificación del territorio a partir del análisis geomorfológico se puede lograr entendiendo en principio la morfogénesis de las unidades encontradas a distinta escala. El municipio de Mocoa presenta procesos que son propios de un territorio de piedemonte y, según la cartografía geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (2015), las unidades geomorfológicas aflorantes para la cuenca del río Mulato tienen su origen en tres ambientes diferentes: denudativos, fluviales y estructurales (**Figura 83**).



**Figura 83.** Ambientes morfo-genéticos en la cuenca del río Mulato. Fuente: Adaptado de SGC (2015).

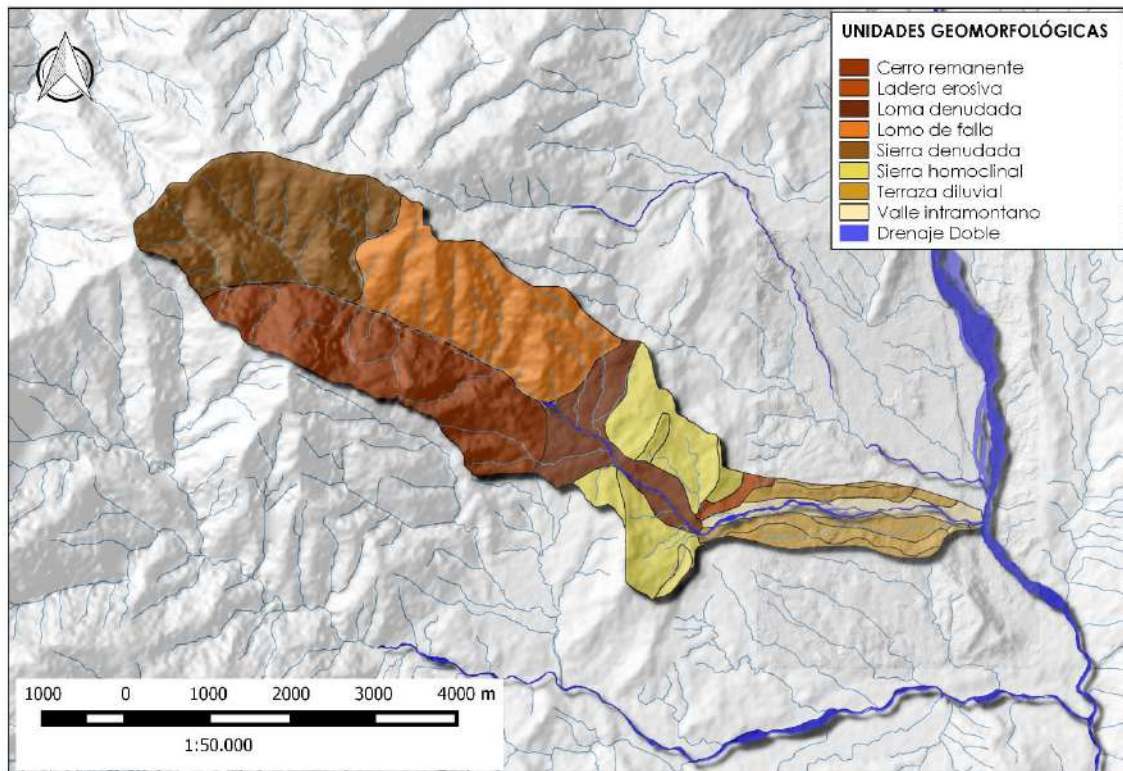
Las unidades geomorfológicas a escala 1:25.000 se observan en la **Figura 84**, y se describen a continuación según la memoria del mapa geomorfológico del SGC:

Ladera erosiva (Die): Perteneciente al ambiente denudativo, corresponde a superficies del terreno con pendientes muy inclinadas a escarpadas, tiene longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas. Su presencia en la cuenca es en la zona de transición al norte en contacto con la cuenca del río Sangoyaco. Fisiográficamente se configura como ladera de lomerío suave de continuidad en dirección W-E.

Loma denudada (Dld): Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas a moderadas y forma rectas a convexas. Su origen está relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial sobre diversas litologías. En la zona de estudio se desarrolla sobre rocas del Grupo Orito y de la Formación Pepino, pero los flujos y procesos morfo-genéticos han derivado en la acumulación de material coluvio-aluvial.

Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldeb1): Conjuntos de lomos o filos con formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal, con índice de relieve relativo menor a los 250 m y longitud del eje principal mayor a 1000 m; el tope o la parte superior puede tener diferentes formas definidas por el grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha llegado a desarrollar la roca dominante

y por los procesos erosivos que lo han modelado. En el área de estudio tiene su expresión en la parte nororiental del monzogranito de Mocoa. En la clasificación fisiográfica cabe dentro de la unidad general de sierra, por lo cual se puede agrupar en la categoría de sierra denudada, con el fin de considerarlas como un área geomorfológica homogénea.



**Figura 84.** Unidades geomorfológicas escala 1:25.000 en la cuenca del río Mulato. Fuente: Adaptado de SGC (2015).

Cerro remanente (Dcrem): Prominencias topográficas de morfología colinada, alomada o montañosa que sobresalen de la topografía circundante. Presenta por lo general cimas agudas a redondeadas, laderas de longitud moderadamente corta a larga de forma convexa. Su origen está asociado con procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada sobre las rocas ígneas de la Formación Saldaña y el Monzogranito de Mocoa, lo que se puede observar bien desde la vereda San Luis de Chontayaco. Al igual que la unidad *Dldebl* se puede agrupar dentro de la unidad fisiográfica de Sierra y en la unidad geomorfológica de Sierra denudada.

Sierra denudada (Dsr): Unidades con morfología montañosa de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión y movimientos en masa acentuados tipo deslizamiento traslacional, rotacional y flujos de lodo (**Figura 85**). Su origen se relaciona a procesos de meteorización acentuada produciendo un saprolito en rocas ígneas plutónicas y volcánicas de la Formación Saldaña y del Monzogranito Mocoa.



**Figura 85.** Sierras desnudas en la cuenca del río Mulato. Fuente: Juan Sebastián Acero

Terraza de acumulación (Fta): Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, que se ha modelado sobre sedimentos fluviales y que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diversas alturas que siguen el cauce del río Mulato. Su origen se relaciona con procesos de erosión y acumulación diluvial sobre antiguas llanuras de inundación y zonas de depósito de avenidas torrenciales, por lo cual la propuesta de clasificación a considerar es la de Terrazas de depósitos fluviotorrenciales.

Terraza de acumulación subreciente (Ftas): Superficies planas a suavemente inclinadas, se presentan como remanentes de terrazas sub-recientes, su morfología es ondulada y en general están disectadas, se aprecian localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° a 5°, que en algunos sectores pueden alcanzar los 10° en donde se presentan limitadas por escarpes de 5 a 20 m. Su origen está ligado a la ampliación del valle del río Mulato, al ganar importancia los procesos erosivos en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial se adosa a las márgenes del valle formando un escalón o resalte topográfico que define la terraza. Su depósito se compone de fragmentos tamaño arena, arcilla e intercalaciones locales de grava fina. En cuanto a su rasgo fisiográfico, se expresa como una ladera de lomerío suave que define los márgenes mayores del valle del río Mulato.

Escarpe de terraza de acumulación (Ftae): Plano vertical a sub-vertical, de forma escalonada, que ha sido excavado en los sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación causado por la incisión y profundización del cauce, lo que puede alcanzar varios metros de altura. Son unidades asociadas a los depósitos de terrazas de acumulación y en la zona de estudio se ubican limitando estas unidades a lo largo de la dirección Este-Oeste que lleva el río. Al presentar rangos de inclinación no tan diferentes de las terrazas y para darle mayor énfasis a las unidades de origen netamente fluvial o con procesos morfológicos fluviales asociados al río Mulato se pueden clasificar dentro de la misma categoría fisiográfica de ladera de lomerío suave.

Cauce aluvial (Fca): Hace referencia a canales de formas irregulares excavados por corrientes permanentes cuya configuración morfológica cambia aguas abajo presentando procesos de erosión y sedimentación conjunta dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y su propia geometría. El cauce aluvial del río Mulato transcurre predominantemente en sus depósitos, algunos más cohesivos que otros, con apariciones de afloramientos de roca donde la resistencia del lecho es mayor, evolucionando en morfologías como saltos y cambiando la dinámica del flujo a largo plazo. Se propone su extensión aguas arriba hasta abarcar parte de la unión de las

unidades *Dldebl* y *Dcrem* que establece el SGC, puesto que los procesos geomorfológicos que se presentan en dicha área están dominados y mayormente asociados al flujo permanente de agua.

*Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)*: Superficie vertical a sub-vertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos de la Formación Pepino dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionados a una estructura homoclinal.

*Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)*: Superficie definida por la inclinación de los estratos de la Formación Pepino y del grupo Orito a favor de la pendiente, de longitudes cortas a moderadas, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.

La proporción de unidades geomorfológicas con respecto al área total de la cuenca junto con la densidad de drenaje se encuentran en la **Tabla 15**, reflejando el predominio de subunidades ubicadas en la parte alta de la cuenca, e ilustrando que la unidad mayormente drenada como es de esperarse es el cauce aluvial, mientras que algunas que son menormente drenadas corresponden a terrazas de acumulación y a laderas de contrapendiente de sierra homoclinal.

**Tabla 15.** Distribución por área de subunidades geomorfológicas en la cuenca del río Mulato.

ID	SUBUNIDAD	AREA (km <sup>2</sup> )	AREA (%)	DENSIDAD DE DRENAJE
1	Cauce aluvial	0,652406	3,69786373	8,51923495
2	Cerro remanente	3,892651	22,0637041	3,18985699
3	Escarpe de terraza de acumulación	0,309822	1,75608369	1,3556171
4	Escarpe de terraza de acumulación	0,468995	2,65828273	2,22390431
5	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	0,095217	0,53969383	1,0397303
6	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	0,121217	0,68706288	0
7	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	0,700129	3,96835964	2,4881129
8	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	0,020392	0,11558269	0
9	Ladera erosiva	0,158128	0,89627593	1,34701002
10	Ladera estructural de sierra homoclinal	0,226666	1,2847521	2,30294795
11	Ladera estructural de sierra homoclinal	1,145202	6,4910515	1,63551932
12	Ladera estructural de sierra homoclinal	0,093368	0,52921362	4,89461057
13	Loma denudada	1,525295	8,64543407	5,6631668
14	Lomo denudado bajo de longitud baja	3,608946	20,4556527	3,18264668
15	Sierra denudada	3,906792	22,1438559	2,64104155
16	Terraza de acumulación	0,063069	0,35747766	0
17	Terraza de acumulación	0,293765	1,66507196	5,50099569
18	Terraza de acumulación subreciente	0,060209	0,34126706	0
19	Terraza de acumulación subreciente	0,300512	1,70331423	3,23780748

Después del análisis geomorfológico a una escala menor, la interpretación a partir de las imágenes de sensores remotos y de observaciones de campo permitió la delimitación de unidades geomorfológicas a escala 1:2000 siguiendo las directrices de nomenclatura establecida por Carvajal (2011), Zinck (2012), y el proyecto REFORM (Rinaldi et al., 2015). Las unidades interpretadas son las siguientes (**Figura 86**):



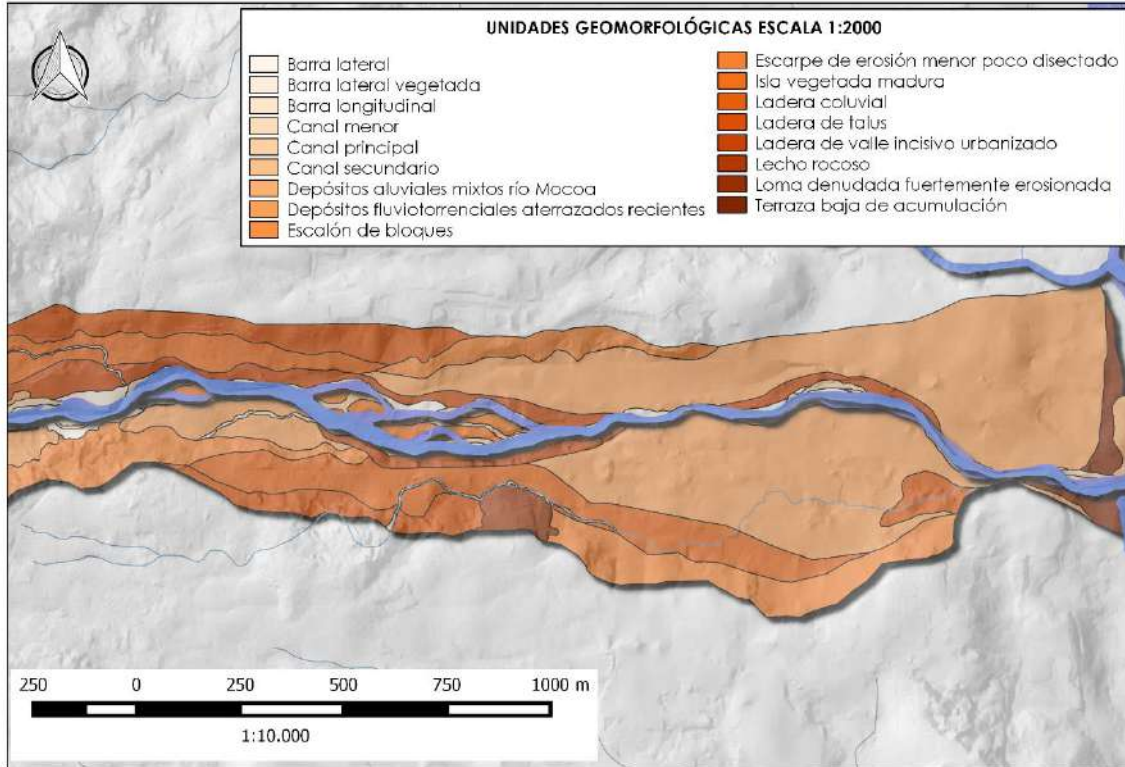


Figura 86. Mapa de unidades geomorfológicas escala 1:2000.

**Barra lateral (Fbla):** Componente geomorfológico de la subunidad “Cauce aluvial”, corresponde a depósitos de canal formados a partir de la transición de velocidad lenta en las partes laterales del lecho plano del cauce o en sobresaltos donde el lecho está conformado por roca in-situ. En el área de estudio se pueden ver con granulometría de bloques de hasta 1,6m de diámetro y cantos en matriz lodosa y arenosa (Figura 87), producto del flujo torrencial del evento del 31 de marzo y 1 de abril de 2017. La longitud del eje mayor en el área de estudio varía entre 40m y 250m dependiendo del radio de curvatura.



Figura 87. Barra lateral en el área de estudio (E=1.048.060 N=618.247).

Barra lateral vegetada (Fblav): Corresponde a barras laterales de material cohesivo donde se ha desarrollado suelo y ha crecido cobertura vegetal estable adosada al talud del cauce, por lo cual son más resistentes a la erosión.

Barra longitudinal (Fblo): Componente geomorfológico de la subunidad "Cauce aluvial", corresponde a depósitos de canal poco cohesivos formados en la mitad del cauce de forma alargada en la misma dirección de la corriente. En el área de estudio se pueden ver con granulometría de bloques y cantos en matriz lodosa y arenosa (**Figura 88**), donde hay un mayor espesor aguas arriba alcanzando espesores hasta de 0,9m, y se pincha gradualmente aguas abajo.



**Figura 88.** Barra longitudinal e isla vegetada madura en la vereda el Líbano (E=1.045.081 N=618.076).

Isla vegetada madura (Fbivm): Corresponde a barras longitudinales con desarrollo de suelos sobre los cuales la capa orgánica delgada contiene una estructura radicular fuerte de la capa vegetal suprayacente, lo cual fortalece estas estructuras haciéndolas resistentes a la erosión y por tanto más estables y duraderas que otros depósitos.

Depósitos fluviotorrenciales aterrazados recientes (Fdftr): Comprenden los depósitos semiconsolidados producidos por eventos de avenidas torrenciales pasadas, en los cuales la morfología es similar a las terrazas aluviales pero con génesis distinta en la cual no hubo un proceso de inundación asociado (donde el explayamiento produce que la dirección de flujo predominante sea perpendicular a la dirección del flujo del río), sino un movimiento siguiendo la dirección de flujo principal del río. Estos depósitos desarrollan pendientes ligeramente planas a onduladas con granulometría gruesa en matriz arenosa y lodosa, y con disposición caótica de clastos. Es la unidad predominante teniendo en cuenta la configuración fisiográfica de la ciudad de Mocoa, puesto que los flujos y movimientos en masa transportados preferencialmente por sus cauces han favorecido la formación de estos depósitos al pie de los taludes de las lomas, colinas y elevaciones circundantes (**Figura 89**, **Figura 90**). En general se pueden reconocer varios niveles correspondientes a diferentes eventos (**Figura 91**), donde los inferiores son matriz-soportados (54% matriz), de color naranja con clastos subangulares, predominio de gravas y cantos, con bloques hasta de 70cm de composición principalmente ígnea y algunas superficies de oxidación indicando intermitencia de estos eventos, y

los superiores que son clasto-soportados (24% matriz), con predominio de bloques de hasta 1,80m de diámetro, clastos subredondeados y tendencia grano decreciente.

Escarpe de erosión menor poco disectado (Deepd): Componente geomorfológico de ambiente denudacional, que comprende escarpes de longitud muy corta, de pendiente abrupta, cuyo origen se asocia predominantemente por procesos combinados de erosión lateral, diferencial y movimientos en masa acentuados a lo largo del curso de un río (**Figura 92**), y sobre los cuales no hay buen desarrollo de drenajes por lo cual son muy uniformes. En el área de estudio se encuentran bastante cubiertos de vegetación, sin embargo siguen presentando movimientos en masa en algunos sectores.



**Figura 89.** Depósitos fluvio-torrenciales aterrizados a ambos costados del río Mulato.



**Figura 90.** Construcciones de la vereda Villanueva sobre depósito fluvio-torrencial aterrizado reciente (E=1.047.022 N=618.308).



**Figura 91.** Depósito fluvio-torrencial reciente compuesto por 2 niveles diferentes (E=1.046.052 N=618.477).



**Figura 92.** Escarpe de erosión menor poco disectado (E=1.045.631 N=618.280).

Terraza baja de acumulación (Ftba): Depósito semiconsolidado desarrollado en antiguas planicies de inundación asociadas al río Mocoa, y que se encuentra en la parte terminal del río Mulato sobre la que se ubican parte de los barrios San Agustín y La Peña (**Figura 93**).

Depósitos aluviales mixtos río Mocoa (Fdal): Se trata de material inconsolidado de todos los tamaños (bloques, cantos, gravas y arenas principalmente), cuyo origen pudo ser de cualquiera de las corrientes entre el río Mulato y el río Mocoa (**Figura 94**), y que actualmente configuran el albardón natural del río Mocoa.



**Figura 93.** Terrazas bajas de acumulación del río Mocoa (E=1.048.389 N=618.229).



**Figura 94.** Depósitos aluviales del río Mocoa (E=1.048.415 N=618.227).

Canal principal (Fcp): Es la zona por donde actual y constantemente se da el mayor flujo de agua superficial tanto en aguas bajas o secúas como en aguas altas para el caso de tramos donde se da un patrón de drenaje multicanal (**Figura 95**).



**Figura 95.** Canal principal del río Mulato adelante del puente José Homero (E=1.047.903 N=618.364).

Canal secundario (Fcs): Corresponde a canales semipermanentes poco estables o efímeros, los cuales transportan agua sólo en época de lluvias o en eventos de aumento de caudal, y que desarrollan en los tramos trezados del río donde se tiene una configuración multicanal del cauce (**Figura 96**).



**Figura 96.** Canal secundario del río Mulato frente a vereda El Líbano (E=1.046.061 N=618.480).

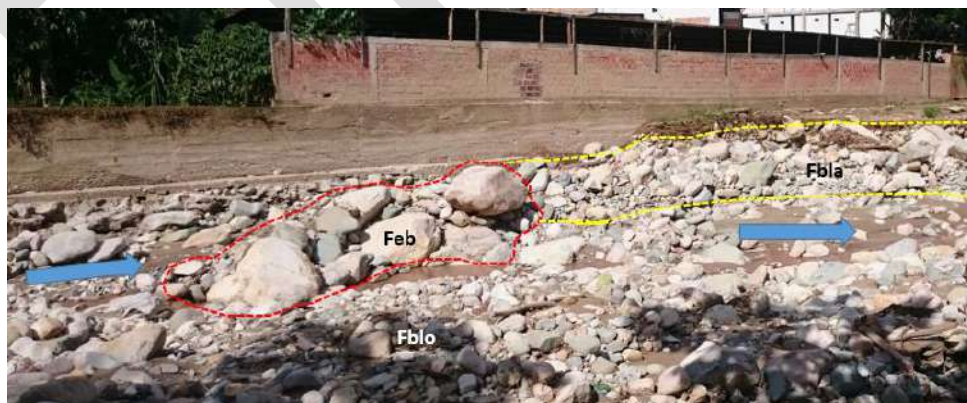
Canal menor (Fcm): Son aquellos cursos de agua que son tributarios del río Mulato y presentan un ancho de canal menor a 1m. Drenan generalmente en dirección Noroeste-Sureste y desarrollan pozos y escalones debido a las pendientes altas de las laderas y los bloques de tamaños entre 40cm y 2m en su cauce (**Figura 97**).



**Figura 97.** Canales secundarios del río Mulato (a. E=1.045.687 N=618.524; b. E=1.046.622 N=618.118). Fuente: Equipo Rondas Hídricas

Escalón de bloques (Feb): Morfología del lecho donde se genera una caída local de agua por la interrupción del flujo laminar por una protuberancia causada por la presencia de bloques amalgamados dispuestos en dirección perpendicular a la del flujo del río a manera de presa (**Figura 98**).

Ladera coluvial (Dicol): Corresponde a las zonas de ladera compuestas por material detrítico desprendido, transportado y depositado en quiebres de pendiente, donde los clastos son heterométricos angulosos en una matriz limosa (**Figura 99**). Los clastos en la zona son de composición ígnea granítica.



**Figura 98.** Escalón de bloques (Feb), en cercanías al puente José Homero (E=1.047.938 N=618.349).



**Figura 99.** Ladera coluvial a la altura de la institución etnoeducativa bilingüe Inga Mocoa (E=1.045.737 N=618.543).

Ladera de talus (Dlt): Zona de ladera compuesta por materiales provenientes de desprendimientos en el hombro y la ladera rectilínea de lomas denudadas y escarpes de la zona, para ser depositados en la falda cóncava (**Figura 100**). Son menos espesos que los depósitos coluviales pues se ubican en la parte superior a éstos, y aguantan ángulos superiores de reposo.



**Figura 100.** Ladera de talus (E=1.045.761 N=618.569).

Loma denudada fuertemente erosionada (Dldfe): Fracción de loma de menos de 60m de altura la cual se encuentra desprovista de vegetación por intervención antrópica, lo que resulta en un área de interacción directa entre agua lluvia-escorrentía y suelo generando procesos de erosión laminar y en surcos. En la **Figura 101** se puede observar en cercanías al sector de Las Acacias para el año 2017.



**Figura 101.** Loma denudada fuertemente erosionada en la cuenca del río Mulato.



Ladera de valle incisivo urbanizado (Flvinc): Corresponde a los taludes del cauce del río Mulato (**Figura 102**), que varía en pendientes desde ligeramente inclinadas y largas hasta paredes cortas casi verticales, con presencia de barras laterales adosadas en algunos sectores. En su gran mayoría se encuentran desestabilizadas por intervención antrópica, debido a construcción de viviendas e infraestructura sobre ésta, descapotando la cobertura vegetal que brinda una mayor estabilidad al talud. Su génesis está dada principalmente por la incisión y socavación del río a lo largo de toda su evolución desde su formación.



**Figura 102.** Ladera de valle incisivo urbanizado del río Mulato (E=1.046.698 N=618.280).

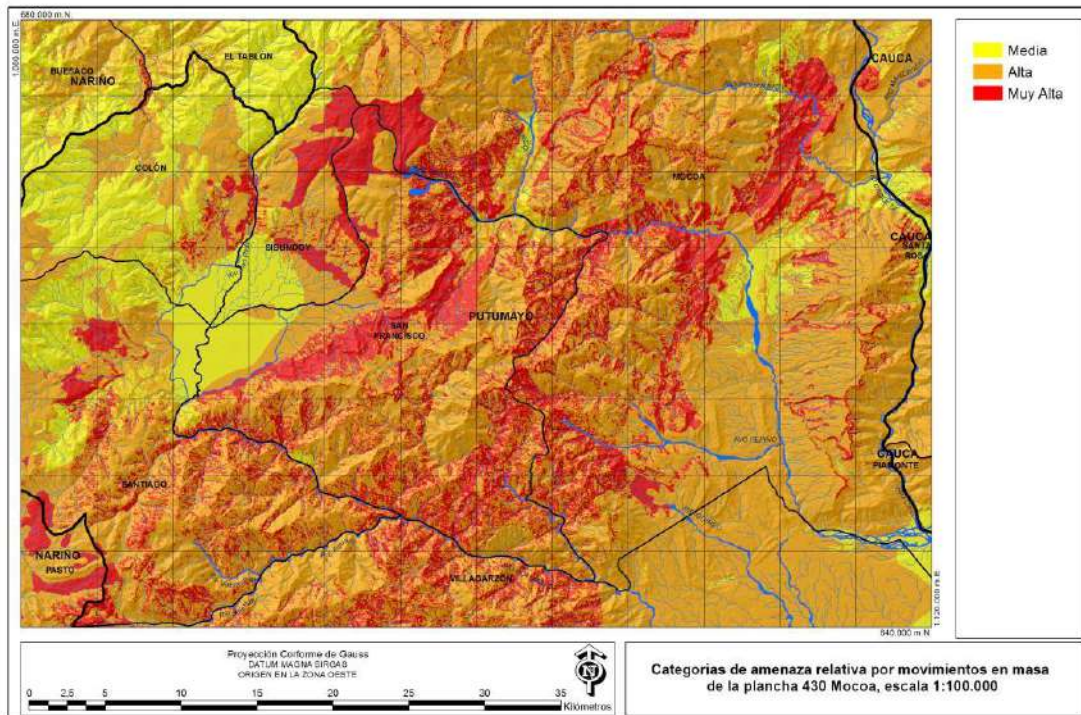
#### 6.2.1.4 Morfodinámica

En esta sección se realiza el inventario de procesos morfodinámicos, que son todos aquellos eventos que ocurren naturalmente dentro de la cuenca por la dinámica del río y por la reacción del terreno ante la acción de agentes externos como el agua, el aire o la misma gravedad. La reacción depende de muchos factores, dentro de los cuales se destaca la pendiente, la cobertura vegetal, la litología (tipo de roca, tamaño de grano, densidad de fracturamiento), las propiedades del suelo (porosidad, drenaje, profundidad, cohesión), y la topografía. Es así como a lo largo de los diferentes tramos del río se tienen diferentes procesos morfodinámicos, muchos de los cuales sucedieron casi que de manera simultánea en la avenida torrencial del pasado 31 de marzo y 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa, proceso considerado como movimiento en masa de tipo flujo, el cual generó una modificación importante del paisaje y de la configuración actual del cauce y de la cuenca en general.

La lluvia y los sismos son los principales detonantes de los movimientos en masa que se desarrollan en las laderas y taludes, por lo cual el estudio de la ocurrencia de estos procesos naturales con valores atípicos es importante para poder elaborar una zonificación de amenaza que se aproxime a la realidad. El Servicio Geológico Colombiano ya realizó ésta zonificación (Servicio Geológico Colombiano, 2014), evaluando principalmente la lluvia como detonante (**Figura 103**), debido a que el registro sismológico histórico de la zona no refleja mayor actividad sísmica en las fallas de la región que puedan detonar movimientos en masa en el área. Cabe aclarar que aunque en varios de los episodios de avenidas torrenciales pasadas no se puede relacionar la lluvia como principal detonante debido a que no se alcanzó el umbral de lluvias torrenciales (como indica el componente hidrológico), estas lluvias generan una saturación de agua importante en los taludes lo que a su vez genera un exceso de carga, una disminución de la cohesión y del ángulo de fricción interna, y un aumento en la profundidad de alteración de roca y saprolito, lo que se traduce en una aproximación de las condiciones del terreno al límite crítico que puede ser alcanzado con mayor facilidad por lluvias de menor intensidad en los

meses o años posteriores. El volumen de material de arrastre o carga de sedimento que puede ser arrastrado por el curso fluvial en una avenida torrencial dependerá a su vez del número y volumen de deslizamientos ocurridos en el mismo evento, así como la distribución espacial de las lluvias.

En el mapa se puede ver que la cuenca del río Mulato y en general el municipio de Mocoa, se encuentran en medio de una zona de amenaza alta y muy alta por movimientos en masa.



**Figura 103.** Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa por detonantes climáticos y sísmico, escala 1:100.000. Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2014).

En la zona de cabecera de la cuenca se evidencian procesos como flujos y deslizamientos (**Figura 104**), los cuales están relacionados con la saturación de agua de los suelos residuales por una alta meteorización y densidad de fracturas del cuerpo ígneo intrusivo. Estos flujos pueden contener una carga sólida de más del 60% (flujos de detritos), por lo cual son fuente importante de sedimento para los cuerpos de agua que drenan el área. En la zona media donde se tiene un relieve moderadamente empinado también se desarrollan procesos de ladera en los taludes de menor longitud, con magnitudes menores donde predominan los deslizamientos traslacionales (**Figura 105**), pero también se presentan reptaciones y procesos erosivos como erosión en terracetas y erosión laminar. Finalmente se tienen a lo largo de todo el cauce los procesos generados por la acción directa del agua superficial de alta energía, como la socavación lateral (**Figura 106**), y la avulsión de canales. Éste último proceso es el abandono del canal principal anterior principalmente por desborde, razón por la cual el agua busca una nueva zona de menor relieve y con menor tortuosidad por la cual fluir, rompiendo zonas de debilidad y produciendo una nueva configuración de canales (**Figura 107**).



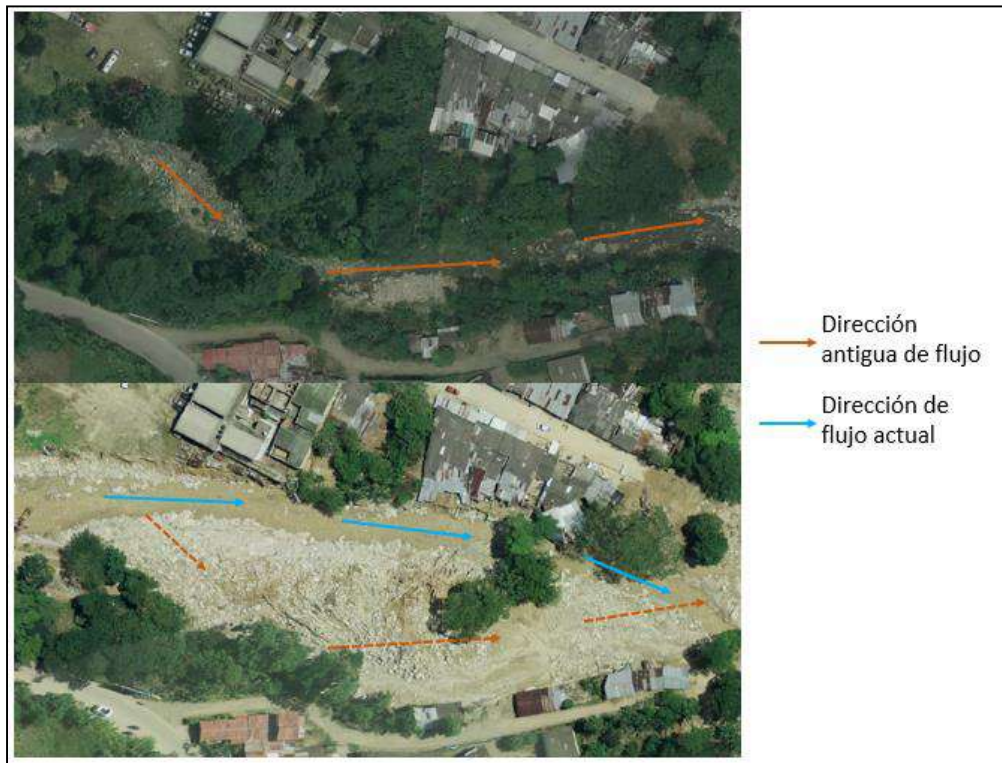
**Figura 104.** Corona de flujo de detritos en la parte alta de la cuenca de la quebrada Taruca.



**Figura 105.** Procesos morfodinámicos en la cuenca media del río Mulato. A la izquierda deslizamiento traslacional en rocas del Grupo Orito. A la derecha deslizamiento traslacional en los depósitos fluviotorrenciales aterrazados.



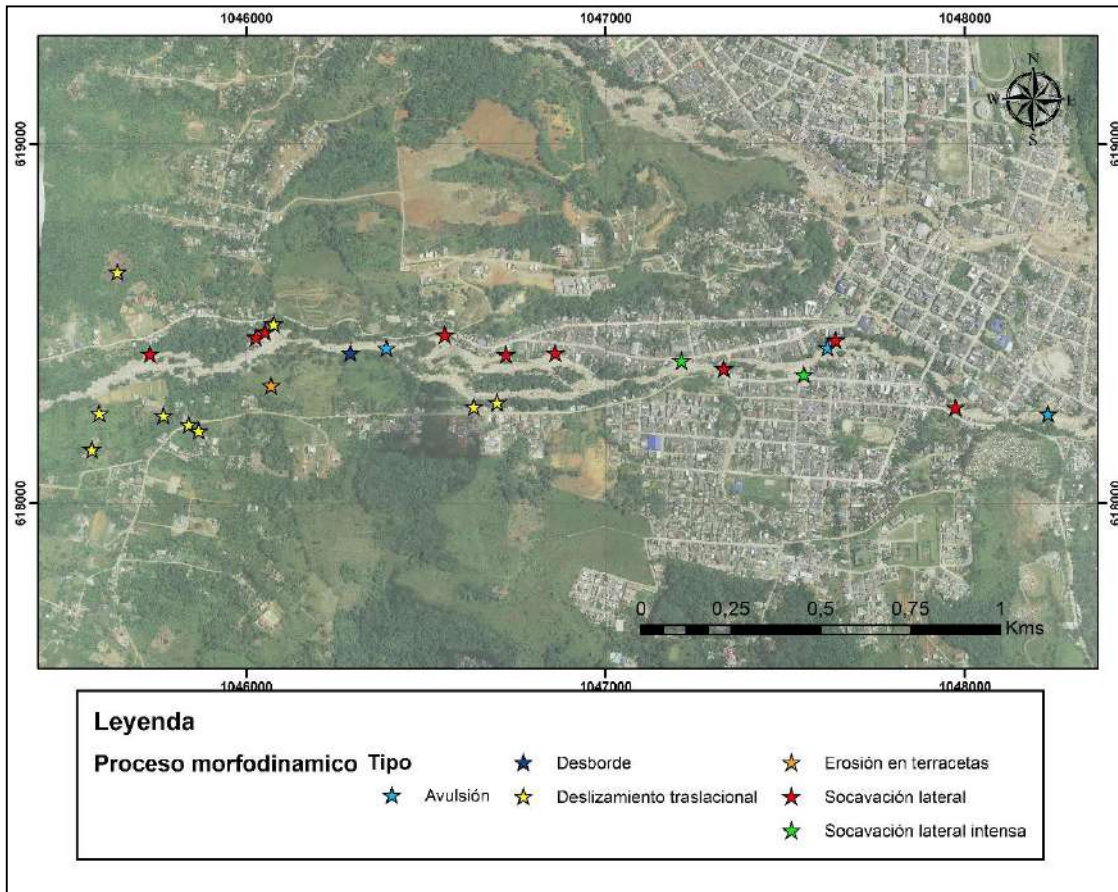
**Figura 106.** Socavación lateral del río Mulato por flujo de alta energía en la parte externa de una curva en la vereda el Líbano (E=1.045.719 N=618.412).



**Figura 107.** Proceso de avulsión en el río Mulato. Arriba ortofoto del 15 de febrero de 2017. Abajo ortofoto del 4 de Abril de 2017.

El inventario de procesos morfodinámicos (**Tabla 16**), es la recopilación de eventos observados en las imágenes de sensores remotos y la verificación en campo. Estos procesos dejan una cicatriz en el paisaje durante un tiempo determinado en el cual empieza un proceso de colonización vegetal, por lo cual los procesos referenciados son actuales y tienen todavía un reflejo morfológico característico que con el tiempo tenderá a desaparecer por el crecimiento de cobertura vegetal densa, el cual puede demorar decenas de años. Su localización se ilustra en la **Figura 108**.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**



**Figura 108.** Procesos morfodinámicos dentro del área de estudio.

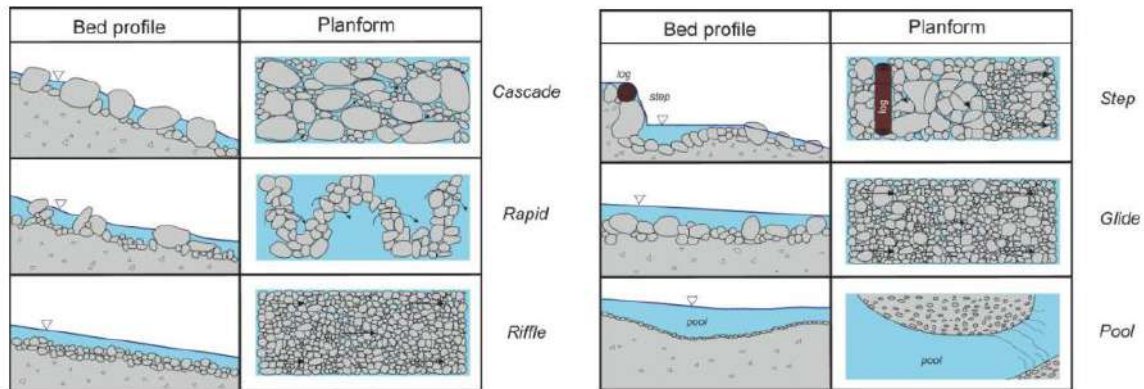
**Tabla 16.** Inventario de procesos morfodinámicos.

COORDENADAS (Origen Magna Oeste)		NOMBRE
Este	Norte	
1045591	618250	Deslizamiento traslacional
1045731	618415	Socavación lateral
1046026	618463	Socavación lateral
1046052	618477	Socavación lateral
1046076	618499	Deslizamiento traslacional
1046290	618418	Desborde
1046390	618432	Avulsión
1046633	618268	Deslizamiento traslacional
1046698	618281	Deslizamiento traslacional

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

COORDENADAS (Origen Magna Oeste)		NOMBRE
Este	Norte	
1046552	618468	Socavación lateral
1046723	618414	Socavación lateral
1046860	618418	Socavación lateral
1047211	618396	Socavación lateral intensa
1047329	618375	Socavación lateral
1047552	618358	Socavación lateral intensa
1047618	618434	Avulsión
1047641	618455	Socavación lateral
1047974	618267	Socavación lateral
1048231	618249	Avulsión
1045570	618149	Deslizamiento traslacional
1045591	618250	Erosión en terracetas
1045839	618219	Deslizamiento traslacional
1045769	618244	Deslizamiento traslacional
1045867	618202	Deslizamiento traslacional
1045641	618643	Deslizamiento traslacional

En cuanto a la dinámica y morfología de este tipo de río en la vertical, se pudo observar que es un río que tiende a la profundización de su lecho, el cual cambia en diferentes tramos de depósitos aluviales a afloramientos rocosos, formando principalmente saltos (*waterfalls*), pozos (*pools*), y cascadas (*cascades*), en la zona de cabecera, y cruces (*riffles*), escalones (*steps*), y rápidos (*rapids*) en la zona de transición y de descarga, en ocasiones como mecanismos de disipación de energía donde el flujo se vuelve más turbulento cuando hay un aumento de caudal, pero que al final tiende a un ajuste de la sección buscando la estabilización del sistema. Este tipo de dinámica es natural para la cuenca, pues a medida que exista una actividad tectónica de la falla La Tebaida y otras fallas asociadas, el río buscará ajustar su perfil de equilibrio, lo cual se logra erodando desde la parte alta de la cuenca y profundizando el cauce. No existen medidas de intervención antrópicas directas sobre el cauce que eviten este proceso de incisión, sino medidas indirectas como la prohibición de extracción de materiales de arrastre dentro del cauce aguas arriba por encima de la tasa de recarga natural de la fuente, lo que permitirá que se mantenga la capacidad natural de transporte de sedimento sin generar erosión remontante en el lecho ni degradación aguas abajo. Los tipos de morfología referidos se ilustran en la **Figura 109** mientras en la **Figura 110** se muestra un ejemplo de cruces en el cauce del río Mulato.



**Figura 109.** Tipos de morfología de canal. Fuente: Rinaldi (2015).



**Figura 110.** Cruces (riffles), en el río Mulato.

#### 6.2.1.5 Delimitación ronda hídrica geomorfológica

De acuerdo a la información existente tanto histórica como documentos de referencia de entidades oficiales, así como la morfometría de la cuenca y la información primaria recolectada, es evidente que el río Mulato es un río de alta energía con capacidad erosiva importante que ha dejado rastro de depósitos fluvio-torrenciales aterrazados en eventos pasados los cuales se pueden ver en imágenes históricas y actuales (**Figura 111**), y que obedecen a condiciones climáticas descomunales y cargas de sedimento que no se observan hoy en día, y cuya geometría del cauce en aguas en extremo altas abarca un volumen grande de agua y sedimento el cual puede ser ocupado gracias al potencial erosivo y la condición inestable de los suelos residuales provenientes de las unidades que se encuentran en la zona de cabecera de la cuenca.



**Figura 111.** Vista 3D de los depósitos fluviotorrenciales de eventos pasados. Fuente: Adaptado de Google Earth.

Esto obliga en principio a pensar en éste como un curso de agua de potencial destructivo mayor, por lo cual la ronda hídrica determinada por el componente geomorfológico debe contener todos los elementos de la cuenca que han sido productos del modelado fluvial y de procesos del talud del cauce mayor (MADS 2017), en eventos de crecidas extremas (los cuales pueden tener períodos de retorno de cientos de años) y, más cuando se deben adoptar políticas de reducción y mitigación del riesgo al considerar el cambio climático como un factor principal que determina los cambios del comportamiento de los elementos de la naturaleza como lo son los ríos (Dankers & Feyen, 2008), y cuyas consecuencias pueden verse reflejadas en los depósitos de eventos pasados que se han conservado hasta el presente. En este orden de ideas, la delimitación del componente geomorfológico resultante se muestra en la **Figura 112**, el cual comprende una franja donde se garantiza la ocurrencia de todos los procesos naturales y procesos morfodinámicos asociados al río, y contiene todos los elementos descritos anteriormente para la zona urbana y de expansión urbana de Mocoa.



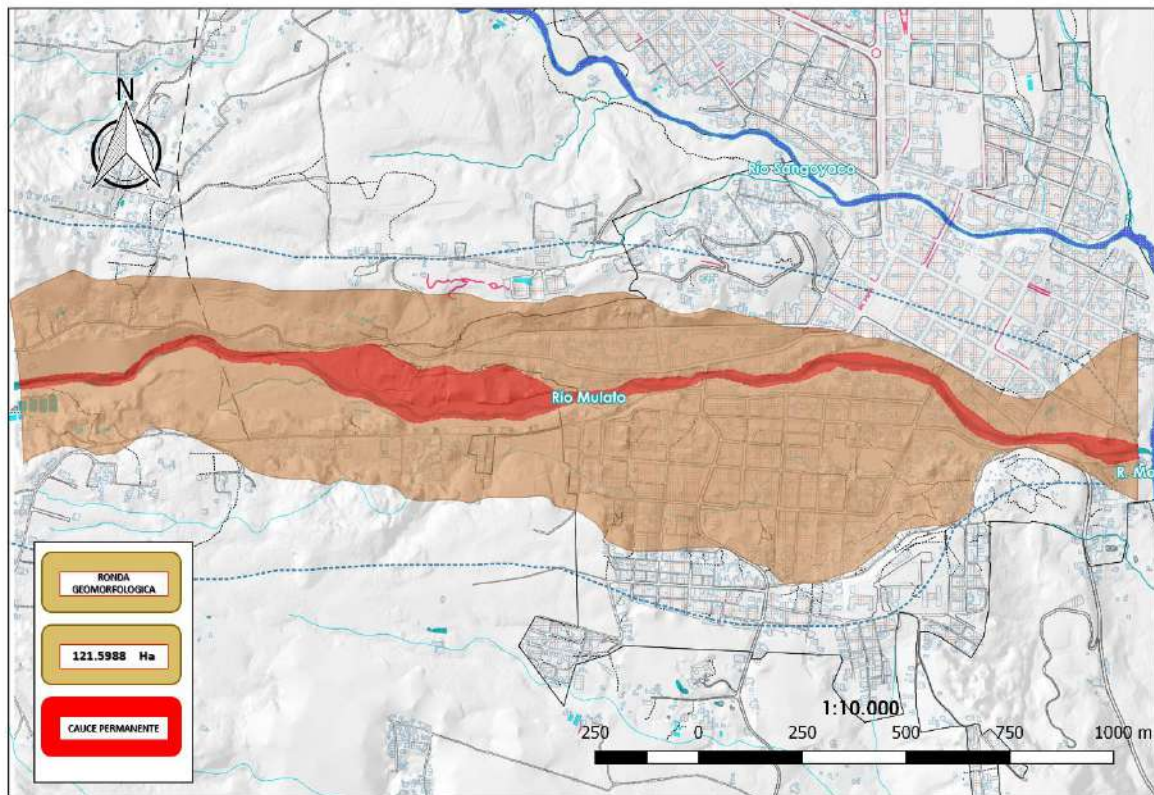


Figura 112. Delimitación de la ronda hídrica del componente geomorfológico del río Mulato.

### Descripción de la ronda (aguas abajo)

Margen izquierda: Partiendo desde el inicio del área de estudio a la altura de la vereda Líbano, la ronda es de 177m aproximadamente (medidos desde el cauce permanente y en dirección norte). Su trazo pasa por detrás de la Institución Etnoeducativa Bilingüe Inga Mocoa y de las casas ubicadas al oriente de ésta, bordeando el quiebre de pendiente superior de la ladera. Luego en el límite de la vereda con la zona urbana la ronda tiene una distancia de 124m aproximadamente, que se mantiene constante hasta detrás de las fincas Las Acacias y Villa Alejandra. A la altura del Ecoparque la ronda nuevamente se amplía a cerca de 175m del cauce permanente. Entrando al barrio Miraflores en la carrera 14 la ronda tiene aproximadamente 205m, llegando a un máximo de 218m y cerca de 177m a la altura de la Institución Educativa Fray Placido sede principal. Dentro de los barrios 17 de Julio y Kennedy la ronda tiene cerca de 140m a la altura de la sede de Alcohólicos Anónimos Grupo Mocoa, reduciéndose a 43m aproximadamente a la altura de la Calle 6 en el Colegio Santa María Goretti. Siguiendo hacia la zona centro a la altura del puente de la carrera 5 tiene aproximadamente 30m medidos perpendicular a la línea del cauce permanente. Posteriormente en el barrio Naranjo en el cruce de la calle 6 con carrera 3 (frente al Hotel Castillo Real), la ronda tiene cerca de 90m medidos en dirección norte desde la línea del cauce permanente. Desde allí la ronda se amplía considerablemente en dirección Noreste hasta cerrarse con el río Mocoa a la altura de la calle 10 con carrera 1.

Margen derecha: Partiendo nuevamente desde el inicio del área de estudio a la altura de la vereda Villanueva, la ronda es de 150m aproximadamente (medidos desde el cauce permanente y en dirección sur), donde la cota topográfica está aproximadamente a 745m de altura. Luego 330m al oriente de este punto se tiene la ronda a una distancia de 90m llegando hasta la cota de 704m de altura. Posteriormente otros 330m al oriente se amplía nuevamente la ronda hasta llegar a una distancia aproximada de 270m donde la cota de altura se encuentra a 694m. Después en el límite de la vereda Villanueva con el barrio Las Colinas la ronda se reduce hasta ser de 180m, y mantiene un trazo más o menos paralelo al del cauce permanente hasta unos 100m antes de llegar a la carrera 12. Desde allí la ronda se amplía en dirección sureste llegando a los 300m a la altura de la carrera 12 en el barrio Las Colinas. Luego en dirección sur del puente de la 17 (el límite entre los barrios Las Acacias y Pablo VI), la ronda alcanza una distancia de 400m hasta donde la carrera 10 cambia de sentido de Norte-Sur a Noroeste-Sureste entre los barrios Venecia y El Libertador. Allí sigue la ronda en dirección paralela a la carrera 10 hasta llegar a la calle 1ª sur, donde su trazo vuelve a ser Este-Oeste. Posteriormente a la altura de la carrera 7 la ronda alcanza su máxima distancia de 500m, y sigue su rumbo de forma paralela a la cota topográfica de 695m, reduciéndose a cerca de 337m de distancia desde el punto de cauce permanente en el puente José Homero (o puente de la carrera 5). De allí la ronda reduce su distancia enormemente debido a la aparición de la loma sobre la cual se encuentra ubicado el cementerio del barrio La Peña (la cual está constituida de rocas sedimentarias estratificadas tipo areniscas y limolitas, no de depósitos fluviales), alcanzando el talud vertical de roca a la margen derecha de la vía Mocoa-Villagarzón, es decir tiene una distancia de aproximadamente 8m desde el puente que sirve de límite entre los barrios José Homero y La Peña. Finalmente la ronda se amplía de nuevo luego de rodear el cementerio y sigue en dirección Sureste incluyendo los talleres departamentales del barrio La Peña que quedan contiguos tanto al río Mulato como al río Mocoa.

## 6.2.2 Componente Hidrológico – Hidráulico

### 6.2.2.1 Aforos de caudal

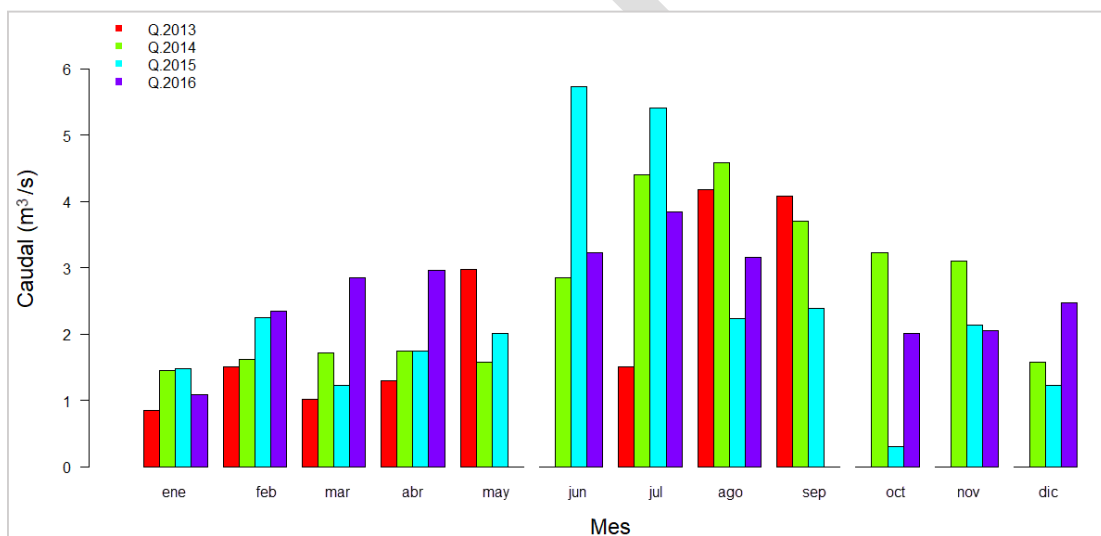
En la **Tabla 17** se consolidan los resultados de los aforos efectuados sobre el cauce principal del río Mulato y en dos de sus afluentes. Es importante puntualizar que, ante la ausencia de información histórica de caudales en afluentes como las quebradas Las Córdoba y el río Mulatico, estos aportes no están siendo considerados en la estimación de caudales de creciente. En ese contexto, las mediciones de caudal de los dos afluentes aforados se efectuaron únicamente con el propósito de tener una idea general de algunos de los aportes aguas arriba del punto de cierre del modelo lluvia-escurrentía.

El caudal medido en campo en el mes de junio de 2017 sobre el cauce principal del río Mulato, fue comparado con los caudales mensuales puntuales suministrados por Aguas Mocoa S.A. E.S.P. a la altura de la bocatoma Líbano (**Figura 113**). Se observa entonces que el valor medido en campo es inferior a los caudales reportados en 2014 (Q: 2,85 m<sup>3</sup>/s), 2015 (Q: 5,73 m<sup>3</sup>/s) y 2016 (Q: 3,22 m<sup>3</sup>/s).

**Tabla 17.** Características de las secciones aforadas

Corriente	Localización	Ancho húmedo de cauce (m)	Profundidad máxima (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Río Mulato	Bocatoma Líbano	22,5	0,7	2,33
Afluente 1 río Mulato	Las Córdobas	1,2	0,12	0,14
Afluente 2 río Mulato	Las Córdobas	2	0,16	0,24

Fuente: Equipo Rondas Hídricas



**Figura 113.** Caudales puntuales mensuales en la bocatomá Líbano 2013-2016. Fuente: Aguas Mocoa S.A. E.S.P.

### 6.2.2.2 Series de caudal

De acuerdo con la revisión de información disponible, se encontraron 42 registros de caudales en la estación Bocatomá Líbano (ver **Figura 113**) para el período 2013 - 2016 y un aforo realizado en el mismo punto en la visita de campo efectuada (**Anexo 9** - Caudales Aforados Río Mulato), se pudo verificar que la periodicidad de los aforos, en la estación mencionada, es mensual y que los datos tienen un rango entre 0,3 y 5,73 m<sup>3</sup>/s; en la **Tabla 18** se muestra un resumen de los caudales mencionados. Este tipo de serie no permite realizar estimaciones acerca de caudales máximos, ya que su representatividad temporal es diferente a la escala en la que se presentan eventos de creciente, la cual puede llegar a ser del orden de días a horas. Por lo anterior, se optó por emplear una metodología precipitación - escorrentía para la determinación de caudales de creciente del río Mulato.

**Tabla 18.** Caudales promedio, mínimo y máximo 2013-2016 en la Bocatoma Líbano

Año	Caudal (m <sup>3</sup> /s)		
	Promedio	Mínimo	Máximo
2013	2,17	0,85	4,17
2014	2,63	1,45	4,58
2015	2,34	0,30	5,73
2016	2,60	1,08	3,84

Fuente: Aguas Mocoa S.A. E.S.P.

### 6.2.2.3 Series de precipitación

En la **Tabla 19** se muestran, de manera comparativa, los resultados de la revisión de las series históricas de la estación Mocoa Acueducto 44015040 y de cuatro estaciones vecinas, tanto para la serie de cada estación como para la serie del período comprendido entre enero de 1983 y marzo de 2017. Se observa que la estación con mayor longitud en la serie es Villagarzón 4401002, seguida de Campucana 44010030 y Condagua 44010090; sin embargo, la estación Villagarzón 44010020 es la que presenta mayor cantidad de datos faltantes en la serie (16%) y en el período de análisis (17%); adicionalmente, no cumple con el criterio de que los datos faltantes para el período de análisis no superen el 10% del total de datos, por ello, esta estación no puede ser empleada como estación de referencia. La estación El Pepino 44010020, por su parte, presenta para el período de interés un faltante en los datos del 10 %, ubicándola en el límite del criterio de utilidad de los datos como referencia para completar faltantes.

Las estaciones Campucana 44010030 y Condagua 44010090, por su parte, solo tienen un 0,9% de datos faltantes respectivamente, lo que las posiciona como muy buenas estaciones de referencia para completar datos de la estación Mocoa Acueducto 44015040; no obstante, el proceso de completado de datos faltantes para las series diarias no se realizó (se tendrá en cuenta en el informe final del convenio), dada la premura en la entrega de resultados, lo que condujo a recurrir a estrategias de análisis a partir de datos máximos mensuales de precipitación en 24 horas, que como se explicó anteriormente, ya han sido sometidos al proceso de estimación de faltantes por parte del IDEAM. Pese a ello, el proceso de depuración de los datos asociado a la consolidación de las matrices base, permitió identificar y corregir algunas inconsistencias en los datos originales, como por ejemplo, más registros de los que se debería tener en un mes (**Figura 114**).

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

**Tabla 19.** Relación de datos existentes/faltantes por estación y para el período 1983-2017

Estación	Código IDEAM	Serie			Período 1983-2017		
		Número total de datos	Número de datos existentes	Datos faltantes (%)	Número total de datos	Número de datos existentes	Datos faltantes (%)
Mocoa Acueducto	44015040	12874	11344	12	12509	11182	11
Campucana	44010030	14396	13849	4	12509	12401	0,9
Condagua	44010090	13239	12489	6	12509	11759	0,9
El Pepino	44010020	18628	16119	13	12509	11323	10
Villagarzón	44010020	19479	16327	16	12509	10735	17

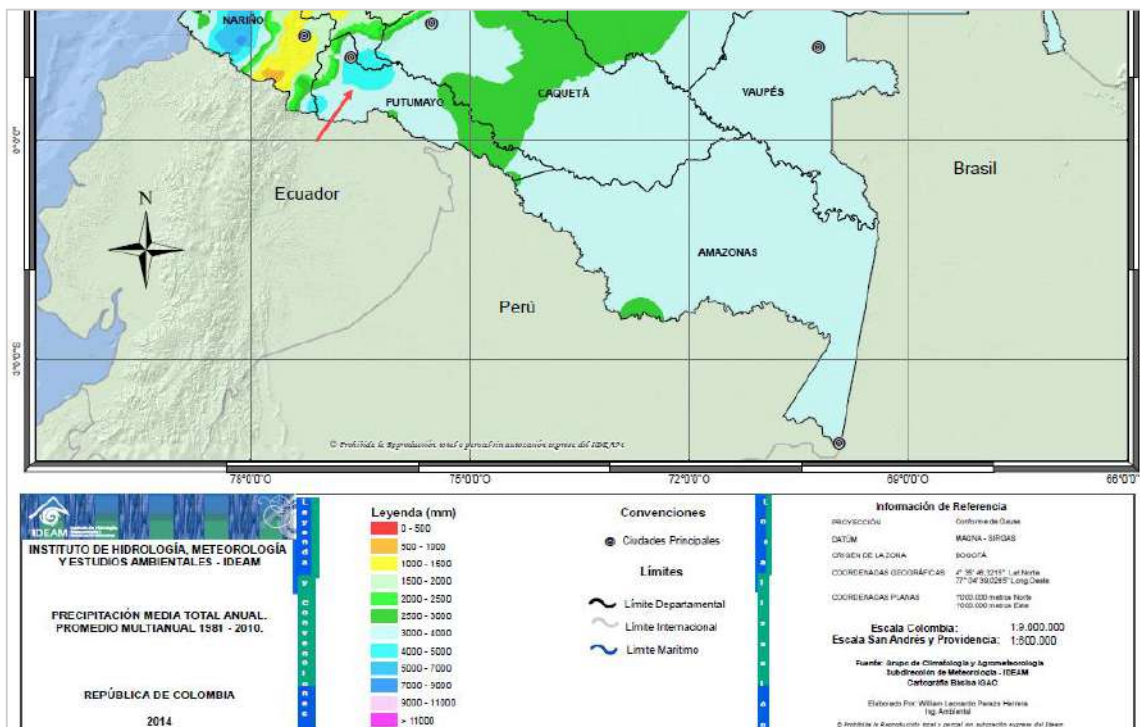
FECHA DE PROCESO: 2017/02/01		ANO 1993				ESTACION: 44015040 MOCOA ACUEDUCTO						
LATITUD	0109 N	TIPO EST	CO	DEPTO	PUTUMAYO	FECHA-INSTALACION	1983-ABR					
LONGITUD	7639 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	MOCOA	FECHA-SUSPENSION						
ELEVACION	0650 m.s.n.m	REGIONAL	07 NARINO-CAUCA	CORRIENTE	CAQUETA							
DIA	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *
01	74.7	3.0	1.8	14.3	5.0	5.8	1.3	6.5	4.3	2.3	39.1	2.3 1
02	1.2	22.0	1.6	8.7	38.1	7.6	.0	1.0	16.2	1.8	22.7	2.5 1
03	.5	.5	21.3	2.5	.2	.0	4.7	3.4	.0	.0	6.2	14.5
04	2.4	13.1	31.0	.8	44.0	2.7	+	.0	1.0	.0	.3	1.2 1
05	.6	31.0	1.6	8.0	1.0	42.0	48.0	.0	10.5	.0	.7	11.5
06	.0	7.0	2.3	1.0	22.0	32.8	.0	4.2	1.5	29.3	.0	17.3
07	15.0	5.7	11.0	.0	12.5	3.6	13.0	.0	+	25.1	12.5	1.1 1
08	2.7	31.6	56.6	4.6	20.5	4.6	20.0	15.6	2.0	.5	.5	21.3
09	14.5	3.0	10.0	17.0	4.0	.8	15.0	5.3	.0	.0	.0	10.7
10	.1	13.5	1.5	4.0	.0	85.0	107.5	.5	14.6	9.5	9.5	.0
11	.0	.2	35.7	2.0	.0	23.6 1	12.0	46.5	.0	21.5	21.5	10.6
12	.0	.0	5.7	18.8 1	.0	3.0 1	4.5	59.0	29.5	8.6	8.6	7.5
13	26.6	20.0	95.6	.2	.2	5.7	40.0	34.0	41.7	2.9	2.9	34.8
14	.3	.2	2.3	2.4	5.3	.6	54.0	.6	12.8	.0	.0	5.6
15	.0	13.7	3.0	25.0	13.6	.7	+	3.8	.9	10.4	10.4	.0
16	.1	.5	8.5	26.0	15.5	5.0	13.5	.7	1.8	3.8	3.8	3.1
17	5.5	2.0	4.2	7.0	31.0	63.0	.0	25.0	19.3	.0	.0	.0
18	3.2	10.7	1.6	1.9	11.6	4.7	6.6	9.0	1.9	9.0	9.0	6.3 1
19	.0	.4	.0	11.3	9.6	22.0	.2	37.5	1.0	2.5	2.5	5.5
20	.0	.2	1.3	2.1	.0	.2	20.0	1.0	15.6	21.5	21.5	.0
21	.0	29.0	1.8	30.0	10.0	.0	14.0	35.0	+	.0	.0	.0
22	1.5	7.0	5.0	45.5	9.7	.7	22.0	2.0	8.1	7.2	7.2	.5 1
23	3.8	.1	24.0	5.7	2.5	9.0	11.0	29.0	5.7	+	+	2.9
24	2.0	1.7	3.4	3.3	2.6	11.5	18.0	10.5	.0	11.2	11.2	6.5
25	.1	3.5	40.5	.0	55.0	16.0	3.3	10.8	13.7	.0	.0	.0
26	16.5	1.6	58.0	.6	3.3 1	21.6	.0	14.5	50.0	5.1	5.1	55.6
27	44.6	47.9	19.0	54.3	17.3	.0	.8	.0	1.7	3.2	3.2	5.7 1
28	11.2 1	1.2	.0	45.0	6.0	28.4	5.8	17.7	.0	2.6	2.6	7.8
29	1.7	.0	1.5	13.6	6.5	.1	5.5	.2	+	1.3	1.3	.5
30	11.5 1	1.0	82.0	2.1 1	3.5	1.0	.0	4.8	.9	.9	.9	63.8
31	16.6	11.7	31.0	32.7	8.3	8.5						

**Figura 114.** Inconsistencias en los datos crudos; se muestra que en el año 1993 para el mes de septiembre existen 31 datos, cuando este mes es de 30 días. Fuente: IDEAM

**6.2.2.4 Características climáticas**

En la Amazonia colombiana las mayores cantidades de precipitación, entre 4,000 y 5,000 mm, se registran hacia el piedemonte de la Cordillera Oriental; para el resto de la región oscila entre 3,000 y 4,000 mm (Pabón-Caicedo *et al.* 2001); el piedemonte, se localiza principalmente en los departamentos de Putumayo y Caquetá.

En el Piedemonte Amazónico, las masas de aire provenientes del Este han adquirido suficiente humedad al cruzar sobre las sabanas orinoquenses y al acercarse a la cordillera comienzan a experimentar procesos convectivos, por lo que las lluvias están condicionadas básicamente por factores orográficos y circulaciones locales (Guzmán *et al.* 2014), que según Robertson & Castiblanco (2011), acentúan la formación de núcleos de precipitación que exceden los 4,000 milímetros anuales en proximidades a las ciudades de Florencia y Mocoa (**Figura 115**); específicamente para la zona de estudio, el promedio de lluvia total anual estimado es de 3,778 mm (n = 30 años).

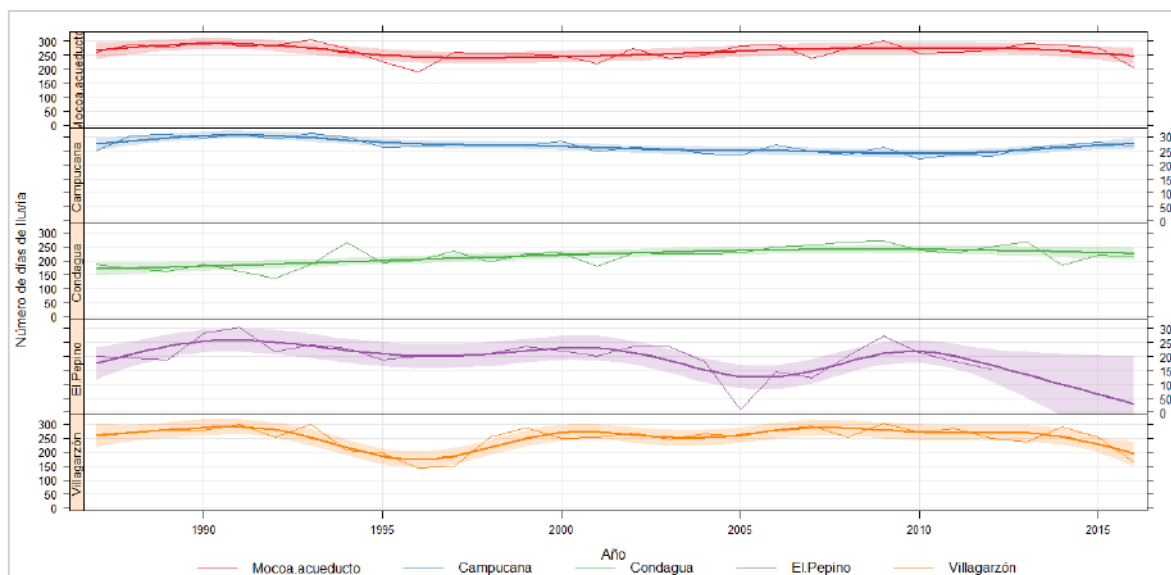


**Figura 115.** Precipitación media total multianual 1981-2010; se indica el área del departamento de Mocoa, en donde se localiza la zona de estudio. Fuente: IDEAM, 2014.

En la región llueve durante buena parte del año, como lo registran las cinco estaciones pluviométricas ubicadas en la zona, donde se observa que en promedio, en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana y Villagarzón, el número de días de lluvia al año está por encima de 250 mm (**Figura 116**). Un caso particular es el de la estación El Pepino, en la cual se observa una disminución en el número de días de lluvia a partir del año 2013, esto se debe básicamente a que no hay datos para el período 2013-2016. De manera similar, en el año 2005 se evidencia una aparente reducción en los días de lluvia, la cual se debe, igualmente, a la ausencia de datos en el período de noviembre de 2004 a noviembre de 2005, generando una subestimación en el promedio multianual.

Según el mapa a escala 1:1'000 000 de la clasificación climática Caldas-Lang para Colombia (IDEAM, 2012), el clima en las zonas en las que se ubican las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Villagarzón y El Pepino se clasifica como templado superhúmedo, lo que corrobora que los datos para la última estación mencionada muestran una subestimación en los días de lluvia al año, por el efecto

de los faltantes. La estación Congadua por su parte, registra un promedio de 214 días de lluvia al año, valor inferior a lo registrado por las otras estaciones analizadas. Este hecho es consistente con la clasificación Caldas-Lang, en la que la zona donde se encuentra instalada dicha estación, es clasificada de clima templado húmedo.



**Figura 116.** Número de días de lluvia período 1987-2016 en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Congadua, El Pepino y Villagarzón

#### 6.2.2.5 Relación flujos de detritos históricos vs precipitación

Los flujos de detritos han ocurrido de manera histórica en la región (**Tabla 20**), dadas las características geomorfológicas tanto de la cuenca del río Mulato, como de las cuencas aledañas de los ríos Mocoa, Sangoyaco y la quebrada Taruca (Jojoa, 2003).

**Tabla 20.** Eventos históricos de avenidas torrenciales del río Mulato (Adoptado de Romo (2015) y de INGEOMINAS (1994); Valencia (1997); Fajardo (1999) citado por Jojoa (2003))

Fecha	Evento	Descripción
1947	Avenida torrencial del río Mulato	Remoción en masa en la parte alta de la cuenca y represamiento, largo período de lluvias. Pérdida de viviendas, animales domésticos y cultivos.
1960	Avenida torrencial del río Mocoa	El río cambió de cauce en el barrio de San Agustín.
1971	Avenida torrencial del río Mulato y Mocoa	Bocatoma del acueducto semidestruida. Cinco viviendas con daños y pérdida de animales domésticos.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Fecha	Evento	Descripción
1989	Avenida torrencial del río Mulato, Mocoa y Sangoyaco.	El río rebasó el muro de protección y corrió por la Avenida 17 de Julio.
1994	Avenida torrencial del río Mulato y Sangoyaco	Sectores inundados como la plaza de mercado y barrio Miraflores, Pablo VI y Naranjito. Destrucción parcial del puente peatonal, ubicado en el barrio Miraflores.
1997	Avenida torrencial del río Mulato y Mocoa	El río Mulato salió de su cauce y llegó al barrio Avenida 17 de Julio.
1998	Avenida torrencial del río Mulato y Mocoa	Pérdida de hectáreas de pastizales y ganado vacuno, de cultivos de caña.
2001	Avenida torrencial del río Mulato	Barrio Avenida 17 de Julio afectado
2009	Avenida torrencial del río Mulato	Inundación de los barrios San Agustín, Naranjito, José Homero, Avenida 17 de Julio, Miraflores y 5 de septiembre.
2010	Avenida torrencial del río Mulato	Afectación de la bocatoma del acueducto municipal.
2012	Avenida torrencial del río Mulato	Inundación de los barrios Pablo VI, Libertador, Independencia, San Agustín, Progreso y Avenida 17 de Julio. Los muros de contención dañados. Desbordamiento del río Mulato.
2017	Avenida fluvio-torrencial del río Mulato y Mocoa	Más de 300 muertos, 400 heridos y 36 barrios afectados. (El Espectador, "Tragedia de Mocoa: ¿es posible prevenir catástrofes similares a la de Mocoa", 30 de marzo y 1 de abril. Consultado el 14 de abril)

La revisión histórica de los eventos registrados, permitió establecer la correspondencia entre los incrementos de lluvia y las avenidas torrenciales ocurridas en 1989, 1994 y 1997. En la **Tabla 21** se presenta el resumen del comportamiento de las lluvias en relación con los eventos históricos de avenidas torrenciales del río Mulato, registrados en las cinco estaciones pluviométricas aledañas a la cuenca de dicho curso de agua; para algunos de estos eventos no fue posible efectuar el análisis dada la inexistencia de información.



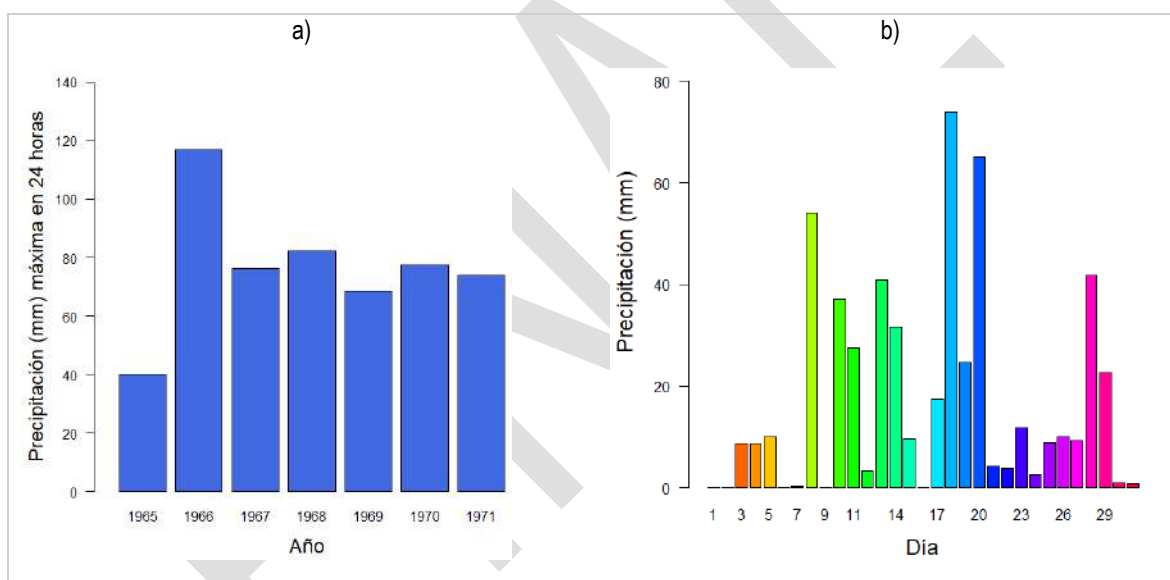
**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

**Tabla 21.** Comportamiento de las lluvias en relación con los eventos históricos de avenidas torrenciales del río Mulato Fuente: Elaboración del Proyecto Rondas Hídricas

Fecha	Mocoa Acueducto	Campucana	Condagua	El Pepino	Villagarzón
1947	Sin datos para la fecha	Sin datos para la fecha	Sin datos para la fecha	Sin datos para la fecha	Sin datos para la fecha
Mayo de 1971	Sin datos para la fecha	Sin datos para la fecha	Sin datos para la fecha	Datos faltantes en la serie para todo el año	Los datos de precipitación no muestran correspondencia con la avenida torrencial.
Febrero de 1989	Datos faltantes en la serie para todo el mes de febrero de 1989	Los datos de precipitación no muestran correspondencia con la avenida torrencial.	No es clara la relación entre los datos reportados por estas estaciones y la avenida torrencial ocurrida.		Los datos de precipitación sí muestran correspondencia con la avenida torrencial.
24 de mayo de 1994		Los datos de precipitación sí muestran correspondencia con la avenida torrencial.		Los datos de precipitación no muestran correspondencia con la avenida torrencial.	Los datos de precipitación sí muestran correspondencia con la avenida torrencial.
17 de junio de 1997		Los datos de precipitación sí muestran correspondencia con la avenida torrencial.		Los datos de precipitación no muestran correspondencia con la avenida torrencial.	Datos faltantes en la serie para todo el mes de junio de 1997

Para la avenida torrencial ocurrida en mayo de 1971 se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas de la única estación que tiene datos para la fecha en la que ocurrió el evento, esto es, la estación Villagarzón; dichos registros pueden dar cuenta de si se presentaron lluvias torrenciales. A pesar de que estas últimas corresponden a lluvias que presentan una intensidad mayor a 60 mm/h, cuando no se cuenta con información de intensidad de lluvia en la estación analizada, como es el caso de la estación Villagarzón, es válido tomar como equivalentes las lluvias torrenciales, a las máximas

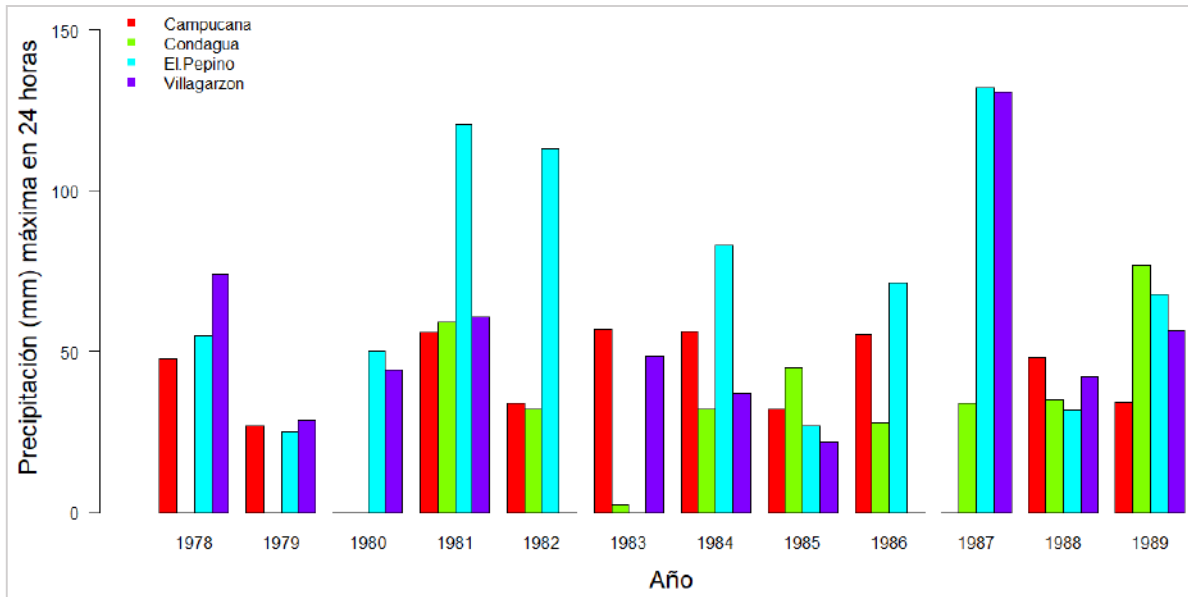
precipitaciones ocurridas en 24 horas (Lozano *et al*, 2010). En ese sentido, los datos muestran que en mayo de 1971 no se presentó una precipitación máxima en 24 horas, mayor a la registrada en los mayos de los cuatro años que le anteceden, como sí se evidencia en el año 1966 con 116,8 mm en 24 horas (**Figura 117a**). Por su parte, la precipitación total diaria para mayo de 1971 muestra un incremento en las lluvias para los días 18 y 20, pero estos valores máximos registrados están por debajo de 80 mm en 24 horas (**Figura 117b**), guardando correspondencia con los máximos para el mismo mes en los años 1967, 1968, 1969 y 1970, lo que permite afirmar que no se observa relación entre las lluvias registradas en la estación Villagarzón y la avenida torrencial ocurrida en el río Mulato. A este respecto, es importante enfatizar en que la estación Villagarzón está ubicada fuera de la cuenca del río Mulato, a la altura de la desembocadura de este, a una distancia de 12,5 km y con una diferencia altitudinal de 114 msnm entre ambos puntos, hechos que pueden explicar que la lluvia registrada en la mencionada estación pluviométrica no reflejan el comportamiento de la precipitación que ocurre en la parte alta de la cuenca del río Mulato, la cual en esa parte, presenta un cauce encañonado y de alta pendiente, factores determinantes en las avenidas torrenciales.



**Figura 117.** Precipitación registrada en la estación IDEAM Villagarzón para a) máxima en 24 horas en los meses de mayo 1965-1971 y b) precipitación total diaria para el mes de mayo de 1971.

En relación a la avenida torrencial del año 1989, los datos de precipitación máxima en 24 horas para febrero no evidencian un incremento importante en la lluvia respecto a los once años antecedentes, de hecho, en el período analizado es febrero de 1987 el año en el que ocurrieron las más altas precipitaciones máximas en 24 horas en las estaciones El Pepino y Villagarzón (**Figura 118**), las cuales se encuentran ubicadas al sur de la cuenca del río Mulato, a 7 km y 12,5 km, respectivamente (**Figura 4**); mientras que en la estación Condagua, no se observa dicho incremento en la lluvia en relación a los años anteriores, esta estación a diferencia de las dos anteriores, se ubica al norte de la cuenca del río Mulato a 17,5 km. Esta diferencia en el comportamiento de las lluvias puede deberse a que las estaciones no corresponden a una misma región hidroclimática, aunque ello solo puede ser corroborado mediante un análisis de homogeneidad en el comportamiento climático, pues según Arango *et al* (2012), no necesariamente las estaciones dentro de una misma región hidroclimática

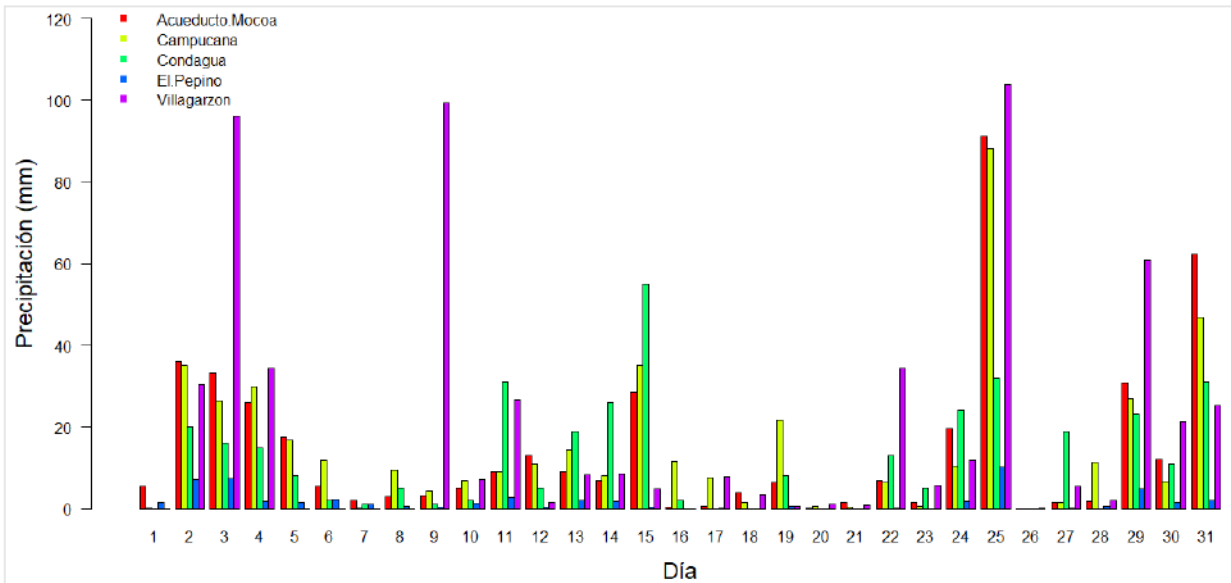
presentan un mismo comportamiento climático estacional. Específicamente, comparando febrero de 1989 con los años anteriores (sin incluir los que muestran los valores más altos en al menos una estación: 1981, 1982 y 1987), se observa que las precipitaciones máximas registradas en 24 horas son mayores, respecto a los años restantes, para tres de las cuatro estaciones analizadas, principalmente en la estación Condagua, lo que sugiere que esta estación es la que puede reflejar, la avenida torrencial ocurrida.



**Figura 118.** Precipitación máxima en 24 horas registrada en el mes de febrero en las estaciones Campucana, Condagua, El Pepino y Villagarzón 1978-1989.

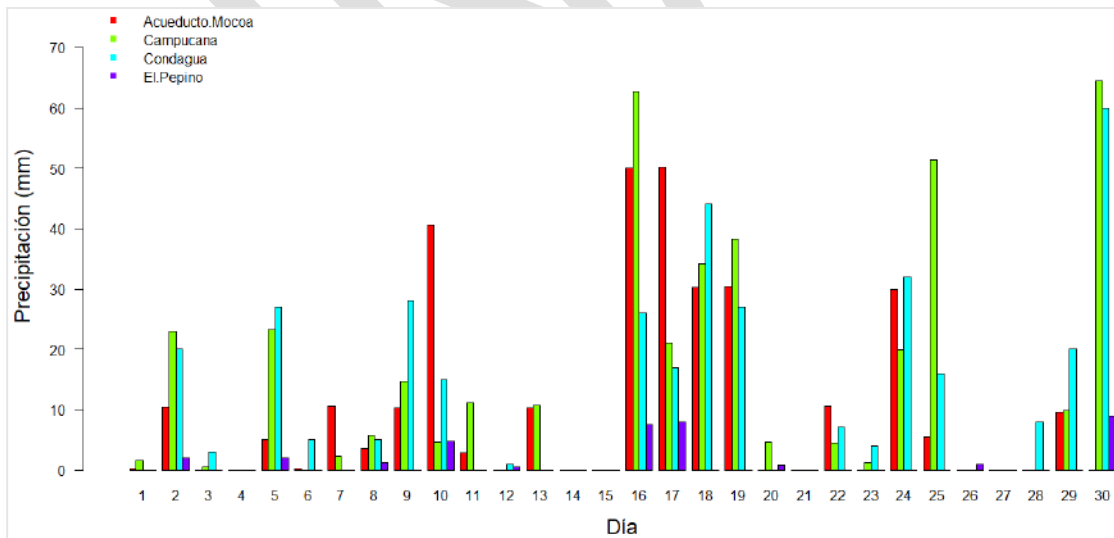
En cuanto a la avenida torrencial registrada el 24 de mayo de 1994, los datos en las estaciones Acueducto Mocoa, Campucana y Villagarzón muestran un notable incremento en las lluvias pero para el día 25 de mayo de 1994 (**Figura 119**). De manera similar, en los días 3 y 9 de mayo (**Figura 119**), se observan aumentos importantes en la precipitación en la estación Villagarzón, hecho que no se manifiesta en las demás estaciones comparadas, es decir, en las estaciones Acueducto Mocoa, Campucana, Condagua y El Pepino.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**



**Figura 119.** Precipitación total diaria registrada durante el mes de mayo de 1994 en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Condagua, El Pepino y Villagarzón. Fuente: Equipo Rondas Hídricas; construida a partir de datos IDEAM.

Finalmente, para la avenida torrencial de 1997 ocurrida el 17 de junio, se encontró un aumento en la lluvia entre los días 16 a 19 de dicho mes, en las estaciones Acueducto Mocoa, Campucana y Condagua (**Figura 120**), guardando correspondencia temporal con el mencionado evento histórico.



**Figura 120.** Precipitación total diaria registrada durante el mes de junio de 1997 en las estaciones Mocoa Acueducto, Campucana, Condagua y El Pepino.

6.2.2.6 Modelo lluvia-escorrentía

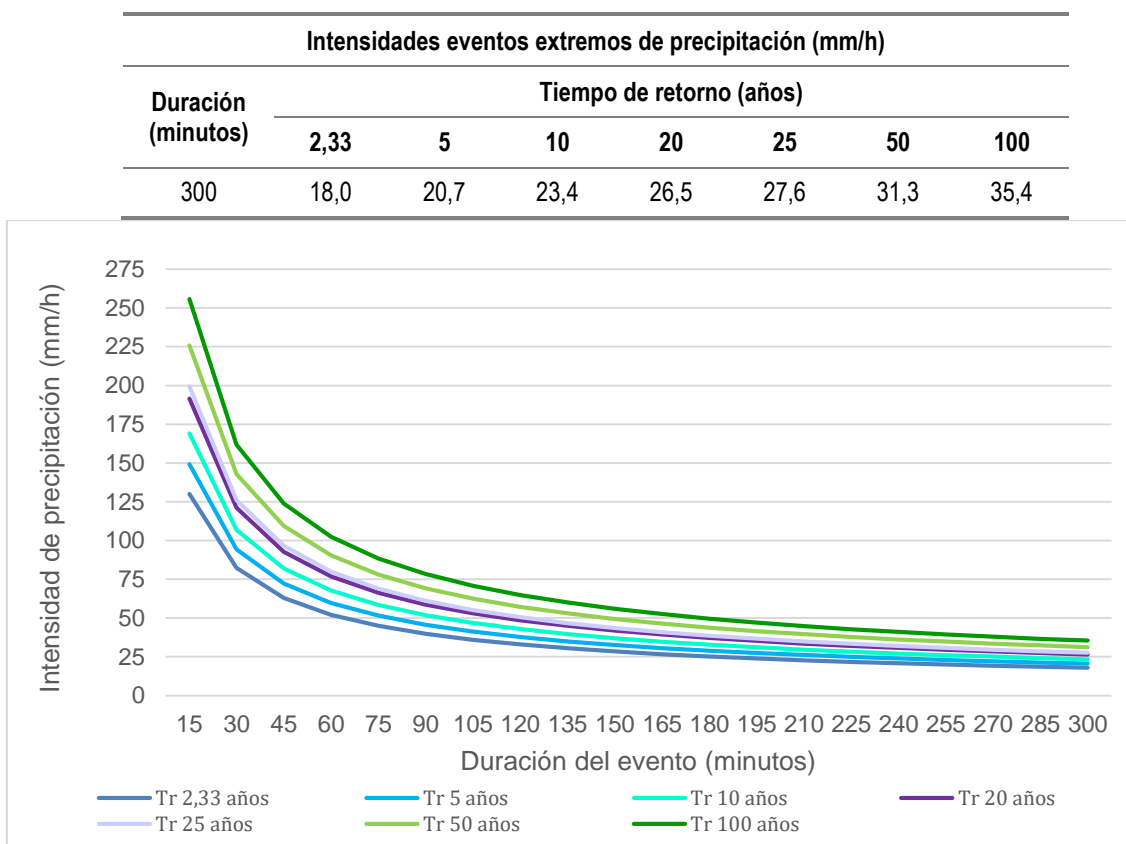
**Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)**

Las curvas IDF, por su parte, relacionan las lluvias, estimadas como intensidad de precipitación, contra su duración y el período de retorno (frecuencia de ocurrencia). En la **Tabla 22** se relacionan los datos de intensidades estimados a partir de los registros de precipitación máxima en 24 horas en la estación Mocoa Acueducto 44015040 y en la **Figura 121** las respectivas curvas IDF, en las que se muestra que la intensidad de la precipitación es mayor con: *i)* eventos de precipitación de más corta duración y *ii)* períodos de retorno mayores, lo que significa que la intensidad de la precipitación tiene un comportamiento decreciente con eventos de lluvia más prolongados y que dichas intensidades son mayores cuando el intervalo de recurrencia promedio entre eventos de lluvia es mayor (períodos de retorno más grandes). En el **Anexo 10** se puede consultar el cálculo de las curvas IDF generadas.

**Tabla 22.** Valores de intensidad de eventos extremos para la estación Mocoa Acueducto

Duración (minutos)	Intensidades eventos extremos de precipitación (mm/h)						
	Tiempo de retorno (años)						
	2,33	5	10	20	25	50	100
15	130,0	149,2	169,0	191,5	199,3	225,8	255,8
30	82,3	94,4	107,0	121,2	126,1	142,9	161,9
45	63,0	72,2	81,8	92,7	96,5	109,4	123,9
60	52,1	59,8	67,7	76,7	79,8	90,4	102,5
75	44,9	51,6	58,4	66,2	68,9	78,1	88,4
90	39,9	45,7	51,8	58,7	61,1	69,2	78,4
105	36,0	41,3	46,8	53,0	55,2	62,5	70,8
120	33,0	37,8	42,8	48,5	50,5	57,2	64,8
135	30,5	35,0	39,6	44,9	46,7	53,0	60,0
150	28,4	32,6	37,0	41,9	43,6	49,4	56,0
165	26,7	30,6	34,7	39,3	40,9	46,4	52,6
180	25,2	28,9	32,8	37,1	38,7	43,8	49,6
195	23,9	27,4	31,1	35,2	36,7	41,5	47,1
210	22,8	26,1	29,6	33,5	34,9	39,6	44,8
225	21,8	25,0	28,3	32,1	33,4	37,8	42,8
240	20,9	23,9	27,1	30,7	32,0	36,2	41,0
255	20,0	23,0	26,1	29,5	30,7	34,8	39,4
270	19,3	22,1	25,1	28,4	29,6	33,5	38,0
285	18,6	21,4	24,2	27,4	28,5	32,3	36,6

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)



**Figura 121.** Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia estación Mocoa Acueducto 44015040.

### Tiempo de concentración

La información utilizada como base para los cálculos se encuentra en la **Tabla 23**.

**Tabla 23.** Parámetros base para el cálculo del tiempo de concentración

Longitud cauce (km)	Cota mayor cauce (msnm)	Cota menor cauce (msnm)	Pendiente (%)	Pendiente (m/m)	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	H (m)
12,6	2041	582	11,58	0,116	17,64	1459

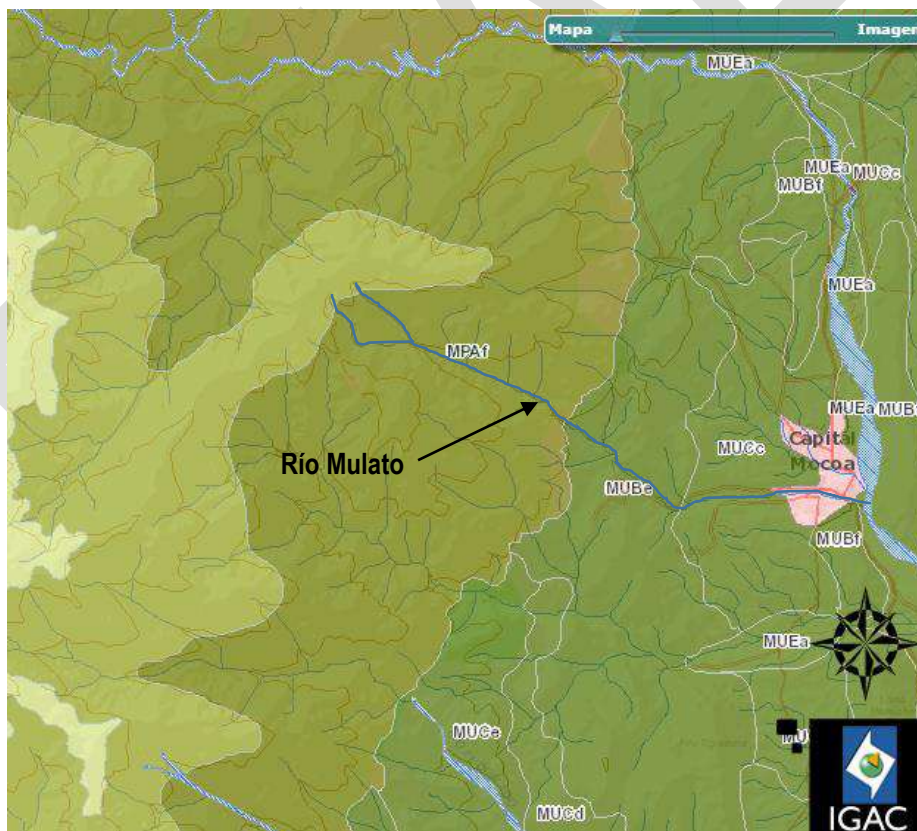
En la **Tabla 24** se especifican los tiempos de concentración estimados para la cuenca del río Mulato, con punto de cierre en la confluencia con el río Mocoa.

**Tabla 24.** Tiempos de concentración para la cuenca del río Mulato

Método	Tiempo de concentración (horas)
Kirpich	1,07
Témez	1,29
Giandotti	1,17
SCS - Ranser	1,07
Representativo	1,15

Los tiempos estimados son muy similares entre sí, lo que permitió definir el tiempo de concentración representativo como el promedio de los valores calculados. En definitiva, el tiempo de concentración de la cuenca de estudio se fijó en 1 hora.

### Estimación de la precipitación efectiva, número de curva



**Figura 122.** Suelos en la zona de estudio, escala 1:1'000 000. Fuente: visor web de mapas del IGAC ([www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co))

De acuerdo con el IGAC, en la zona de estudio se tienen suelos de los tipos (**Figura 122**):

- *MPAf: Asociación Typic Dystrupepts - Typic Hapludox - Typic Troorthents*. Esta asociación se encuentra en zonas de montaña con relieve de tipo filas - vigas que varía de fuertemente quebrado a escarpado, de laderas largas complejas y cimas agudas. Son suelos muy superficiales y profundos, bien y excesivamente drenados, texturas moderadamente finas, moderadamente gruesas y gruesas, fuertemente y muy fuertemente ácidos, media a muy alta saturación de aluminio, fertilidad moderada y baja. Esta unidad presenta, en sectores, remoción en masa y erosión en grado ligero-moderado.
- *MUBe: Asociación Oxic Dystrupepts - Typic Udorthents - Lithic Dystrupepts*. Esta asociación se encuentra en zonas de montaña con relieve de tipo lomas. Son suelos superficiales a muy profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas y finas, fuerte y muy fuertemente ácidos, muy alta saturación de aluminio y fertilidad baja.
- *MUCc: Asociación Andic Dystrupepts -Typic Dystrupepts –Inclusiones*. Esta asociación se encuentra en zonas de montaña con relieve de lomas y colinas. Los suelos son moderadamente profundos y profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas y medias, fuertemente y muy fuertemente ácidos, muy alta saturación de aluminio, fertilidad baja.

Según la anterior descripción y de acuerdo con Escobar *et al.* (2017), en general los suelos se caracterizan por contener materiales con tamaño de grano medio a fino, siendo para la cuenca del tipo C, esto es, arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla. En cuanto a las pendientes, se encontró que en más del 99 % de la cuenca se tienen valores superiores al 1 %.

En la **Tabla 26** se detallan los resultados de los números de escurrimiento o números de curva (CN<sup>5</sup>) que fueron calculados bajo las condiciones de pendiente y suelo que se han descrito previamente, para cada tipo de cobertura vegetal. Como se especificó en la metodología, la definición de las coberturas vegetales fue establecida empleando la capa de coberturas de la tierra producida por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi (Murcia *et al.*, 2016), en conjunto con la cartografía proporcionada por CORPOAMAZONIA al componente de Sistemas de Información Geográfica SIG del proyecto Rondas Hídricas.

Se observa que la zona de la cuenca cuya cobertura vegetal es bosque primario es la mayor área ocupada, siendo a su vez la que presenta el número de curva (CN) más bajo, esto es, la zona de la cuenca que menor escorrentía aporta (Tabla 25), lo que se debe al agua que es abstraída por la vegetación de bosque y a que el suelo de un bosque retiene más agua que un suelo con pasto o desnudo. Lo anterior se traduce en que el bosque primario produce menor escorrentía respecto a un

---

<sup>5</sup> El método de número de curva de escorrentía (CN) permite estimar las abstracciones de una tormenta (precipitación efectiva), las cuales incluyen la interceptación, la detención superficial y la infiltración; en este método, la profundidad de escorrentía o profundidad efectiva de precipitación es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía. El CN varía en un rango de 1 a 100 en función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrológica: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo, iii) condiciones de la superficie del terreno, y iv) condición de humedad antecedente del suelo (Flórez & Bolaños, 2009), un mayor CN significa una mayor escorrentía y por tanto, menores abstracciones.



suelo con una cobertura de pastos y cultivos, cuyo CN es más alto y aporta entonces un mayor escurrimiento a la cuenca (caudal). Como se tienen varios tipos de cobertura vegetal y por ende, varios CN, se calculó un CN compuesto o representativo de toda la cuenca (media de los CN por tipo de cobertura) el cual es de 72,11.

**Tabla 25.** Relación entre las coberturas de la tierra en la cuenca y CN. Fuente: Equipo Técnico Rondas Hídricas

Cobertura de la tierra	Área (ha)	CN
Dominancia de pastos (vegetación herbácea)	136,6	79
Bosque secundario	251	77
Pastos y cultivos	10,49	88
Mosaico de pastos con espacios naturales	7,44	79
Bosque primario	1156	70
Vegetación secundaria o en transición	9,73	77
Pastos limpios	1,64	79
TOTAL	1572,9	72,11

### Ajuste por condición de humedad tipo III

Para el cálculo de caudales de creciente el CN representativo debe ajustarse según las condiciones de humedad antecedente, es decir, considerar en el cálculo el efecto de la condición de humedad pre-existente en el suelo o humedad antecedente al evento precipitación – escurrimiento. Para la estimación de caudales máximos, como es este caso, se suele utilizar la condición de humedad tipo III, la cual está relacionada con suelos saturados, ya que bajo ese escenario se genera una mayor escorrentía. A continuación se muestra el resultado del CN ajustado para la cuenca, el cual es de 85,61.

$$CN(III) = \frac{23 * 72,11}{10 + 0,13 * 72,11} = 85,61$$

#### 6.2.2.7 Tormenta de diseño

En la **Tabla 26** se muestran los parámetros de los eventos de precipitación para diferentes tiempos de retorno, los cuales fueron obtenidos a partir de la intensidad de la lluvia, la duración de la lluvia (en función del tiempo de concentración de 1 hora que fue calculado con cierre a 3 km aguas arriba de la desembocadura del río Mulato), la precipitación total y el número de curva, todos ellos explicados en los números antecedentes; se observa que la precipitación efectiva aumenta a mayores tiempos de retorno.

**Tabla 26.** Parámetros de los eventos de precipitación de diseño por tiempo de retorno

Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	Duración lluvia (minutos)	Precipitación (mm)	Precipitación efectiva (mm)
2,33	47,49	69	54,61	25,33
5	54,49	69,00	62,66	31,84
10	61,73	69,00	70,99	38,82
20	69,93	69,00	80,42	46,98
25	72,80	69,00	83,72	49,87
50	82,47	69,00	94,84	59,81
100	93,43	69,00	107,45	71,30

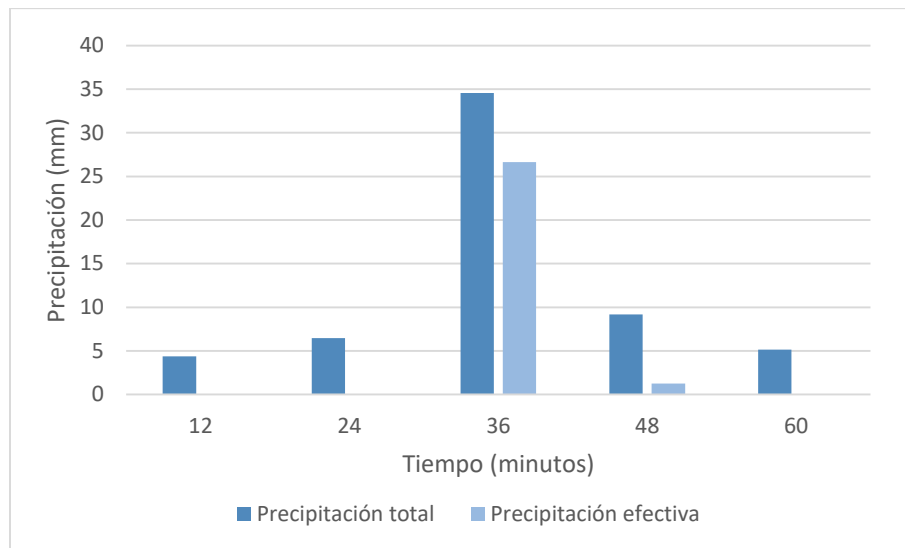
#### 6.2.2.8 Hietograma

En la **Tabla 27** se muestra un ejemplo de cálculo de precipitación efectiva, para un período de retorno de 5 años; no obstante, la totalidad de cálculos para los demás tiempos de retorno puede ser consultada en el **Anexo 11**.

**Tabla 27.** Hietograma de precipitación total y efectiva para el tiempo de retorno 5 años

Tiempo (minutos)	$\Delta P$ (mm)	$\Delta Pe$ (mm)
12	4,37	0,00
24	6,47	0,00
36	34,57	26,66
48	9,19	1,27
60	5,16	0,00
TOTAL	59,75	31,84
$\Phi$ (mm/h)		27,93

En la **Figura 123** se muestra el hietograma de precipitación total y precipitación efectiva para el período de retorno anteriormente mencionado, en el que se muestra la evolución de los 59,75 mm de precipitación total a lo largo de 60 minutos; se puede evidenciar que los 12 minutos más lluviosos ocurren a los 36 minutos, donde se alcanza 34,57 mm de precipitación total y de los cuales 26,66 mm se convierten en escorrentía directa que llegan 3 km aguas arriba de la desembocadura del río Mulato.



**Figura 123.** Histograma de precipitación total y efectiva para el período de retorno de 5 años

#### 6.2.2.9 Hidrograma unitario sintético

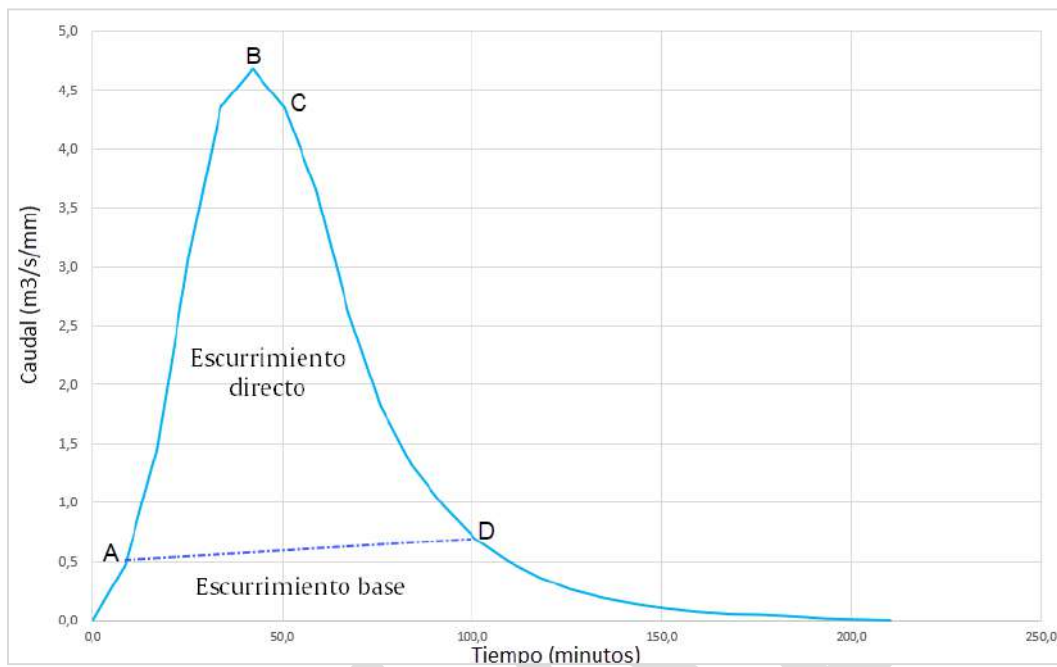
La duración del evento de precipitación usado en la construcción del hidrograma unitario sintético fue de 12 minutos o 0,2 horas. En la **Tabla 28** se especifican los parámetros del hidrograma unitario sintético resultante.

**Tabla 28.** Parámetros del hidrograma unitario sintético para el pulso de precipitación efectiva

Duración pulso (h)	Tiempo de concentración (h)	Tiempo de retraso (h)	Tiempo al pico (h)	Área (h)	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s/mm)
0,2	1	0,6	0,7	15,73	4,67

El ajuste al hidrograma unitario curvilíneo se muestra en la **Figura 124**; los valores detallados del hidrograma pueden ser consultados en el **Anexo 12**. En el hidrograma unitario se puede identificar el escurrimiento directo producido por una tormenta, así como las partes del hidrograma, las cuales son mostradas con las letras A, B, C y D, donde:

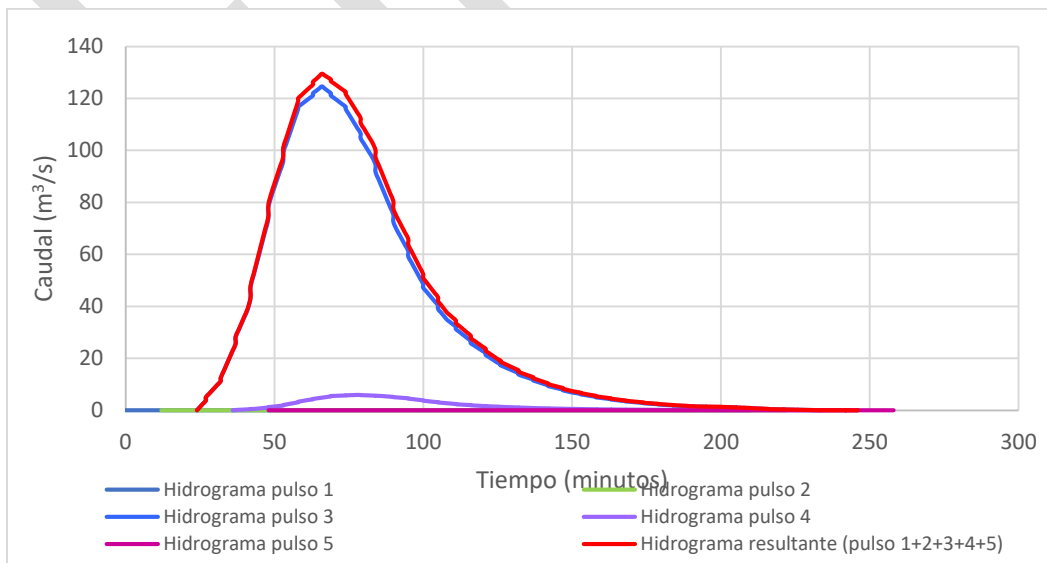
- Punto A: indica el punto de levantamiento del hidrograma, a partir del cual el agua producida por la tormenta comienza a llegar al punto de cierre (3 km aguas arriba de la desembocadura) inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante y después de esta; el punto de levantamiento ocurre a los 8,4 minutos.
- Punto B: indica el pico del hidrograma, el cual ocurre a los 42 minutos y es el momento en el cual se produce el mayor caudal (4,7 m<sup>3</sup>/s) durante la tormenta.



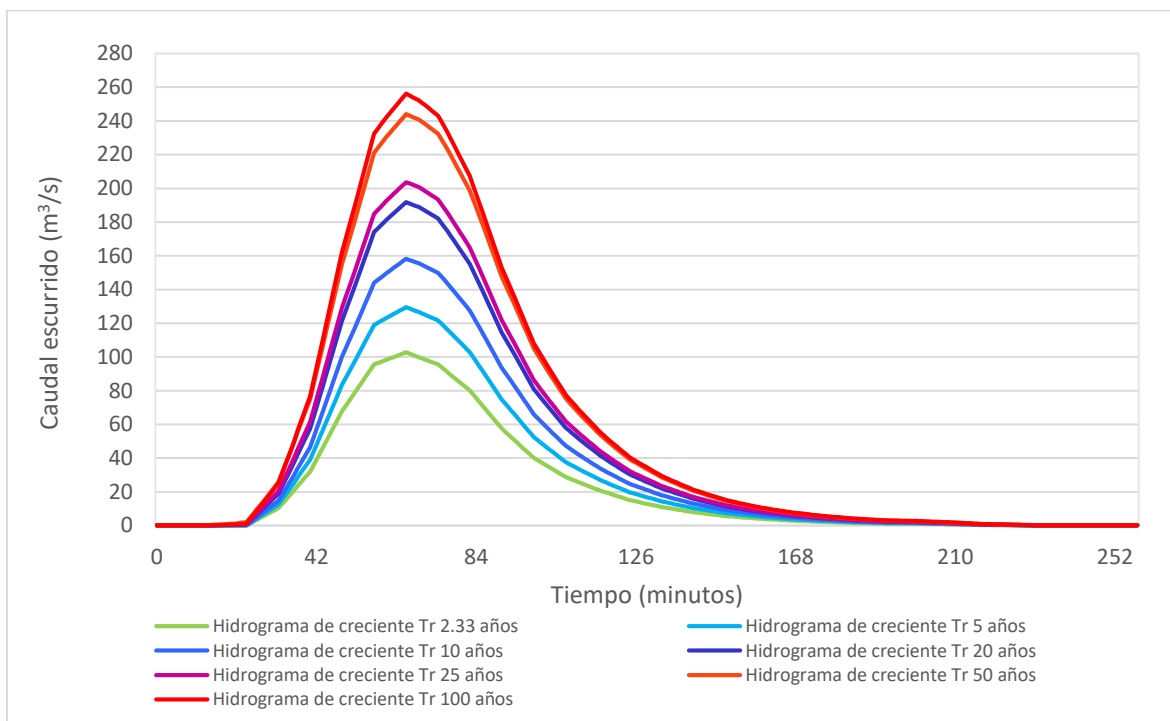
**Figura 124.** Hidrograma unitario sintético del río Mulato para un pulso de precipitación efectiva

- Punto C: punto de inflexión del hidrograma a partir del cual se estima que termina el flujo sobre el terreno, de ahí en adelante lo que queda en la cuenca escurre a través de la red de drenaje y como flujo subterráneo.
- Punto D: final del escurrimiento directo, de ahí en adelante el escurrimiento es de tipo subterráneo.

#### 6.2.2.10 Hidrogramas de creciete y caudales máximos



**Figura 125.** Generación del hidrograma de creciete del río Mulato para periodo de retorno de 5 años



**Figura 126.** Hidrogramas de creciete del río Mulato para varios períodos de retorno

El resumen de los resultados obtenidos se relaciona en la **Tabla 29**. Al comparar los caudales obtenidos con los resultados de los aforos en la estación Bocatoma Líbano (caudal medio de 2,54 m<sup>3</sup>/s), se identifica un aumento de dos órdenes de magnitud para los máximos estimados, hecho que ratifica la decisión de no haber usado tales registros en el proceso de generación de caudales máximos, pues este tipo de series no permite realizar dichas estimaciones, ya que su representatividad temporal es diferente a la escala en la que se presentan eventos de creciete, la cual puede llegar a ser del orden de días, e incluso horas según Tschida *et al* (2015). No obstante, vale la pena mencionar que los puntos geográficos en los que los caudales están siendo comparados distan entre sí 4 km, tramo en el que tres afluentes (quebradas Las Córdoba y el río Mulatico) descargan sus aguas al río Mulato; los aportes de las quebradas Las Córdoba están alrededor de 0,1 y 0,2 m<sup>3</sup>/s, según lo estimado en la fase de campo.

**Tabla 29.** Resumen de resultados de eventos de precipitación-escorrentía para la cuenca del río Mulato

Tiempo de retorno (años)	I (mm/h)	Duración lluvia (minutos)	P (mm)	Pe (mm)	Duración escorrentía (minutos)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
2,33	52,08	60	52,08	21,98	210	102,73
5	59,75	60	59,75	27,93	222	129,48
10	67,69	60	67,69	34,35	222	158,22

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)

Tiempo de retorno (años)	I (mm/h)	Duración lluvia (minutos)	P (mm)	Pe (mm)	Duración escorrentía (minutos)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
20	76,69	60	76,69	41,90	234	191,80
25	79,83	60	79,83	44,58	234	203,70
50	90,44	60	90,44	53,83	246	243,97
100	102,46	60	102,46	64,56	234	256,13

Las crecientes o avenidas torrenciales son provocadas generalmente por lluvias importantes, que una vez han saturado el suelo, una parte ellas son transformadas en escorrentía; ese agua tendrá un primer recorrido por el suelo hasta alcanzar los cursos de agua y transitar hasta el punto de desagüe con caudales extraordinarios, en un tiempo relativamente corto de pocas horas, como lo afirman Tsichida *et al.* (2015), quienes además mencionan que ciertas áreas, pueden llegar a recibir más lluvia que la que usualmente experimentan en un mes entero.

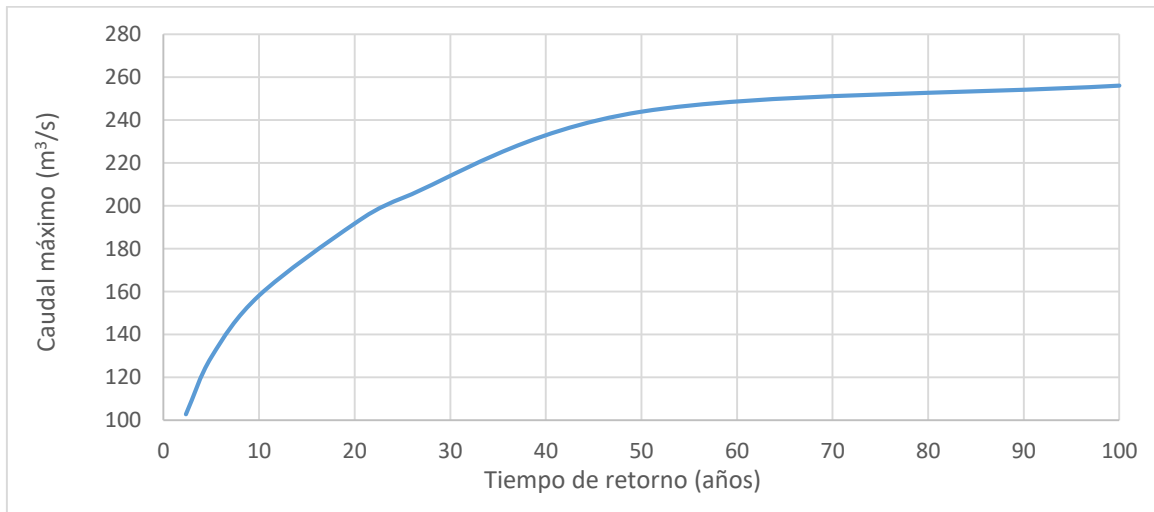
Específicamente en cuerpos de agua del Piedemonte Amazónico colombiano, Escobar *et al.* (2017) establecieron que en la avenida fluviotorrencial ocurrida entre el 31 de marzo y el 1 de abril de 2017 en Mocoa, en la quebrada Taruca el caudal que transitó fue de 2,500 m<sup>3</sup>/s, una magnitud extraordinaria respecto al caudal promedio de dicho curso de agua que es de 1 m<sup>3</sup>/s.

Estas altas descargas provienen en gran parte de gradientes pronunciados y por lo general, poco espacio para almacenamiento aguas abajo, lo que resulta en mayor potencial de erosión y menos espacio para la deposición de los sedimentos; cuencas pequeñas son también más propensas a grandes inundaciones, por ejemplo, el caudal máximo medido en el río Amazonas (en Obidos), es mayor “solo” en 50 - 75 % respecto al caudal promedio; mientras que el caudal máximo en un río pequeño puede ser 20 - 1000 veces mayor que su caudal promedio (Milliman *et al.*, 2017).

Por lo anteriormente descrito, cobra gran relevancia el monitoreo continuo, tanto de la precipitación como de los caudales, así como el conocimiento de las condiciones edáficas, todos ellos, elementos de enorme importancia en el pronóstico y prevención de crecientes e inundaciones. En la información que recopiló Jojoa (2003), por ejemplo, se afirma que dado que las áreas más susceptibles a la erosión por remoción en masa se localizan en las cabeceras de las cuencas Mulato, Pepino, Sangoyaco y Taruca, en el caso de presentarse dicho evento y que genere taponamiento en el cauce del curso de agua principal, no se prevé que se logre grandes volúmenes de agua, mientras se conserve la buena cobertura vegetal de las cuencas.

Si bien, la cobertura vegetal juega un papel fundamental en la respuesta de la cuenca, la alta torrencialidad de los ríos de la zona, las elevadas pendientes y el corto tiempo de tránsito de los caudales son también factores determinantes en una crecida, como ha quedado demostrado con las avenidas torrenciales históricas que han ocurrido en la cuenca del río Mulato. En ese sentido, resulta fundamental establecer el efecto de la cobertura vegetal ante la dinámica natural de las avenidas torrenciales en la región.

Finalmente, al relacionar los caudales máximos obtenidos con el tiempo de retorno (**Figura 127**) se evidencia una curva ascendente con alta pendiente en los primeros 25 años y a partir de este tiempo, una disminución en la pendiente. Se puede observar una disminución de la tasa de cambio del caudal máximo con respecto al tiempo de retorno, conforme aumenta este último. Tal situación, puede deberse a que el modelo de las curvas IDF fue concebido con una función de densidad de probabilidad que da poco peso a los valores extremos altos (cola derecha de la función de distribución ajustada), la cual está relacionada con tiempos de retorno elevados.



**Figura 127.** Relación entre el caudal máximo estimado y el tiempo de retorno

Como una forma de verificar si el enfoque de número de curva empleado representa adecuadamente el fenómeno de análisis, se comprobó la magnitud del evento de diseño en relación a la pérdida inicial. Para ello, se estimó la capacidad máxima de retención del suelo y la pérdida inicial asociada a las condiciones de la cuenca mediante las siguientes ecuaciones:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$I_a = \lambda \times S \therefore \lambda = \frac{I_a}{S}$$

Donde:

S: es la capacidad máxima de retención de agua en la cuenca excluyendo  $I_a$ , en mm.

$I_a$ : es la pérdida inicial, en mm.

$\lambda$ : es un coeficiente de la metodología; se asume el valor de 0,05 para  $CN < 50$  y 0,2 para los demás casos.

Como el valor de CN en la cuenca del río Mulato es mayor que 30,  $\lambda$  toma el valor de 0,2. Por lo tanto, la relación entre la precipitación efectiva y total se puede escribir como:

$$P_e = \frac{(P_T - 0.2 \times S)^2}{(P_T - 0.2 \times S + S)} \text{ cuando } P_T \geq \lambda \times S$$

$$P_e = 0 \text{ cuando } P_T \leq \lambda \times S$$

Donde:

$P_e$ : precipitación efectiva, en mm.

$P_T$ : precipitación total, en mm.

La relación de  $P_e$  y  $P_T$  también se puede escribir para ingresar el valor de CN y las dimensiones en cm.

$$P_e = \frac{\left[ P_T - \frac{508}{CN} + 5,08 \right]^2}{P_T + \frac{2032}{CN} - 20,32}$$

Por último, se verificó la aplicabilidad de la metodología del número de curva (**Tabla 30**); la magnitud del evento de precipitación de diseño debe ser mayor que la pérdida inicial, en caso contrario, la escorrentía se hace cero.

**Tabla 30.** Verificación de la aplicabilidad de la metodología del número de curva 3 km aguas arriba de la desembocadura del río Mulato

Tiempo de retorno (años)	CN	$I_a$ (mm)	$P_T$ (mm)	Cumple
2,33	85,61	8,6	52,08	Sí
5	85,61	8,6	59,79	Sí
10	85,61	8,6	67,69	Sí
20	85,61	8,6	76,69	Sí
25	85,61	8,6	79,83	Sí
50	85,61	8,6	90,44	Sí
100	85,61	8,6	105,46	Sí

Como se pudo verificar, la metodología del número de curva es aplicable para la estimación de la precipitación efectiva de tormentas de diseño en la cuenca del río Mulato en el Putumayo. Por tanto, los caudales máximos estimados para diferentes tiempos de retorno mediante el método seleccionado, podrán ser usados como insumo fundamental en la definición de la ronda hídrica del componente hidrológico-hidráulico. Dicha ronda se establece tras efectuar la modelación hidráulica y su trazado se efectúa tomando como referencia el cauce permanente.



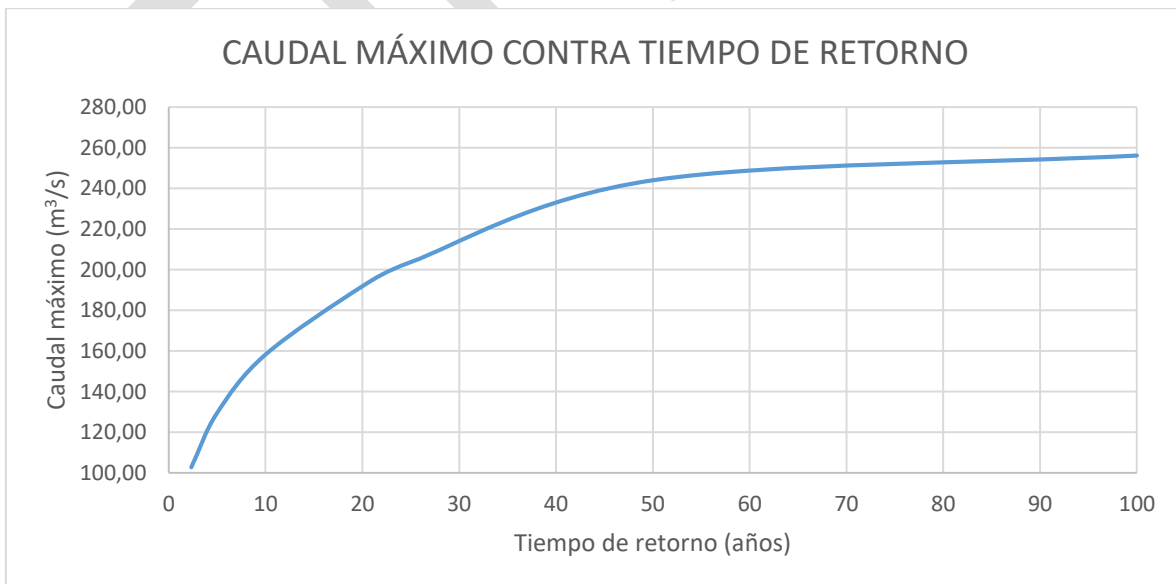
6.2.2.11 Modelo Hidráulico

Para la cuenca del río Mulato se realizó el análisis hidrológico completo del sistema, utilizando la información de las estaciones climatológicas existentes y que cuentan con información suficiente y completa para realizar el análisis de frecuencias asociado a períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. El componente hidrológico calculó dichos caudales pico para los períodos de retorno mencionados anteriormente, adicionalmente suministró los hidrogramas de crecientes asociados a la cuenca.

A continuación en la **Tabla 31** se presentan los caudales pico calculados y su relación con respecto al período de retorno.

**Tabla 31** Caudales asociados a periodos de retorno

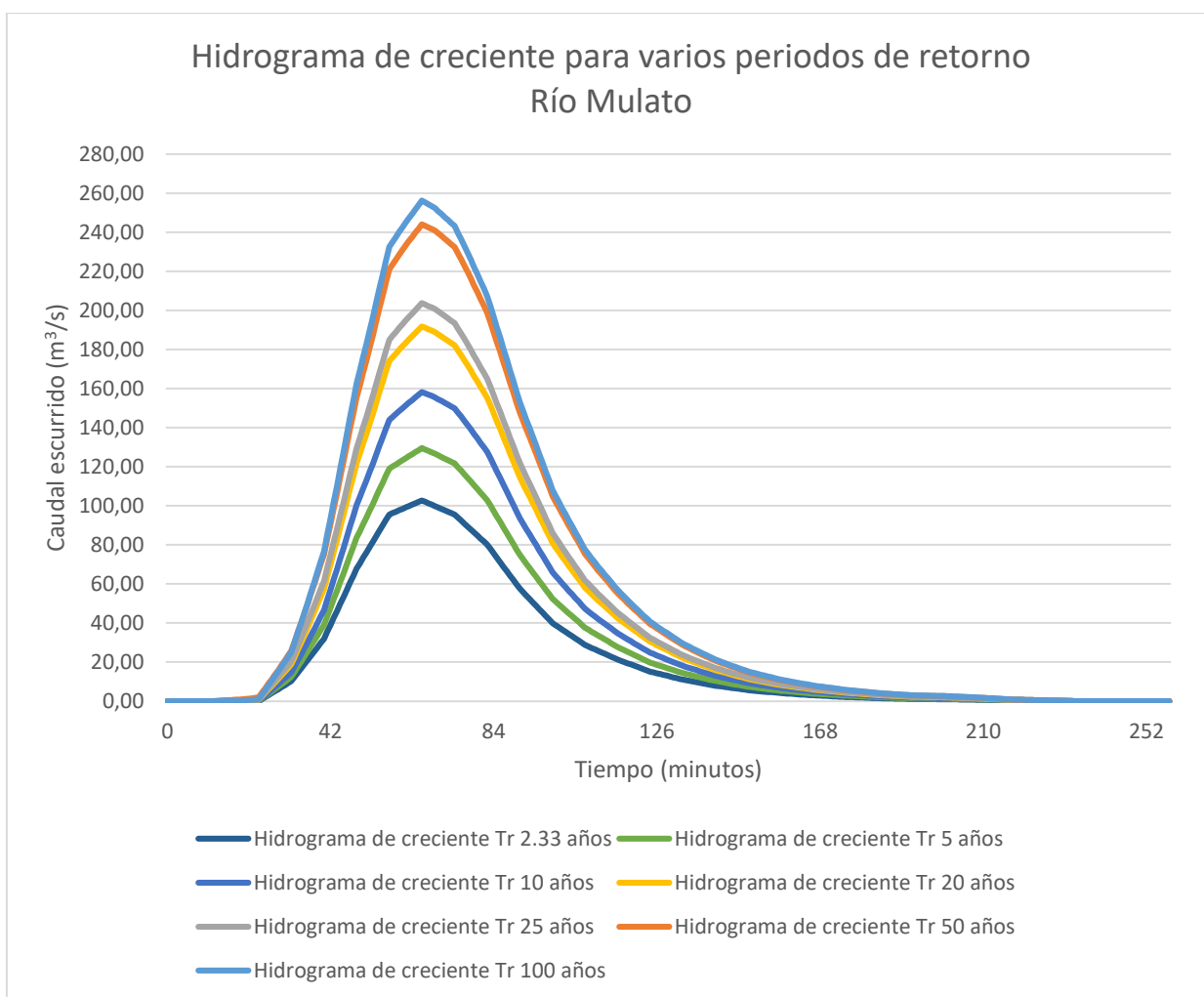
Tiempo de retorno (años)	Duración escorrentía (minutos)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
2.33	210	102.73
5	222	129.48
10	222	158.22
20	234	191.80
25	234	203.70
50	246	243.97
100	234	256.13



**Figura 128** Caudal maximo contra período de retorno

Los hidrogramas de crecientes están desarrollados a partir del método del número de curva y el tiempo de concentración calculado para la cuenca del río Mulato. Los caudales pico calculados fueron utilizados para construir las curvas de las crecientes. El método utilizado genera caudales pico mucho más pronunciados y concentrados en el tiempo para periodos de retorno grandes.

Esta información será utilizada para alimentar el modelo hidráulico con los siete escenarios probabilísticos de la **Tabla 31**.



**Figura 129** Hidrogramas de creciente para diferentes periodos de retorno

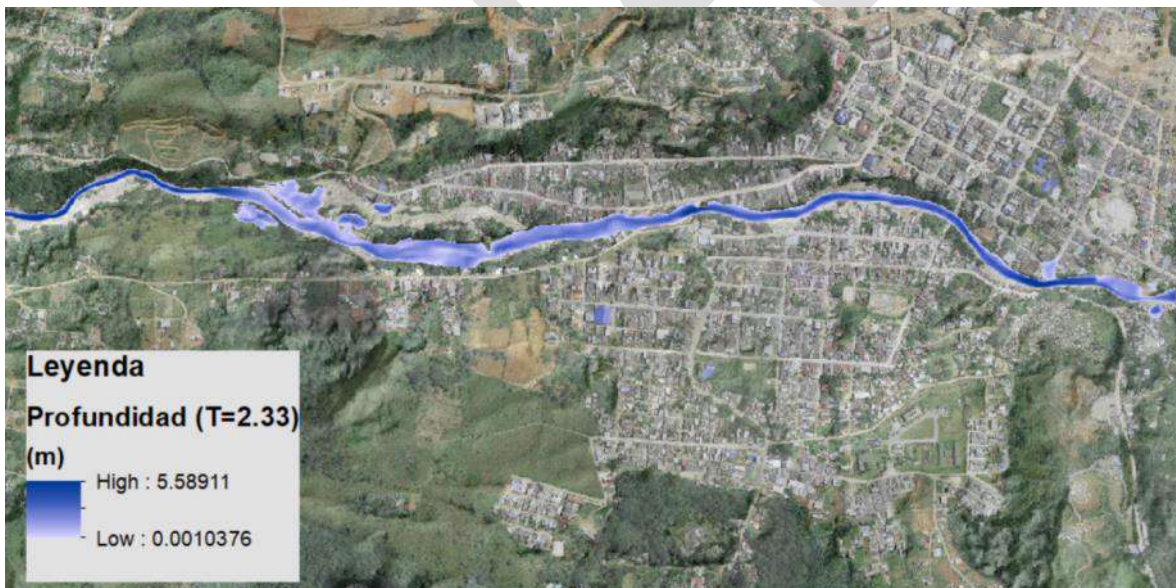
Es importante tener en cuenta que debido a los cambios en los usos del suelo y los cambios en la variabilidad climática, el análisis de frecuencias puede variar su distribución probabilística, lo que causa que los caudales aumenten o disminuyan para sus periodos de retorno asociados. Esto quiere decir que un caudal con periodo de retorno de 50 años, debido a los cambios acelerados de los usos del suelo y los efectos del cambio climático, puede representar hoy en día una amenaza con un periodo de retorno de 40 años o menos. Por esta razón es importante hacer un seguimiento a los usos del suelo de la cuenca, y a los efectos esperados debidos a los cambios en la temperatura a nivel global.

El modelo hidráulico descrito anteriormente se corrió para todos los escenarios hidrológicos propuestos. El modelo fue configurado para dos tipos de flujo, flujo permanente y flujo no permanente. Para el flujo permanente se utilizaron los datos de caudal pico mencionados anteriormente. Para la condición de flujo no permanente se utilizaron los hidrogramas suministrados por el componente hidrológico. A continuación se presentan las manchas de inundación y las velocidades medias, resultado de las simulaciones anteriormente mencionadas.

### **Simulación T=2.33 años**

Esta simulación corresponde a un evento con un período de retorno de 2.33 años, es decir, la condición media normal del río. El resultado de esta simulación representa el cauce permanente “medio” del río, es decir la condición normal dentro de las condiciones medias interanuales. Ésta condición no tiene en cuenta los efectos de los fenómenos de Las Niñas y Los Niños asociados (ENSO negativo y positivo).

Como se puede notar en la **Figura 130**, el cauce no se sale del cauce natural del río y no presenta desbordamientos a lo largo de su recorrido. Al inicio del recorrido, cuando el río entra en la zona de transición geomorfológica, al inicio del casco urbano de la ciudad se distribuye de manera más dinámica.



**Figura 130** Inundación T=2.33 años

Luego de la avenida fluvio-torrencial que ocurrió el 31 de Marzo y 1 de Abril de 2017 en Mocoa, el río dejó claro su recorrido natural, dejando esta zona delimitada marcada con su cauce. Sin embargo, antes de la avenida fluvio-torrencial y al parecer por acciones antropogénicas, el cauce del río pasaba por el brazo sur, permitiendo el asentamiento de personas en el bosque formado en esta zona inundable del río.

Las **Figura 131** y **Figura 132** muestran el antes y el después de la avenida fluvio-torrencial. Debido a que el levantamiento topográfico se realizó antes del desastre, la zona de vegetación aún existía y

ésta fue corregida para obtener el modelo digital del terreno, sin embargo la calidad del modelo en esta zona no es la mejor, pues la limpieza se realizó basados en la altura de la vegetación en ese momento. Como se puede ver en los resultados de la modelación **Figura 131**, esta zona no tiene un cauce definido, sin embargo tiene características topográficas que la hacen inundable.



**Figura 131** Zona inundable T=2.33 años, Marzo 2017

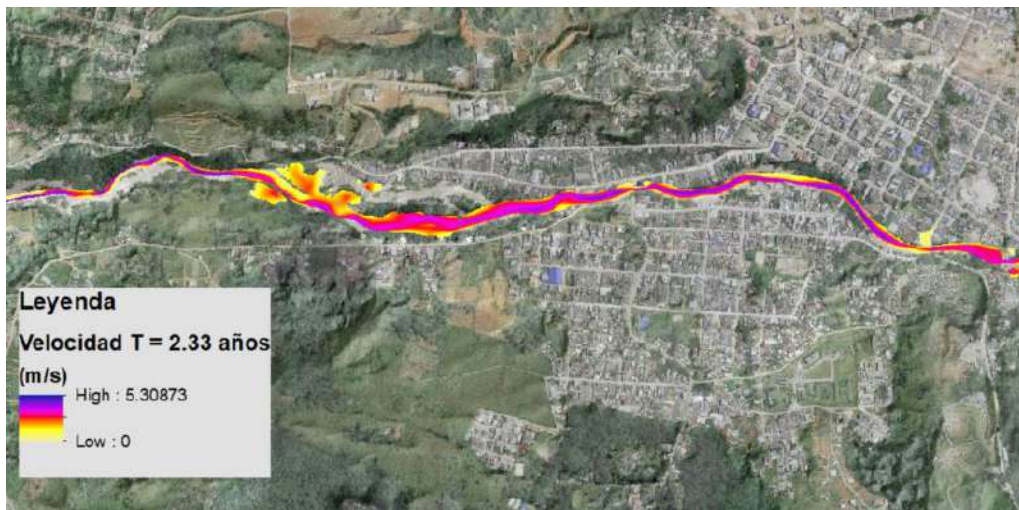


**Figura 132** Zona inundable T=2.33 años, Abril 2017

Basados en lo mencionado anteriormente se recomienda tener en cuenta toda esta zona dentro de la ronda hidráulica del río, pues después del desastre y basados en las zonas por donde fluyó el río, se demostró que necesita dicho espacio para transitar una gran crecencia como la ocurrida en Abril del 2017 en Mocoa.

La velocidad del flujo es otro aspecto muy importante en la simulación del flujo del río Mulato, pues ésta, junto con la profundidad, una de las variables que mayor daño puede provocar durante una

creciente. La **Figura 133** muestra las velocidades del flujo del río durante todo su recorrido hasta su desembocadura en el río Mocoa. Nótese las concentraciones en velocidades de flujo en el eje del río.



**Figura 133** Velocidad de flujo T=2.33 años

Bajo estas condiciones la velocidad del flujo alcanza los 5.3 m/s en algunos puntos del río.

### **Simulación T= 5 años**

Esta simulación corresponde a un evento con un período de retorno de 5 años, es decir, la condición media-alta del río. El resultado de esta simulación representa el cauce permanente “medio-alto” del río, es decir una condición normal dentro de las condiciones medias interanuales. Esta condición no tiene en cuenta los efectos de los fenómenos de la Niña y el Niño.

Como se puede notar en la siguiente figura, el río desborda dentro del cauce natural del río, y no presenta desbordamientos importantes a lo largo de su recorrido. Al inicio del recorrido, cuando el río entra en la zona de transición geomorfológica, al inicio del casco urbano de la ciudad se distribuye de manera más dinámica.



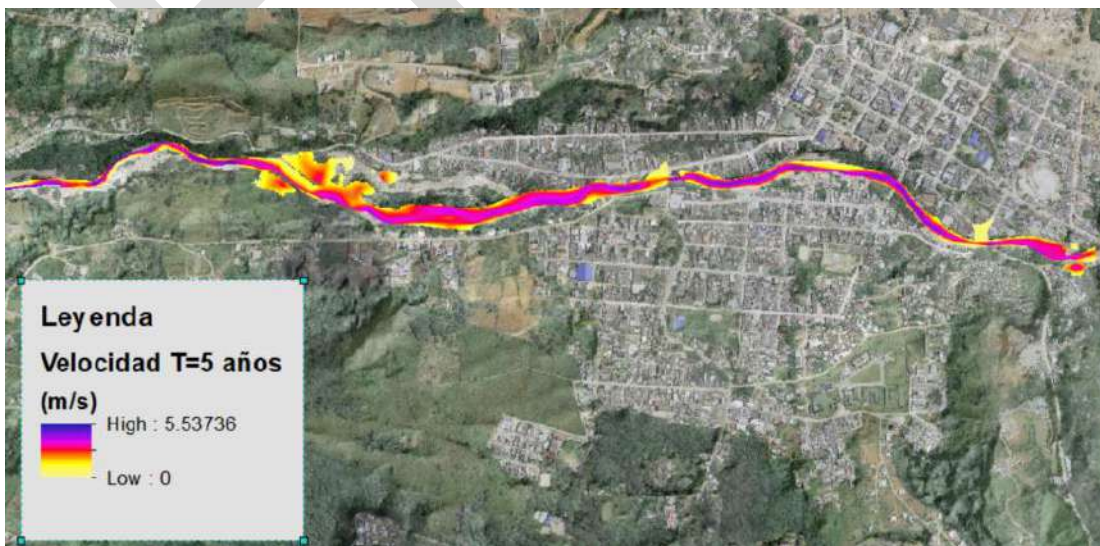
**Figura 134** Inundación T=5 años

Para esta condición se pueden notar incrementos en las manchas de inundación del río Figura 135, especialmente en la zona anteriormente mencionada, donde el río tiende a inundar su planicie de inundación.



**Figura 135** Zona inundable T=5 años

El primer desbordamiento del río, bajo estas condiciones, se da a partir del primer puente, ubicado a 300 metros de la desembocadura al río Mocoa. En esta zona, probablemente debido a la constricción generada por la estructura en el río, se sobrepasan los bordes naturales del río, generando una pequeña inundación.



**Figura 136** Velocidad de flujo T=5 años

En cuanto a la velocidad del flujo, para un período de retorno de 5 años, la velocidad máxima aumenta a 5.53 m/s. Lo que incrementa el daño que puede ser causado por esta creciente.

### **Simulación T= 10 años**

Esta simulación corresponde a un evento con un período de retorno de 10 años, es decir, la condición alta del río en condiciones normales **Figura 137**. El resultado de esta simulación representa el cauce alto del río, es decir una condición normal dentro de las condiciones medias interanuales. Ésta condición todavía no tiene en cuenta los efectos de los fenómenos de la Niña y el Niño. En la literatura se habla de al menos un período de retorno de 15 años, para poder tener en cuenta los efectos de eventos relacionados al fenómeno ENSO.



**Figura 137** Inundación T=10 años.

Para este período de retorno la mancha de inundación se expande en las zonas críticas ya mencionadas. La zona del tercer puente presenta un desbordamiento debido a la contracción del flujo en este punto **Figura 138**.



**Figura 138** Zona inundable T=10 años

Para este escenario probabilístico, la inundación afecta edificaciones que se encuentran en la ribera del río. En la zona final, en la desembocadura del río Mulato, la mancha de inundación aumenta, afectando varios barrios que se encuentran en zonas bajas, donde podría llegar a haber afectación.



**Figura 139** Velocidad de flujo T=10 años

La velocidad máxima del flujo, para este periodo de retorno aumenta a 5.84 m/s, donde a su vez aumenta considerablemente sobre tramos específicos del río a lo ancho del cauce. Vale la pena resaltar que las zonas de inundación presentan velocidades de flujo muy pequeñas, por lo tanto no son una amenaza dinámica de agua, sino más bien una zona de amortiguación.

### **Simulación T= 20 años**

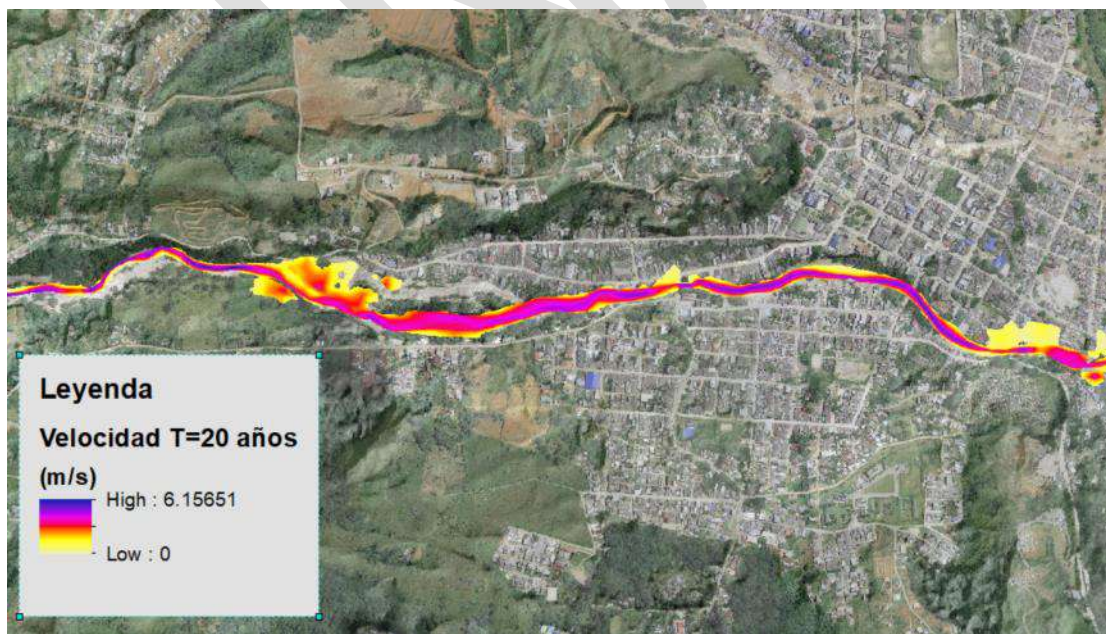
Esta simulación corresponde a un evento con un periodo de retorno de 20 años, es decir, una condición alta del río. El resultado de esta simulación representa el cauce alto del río, es decir una condición alta dentro de las condiciones medias interanuales. Ésta condición ya tiene en cuenta los efectos de los fenómenos de la Niña y el Niño.





**Figura 140** Inundación T=20 años.

Para este escenario las manchas de inundación se incrementan en las zonas críticas, tanto en la zona baja como en la zona boscosa al inicio del casco urbano. Como se mencionó anteriormente, según la literatura, este período de retorno corresponde al escenario donde se están teniendo en cuenta los eventos medios del ENSO, o sea Niña y Niño. Por esta razón se recomienda tomar esta mancha de inundación como el cauce permanente del río.



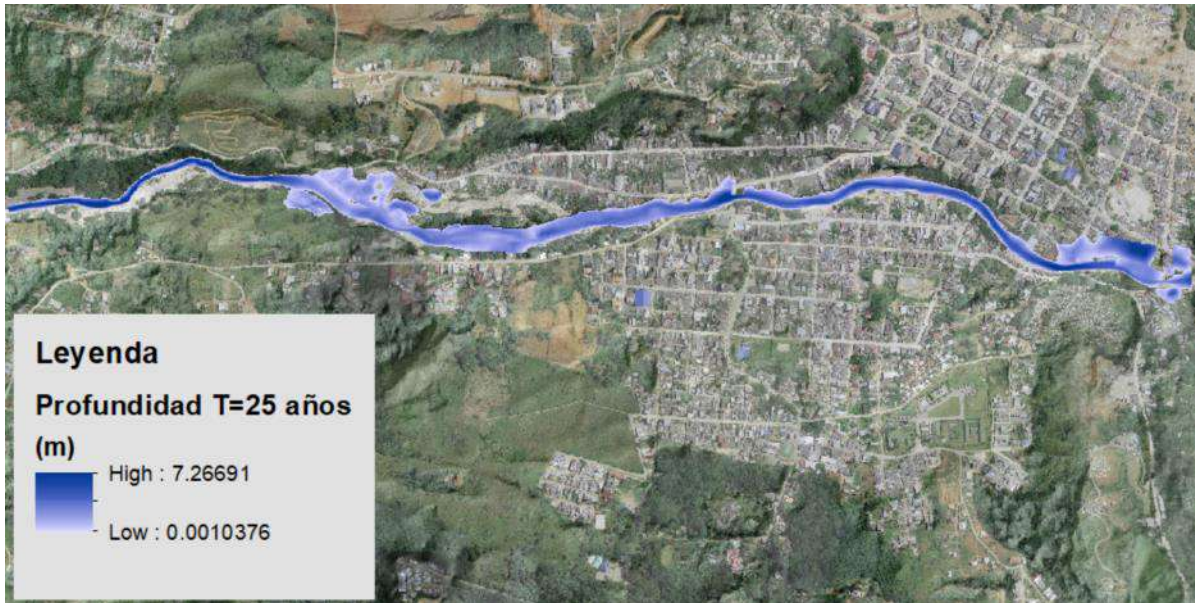
**Figura 141** Velocidad de flujo T=20 años

La velocidad máxima se incrementa a 6.15 m/s y, las velocidades a lo largo de las secciones también se intensifican. En este escenario, en las zonas de inundación, especialmente la que se encuentra a

la entrada del casco urbano, la velocidad del flujo es mayor en la planicie de inundación, lo que puede generar arrastres importantes de material.

### **Simulación T= 25 años**

Esta simulación corresponde a un evento con un período de retorno de 25 años, es decir, la condición alta del río. El resultado de esta simulación representa el cauce alto del río, es decir una condición alta dentro de las condiciones medias interanuales. Ésta periodo de retorno tiene en cuenta los efectos de los fenómenos ENSO.



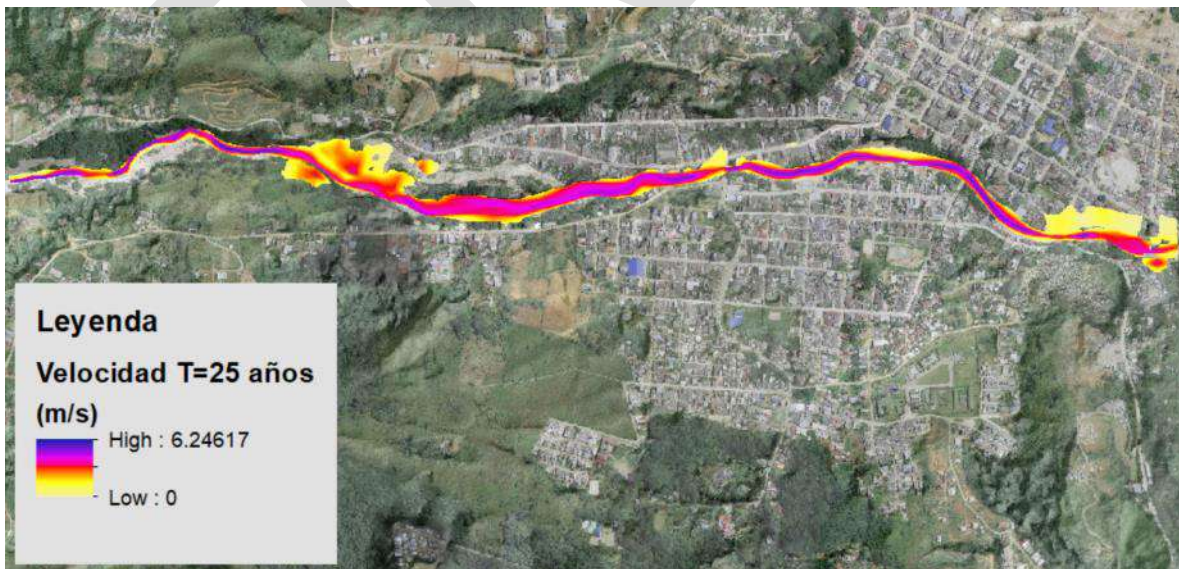
**Figura 142** Inundación T=25 años

Para esta condición la inundación continua expandiéndose en las zonas críticas, la zona al inicio del casco urbano se expande, afectando edificaciones en la margen izquierda del río Mulato, ver **Figura 143**.



**Figura 143** Zona inundable T=25 años

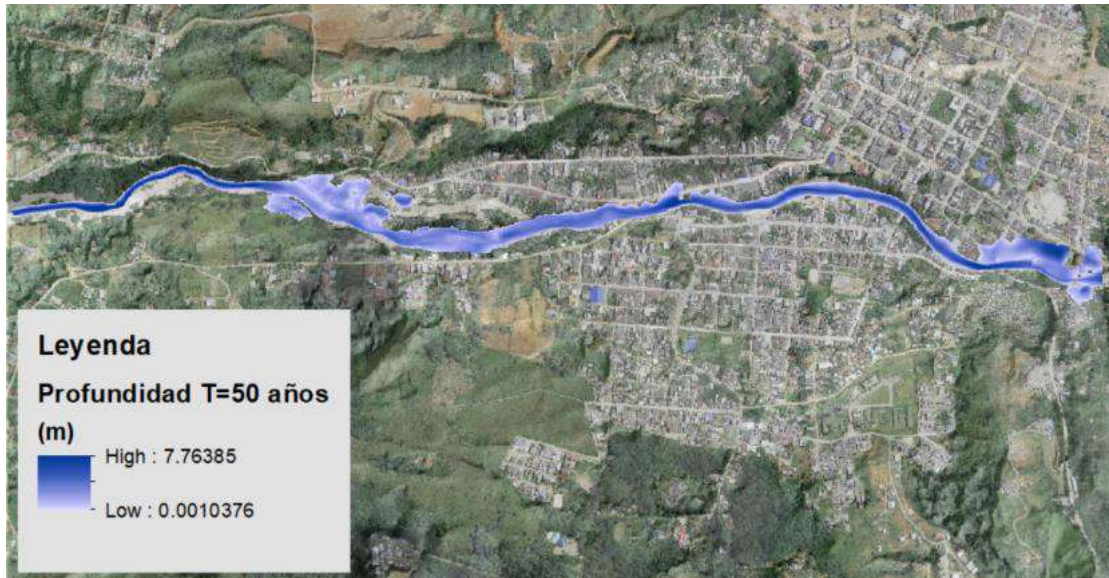
La velocidad del flujo en esta zona de inundación es mínima, por lo que no representa un daño considerable debido a la fuerza de arrastre del agua, ver **Figura 144**.



**Figura 144** Velocidad de flujo T=25 años

### **Simulación T= 50 años**

Esta simulación corresponde a un evento con un período de retorno de 50 años, es decir, la condición muy alta del río. El resultado de esta simulación representa el cauce muy alto del río. Ésta condición tiene una probabilidad más baja de ocurrencia. Según los estudios realizados para el río Mulato después de la catástrofe del 31 de Marzo y 1 de Abril del 2017, se infiere que el evento que ocurrió en Mocoa, teniendo en cuenta la lluvia que cayó en tres (3) horas esa noche, corresponde a la lluvia con período de retorno de 60 años (U. Javeriana 2017). Esto quiere decir que en este escenario nos acercamos a la condición similar al evento ocurrido en la catástrofe de este año.



**Figura 145** Inundación T=50 años

Como se puede ver, la expansión de la inundación aumenta considerablemente en los mismos puntos que se han analizado en las condiciones anteriores. Pero más dañino que la inundación, es la velocidad del flujo bajo estas condiciones. Como se puede apreciar en la siguiente figura, la velocidad del flujo es muy alta en dos zonas del área urbana.



**Figura 146** Velocidad de flujo T=50 años

En la primera zona, el flujo alcanza velocidades de 6 m/s. A continuación se muestra una de las zonas con mayor amenaza de daño. El Barrio 17 de Julio y Pablo VI se vieron fuertemente afectados por la avenida fluvio torrencial, y ahí mismo el modelo hidrodinámico presenta grandes velocidades de flujo, lo que representa una amenaza grande de socavación localizada y arrastre de material y edificaciones.



**Figura 147** Velocidad de flujo T=50 años. Barrio 17 de Julio y Pablo VI

La segunda zona corresponde al barrio vecino al cementerio (Barrio José Homero), justo antes del segundo puente, en esta zona se presentan altas velocidades justo antes de la curva del primer puente, la fotografía aérea del 4 de Abril del 2017 muestra una gran afectación en esta curva (**Figura 148**), según el modelo hidrodinámico, el flujo alcanza los 6.3 m/s en este punto, lo que puede generar una arrastre importante de material y daños a edificaciones, exactamente lo que sucedió la noche del 31 de Marzo y madrugada del 1 de Abril de 2017.



**Figura 148** Velocidad de flujo T=50 años. Barrio José Homero

### **Simulación T= 100 años**

Esta simulación corresponde a un evento con un período de retorno de 100 años, es decir, la condición extrema del río. El resultado de esta simulación representa el cauce alto extremo del río, es decir una condición muy alta dentro de las condiciones medias interanuales. Este representa el escenario más crítico de los siete escenarios calculados. Como se puede ver en la siguiente figura, la inundación para este escenario hidrológico es muy alta en las zonas críticas anteriormente mencionadas, la zona al inicio del casco urbano, y en la zona del primer puente, en la desembocadura en el río Mocoa (Barrio La Peña, José Homero y Barrio San Agustín).



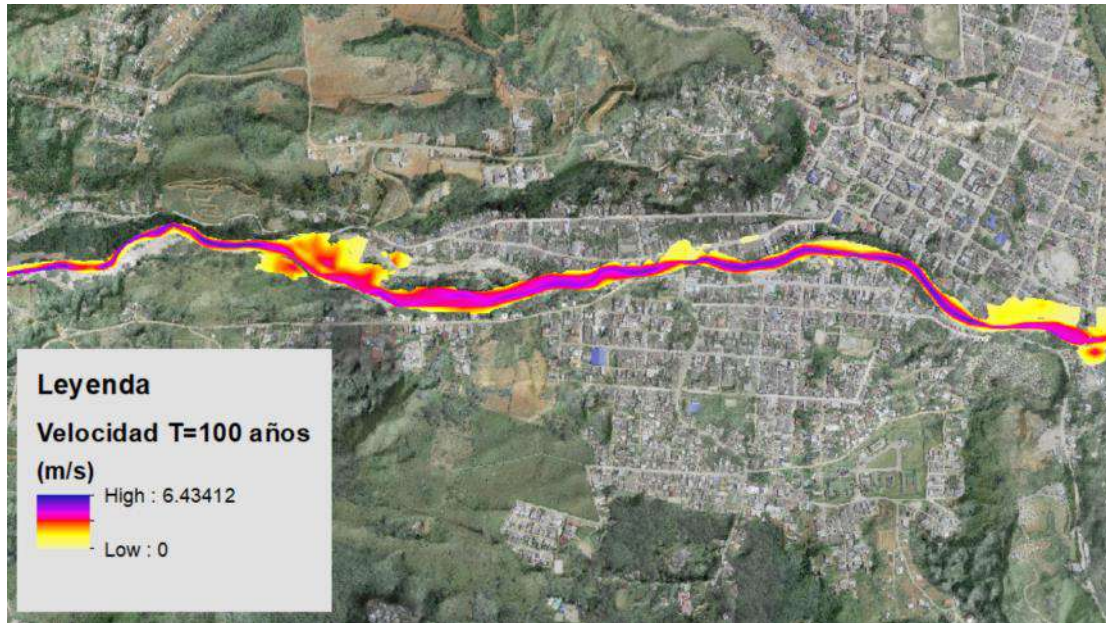
**Figura 149** Inundación T=100 años

Se deberá tomar esta mancha de inundación como la ronda hídrica hidráulica, pues representa la condición crítica de inundación para el río Mulato. Debido a inconsistencias presentadas en el modelo digital del terreno, el cauce completo del río para estos niveles extremos, no coincide exactamente con el rumbo que tomó el agua durante la avenida fluvio torrencial, donde recuperó uno de sus antiguos cauces (**Figura 150**), sin embargo el modelo si resulta en inundaciones claras en este lugar. El modelo únicamente muestra flujo en el brazo sur, donde estaba corriendo el río Mulato antes del desastre. Sin embargo debido a la marca que dejó el río después del desastre y a las inconsistencias que presentaba el MDT, se presenta la ronda hidráulica como el resultado del modelo hidrodinámico. Al momento de realizar la definición de la ronda hídrica a partir de todos los componentes, se tendrá en cuenta el brazo norte, y toda esta zona inundable que hace parte del territorio del río Mulato.



**Figura 150** Zona inundable T=100 años

La velocidad máxima alcanzada para este período de retorno es de 6.43 m/s, incrementando la amenaza de daños asociados a la socavación y arrastre de infraestructura. Nótese el incremento de la velocidad en la zona de inundación descrita anteriormente, esta zona presenta velocidades importantes, esto es una razón más para definir esta zona como de alto riesgo y hacerla parte de la ronda hídrica.



**Figura 151** Velocidad de flujo T=100 años

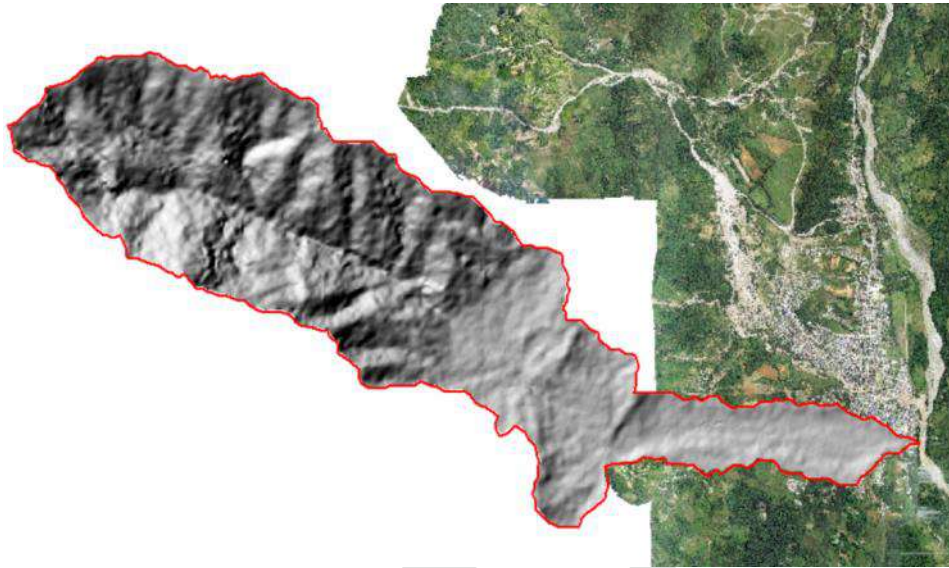
#### 6.2.2.12 Modelo de Avenidas Fluviotorrenciales

Basados en la metodología explicada anteriormente, el modelo de avenidas fluviotorrenciales se corrió para tres escenarios con diferentes probabilidades de ocurrencia, Probabilidad Alta, Media y Baja. Los resultados del módulo de iniciación del modelo arrojan los posibles lugares de la cuenca que pueden llegar a presentar deslizamientos debidos a la saturación total del suelo y la iniciación de deslizamientos. La metodología usada en este modelo es muy simple, y así mismo arroja las áreas de la cuenca con la mayor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

#### Insumos iniciales

Los insumos de entrada para realizar la simulación de iniciación corresponden a; el modelo digital del terreno, tanto de la cuenca alta como de la zona urbana y los parámetros suelos de la cuenca. El primer insumo corresponde al Modelo Digital de Terreno (MDT), el cual fue elaborado y suministrado por la empresa GEOSPATIAL, este MDT incluye únicamente la zona contractual, correspondiente al polígono del área urbana del río Mulato. Debido a que el caudal del río está determinado por el área total de su cuenca de aporte, fue necesario descargar un MDT que representara la totalidad de la cuenca, esto se logró descargando el MDT gratuito suministrado por el satélite ALOS-PALSAR.



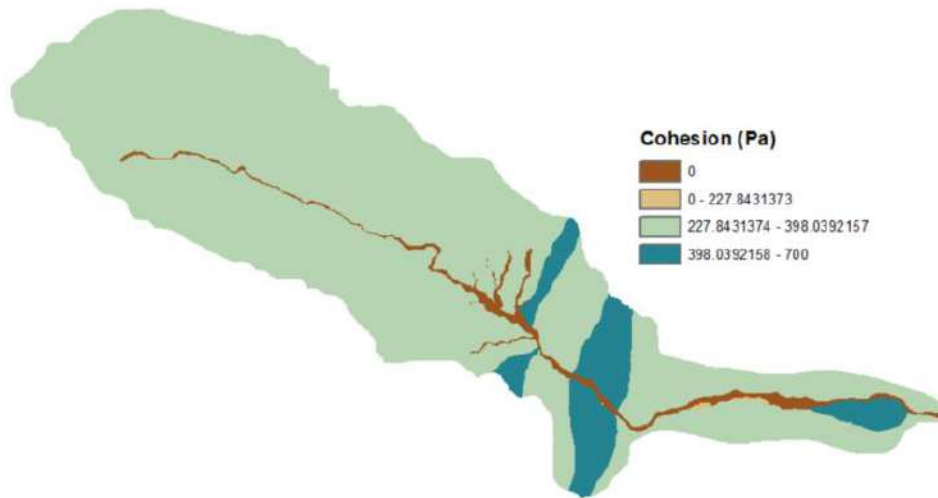


**Figura 152** MDT ALOS-PALSAR 12.5 m

Existían diferencias significativas entre los dos modelos digitales del terreno, la altimetría se corrigió basándose en los amarres geodésicos del DTM entregado por GEOSPATIAL.

El otro insumo necesario para calcular los puntos de iniciación de avenidas fluviotorrenciales fueron los parámetros físicos de los suelos en la cuenca. El modelo de avenidas fluviotorrenciales necesita específicamente los parámetros especificados en la metodología para el modelo SHALSTABProgram (Shalstab, Montgomery & Dietrich, 1994). Para determinar dichos parámetros el Geólogo (JS Acero) del proyecto definió dichos parámetros de una manera general para la cuenca del río Mulato.

Cohesión (Pa): Los valores de la cohesión de los suelos presentes en la cuenca oscilan entre los valores de 0 y 700 Pascales (**Figura 153**) Como se puede notar en la siguiente figura, los suelos menos cohesivos se encuentran en la zona perteneciente al río Mulato, y sus mayores tributarios. Los suelos de mayor cohesión se encuentran en la zona de transición de la montaña, el cambio de la zona de producción a la zona de transferencia del río.



**Figura 153** Mapa de cohesión. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

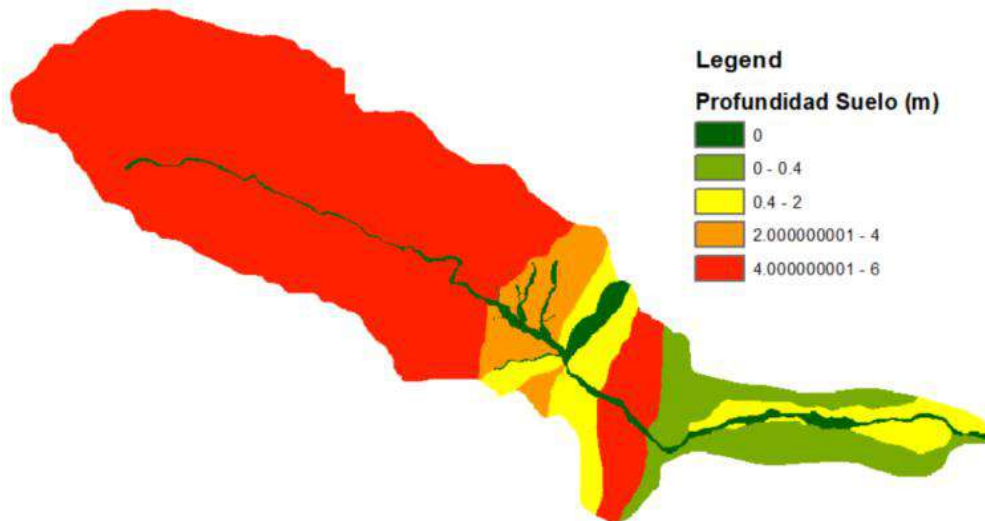
Profundidad del Suelo: Es muy variable y se encuentran profundidades de hasta 6 metros en algunos sectores de la cuenca, principalmente en la parte alta de la cuenca del río. Durante las visitas de campo realizadas en el sector de la bocatoma, se evidenciaron profundidades de 2 metros, esto se pudo observar en un deslizamiento localizado sobre la vía peatonal que conduce a la bocatoma.



**Figura 154** Deslizamiento localizado en la cuenca alta del río Mulato, (1°08'59.92" N, 76°40'50.98" W)

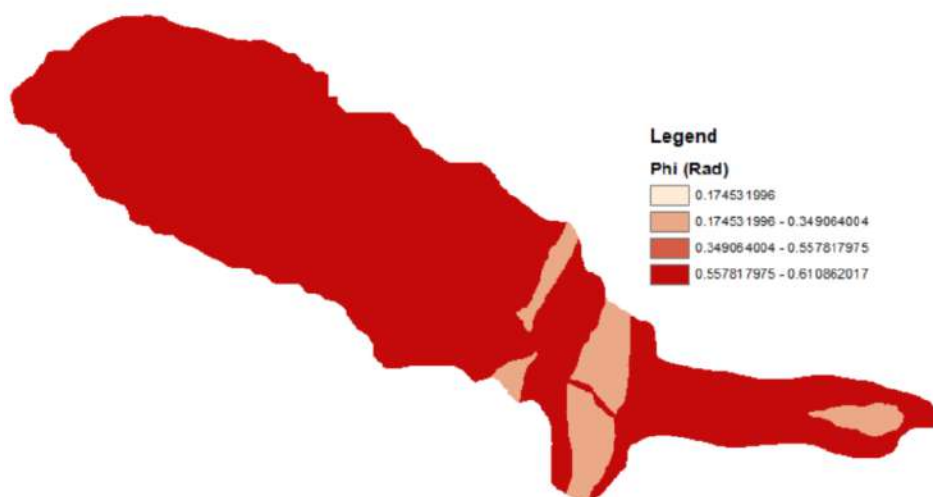
En la **Figura 154** se puede apreciar claramente la base en roca del deslizamiento (Material de tono gris), y el tipo de suelo arcilloso. La profundidad aproximada de dicha capa de suelo era de 2 metros de altura.

De manera general la distribución del grosor de los suelos en la cuenca del río Mulato se da de acuerdo a la edad geológica del sector de la misma. En la parte alta, o zona de producción se encuentran las mayores profundidades de suelo, entre 4 y 6 metros de profundidad. En la zona de transferencia, suelos entre 0.5 y 4 metros. En la zona urbana, o zona de sedimentación suelos entre los 0 y 2 metros de profundidad. Esta condición en la cuenca genera mayor susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos en su parte alta (**Figura 155**).



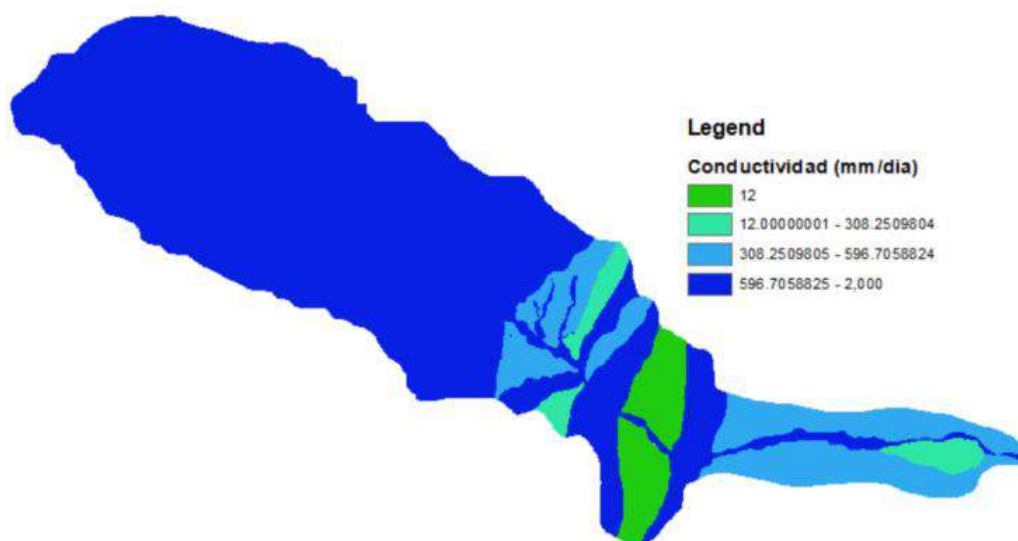
**Figura 155** Mapa de profundidad de suelo. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

Angulo de fricción interna del suelo ( $\Phi$ ), en radianes: Este parámetro indica la capacidad portante del suelo, es decir que está relacionado directamente con su resistencia al corte. En pocas palabras entre mayor sea el ángulo de fricción interna del suelo, mayor será la estabilidad del mismo. Para la cuenca del río Mulato este parámetro se encuentra entre los 0.17 y 0.61 radianes, valores que se encuentran dentro de los ángulos típicos para suelos en este tipo de cuencas. Sin embargo los valores menores, entre 0.17 y 0.34 radianes, son valores que se pueden considerar como bajos, estos también se encuentran en la zona de transición de la cuenca.



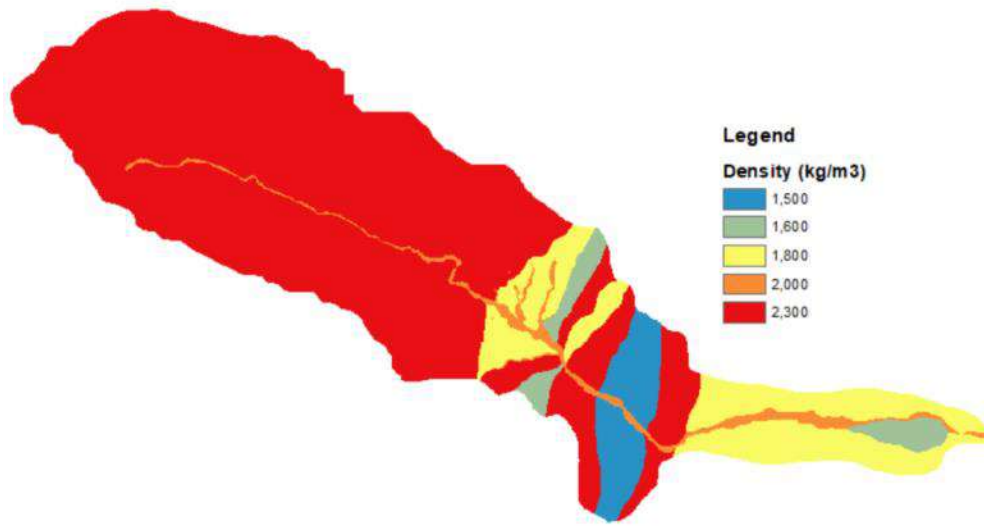
**Figura 156** Mapa del ángulo de fricción. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

Conductividad hidráulica ( $k$ ), en mm/día: este parámetro es un indicador de la facilidad con que el agua puede pasar a través del suelo. Generalmente es mayor cuando hay presencia de suelos no cohesivos o poco cohesivos. En la cuenca de estudio se presentan suelos con altas conductividades hidráulicas en la parte alta de la cuenca, y bajas conductividades en la zona de transición, ver **Figura 157**.



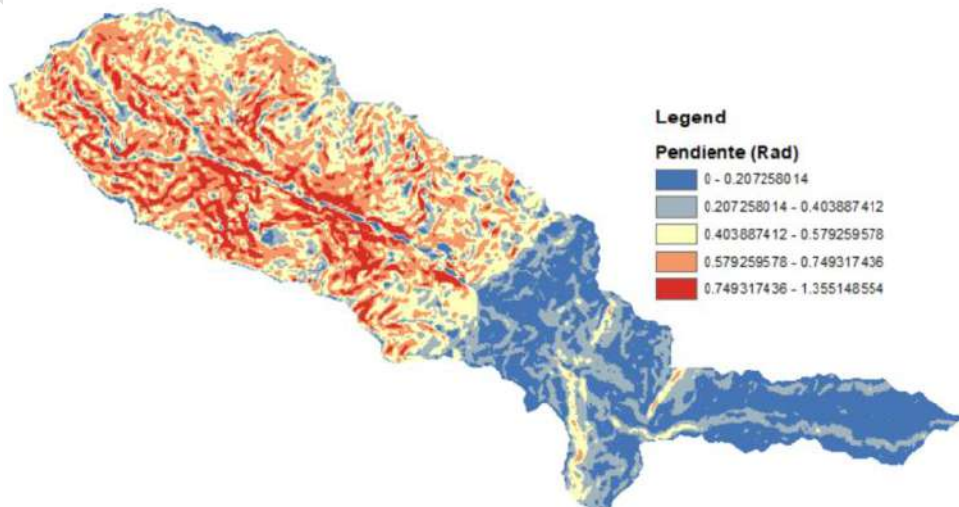
**Figura 157** Mapa de conductividad hidráulica. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

Densidad aparente saturada del suelo ( $\text{kg/m}^3$ ): Este parámetro representa la densidad del suelo sumergido o totalmente saturado, esta es precisamente la densidad en la cual los suelos presentan la mayor susceptibilidad a perder estabilidad y deslizarse. En la cuenca del río Mulato los suelos de la cuenca alta son los más densos, mientras que en la zona de transición y de sedimentación tienen menor densidad (**Figura 158**).



**Figura 158** Mapa de la densidad saturada del suelo. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

Pendiente del terreno (Rad) en radianes: Este parámetro depende en su totalidad de la topografía del terreno, y fue calculado a partir del modelo digital. Las pendientes en la totalidad de la cuenca se encuentran entre los 0 y 1.35 radianes, esto son aproximadamente 77 grados. La mayoría de las altas pendientes se encuentran en la zona alta de la cuenca, en la zona de producción, ver (**Figura 159**). Es en esta zona donde se van a generar la mayoría de deslizamientos que pueden llegar a provocar una avenida fluvio-torrencial. Nótese la gran cantidad de zonas de alta pendiente ubicadas a los lados del río, en la zona alta de la cuenca, estas pendientes representan una gran probabilidad de deslizamientos que pueden generar arrastres de sedimento por el río.



**Figura 159** Mapa de pendientes. Fuente: Equipo Rondas Hídricas

### Modelos de Iniciación de Deslizamientos

Los deslizamientos ocurren normalmente durante lluvias intensas, cuando la presencia de agua en el suelo hace que la presión en los poros del suelo aumente. Esto causa que la capa de sedimento que descansa en la superficie de la roca se deslice, o que se generen fallas de cortante en suelos homogéneos. Los deslizamientos también pueden ocurrir durante fuertes eventos de escorrentía, esta puede causar una concentración de sedimento que genera movimientos en masa, y la iniciación de una avenida fluvio-torrencial.

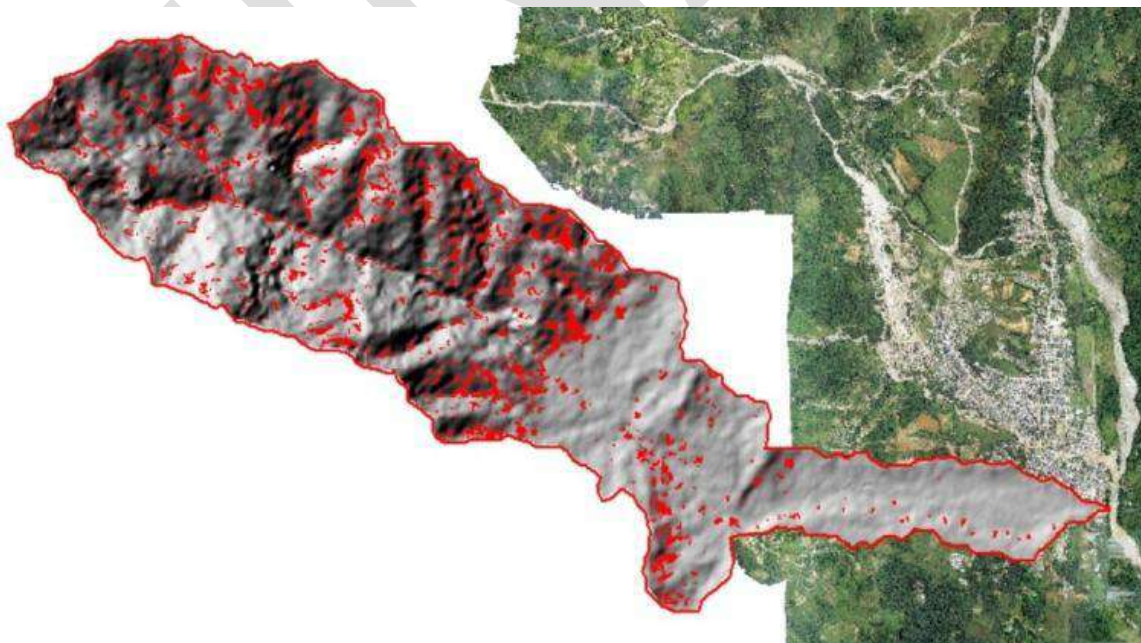
Debido a la falta de información se decidió utilizar el modelo más sencillo de iniciación de deslizamientos, el SHALSTABProgram (Shalstab, Montgomery & Dietrich, 1994), En esta metodología la presión de los poros del suelo es estimada asumiendo que las condiciones de saturación del suelo son alcanzadas después de una precipitación con intensidad constante y duración indefinida.

Los resultados obtenidos para este modelo se dividen en tres niveles de susceptibilidad o amenaza; ALTA, MEDIA y BAJA.

Como se indicó anteriormente los valores de entrada del modelo fueron los parámetros del suelo y el modelo digital del terreno, para esta metodología no se tuvo en cuenta la lluvia.

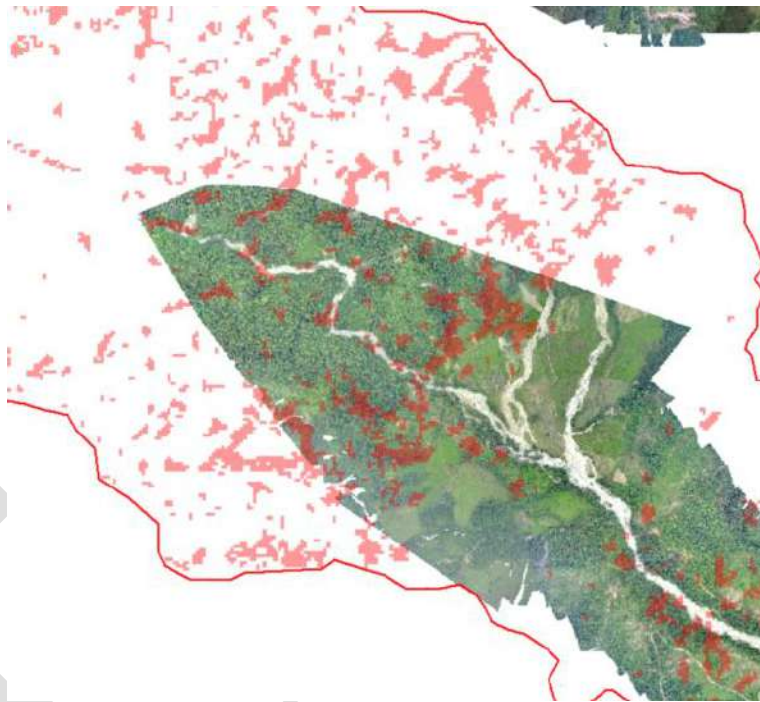
A continuación se presentan los resultados obtenidos bajo la metodología SHALSTABProgram:

El primer resultado corresponde a la Susceptibilidad ALTA, esta simulación presenta en color rojo las áreas con altas posibilidades de ocurrencia de deslizamientos. Como se puede ver en la siguiente figura donde la mayoría de deslizamientos pueden ocurrir con mayor probabilidad en la zona montañosa, correspondiente a la cuenca alta del río Mulato.

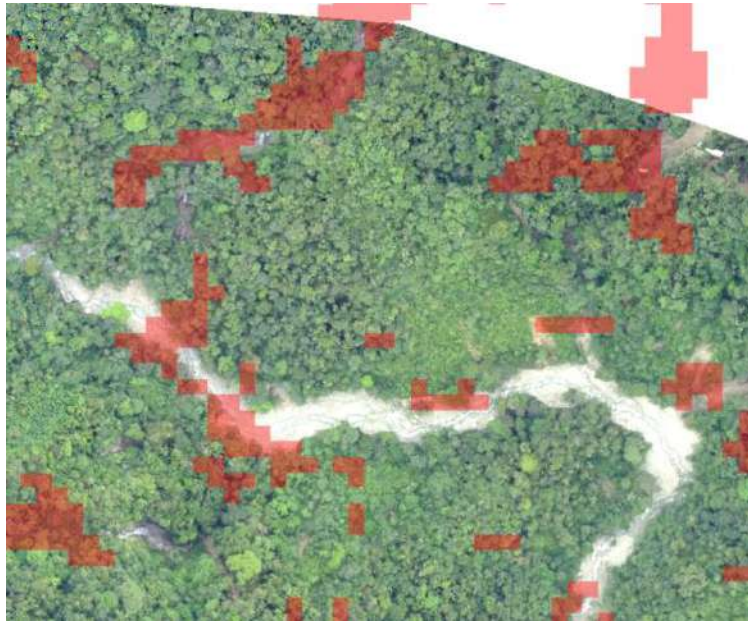


**Figura 160** Iniciación de deslizamientos (Alta Probabilidad). Fuente: Equipo Rondas Hídricas

La siguiente figura corresponde a una parte de la zona de transición, la ubicación de la cuenca hasta donde se completó la ortofotografía contratada por Corpoamazonia. La imagen aérea corresponde las fotografías tomadas el 4 de abril del 2017, tres días después de que ocurriera la catástrofe de Mocoa, en donde una gran avenida fluviotorrencial causó grandes desastres e incluso la pérdida de vidas humanas. En las siguientes figuras (**Figura 161** y **Figura 162**) se puede apreciar la coincidencia entre las áreas susceptibles a deslizamientos y los deslizamientos que ya ocurrieron. Se puede decir que el modelo de iniciación de avenidas fluvio-torrenciales representa de manera aproximada las posibles áreas de alto riesgo que deben ser tenidas en cuenta, pues representan zonas con altas pendientes bajo condiciones propensas a deslizamientos.

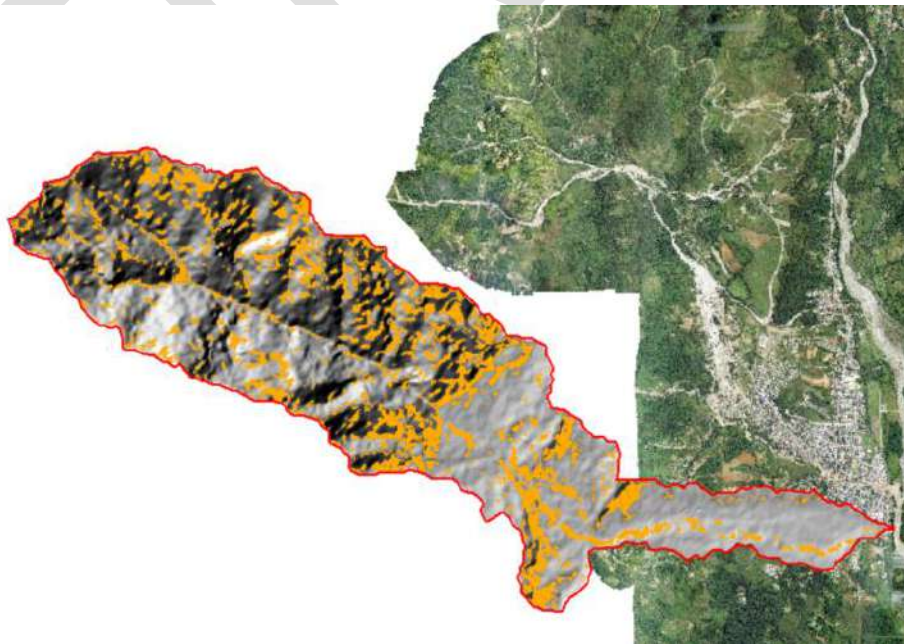


**Figura 161** Inicacion de deslizamientos (Alta Probabilidad)



**Figura 162** Iniciacion de deslizamientos (Alta Probabilidad)

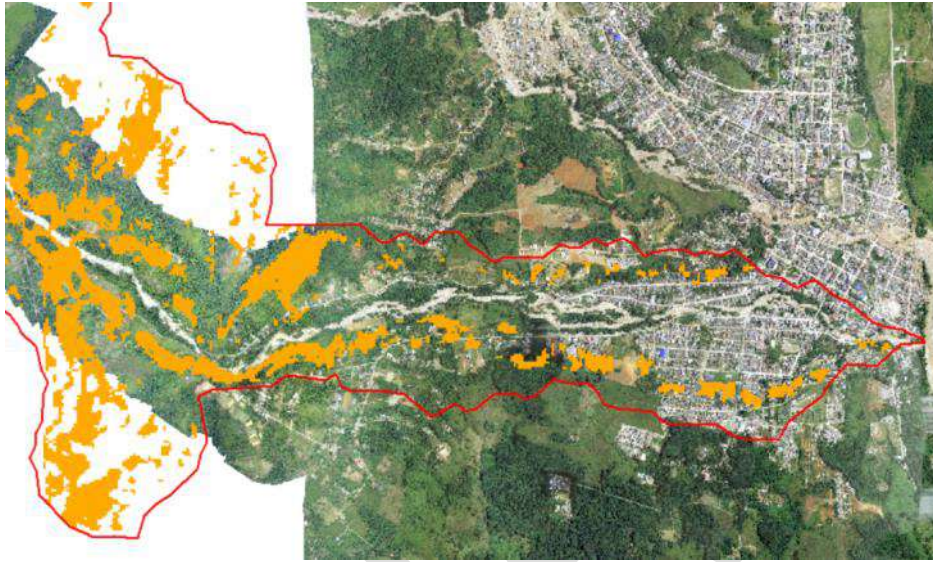
El segundo resultado corresponde a la Susceptibilidad MEDIA, esta simulación presenta en color naranja las áreas con posibilidades medias de ocurrencia de deslizamientos. Como se puede ver en la siguiente figura la mayoría de deslizamientos pueden ocurrir con mayor probabilidad en la zona montañosa, sin embargo para este escenario se presentan también deslizamientos considerables en la zona baja de la cuenca, dentro del casco urbano del municipio de Mocoa.



**Figura 163** Iniciacion de deslizamientos (Media Probabilidad)

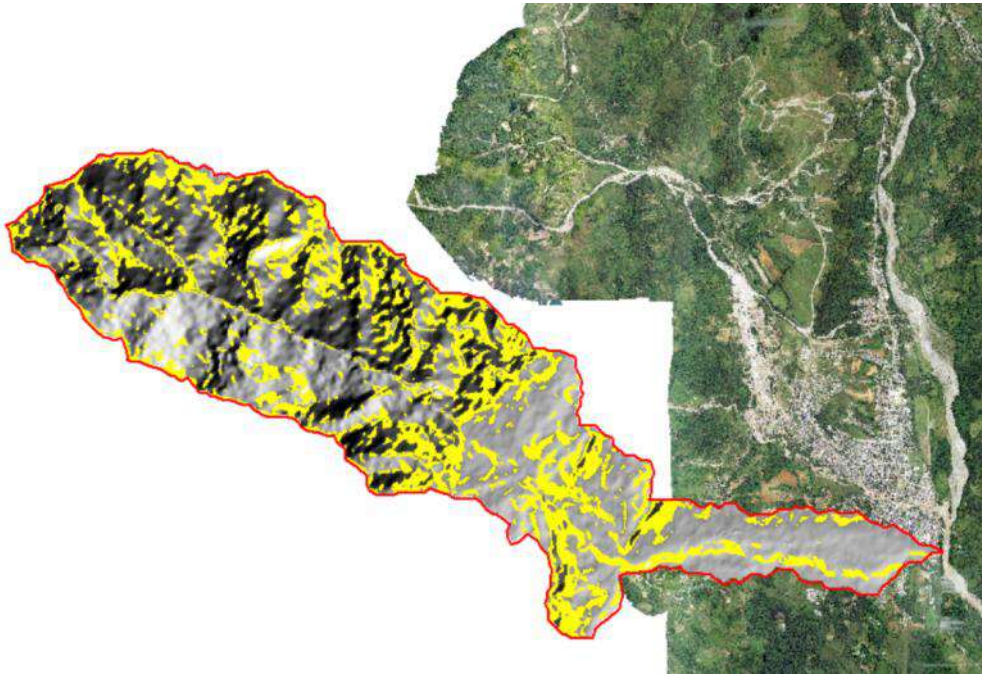


La siguiente figura muestra los puntos de susceptibilidad media donde se pueden llegar a presentar deslizamientos. Nótese el incremento en las áreas de amenaza, especialmente en la transición del río, donde comienza la zona urbana.



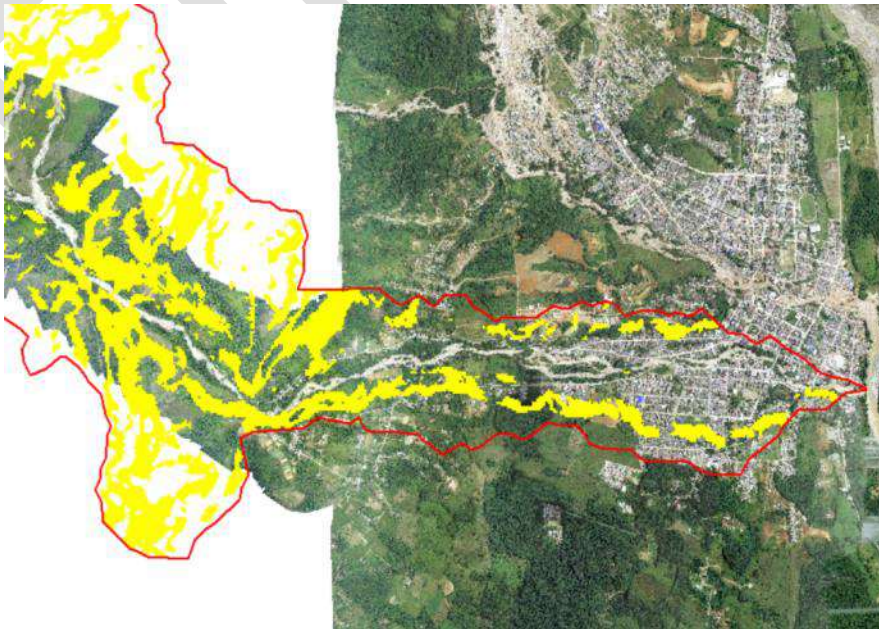
**Figura 164** Iniciación de deslizamientos (Media Probabilidad)

El tercer resultado corresponde a la Susceptibilidad BAJA, esta simulación presenta en color amarillo las áreas con posibilidades bajas de ocurrencia de deslizamientos. Como se puede ver en la **Figura 165** la mayoría de deslizamientos pueden ocurrir con mayor probabilidad en la zona montañosa, sin embargo para este escenario se presentan también deslizamientos considerables en la zona media y baja de la cuenca, dentro del casco urbano del municipio de Mocoa, considerando más puntos de posibles deslizamientos.



**Figura 165** Iniciación de deslizamientos (Baja Probabilidad)

La siguiente figura muestra los puntos de susceptibilidad baja donde se pueden llegar a presentar deslizamientos. Nótese el incremento en las áreas de amenaza, especialmente en la transición del río y donde comienza la zona urbana. Es importante tener en cuenta que este escenario tiene una probabilidad baja de ocurrir y que representa una situación muy crítica y poco posible.



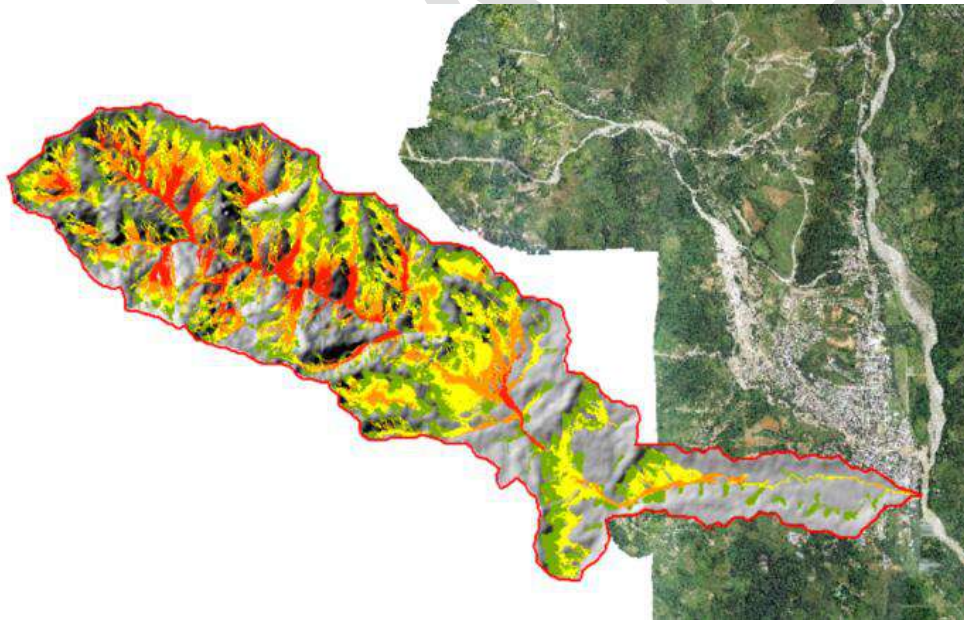
**Figura 166** Iniciación de deslizamientos (Baja Probabilidad)

### Modelos de propagación de avenidas fluviotorrenciales

El modelo de propagación de avenidas fluviotorrenciales se desarrolló utilizando el software “DebrisDice”, este es un modelo estocástico de propagación de avenidas fluviotorrenciales. Esta herramienta fue utilizada para determinar la propagación de la avenida fluviotorrencial a partir de los puntos de deslizamientos calculados por el anterior método.

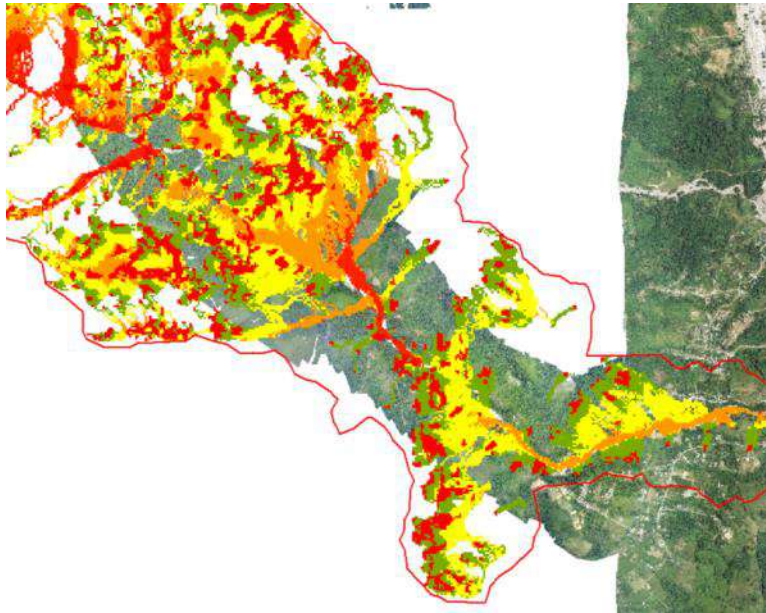
Para llevar a cabo la corrida del modelo de propagación de avenidas fluviotorrenciales fue necesario contar con los siguientes insumos iniciales; modelo digital del terreno, parámetros de la corrida y el resultado del modelo de iniciación de avenidas fluviotorrenciales. Los parámetros de la corrida definen el número de iteraciones por celda y los ángulos máximos y mínimos de cálculo, entre otros parámetros de cálculo. Una vez se obtuvieron los resultados para los tres escenarios de iniciación de avenidas fluviotorrenciales, se procedió a correr el modelo de propagación.

La siguiente figura muestra el resultado de la corrida para el escenario de **ALTA** susceptibilidad de iniciación.



**Figura 167** Propagación de la avenida fluviotorrencial (Alta Probabilidad)

Los colores de la propagación muestran rangos de velocidades de flujo, siendo verde la menor velocidad y la roja el flujo de mayor velocidad. La mayoría de flujo por propagación se manifiesta en la zona de la cuenca alta del río, donde se presentan la mayor parte de los deslizamientos. El flujo de la avenida fluviotorrencial continúa propagándose a lo largo de todo el río Mulato hasta llegar al río Mocoa, cruzando el casco urbano del municipio.



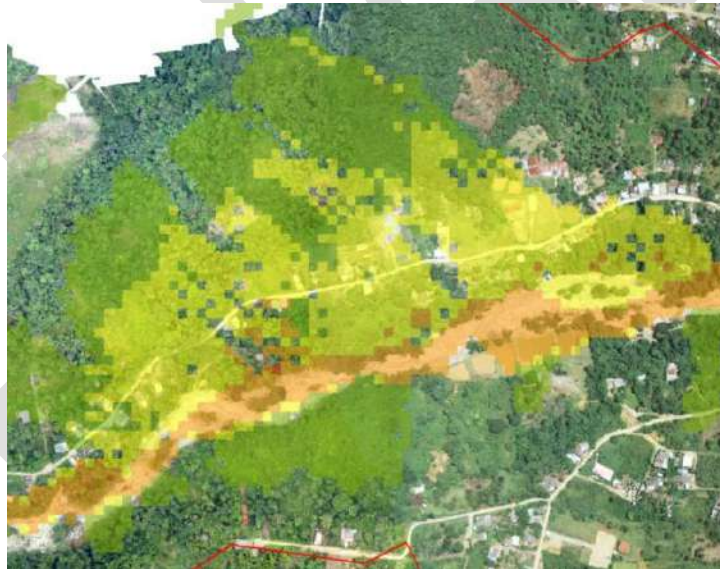
**Figura 168** Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad)

En la zona media de la cuenca, la zona de transición, se presenta una alta amenaza de deslizamientos, especialmente en la zona montañosa. Igualmente en esta zona se pueden presentar deslizamientos en zonas críticas, donde existen asentamientos urbanos.

La zona de la bocatoma fue fuertemente afectada por la avenida de marzo, la estructura de captación fue arrastrada por la creciente. Como se observa en los resultados del modelo, para este escenario, la velocidad del flujo en este punto es muy alta, del orden de 30 m/s. La siguiente imagen muestra una de las zonas que se pueden ver fuertemente afectadas por deslizamientos y en donde se encuentran varios asentamientos urbanos a lo largo de la vía. En este tramo la velocidad del río también puede llegar a alcanzar los 35 m/s, generando graves daños en sus riberas y planicie de desbordamiento. Nótese que el río Mulato en este tramo puede causar mucho daño debido a su velocidad y zona de inundación. La mancha de la avenida fluvio-torrencial generada por el modelo, su grosor y recorrido se ajustan bastante bien a la situación crítica de la avenida fluvio-torrencial 31 de Marzo y 1 de Abril de 2017 en Mocoa, la cual dejó la huella que se puede ver con claridad en las fotografías aéreas.

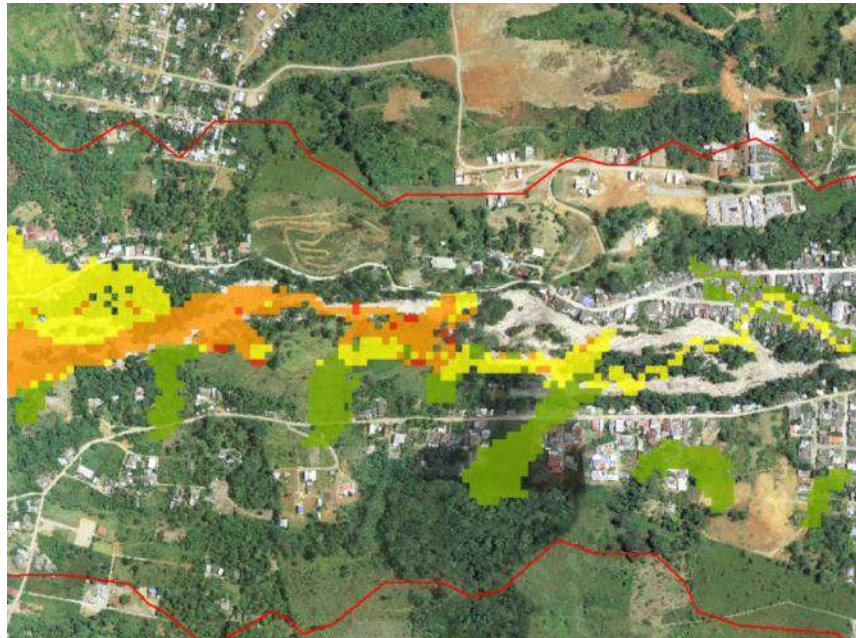


**Figura 169** Sector de la Bocatoma del Acueducto



**Figura 170** Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad)

El siguiente tramo analizado corresponde al inicio del polígono contractual, esta zona al ser mucho más plana, no presenta posibles áreas de deslizamientos, sin embargo la energía que lleva el río es bastante alta, por lo que en este tramo del río puede causar mucho daño en sus bordes y zona de inundación (**Figura 171**).



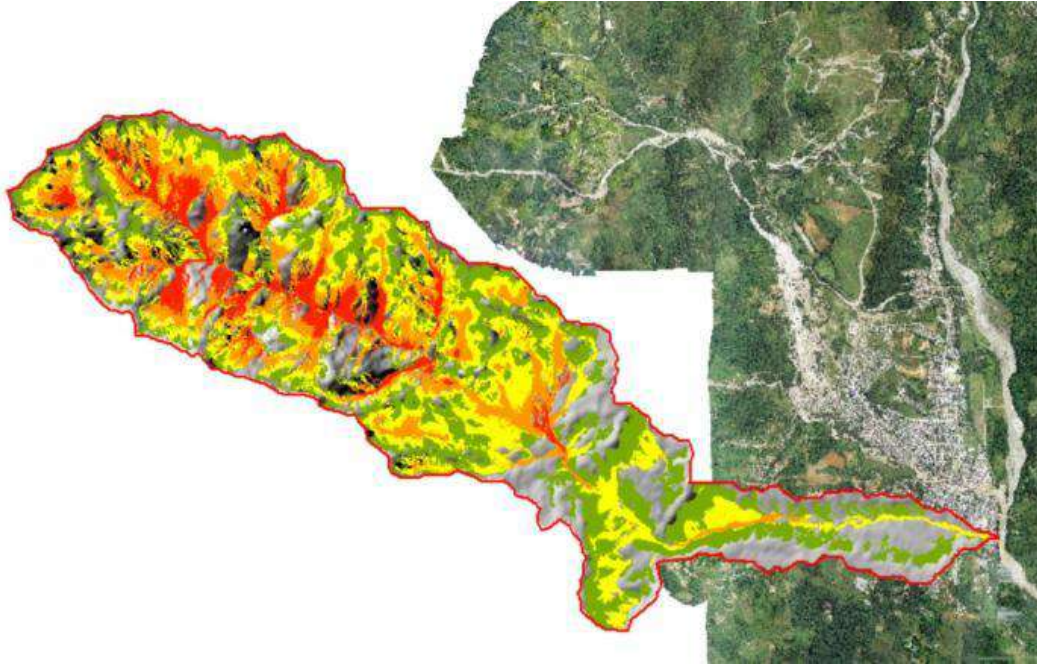
**Figura 171** Propagación de la avenida Fluviotorrencial (Alta Probabilidad)

Más adelante, en la zona urbana de la cuenca del río Mulato, el modelo simula el flujo del río hasta su desembocadura en el río Mocoa. Las velocidades del flujo en esta zona se encuentran entre los 20 y 30 m/s, velocidad suficiente para causar daños considerables a las estructuras y viviendas asentadas en la zona de inundación. Nótese el aumento de la velocidad del flujo en el último tramo del río, desde el segundo puente (575 metros agua arriba de la desembocadura del río Mulato), el flujo gana mucha energía, esto se debe al aumento de la pendiente de fondo de ese punto hasta su desembocadura, ver **Figura 172**.



**Figura 172** Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Alta Probabilidad)

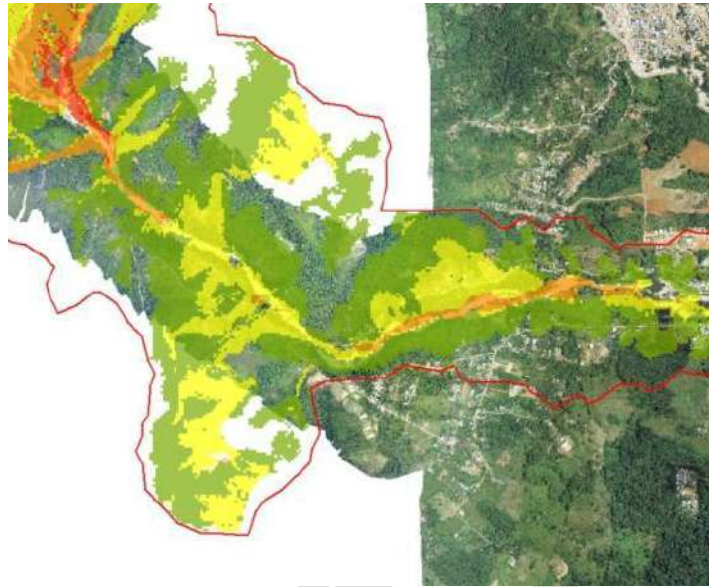
La siguiente figura muestra el resultado de la modelación para el escenario de **MEDIA** susceptibilidad de iniciación.



**Figura 173** Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Media Probabilidad)

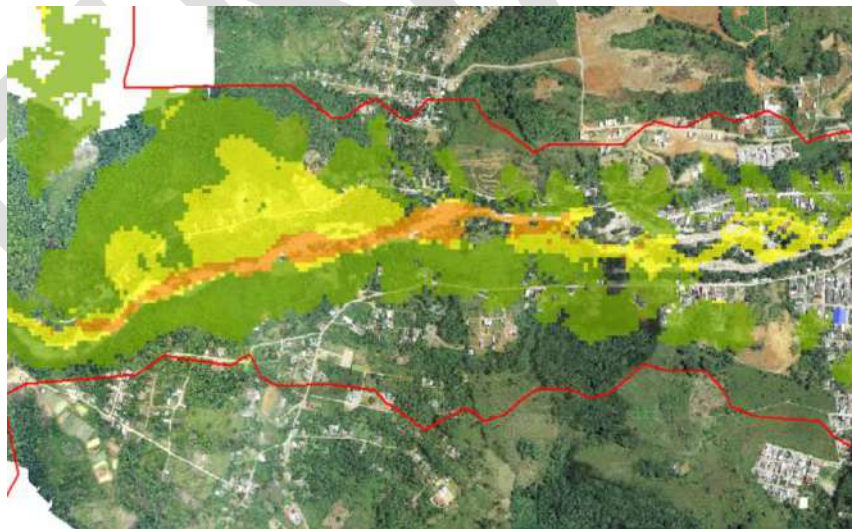
Los colores de la propagación muestran rangos de velocidades de flujo, siendo verde la menor velocidad y la roja el flujo de mayor velocidad. La mayoría de flujo por propagación se manifiesta en la zona de la cuenca alta del río, donde se presentan la mayor parte de los deslizamientos. El flujo de la avenida fluvio-torrencial continúa propagándose a lo largo de todo el río Mulato hasta llegar al río Mocoa, cruzando el casco urbano del municipio.

En este escenario de susceptibilidad media, la avenida fluvio-torrencial presenta considerablemente muchos más puntos de iniciación que en el escenario anterior, por esta razón el modelo de propagación muestra muchos puntos de flujo de propagación de la avenida fluvio-torrencial, especialmente en la zona de transición.



**Figura 174** Propagación de la avenida fluviotorrencial (Media Probabilidad)

Nótese que nuevamente se evidencian los deslizamientos donde inicia la zona urbana, ésta vez mucho más expandidos debido a la presencia de mayor cantidad de deslizamientos. La velocidad del río sigue siendo bastante alta en esta zona, y el grosor de la mancha de la avenida fluviotorrencial es muy parecido.



**Figura 175** Propagación de la avenida fluviotorrencial (Media Probabilidad)

La siguiente figura muestra la propagación para una susceptibilidad media, en este escenario el grosor del flujo es mucho mayor en la zona urbana. Lamentablemente el cauce del río no coincide exactamente con el cauce real, esto se debe a que la imagen satelital fue tomada cuando existían arboles alrededor del cauce, esto genera la lectura de la altura de la copa de los árboles, y en este caso la zona más baja en el modelo digital del terreno son las calles. Para solucionar este inconveniente se intentó unir los modelos digitales del terreno del satélite ALOS-PALSAR y el

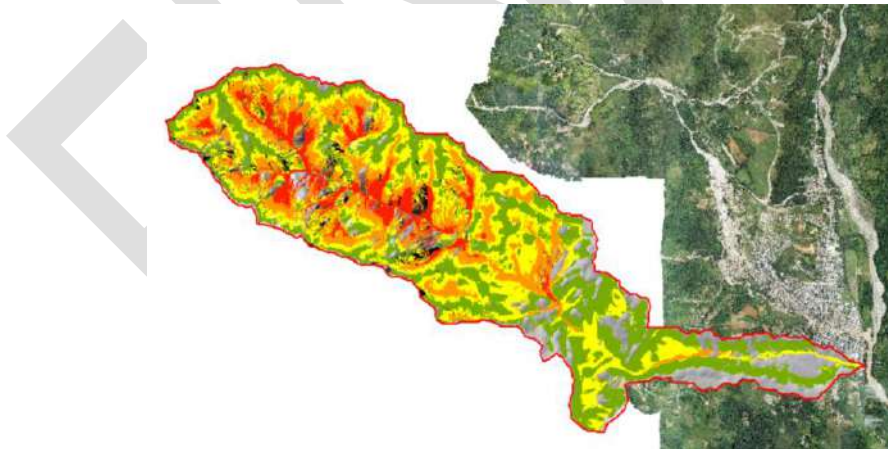


entregado por GEOSPATIAL, sin embargo el modelo no arrojó los resultados deseados debido a la discontinuidad de los datos y la diferencia en el amarre topográfico que existe entre las dos imágenes.



**Figura 176** Propagación de la avenida fluviotorrencial (Media Probabilidad)

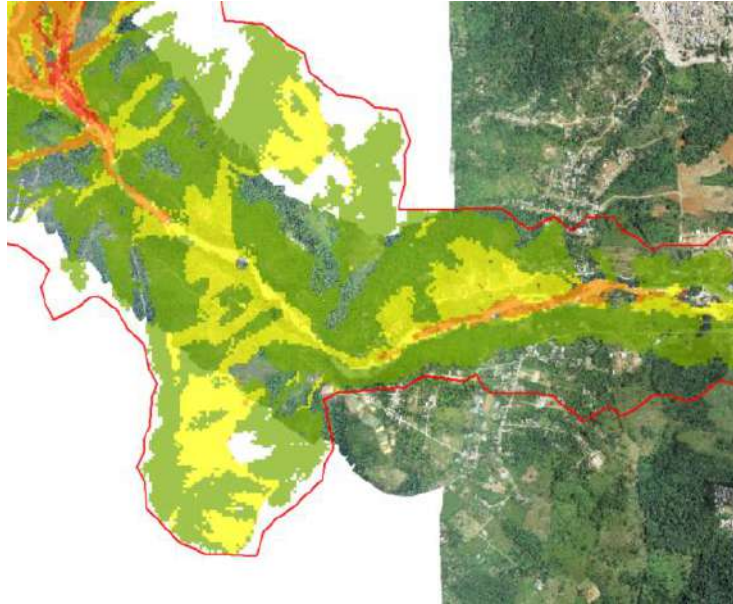
La siguiente figura muestra el resultado de la corrida para el escenario de **BAJA** susceptibilidad de iniciación.



**Figura 177** Propagación de la avenida fluviotorrencial (Baja Probabilidad)

Para este escenario sucede lo mismo, también los colores de la propagación muestran rangos de velocidades de flujo, siendo verde la menor velocidad y la roja el flujo de mayor velocidad. La mayoría de flujo por propagación se manifiesta en la zona de la cuenca alta del río, donde se presentan la mayor parte de los deslizamientos. El flujo de detritos continúa propagándose a lo largo de todo el río Mulato hasta llegar al río Mocoa, cruzando el casco urbano del municipio, en este caso se presentan deslizamientos inclusive en la zona del casco urbano. Es importante tener en cuenta que el modelo funciona a partir de la pendiente del modelo de elevaciones, y en la zona urbana no tiene en cuenta

que los suelos están completamente urbanizados, los que cambia la condición de infiltración del suelo debido al cambio en su permeabilidad, lo que se traduciría en el modelo matemático como un área con menor probabilidad de deslizamiento.



**Figura 178** Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Baja Probabilidad)

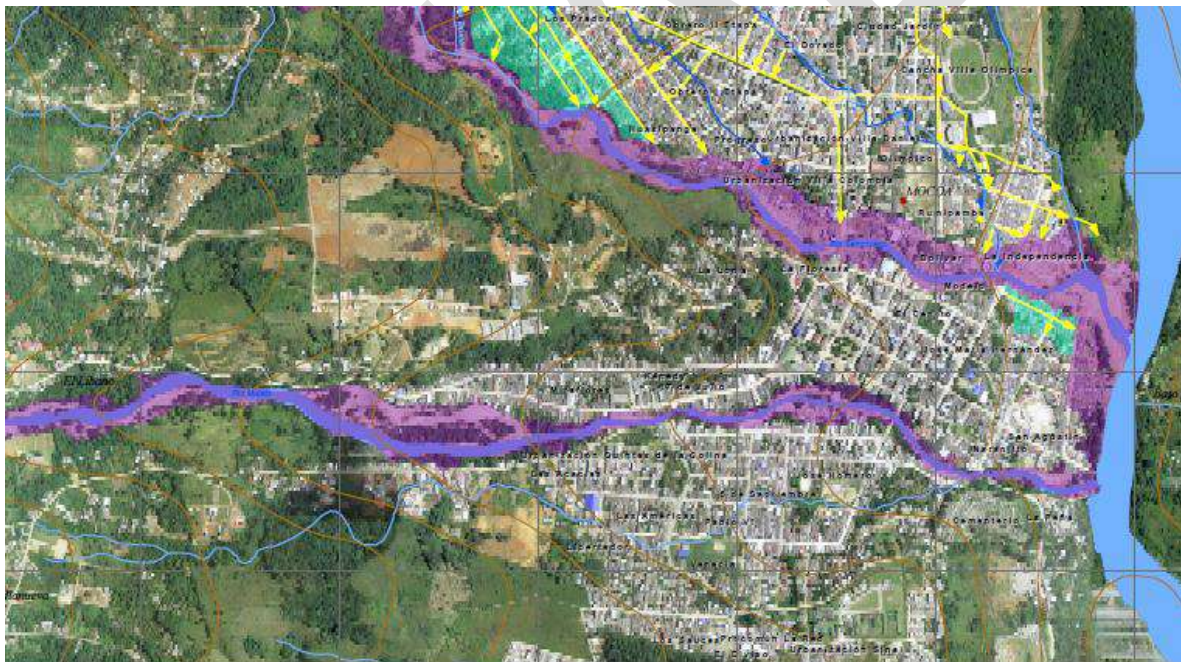
En esta condición de susceptibilidad la zona de transición presenta un aumento exagerado de propagaciones de avenida fluvio-torrenciales, sin embargo vale la pena notar que el cauce del río sigue siendo muy similar pues tiene un grosor de mancha de velocidad muy parecido a los dos escenarios anteriores (**Figura 178**).





**Figura 179** Propagación de la avenida fluvio-torrencial (Baja Probabilidad)

La zona urbana de propagación presenta una mancha sobre el cauce muy parecida a la calculada para la susceptibilidad media, en este caso debido a la mayor cantidad de puntos de iniciación de deslizamientos, se presentan propagaciones sobre la zona urbana. Como se explicó en el escenario anterior, estos puntos de iniciación no representan una realidad probable, debido a que el suelo en esta área se encuentra urbanizado, lo que cambia la permeabilidad del suelo y por lo tanto la infiltración de agua que puede generar inestabilidad.

La **Figura 180** muestra el mapa oficial de la afectación de la avenida fluviotorrencial (Resolución 447 de 2017). Nótese que estas zonas se encuentran en los puntos de mayor velocidad y grosor del modelo de propagación. El barrio Villa Nueva, se encuentra en el punto donde el modelo cobra mayor energía. Lo mismo sucede con el Barrio Miraflores, donde el modelo muestra un direccionamiento del flujo a altas velocidades. En la zona del Barrio 17 de Julio la avenida fluviotorrencial toma fuerza y más velocidad, esto también se debe a la constricción del flujo en ese punto, después del puente. Por último en el Barrio San Agustín, al final del recorrido del río, la velocidad aumenta considerablemente, y al ser la desembocadura al río Mocoa se genera una condición de nivel que remansa el flujo y causa daños circundantes.

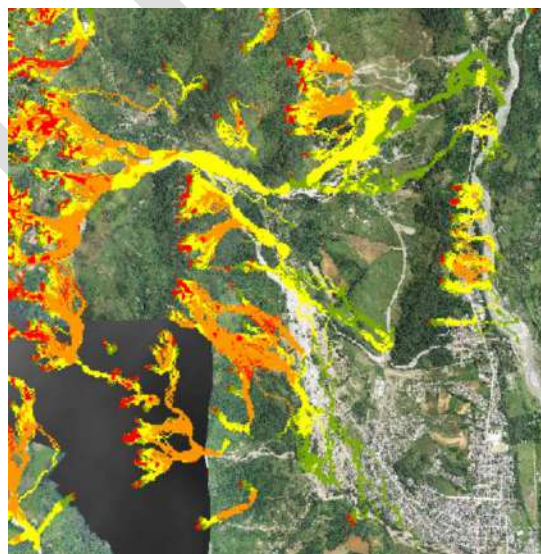


Color	Sector	Zona	Has
	<b>Sector 1</b>	Sector donde se ubico el cuerpo principal del evento, con depósitos de bloques de gran tamaño en un porcentaje aproximado del 80%, cuyas dimensiones oscilan entre 0,20 y 12 metros en su eje mayor de los bloques. Se presentan sedimentos finos (arcillas, arenas y gravas) pero en menor proporción (15%), de igual manera se presentan grandes troncos con longitudes de hasta 30 metros y diámetro hasta 0.7 metros, algunos de los cuales fueron arrancados de raíz y conformaron grandes empalizadas en sitios como puentes, viviendas, muros y box culvert; en algunos lugares estas empalizadas generaron represamientos provocando desbordamientos en dichos lugares. Esta zona se localiza a lo largo del abanico de la quebrada Taruca y sus brazos derivados, las quebradas Taruquita, El Carmen, San Antonio y a lo largo de los ríos Mulato y Sangoyaco.	239.9
	<b>Sector 2</b>	En este sector se observó principalmente depósitos de material fino (arenas y arcillas) en un porcentaje aproximado del 80%, con presencia esporádica de bloques con longitud entre 0,2 y 6 metros, en su eje mayor, también presenta troncos con longitudes de hasta 10 metros y diámetros hasta 0.7 metros, algunos de los cuales fueron arrancados de raíz. Estos troncos conformaron empalizadas en sitios como puentes, viviendas, muros y box culvert; y en algunos lugares generaron represamientos provocando desbordamientos en dichos lugares. En este sector el mayor efecto evidenciado fue de inundación y depósito de lodos.	80.0

**Figura 180** Zonas de afectación de la avenida fluvio-torrencial (Resolución 447 de 2017)

### 6.2.2.13 Simulación Quebrada La Taruca

Como parte de un ejercicio adicional, se corrió el modelo de avenidas fluvio-torrenciales para la cuenca de la quebrada La Taruca, una de las fuentes hídricas que más daños causó durante la avenida fluvio-torrencial del 31 de Marzo y el 1 de Abril del 2017. Aprovechando que se cuenta con la imagen satelital de todo el casco urbano del municipio de Mocoa, se compararán los resultados del modelo con los deslizamientos que se presentaron en el evento real.



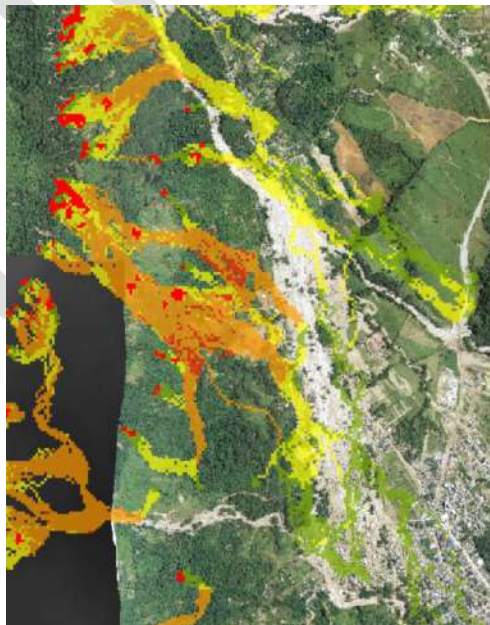
**Figura 181** Modelo de iniciación y Propagación de Avenidas Fluvio-torrenciales, Quebrada Taruca.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la propagación de la quebrada Taruca era muy clara desde el punto de vista hidráulico. Las zonas más afectadas por la avenida fluviotorrencial del 31 de Marzo del 2017 corresponden claramente a las zonas de afectación de la simulación para el escenario de susceptibilidad ALTO. Nótese en la imagen como la propagación tiende claramente hacia la zona del barrio Laureles y San Miguel, los cuales fueron completamente destruidos y donde había una tasa de urbanización acelerada.

La siguiente imagen muestra una zona donde se presentaron una gran cantidad de deslizamientos durante la avenida fluviotorrencial, el material arrastrado por estos deslizamientos tomo la dirección de la quebrada La Taruca, llegando finalmente a los barrios Laureles y San Miguel. El resultado de la simulación de iniciación, con susceptibilidad alta, coincide bastante bien con los deslizamientos ocurridos y así mismo la propagación de la avenida fluviotorrencial en dirección a estos barrios.



**Figura 182** Modelo de iniciación y Propagación de Avenidas Fluviotorrenciales, Quebrada Taruca



**Figura 183** Modelo de iniciación y Propagación de Avenidas Fluviotorrenciales, Quebrada Taruca

Este ejercicio demuestra la utilidad y necesidad de este tipo de modelos de avenidas Fluviotorrenciales en el país, donde lamentablemente muchos municipios se encuentran asentados de la misma manera que Mocoa, en zonas de alto riesgo de deslizamientos y avenidas torrenciales.

#### 6.2.2.13 Gestión del Riesgo

El análisis de gestión de riesgo fue desarrollado con la finalidad de conocer las zonas de potencial riesgo dentro de la ronda hídrica calculada para el río Mulato. La metodología utilizada para determinar el riesgo por inundaciones está basada en el concepto de riesgo, éste es el resultado de la relación directa que hay entre las probabilidades de que ocurra un evento y las consecuencias que éste mismo traería en caso de ocurrir.



**Figura 184** Definición de Riesgo de Inundaciones

En la gestión del riesgo de inundaciones la probabilidad de que ocurra la inundación corresponde a la amenaza que representa ésta para la vida de las personas y la infraestructura de la ciudad. Entre mayor sea el periodo de retorno, mayor será la amenaza del flujo. Por otro lado las consecuencias se traducen como la vulnerabilidad de la parte de la ciudad que se puede ver afectada por dicha amenaza, es decir que debido a sus condiciones económicas, sociales y ambientales, que tan propensas están de que dicha amenaza pueda representar una amenaza para su integridad física y económica. La unión de estas dos variables representa el riesgo que tiene un espacio a ser afectado por un evento de inundación, es decir, la probabilidad de que en ese lugar existan pérdidas de vida, económicos, culturales o daños ambientales.

#### Amenaza

Como se mencionó anteriormente la amenaza representa la magnitud de un evento con respecto a su probabilidad de ocurrencia. En la gestión del riesgo de inundaciones dicha amenaza se traduce en un mapa donde además de representar la magnitud de la mancha de inundación, también se indican las propiedades de profundidad y velocidad del flujo, propiedades del flujo que pueden causar graves daños a las personas y a los bienes materiales. La Comunidad Europea está implementando metodologías dentro de sus normatividades para cuantificar la amenaza por inundaciones, es el caso del Flood and Coastal Defense R&D Programme, Defra/Environment Agency del gobierno del Reino

Unido, el cual propone una metodología para determinar la amenaza de la inundación a las personas. Dicha metodología está basada en estudios de estabilidad de personas dentro de flujos a diferentes profundidades y velocidades, en estos se encontró que la amenaza está relacionada directamente con la profundidad y velocidad del agua, sin embargo existen muchas otras variables que pueden afectar la vida de una persona, como la temperatura del agua, la condición de la superficie del suelo, el arrastre de elementos urbanos, y otros escombros, así como también los vehículos en las ciudades.

Para poder cuantificar la amenaza se propuso la siguiente formula, la cual involucra la profundidad y velocidad del flujo, así como un factor de escombros asociado.

$$IA = d * (v + 0.5) + DF$$

Donde:

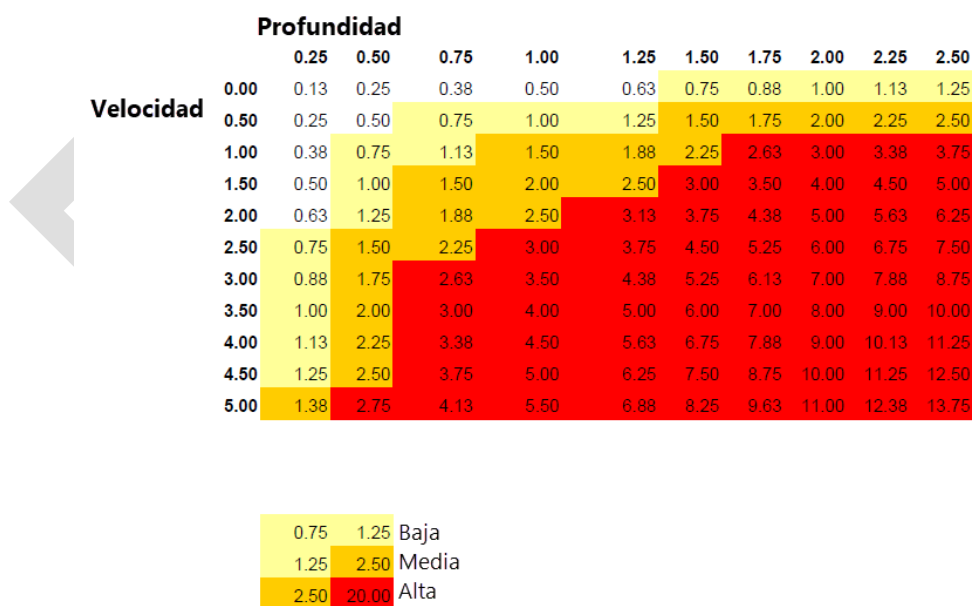
IA = Índice de Amenaza

d = Profundidad de la inundación (m)

v = velocidad del flujo (m/s)

DF = Factor de escombros

Los resultados de la ecuación del índice de amenaza se clasifican en tres rangos, Baja, Media y Alta, la relación de los valores de profundidad y velocidad se muestran en la siguiente matriz.



**Figura 185** Índices de Amenaza, Defra/Environment Agency, UK.

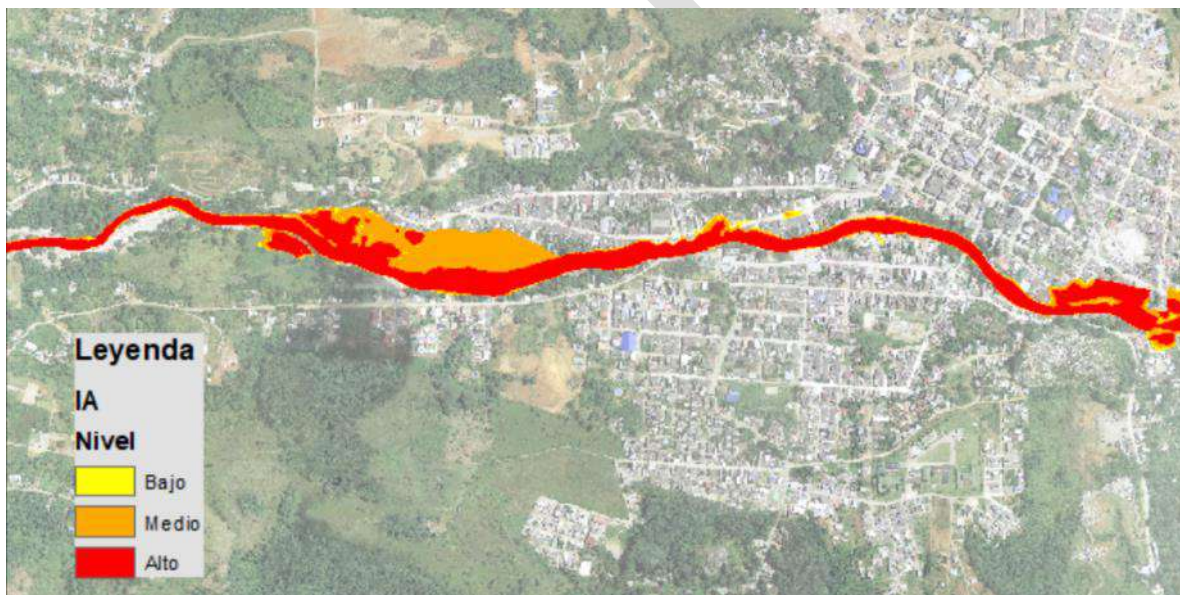
Debido a las características físicas de la cuenca de Mocoa y a su naturaleza a sufrir avenidas fluvio-torrenciales, es muy importante tener en cuenta adicionalmente, el factor de escombros mencionado. Este valor le suma 0,0.5 o 1 a la fórmula del índice de amenaza, para determinar dicho valor se utiliza la siguiente tabla:

**Tabla 32** Factor de escombros para diferentes profundidades

Profundidades	Pastos/Zonas abiertas	Zona con Bosques	Zona Urbana
0 a 0.25 m	0	0	0
0.25 a 0.75 m	0	0.5	1
d>0.75 m y/o v>2	0.5	1	1

Basados en la tabla, se le asignó a la fórmula del índice de amenaza un factor de escombros de 1, teniendo en cuenta que estamos analizando una zona urbana.

A partir de estos criterios y de los resultados de la modelación hidráulica, se calculó el índice de amenaza, éste se muestra a continuación.



**Figura 186** Mapa Índices de Amenaza

### Vulnerabilidad

Este parámetro indica la magnitud de las consecuencias que traería la inundación, en el caso del cálculo del riesgo de inundaciones se calcula la vulnerabilidad a partir de un índice que describe las condiciones de cada predio dentro y cerca de la ronda hídrica. El equipo del componente predial levantó en campo todos los predios contiguos al río Mulato que tienen un alto potencial de ser afectados. Con el fin de calcular un índice de vulnerabilidad se levantaron en campo parámetros que pueden ser utilizados para determinar dicho índice. Estos parámetros fueron:

- Estrato Socioeconómico
- Número de Personas
- Numero de Construcciones
- Estado de Conservación



- Actividad Económica

Cada uno de estos parámetros determina de manera específica la vulnerabilidad de los lotes, a cada uno se le asignó un peso, al final se suman todos los pesos y se multiplican por la Actividad económica, el cual es el parámetro que define la importancia de la estructura. A continuación se presentan todos los pesos asignados a los parámetros de vulnerabilidad.

**Tabla 33** Tablas de pesos por parámetro

**Estrato Socioeconómico**

Valor	Indicador	Peso IV
1	Alta Vulnerabilidad	1.5
2	Media Vulnerabilidad	1
3	Media Vulnerabilidad	1

**Numero de Construcciones**

Valor	Indicador	Peso IV
1_2	Baja Vulnerabilidad	1
3_4	Media Vulnerabilidad	2
5	Alta Vulnerabilidad	3

**Numero de Personas**

Valor	Indicador	Peso IV
1_10	Baja Vulnerabilidad	1
10_20	Media Vulnerabilidad	2
>20	Alta Vulnerabilidad	3

**Conservación**

Valor	Indicador	Peso IV
Bueno	Baja Vulnerabilidad	1
Regular	Media Vulnerabilidad	2
Malo	Alta Vulnerabilidad	3

**Actividad Económica**

Valor	Indicador	Peso IV
Comercial y de Servicios	Vulnerabilidad Media	1
Dotacional	Vulnerabilidad Alta	2
Espacio Público	Vulnerabilidad Baja	0.5
Mixto	Vulnerabilidad Media	1
No Edificado	Vulnerabilidad Baja	0
Residencial	Vulnerabilidad Media	1

La siguiente tabla tiene los valores de cada parámetro y la ecuación para determinar el índice de vulnerabilidad.

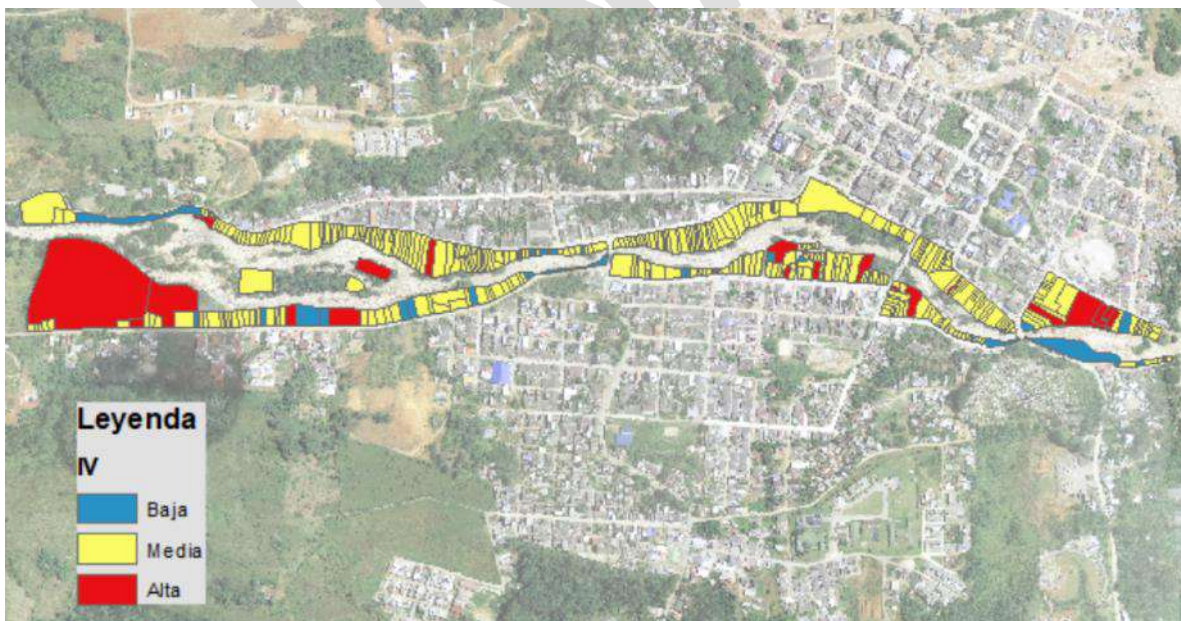
**Tabla 34** Valores del Índice de Vulnerabilidad

Índice de Vulnerabilidad	Bajo	Medio	Alto
	Estrato Socioeconómico (Es)	1	1
Numero de Construcciones (Nc)	1	2	3
Numero de Personas (Np)	1	2	3
Conservación (Con)	1	2	3
<b>SUMA</b>	4	7	10.5
Actividad económica (ActE)	0.5	1	2

$$IV = (Es + Nc + Np + Con) * ActE$$

<b>IV</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>21</b>
-----------	----------	----------	-----------

El resultado final de los cálculos es el valor del índice de vulnerabilidad, con dichos valores y sus rangos se calculó el mapa de vulnerabilidad que se muestra a continuación.



**Figura 187** Mapa Índices de Vulnerabilidad

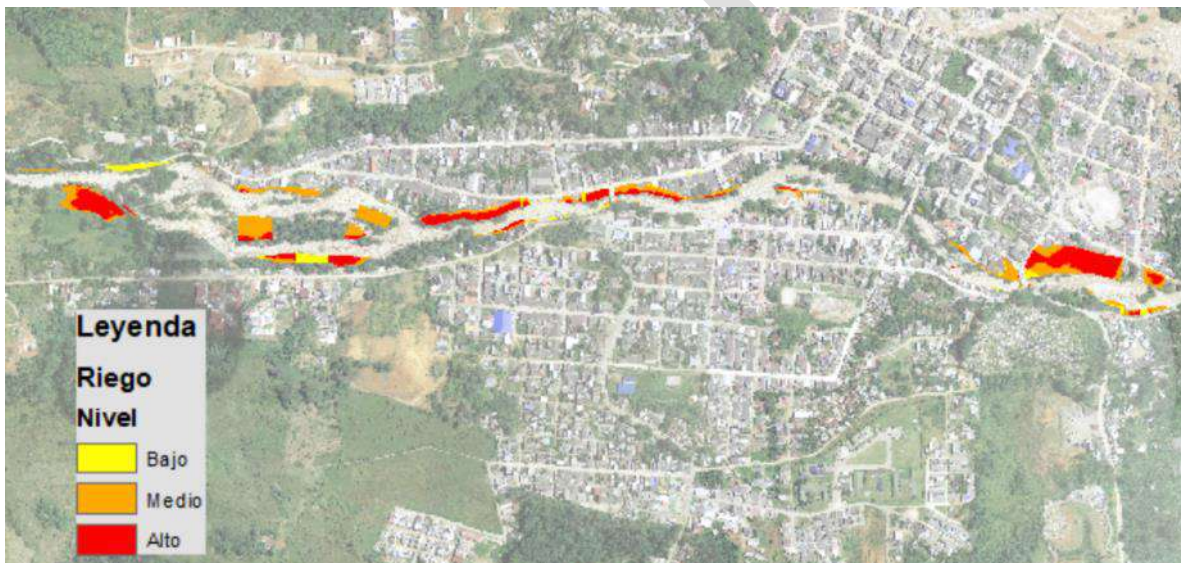
Como se puede notar en la ecuación, la vulnerabilidad se ve amplificada por la actividad económica del predio, en el caso de que el lote tenga un uso dotacional, esta multiplica los valores de los parámetros por dos, incrementando su valor final y haciendo del lote un área de vulnerabilidad alta.

## Riesgo

Finalmente el riesgo corresponde al producto de la amenaza y la vulnerabilidad calculadas. Para poder realizar este cálculo, ambos elementos deben ser de tipo raster, y deben tener la misma resolución con el fin de calcular su valor pixel por pixel. La siguiente es la ecuación utilizada para calcular el riesgo.

$$RIESGO = IA * IV$$

A continuación se presenta la figura que contiene el mapa de riesgo.



**Figura 188** Mapa de Riesgo

El mapa de riesgo contiene las áreas de los predios afectados por la inundación. Dentro de las áreas de riesgo se encuentran doce barrios y veredas de la ciudad de Mocoa.

- Barrio Miraflores
- Barrio Las Acacias
- Barrio Las Colinas
- Barrio Pablo VI
- Barrio 17 de Julio
- Vereda Líbano
- Vereda Villanueva
- Barrio José María Hernández
- Barrio Naranjito

- Barrio San Agustín
- Barrio La Peña
- Barrio José Homero



Figura 189 Mapa Barrios en Riesgo

En el caso del predio afectado en la Vereda Villanueva, en la zona donde se presenta alto riesgo, no existe ninguna construcción a la fecha, por lo tanto su vulnerabilidad debería ser muy baja. Sin embargo dentro de este terreno existen 5 construcciones, lo que quiere decir que éstas pueden ser habitadas ocasionalmente. Por otro lado, al ser el predio tan grande, tiene un mayor potencial de ser urbanizado. Con el objetivo de que en dicha zona no se permitan urbanizaciones, se mantiene la clasificación de alto riesgo, y se indican sus zonas más peligrosas en el mapa.

En el resto de lotes afectados es muy importante que se tomen medidas de manejo con el fin de proteger la vida de las personas y evitar pérdidas económicas. Se recomienda priorizar las medidas de manejo que se tomaran con el fin de disminuir el riesgo, en los barrios que presentan un riesgo alto.

#### 6.2.2.14 Delimitación de la ronda hídrica hidráulica

La ronda hídrica definida por el componente hidráulico, corresponde, como se mencionó anteriormente, **a la mancha de inundación con periodo de retorno de 100 años**. Las zonas inundables presentadas anteriormente son resultados del modelo digital del terreno y la modelación hidráulica.



**Figura 190** Polígono de la ronda hídrica ajustada

Como se puede ver en la **Figura 190**, se muestra la mancha ajustada para la zona inundable al inicio de la zona urbana. La ronda hídrica definida por el componente hidráulico sería la indicada en la **Figura 191**.



**Figura 191** Ronda Hídrica, Componente Hidráulico

La **Figura 192** indica los lotes y las construcciones que se encuentran dentro de la ronda hídrica para el componente hidráulico, un total de 130 edificaciones y 197 lotes que deben ser evaluados con el fin de que queden fuera de la ronda hídrica.



Figura 192 Ronda Hídrica, Lotes y Construcciones afectadas

## 6.2.3 Componente Ecosistémico

### 6.2.3.1 Zonas de vida

Las zonas de vida (Espinal & Montenegro, 1997; Holdridge, 1976) que se encuentran en la cuenca del Río Mulato se presentan en la **Tabla 35** y **Figura 193**. La cuenca cuenta con tres zonas de vida a lo largo del cauce del Río Mulato: 1) Cuenca alta: Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), 2) Cuenca media: Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM), 3) Bosque húmedo Tropical (bh-T), en la cual se encuentra el polígono de interés del presente estudio.

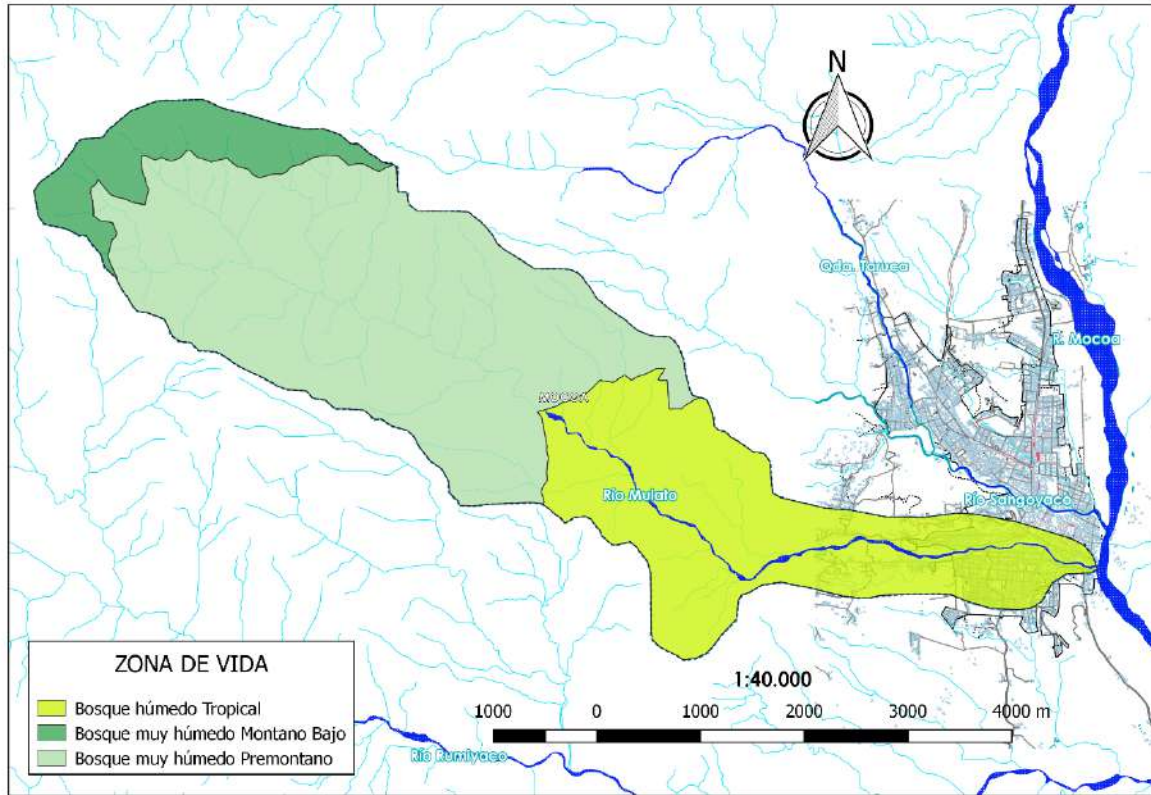
Tabla 35. Zonas de vida en la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

Cuerpo de agua	Sitio	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Altitud (m.s.n.m.)	Zona de vida
Río Mulato	Cuenca alta*	12-17	2000-4000	2000-3000	Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB)
	Cuenca media*	17-24	2000-4000	1000-2000	Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM)
	Cuenca baja	23,1 (16,6-31,5)	3693 (±420,4)	0-1000	Bosque húmedo Tropical (bh-T)

Entre paréntesis, temperaturas mínima y máxima, y desviación estándar. \*Debido a la ausencia de datos climáticos para estas zonas se usaron los valores referenciados para las zonas de vida de Holdridge (1976).

Los muestreos temporales de la vegetación se realizaron a lo largo de la zona de vida de interés (bh-T), el rango altitudinal que incluyó los muestreos fue de 673-997 msnm (16 parcelas), sólo dos sitios fueron realizados en el límite altitudinal para esta zona de vida en 1091-1154 msnm dado el buen

estado de conservación de los bosques en la parte alta de la cuenca en comparación con la vegetación de la parte baja de la cuenca, es decir el polígono de estudio.



**Figura 193.** Mapa de zonas de vida presentes en la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo): 1) Cuenca alta: Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), 2) Cuenca media: Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM), 3) Bosque húmedo Tropical (bh-T), en esta última zona de vida se encuentra el polígono de estudio.

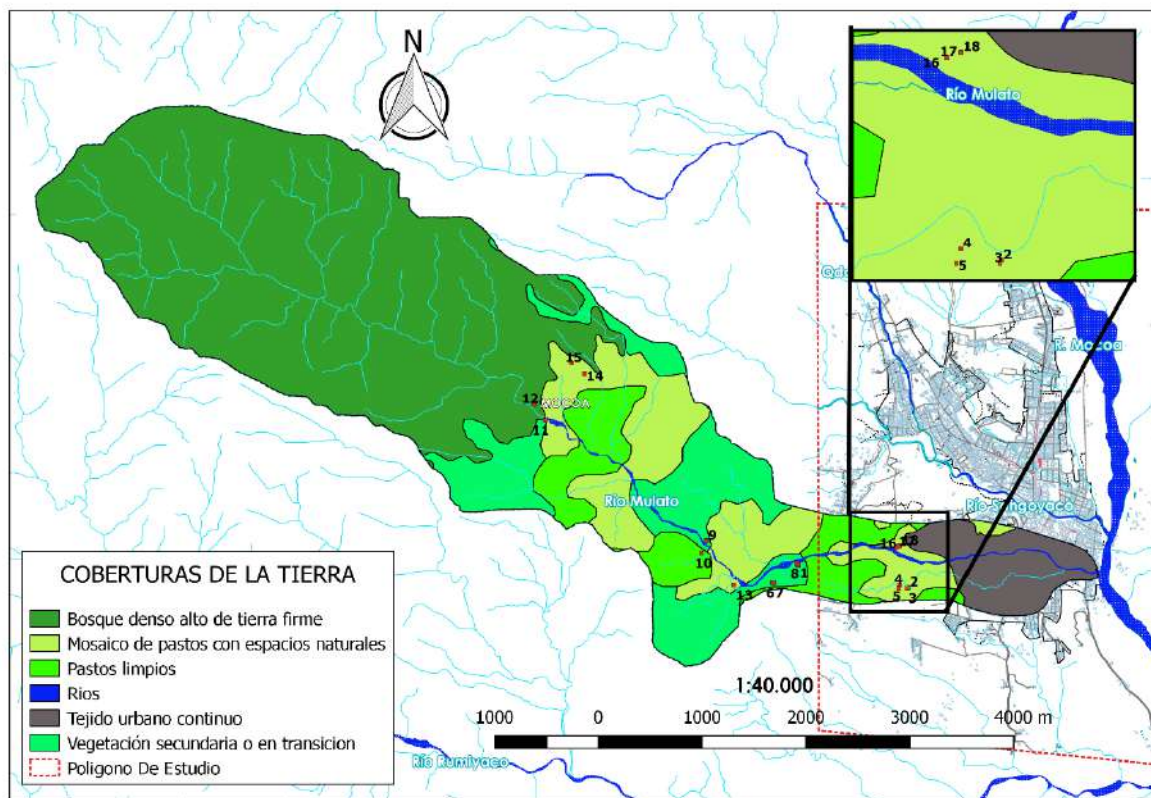
#### 6.2.3.2 Estructura y composición florística

En total se muestrearon 18 puntos (**Tabla 36**), distribuidos en cuatro tipos de cobertura de acuerdo a la información disponible sobre coberturas de la tierra periodo 2016 (SIAT-AC, 2017) (**Figura 194**): 1) Bosque denso alto de tierra firme, 2) Vegetación secundaria o en transición, 3) Mosaico de pastos con espacios naturales, 4) Pastos limpios, en este último tipo de cobertura el muestreo se realizó en un relicto de bosque con intermedio estado de conservación. Por otro lado, los puntos de muestreo estuvieron localizados en ocho unidades ecosistémicas de acuerdo a la información generada por el componente social del presente proyecto:

- 1) Ecosistema acuático Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte.
- 2) Ecosistema terrestre Natural de Bosque denso alto de tierra firme en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual.
- 3) Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave.

- 4) Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano fino.
- 5) Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave.
- 6) Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual.
- 7) Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano fino.
- 8) Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano grueso.

De los 18 puntos de muestreo, siete se encontraron dentro del polígono de estudio (recuadro de la **Figura 194**), y el resto de los muestreos (11) fueron realizados en los relictos de bosque de la cuenca media y alta (parte baja, 1000 msnm) del Río Mulato (**Figura 194**). Los muestreos dentro del polígono de estudio incluyeron tres parcelas (16, 17 y 18) en la ladera del Río Mulato, en una zona ocupada principalmente por chiparos (*Zygia longifolia*).



**Figura 194.** Localización de los puntos de muestreo dentro del polígono de estudio (línea roja punteada) y, fuera de él, para la caracterización del componente ecosistémico del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).



**Tabla 36.** Detalles de las parcelas establecidas y datos de riqueza y estructura de los fustales (DAP≥10 cm) de las coberturas presentes en el Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

Parcela No. (100 m <sup>2</sup> )	Unidad ecosistémica	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Densidad	No. de especies	Diámetro promedio (cm)	Área basal promedio (m <sup>2</sup> )	Rango de alturas registrado (m)
1	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'38,1"	W 76°40'6,9"	732	12	8	20,3	41898,4	8,5-23,2
2	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'31,1"	W 76°39'32,7"	683	7	7	34,7	133028,8	9,1-38,8
3	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'30,9"	W 76°39'32,8"	710	6	6	27,2	79576,8	12,6-36,9
4	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'31,8"	W 76°39'35,2"	716	8	6	15,5	23976,4	10,3-24,0
5	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'30,9"	W 76°39'35,5"	716	12	8	29,9	106206,6	12,0-36,5
6	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'32,5"	W 76°40'14,9"	795	11	10	22,2	46129,3	4,2-18,9
7	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'32,5"	W 76°40'14,5"	795	10	9	19,9	33325,8	9,2-16,8
8	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	N 01°08'38,5"	W 76°40'07,2"	732	20	9	27,5	63534,5	10,0-19,0
9	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano fino	01°08'45,6" N	076°40'35,5" W	809	19	9	18,1	28723,1	8,0-25,0
10	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano fino	01°08'41,8" N	076°40'37,0" W	812	21	7	25,2	98910,5	7,0-21,3
11	Ecosistema acuático Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte	01°09'23,1" N	076°41'25,8" W	951	9	6	33,8	105441,1	11,0-21,3

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Parcela No. (100 m <sup>2</sup> )	Unidad ecosistémica	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Densidad	No. de especies	Diámetro promedio (cm)	Área basal promedio (m <sup>2</sup> )	Rango de alturas registrado (m)
12	Ecosistema terrestre Natural de Bosque denso alto de tierra firme en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual	01°09'28,1" N	076°41'29,1" W	997	8	5	40,5	186191,6	8,0-21
13	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano grueso	01°08'31,8" N	076°40'26,9" W	803	9	6	26,5	68847,0	9,0-22,7
14	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual	01°09'37,6" N	076°41'13,5" W	1091	14	8	26,0	88651,8	6,0-22,6
15	Ecosistema terrestre Natural de Bosque denso alto de tierra firme en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual	01°09'40,9" N	076°41'17,5" W	1154	12	8	23,1	56851,8	7,3-25,3
16	Ecosistema acuático Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte*	N 01°08'43"	W 76°39'36,8"	673	13	1	45,6	176331,5	18,6-22,5
17	Ecosistema acuático Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte*	N 01°08'43,7"	W 76°39'36,1"	673	6	1	66,6	356010,4	18,6-22,5
18	Ecosistema acuático Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte*	N 01°08'44"	W 76°39'35,2"	678	10	2	57,2	263832,2	18,6-22,5
<b>Total</b>					<b>207</b>	<b>79</b>	<b>31,1</b>	<b>97391,9</b>	<b>4,2-38,8</b>

\*Sitios dominados por chíparos ubicados al interior del cauce permanente.

En total para todas las categorías de tamaño: fustales, latizales y brinzales, se registraron 159 morfoespecies en 418 individuos, de las cuales 9 son indeterminadas (**Tabla 37**). Para la categoría de tamaño fustal (Individuos con DAP  $\geq$  10 cm) se registraron 79 especies en 207 individuos (**Tabla 38**), y para las categorías más pequeñas latizales (DAP entre 2,5 y 9,9 cm) y brinzales (individuos con alturas entre 30 cm-1,5 m de altura) se registraron 77 y 58 especies en 119 y 92 individuos, respectivamente, lo cual sugiere la importancia de estos relictos de bosque, en cuanto al potencial de regeneración que aún presentan las especies, y que estos fragmentos a pesar de que tienen un alto grado de intervención exhiben una estructura compleja en cuanto a densidad y riqueza.

En cuanto al estado de conservación de las especies registradas en los muestreos, no se encontraron reportadas en alguna categoría de amenaza, de acuerdo a la “Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN” y, la Resolución 192 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones. No obstante, es importante llamar la atención sobre las especies que tienen una historia de uso en la región, especialmente aquellas que han sido apreciadas por su madera y, que se registraron como elementos poco frecuentes en estos bosques, como es el caso del Achapo (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke) un árbol de grandes dimensiones pero que debido a la presión por su madera se encuentran pocos individuos; otro caso es el de la palma bombona o chonta (*Iriartea deltoidea*), que así mismo ha sido muy explotada, y los individuos que se presentan son de alturas bajas, lo cual sugiere que son individuos jóvenes.

**Tabla 37.** Composición florística registrada en los muestreos realizados en todas las categorías de tamaño (Brinzales, Latizales, Fustales) en el Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

No.	Familia	Especie	Número de individuos por clase de tamaño*			Densidad total
			Brinzal	Latizal	Fustal	
1	Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	1			1
2	Actinidaceae	<i>Saurauia aromatica</i> R.E.Schult.		2	2	4
3	Actinidaceae	<i>Saurauia</i> sp. 1	1			1
4	Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.		1	1	2
5	Annonaceae	<i>Annona duckei</i> Diels			1	1
6	Annonaceae	<i>Duguetia</i> sp. 1	1	1	1	3
7	Annonaceae	<i>Guatteria</i> aff. <i>megalophylla</i> Diels			1	1
8	Annonaceae	<i>Klarobelia</i> sp. 1	1	2		3
9	Annonaceae	<i>Rollinia</i> sp. 1		3		3
10	Annonaceae	<i>Rollinia</i> sp. 2			6	6
11	Apocynaceae	<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson			1	1
12	Araceae	<i>Monstera</i> sp. 1	1			1
13	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.			1	1
14	Araliaceae	<i>Oreopanax</i> sp. 1			1	1
15	Araliaceae	<i>Schefflera lancifoliolata</i> Frodin	1			1
16	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav.	7	2	21	30
17	Arecaceae	<i>Wettinia maynensis</i> Spruce		3		3
18	Asteraceae	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski		1	6	7
19	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don			4	4
20	Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp. 1	1		1	2
21	Burseraceae	<i>Crepidospermum rhoifolium</i> (Benth.) Triana & Planch.		1		1
22	Burseraceae	<i>Crepidospermum</i> sp. 1	1		1	2
23	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J.Lam		2		2
24	Burseraceae	<i>Protium glabrescens</i> Swart		1		1
25	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume			1	1
26	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don			1	1
27	Clusiaceae	<i>Calophyllum</i> sp. 1	1			1
28	Clusiaceae	<i>Chrysochlamys</i> sp. 1		2	5	7
29	Clusiaceae	<i>Chrysochlamys</i> sp. 2	1	4		5
30	Clusiaceae	<i>Chrysochlamys tenuifolia</i> Cuatrec.		1		1
31	Combretaceae	<i>Buchenavia</i> cf. <i>tetraphylla</i> (Aubl.) R.A.Howard		1		1

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)

No.	Familia	Especie	Número de individuos por clase de tamaño*			Densidad total
			Brinzal	Latizal	Fustal	
32	Costaceae	<i>Costus asplundii</i> (Maas) Maas	2			2
33	Costaceae	<i>Costus</i> sp. 1	1			1
34	Cyatheaceae	<i>Cyathea</i> sp. 1	1	3		4
35	Cyatheaceae	<i>Cyathea</i> sp. 2		2		2
36	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum macrophyllum</i> Cav.		1	1	2
37	Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.			1	1
38	Euphorbiaceae	<i>Conceveiba rhytidocarpa</i> Müll.Arg.		1	1	2
39	Euphorbiaceae	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke			1	1
40	Gentianaceae	<i>Potalia coronata</i> Struwe & V.A.Albert		1		1
41	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>			3	3
42	Hypericaceae	<i>Vismia lauriformis</i> (Lam.) Choisy		1		1
43	Hypericaceae	<i>Vismia tenuinervia</i> (M.E.Berg) N.Robson		1		1
44	Icacinaceae	<i>Dendrobangia boliviana</i> Rusby			1	1
45	Indeterminada	Indeterminada 1	1			1
46	Indeterminada	Indeterminada 2	1			1
47	Indeterminada	Indeterminada 3			1	1
48	Indeterminada	Indeterminada 4			1	1
49	Indeterminada	Indeterminada 5			3	3
50	Indeterminada	Indeterminada 6	1			1
51	Indeterminada	Indeterminada 7	1	2		3
52	Indeterminada	Indeterminada 8	1			1
53	Indeterminada	Indeterminada 9	1			1
54	Lauraceae	<i>Aniba</i> sp. 1		1		1
55	Lauraceae	<i>Aniba</i> sp. 2		1		1
56	Lauraceae	<i>Endlicheria</i> sp. 1	3			3
57	Lauraceae	<i>Nectandra</i> cf. <i>turbacensis</i> (Kunth) Nees	2	1		3
58	Lauraceae	<i>Nectandra</i> sp. 1	1		1	2
59	Lauraceae	<i>Nectandra</i> sp. 2			2	2
60	Lauraceae	<i>Ocotea</i> sp. 1	2			2
61	Lauraceae	<i>Ocotea</i> sp. 2		1		1
62	Lauraceae	<i>Persea</i> sp. 1			4	4
63	Leguminosae	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	1		1	2
64	Leguminosae	<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff		3		3
65	Leguminosae	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F.Cook		1	9	10

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)

No.	Familia	Especie	Número de individuos por clase de tamaño*			Densidad total
			Brinzal	Latizal	Fustal	
66	Leguminosae	<i>Inga acreana</i> Harms	2	3	3	8
67	Leguminosae	<i>Inga</i> sp. 1	2			2
68	Leguminosae	<i>Inga</i> sp. 2	2	3	5	10
69	Leguminosae	<i>Inga</i> sp. 3	7	1		8
70	Leguminosae	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	1		1	2
71	Leguminosae	<i>Senna</i> sp. 1	1			1
72	Leguminosae	<i>Zygia longifolia</i> (Willd.) Britton & Rose			28	28
73	Lythraceae	<i>Adenaria floribunda</i> Kunth		1		1
74	Malpigiaceae	<i>Byrsonima japurensis</i> A.Juss.			1	1
75	Malpigiaceae	<i>Diplopterys</i> sp. 1		1		1
76	Malvaceae	<i>Apeiba macropetala</i> Ducke			2	2
77	Malvaceae	<i>Matisia arteagensis</i> Cuatrec.			1	1
78	Marantaceae	<i>Calathea</i> sp. 1	2			2
79	Melastomataceae	<i>Clidemia allardii</i> Wurdack	3	3	2	8
80	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 4			2	2
81	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 6	1	3	2	6
82	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 7			2	2
83	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 8		1	1	2
84	Melastomataceae	<i>Blakea</i> sp. 1		1		1
85	Melastomataceae	<i>Clidemia allardii</i> Wurdack	1			1
86	Melastomataceae	<i>Miconia</i> aff. <i>lamprophylla</i> Triana		1		1
87	Melastomataceae	<i>Miconia diaphanea</i> Gleason		1		1
88	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 1		1		1
89	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 2			1	1
90	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 3		1	1	2
91	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 4		2		2
92	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 5		1		1
93	Melastomataceae	<i>Miconia</i> aff. <i>prasina</i> (Sw.) DC.		2	1	3

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)

No.	Familia	Especie	Número de individuos por clase de tamaño*			Densidad total
			Brinzal	Latizal	Fustal	
94	Melastomataceae	<i>Miconia trinervia</i> (Sw.) D. Don ex Loudon	3	2	1	6
95	Meliaceae	<i>Guarea aff. silvatica</i> C.DC.	3	1		4
96	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.			2	2
97	Meliaceae	<i>Meliaceae</i> sp. 1		1		1
98	Meliaceae	<i>Trichilia aff. septentrionalis</i> C.DC.			1	1
99	Moraceae	<i>Batocarpus orinocensis</i> H. Karst.	1	2	1	4
100	Moraceae	<i>Ficus</i> sp. 1			1	1
101	Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.			6	6
102	Moraceae	<i>Ficus obtusifolia</i> Kunth			2	2
103	Moraceae	<i>Helicostylis tovarensis</i> (Klotzsch & H.Karst.) C.C.Berg	1	2	5	8
104	Moraceae	<i>Perebea guianensis</i> Aubl.		1	1	2
105	Moraceae	<i>Sorocea muriculata</i> Miq.		1		1
106	Moraceae	<i>Sorocea pubivena</i> Hemsl.			1	1
107	Myristicaceae	<i>Iryanthera</i> sp. 1		2		2
108	Myristicaceae	<i>Osteophloeum</i> sp. 1			1	1
109	Myristicaceae	<i>Otoba novogranatensis</i> Moldenke		3	8	11
110	Myristicaceae	<i>Virola cf. duckei</i> A.C. Sm.		1		1
111	Myristicaceae	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.		2	2	4
112	Myristicaceae	<i>Virola</i> sp. 1	1			1
113	Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	1			1
114	Nyctaginaceae	<i>Neea spruceana</i> Heimerl	1		2	3
115	Picramniaceae	<i>Picramnia sellowii</i> Planch.	1			1
116	Piperaceae	<i>Piper</i> sp. 1		1		1
117	Piperaceae	<i>Piper</i> sp. 2	2	1		3
118	Polygonaceae	<i>Coccoloba</i> sp. 1		1		1
119	Primulaceae	<i>Cybianthus schlimii</i> (Hook.f.) G.Agostini		1		1
120	Pteridophyta	<i>Pteridophyta</i> sp. 1	1			1

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCO A (PUTUMAYO)

No.	Familia	Especie	Número de individuos por clase de tamaño*			Densidad total
			Brinzal	Latizal	Fustal	
121	Pteridophyta	<i>Pteridophyta</i> sp. 2	1			1
122	Rubiaceae	<i>Duroia hirsuta</i> (Poepp. & Endl.) K.Schum.	1			1
123	Rubiaceae	<i>Faramea</i> sp. 1		1		1
124	Rubiaceae	<i>Gonzalagunia affinis</i> Standl. ex Steyerm.		1		1
125	Rubiaceae	<i>Guettarda crispiflora</i> Vahl		2		2
126	Rubiaceae	<i>Isertia</i> cf. <i>laevis</i> (Triana) Boom	1			1
127	Rubiaceae	<i>Ladenbergia</i> sp. 1			1	1
128	Rubiaceae	<i>Palicourea</i> cf. <i>grandiceps</i> C.M. Taylor	1	1		2
129	Rubiaceae	<i>Palicourea</i> cf. <i>guianensis</i> Aubl.		4	2	6
130	Rubiaceae	<i>Palicourea</i> sp. 1	2			2
131	Rubiaceae	<i>Palicourea</i> sp. 2		2		2
132	Rubiaceae	<i>Posoqueria panamensis</i> (Walp. & Duchass.) Walp.		1		1
133	Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp. 1		1		1
134	Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp. 2		1		1
135	Rubiaceae	<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch		1		1
136	Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> aff. <i>quinduense</i> Tul.			1	1
137	Sabiaceae	aff. <i>Meliosma</i> sp. 1		1		1
138	Salicaceae	<i>Banara</i> sp. 1			3	3
139	Salicaceae	<i>Banara</i> sp. 2			1	1
140	Salicaceae	<i>Casearia javitensis</i> Kunth		1		1
141	Salicaceae	<i>Casearia pitumba</i> Sleumer			1	1
142	Sapindaceae	<i>Allophylus excelsus</i> (Triana & Planch.) Radlk.	1		1	2
143	Sapindaceae	<i>Allophylus</i> sp. 1			1	1
144	Sapindaceae	<i>Matayba</i> sp. 1			1	1
145	Sapindaceae	<i>Sapindaceae</i> sp. X		1		1
146	Sapotaceae	<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.		1		1
147	Urticaceae	<i>Cecropia latiloba</i> Miq.			1	1



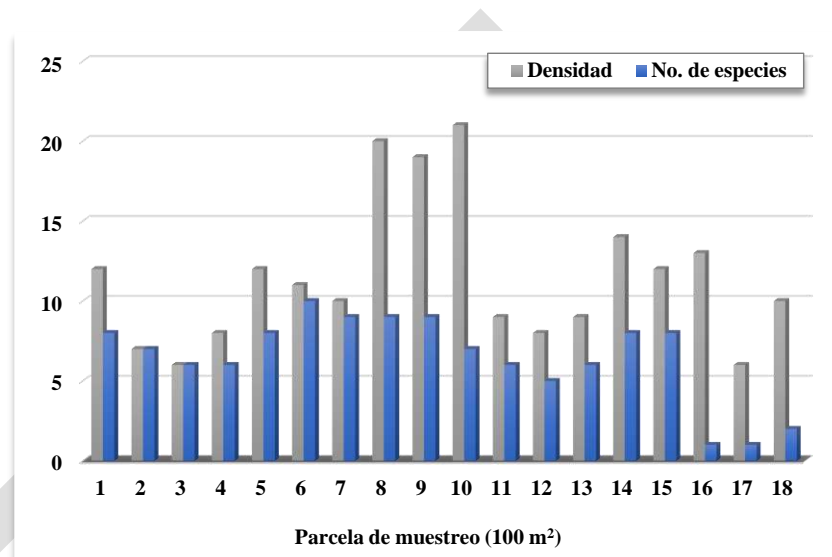
Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCO A (PUTUMAYO)

No.	Familia	Especie	Número de individuos por clase de tamaño*			Densidad total
			Brinzal	Latizal	Fustal	
148	Urticaceae	<i>Cecropia</i> sp. 1		1	1	2
149	Urticaceae	<i>Cecropia montana</i> Warb. ex Snethl.			1	1
150	Urticaceae	<i>Coussapoa</i> cf. <i>ovalifolia</i> Trécul	2	3	8	13
151	Urticaceae	<i>Coussapoa cinnamomifolia</i> Mildbr.	1		1	2
152	Urticaceae	<i>Pourouma bicolor</i> Mart.			3	3
153	Urticaceae	<i>Pourouma</i> sp. 1			1	1
154	Urticaceae	<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb.	3			3
155	Vochysiaceae	<i>Vochysia moskovitsiana</i> I.Huamant.	1	1	2	4
156	Wettinia	<i>Wettinia maynensis</i> Spruce			2	2
157	Woodsiaceae	<i>Diplazium</i> sp. 1	3		3	6
158	Zingiberaceae	<i>Renealmia</i> cf. <i>monosperma</i> Miq.	1			1
159	Zingiberaceae	<i>Renealmia</i> sp. 1	1			1
<b>Total</b>			<b>92</b>	<b>119</b>	<b>207</b>	<b>418</b>

\* Categorías de tamaño: Brinzales: individuos con alturas entre 30 cm-1,5 m de altura, muestreados en 4 m<sup>2</sup>; Latizales: DAP entre 2,5 y 9,9 cm, muestreados en 25 m<sup>2</sup>; Fustales: individuos con diámetros a la altura del pecho DAP ≥ 10 cm, muestreados en 100 m<sup>2</sup>.

La riqueza específica (S), es decir el número de especies en 100 m<sup>2</sup> y, la densidad (Número de individuos en 100 m<sup>2</sup>) en cada una de las parcelas se muestra en la **Figura 195**. Las parcelas 16 a 18 fueron establecidas a orillas del río en áreas remanentes de chiparos (*Zygia longifolia*), esto explica su densidad y riqueza (1 o 2 especies); estas parcelas se incluyeron en el muestreo dada la importancia que demostró el chiparo como barrera natural ante el evento torrencial ocurrido entre el 31 de marzo y el 1 de abril del presente año (Semana Sostenible, 2017).

En promedio se registró una riqueza en la categoría de fustales de 7 especies ( $\pm 1$ ) y, 12 ( $\pm 5$ ) individuos en cada parcela (100 m<sup>2</sup>), la variación entre sitios se muestra en la **Figura 195**, el rango entre sitios fue de 5 hasta 10 especies y, entre 6 a 21 individuos por parcela, esto sin tener en cuenta las tres parcelas en los lugares de chiparos.



**Figura 195.** Densidad y riqueza específica encontradas para los fustales (DAP $\geq$ 10 cm) en cada una de las parcelas de muestreo dentro de la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo)

**Tabla 38.** Composición florística y estructura de los fustales (DAP  $\geq$  10 cm) registrados en las parcelas de muestreo en la vegetación de la cuenca del Río Mulato.

No.	Familia	Especie	Densidad	DAP promedio (cm)	AB total (m <sup>2</sup> )	H promedio (m)
1	Actinidaceae	<i>Saurauia aromatica</i> R.E.Schult.	2	24,7	98737,1	15,5
2	Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	1	14,5	16513,0	13,6
3	Annonaceae	<i>Annona duckei</i> Diels	1	16,2	20612,0	13,8
4	Annonaceae	<i>Duguetia</i> sp. 1	1	32,0	80424,8	15,0
5	Annonaceae	<i>Guatteria aff. megalophylla</i> Diels	1	22,3	39057,1	14,2
6	Annonaceae	<i>Rollinia</i> sp. 2	6	27,6	431778,9	13,5
7	Apocynaceae	<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	1	13,9	15174,7	20,6
8	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	1	37,7	111627,9	19,0
9	Araliaceae	<i>Oreopanax</i> sp. 1	1	30,8	74506,0	25,0
10	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav.	21	19,2	631873,2	14,9
11	Asteraceae	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski	6	26,6	354722,7	19,1
12	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	4	46,1	733644,4	31,8
13	Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp. 1	1	18,0	25446,9	14,0
14	Burseraceae	<i>Crepidospermum</i> sp. 1	1	22,1	38359,6	19,4
15	Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	1	13,3	13892,9	13,5
16	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	1	11,5	10386,9	9,0
17	Clusiaceae	<i>Chrysochlamys</i> sp. 1	5	13,6	78617,6	10,4
18	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum macrophyllum</i> Cav.	1	14,0	15393,8	12,8
19	Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	1	25,5	51070,5	11,6
20	Euphorbiaceae	<i>Conceveiba rhytidocarpa</i> Müll.Arg.	1	10,0	7854,0	12,6
21	Euphorbiaceae	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	1	19,9	31102,6	11,2
22	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>	3	19,1	88662,8	11,2
23	Icacinaceae	<i>Dendrobangia boliviana</i> Rusby	1	12,3	11882,3	11,0
24	Indeterminada	Indeterminada 3	1	60,5	287475,4	36,9
25	Indeterminada	Indeterminada 4	1	19,1	28652,1	24,0

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

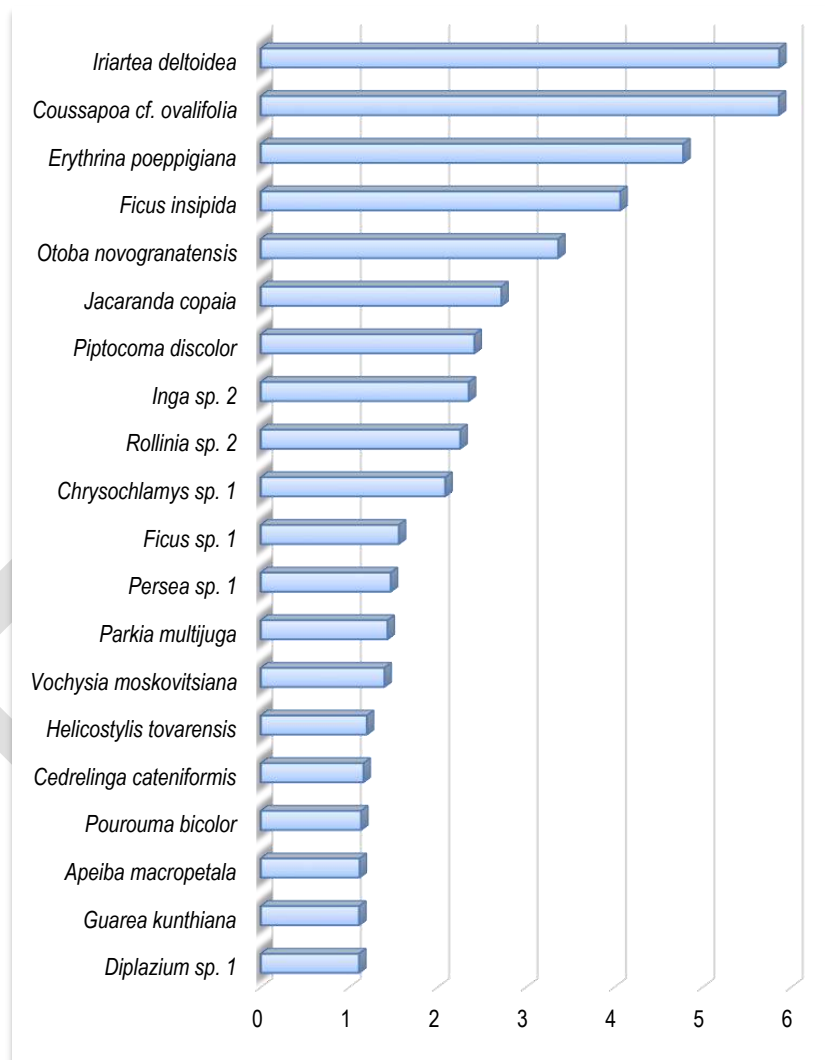
26	Indeterminada	Indeterminada 5	3	16,1	64030,4	10,7
27	Lauraceae	<i>Nectandra</i> sp. 1	1	29,6	68813,4	29,8
28	Lauraceae	<i>Nectandra</i> sp. 2	2	14,0	31095,5	12,9
29	Lauraceae	<i>Persea</i> sp. 1	4	32,1	324729,2	17,9
30	Leguminosae	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	1	74,0	430084,0	38,8
31	Leguminosae	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F.Cook	9	41,2	1318060,7	19,3
32	Leguminosae	<i>Inga acreana</i> Harms	3	14,5	53329,3	12,4
33	Leguminosae	<i>Inga</i> sp. 2	5	30,9	413315,8	17,2
34	Leguminosae	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	1	87,0	594467,9	20,0
35	Leguminosae	<i>Zygia longifolia</i> (Willd.) Britton & Rose	28	53,6	6742981,0	20,0
36	Malpighiaceae	<i>Byrsonima japurensis</i> A.Juss.	1	31,5	77931,1	16,8
37	Malvaceae	<i>Apeiba macropetala</i> Ducke	2	28,5	132339,6	15,1
38	Malvaceae	<i>Matisia arteagensis</i> Cuatrec.	1	20,0	31415,9	21,0
39	Melastomataceae	<i>Clidemia allardii</i> Wurdack	2	15,1	36779,4	6,0
40	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 4	2	19,5	59729,5	11,0
41	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 6	2	10,8	18346,9	9,5
42	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 7	2	13,7	29482,3	10,0
43	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 8	1	22,0	38013,3	8,0
44	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 2	1	10,5	8659,0	13,5
45	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp. 3	1	17,5	24052,8	12,0
46	Melastomataceae	<i>Miconia aff. prasina</i> (Sw.) DC.	1	10,6	8824,7	9,6
47	Melastomataceae	<i>Miconia trinervia</i> (Sw.) D. Don ex Loudon	1	10,0	7854,0	8,9
48	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	2	28,0	128805,3	15,0
49	Meliaceae	<i>Trichilia aff. septentrionalis</i> C.DC.	1	29,3	67425,6	16,8
50	Moraceae	<i>Batocarpus orinocensis</i> H. Karst.	1	10,8	9160,8	7,0
51	Moraceae	<i>Ficus</i> sp. 1	1	92,5	672006,3	11,5
52	Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	6	50,0	1352809,1	22,8
53	Moraceae	<i>Ficus obtusifolia</i> Kunth	2	15,7	42814,4	8,5
54	Moraceae	<i>Helicostylis tovarensis</i> (Klotzsch & H.Karst.) C.C.Berg	5	12,5	63389,5	8,3
55	Moraceae	<i>Perebea guianensis</i> Aubl.	1	18,6	27171,6	15,3

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

56	Moraceae	<i>Sorocea pubivena</i> Hemsl.	1	11,3	10028,7	4,2
57	Myristicaceae	<i>Osteophloeum</i> sp. 1	1	13,0	13273,2	8,5
58	Myristicaceae	<i>Otoba novogranatensis</i> Moldenke	8	22,0	385668,2	16,5
59	Myristicaceae	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	2	25,7	120092,1	19,7
60	Nyctaginaceae	<i>Neea spruceana</i> Heimerl	2	19,5	65364,8	11,7
61	Rubiaceae	<i>Ladenbergia</i> sp. 1	1	17,6	24328,5	9,2
62	Rubiaceae	<i>Palicourea</i> cf. <i>guianensis</i> Aubl.	2	32,1	161895,7	17,4
63	Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> aff. <i>quinduense</i> Tul.	1	25,6	51471,8	21,0
64	Salicaceae	<i>Banara</i> sp. 1	3	18,0	76818,2	8,6
65	Salicaceae	<i>Banara</i> sp. 2	1	34,3	92401,3	21,0
66	Salicaceae	<i>Casearia pitumba</i> Sleumer	1	36,4	104062,	19,5
67	Sapindaceae	<i>Allophylus excelsus</i> (Triana & Planch.) Radlk.	1	10,0	7854,0	10,3
68	Sapindaceae	<i>Allophylus</i> sp. 1	1	22,2	38707,6	7,5
69	Sapindaceae	<i>Matayba</i> sp. 1	1	20,0	31415,9	8,7
70	Urticaceae	<i>Cecropia latiloba</i> Miq.	1	20,3	32365,5	13,5
71	Urticaceae	<i>Cecropia</i> sp. 1	1	54,5	233282,9	22,7
72	Urticaceae	<i>Cecropia montana</i> Warb. ex Snethl.	1	12,9	13069,8	13,8
73	Urticaceae	<i>Coussapoa</i> cf. <i>ovalifolia</i> Trécul	8	39,4	1722161,4	17,2
74	Urticaceae	<i>Coussapoa cinnamomifolia</i> Mildbr.	1	53,0	220618,3	29,8
75	Urticaceae	<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	3	13,1	44660,9	16,8
76	Urticaceae	<i>Pourouma</i> sp. 1	1	11,7	10751,3	9,0
77	Vochysiaceae	<i>Vochysia moskovitsiana</i> I.Huamant.	2	44,4	475763,6	29,0
78	Wettinia	<i>Wettinia maynensis</i> Spruce	2	10,6	17674,6	8,8
79	Woodsiaceae	<i>Diplazium</i> sp. 1	3	11,5	31012,2	7,5

### 6.2.3.3 Índice de Valor de Importancia (IVI)

Los resultados de la composición florística y estructura de los fustales (**Tabla 38**) permitieron calcular el IVI. En la **Figura 196** se presenta el IVI para las 20 especies con el valor más alto; en general el IVI varió entre 0,5-5,9. Los tres valores más altos del IVI fueron para las especies: *Coussapoa cf. ovalifolia* Trécul e *Iriartea deltoidea* con 5,9 (la bombona o chonta), seguidas de *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F.Cook con 4,8 (conocido como cachimbo), y luego de *Ficus insipida* Willd. con 4,1 (conocido como higerón).



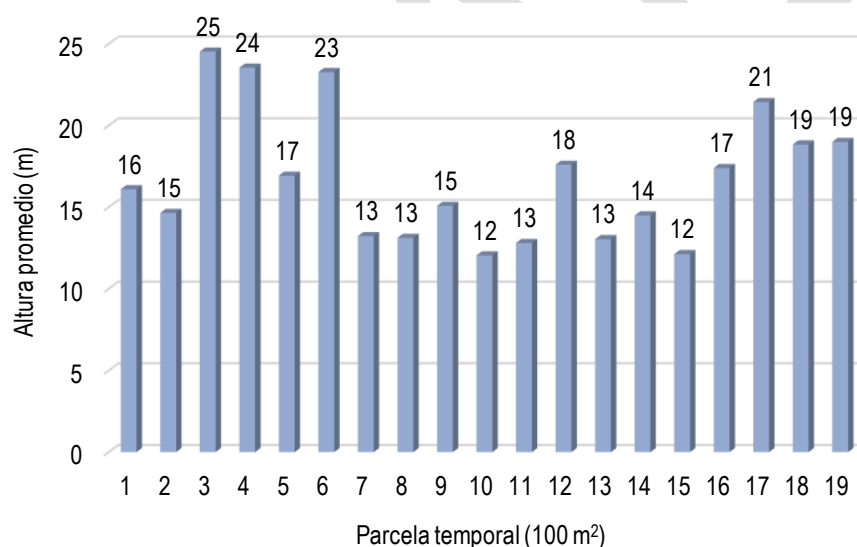
**Figura 196.** Índice de Valor de Importancia (IVI) para las 20 especies con los valores más altos (Especies con DAP≥10 cm) en la vegetación muestreada en la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

Es importante resaltar en este grupo de especies con los valores más altos del IVI (**Figura 196**), la importancia ecológica y económica que tiene la chonta (*Iriartea deltoidea*) especialmente para Mocoa,

y así mismo como elemento importante en términos de lo que evalúa el IVI: abundancia, dominancia y frecuencia, esto muestra la importancia de esta especie a pesar de su extracción como elemento de la vegetación que hace parte de la ronda ecosistémica del Río Mulato. No obstante, también cabe resaltar que esta palma que puede alcanzar hasta 30 m de altura (J. A. Navarro, Galeano, & Peñuela-M., 2010; J. Navarro et al., 2014), en los sitios muestreados alcanzó una altura promedio de 15 m lo que sugiere que los individuos más altos y por tanto maduros han sido removidos de estos bosques. Así mismo, la densidad y frecuencia de la bombona sugieren que su potencial de regeneración puede contribuir a la recuperación de las poblaciones de la especie y que se requiere conservar estos relictos de bosque que aún conservan la palma.

#### 6.2.3.4 Altura (H) de la vegetación

Se estimó el promedio de la altura (H) de las tres especies con los valores más altos del IVI como lo sugiere la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia del MADS (2017). En la **Figura 197** se muestra la variación de la altura promedio para los fustales (DAP  $\geq$  10 cm) en cada parcela de muestreo.



**Figura 197.** Altura promedio de los fustales (DAP  $\geq$  10 cm) en cada parcela de muestreo (100 m<sup>2</sup>) en el Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

En la **Tabla 39** se presenta el rango de alturas registrado en las unidades ecosistémicas muestreadas. Los datos de estructura, densidad y, riqueza en las diferentes categorías de tamaño y de altura muestran la gran importancia de estas coberturas y relictos de bosque que aún permanecen en la cuenca del Río Mulato, la conservación y restauración de estas zonas es necesaria para la conectividad y la recuperación de las funciones ecosistémicas que cumplen en la ronda hídrica del Río Mulato.

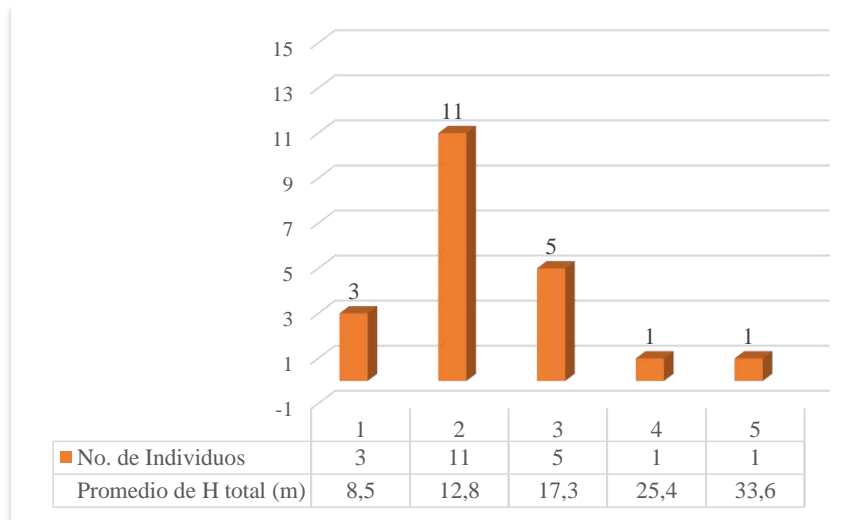
**Tabla 39.** Rango de alturas registradas por unidad ecosistémica en el área de estudio de la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

No.	Unidad ecosistémica	Rango de alturas registrado (m)
1	Ecosistema acuático Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte	11,0-22,5
2	Ecosistema terrestre Natural de Bosque denso alto de tierra firme en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual	7,3-25,3
3	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	4,2-23,2
4	Ecosistema terrestre Seminatural de Vegetación secundaria o en transición en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano fino	8,0-25,0
5	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Cálido Superhúmedo sobre Ladera de lomerío suave	9,1-38,8
6	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Filas y vigas de sierra residual	6,0-22,6
7	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano fino	7,0-21,3
8	Ecosistema terrestre Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales en Clima Templado Superhúmedo sobre Lomas de roca de grano grueso	9,0-22,7
<b>Total</b>		<b>4,2-38,8</b>

En cuanto a la altura promedio de las tres especies más importantes para determinar el H de acuerdo a los resultados del IVI, en orden de importancia se tiene que *Coussapoa* cf. *Ovalifolia* presentó una altura promedio de 17 m, se incluyó *Iriartea deltoidea* por tener el mismo IVI que la especie anterior, para la cual se registró una altura promedio de 15 m, luego *Erythrina poeppigiana* con 19 m, y se incluyó *Ficus insípida* con 23 m; para una altura promedio (H) de 19 m.

No obstante, las alturas promedio registradas para estas coberturas sugieren la posibilidad de que los árboles más altos de estos bosques hayan sido removidos, como se mencionó en el numeral anterior, la palma chonta o bomboma (*Iriartea deltoidea*) que es un elemento que define la estructura de estos bosques andino-amazónicos presentaron una densidad y frecuencia altas (21 individuos en 5 parcelas) pero con un promedio de alturas entre 10 y 15 m (**Figura 198**), aunque se registró una palma con 34 m. La distribución de los individuos por clases de alturas, muestra la presión a la que estas poblaciones cercanas al centro poblado de Mocoa han estado sometidas, y que así mismo requieren de acciones urgentes para su recuperación, lo cual también tiene un efecto en el H promedio de la vegetación pues estas palmas son jóvenes y quedan pocas en estado adulto que pueden alcanzar hasta 35 m (J. Navarro *et al.* 2014). Por lo tanto, como la altura es la variable definitoria del componente ecosistémico de la ronda hídrica vale la pena que ésta sea estimada de manera precisa y, que se consideren las particularidades de la estructura de los bosques remanentes que hacen parte de las rondas hídricas.





**Figura 198.** Distribución de los individuos de la palma chonta o bombona (*Iriartea deltoidea*) de acuerdo a la altura (H total promedio) en los sitios de muestreo en Mocoa, Putumayo.

#### 6.2.3.5 Variables morfológicas para la definición de ronda ecosistémica

##### Densidad de drenaje por Unidad Geomorfológica (UG)

En la **Figura 199** se presenta la densidad de drenaje para la cuenca del Río Mulato por Unidad Geomorfológica (UG) de acuerdo a la metodología descrita anteriormente y propuesta por la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas del Minambiente (MADS 2017).

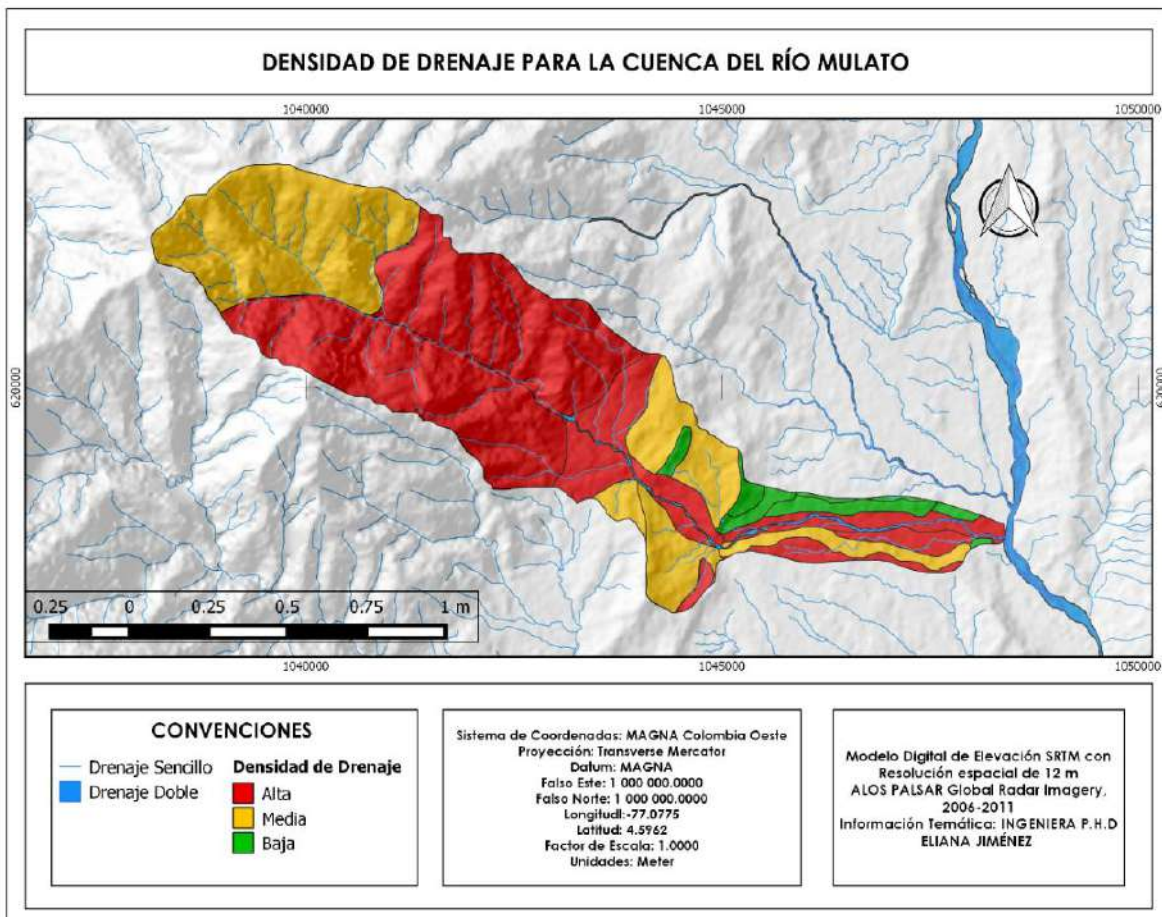
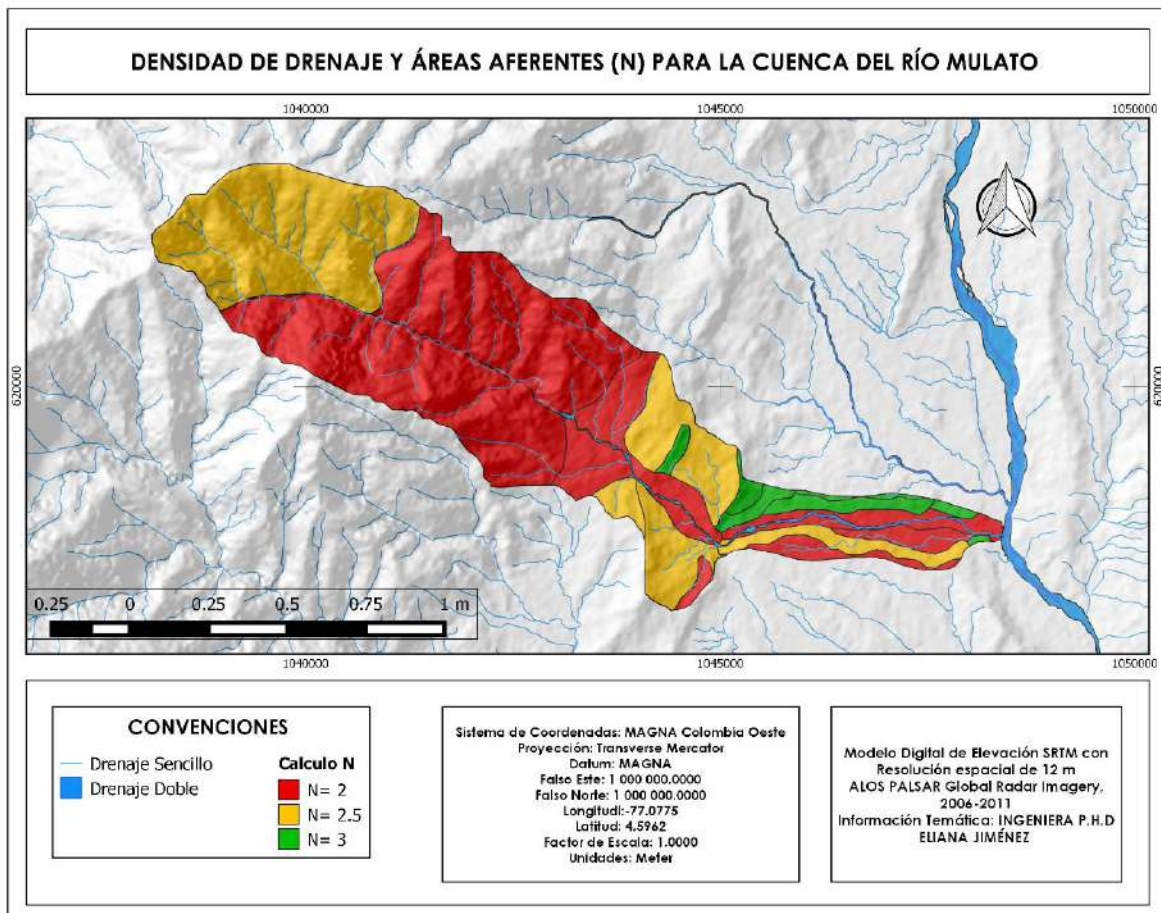


Figura 199. Densidad de drenaje para la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

### Definición de las áreas aferentes (N)

En la Figura 200 se presentan los resultados obtenidos para la densidad de drenaje y las áreas aferentes (N) para la cuenca del Río Mulato, el área del polígono de estudio tiene un N de 2, valor que fue multiplicado por H para establecer el componente ecosistémico de la ronda hídrica.



**Figura 200.** Densidad de drenaje y áreas aferentes (N) para la cuenca del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

#### 6.2.3.6 Delimitación de la Ronda Hídrica Ecosistémica

Finalmente, con la información de todos los parámetros anteriores se realizó el cálculo de la franja del componente ecosistémico de la ronda hídrica del Río Mulato. En la **Tabla 40** se presentan los valores para la altura promedio de 19 m que da como resultado una ronda de **38 metros** a cada lado del cauce permanente del Río Mulato, y así mismo se calculó para el H máximo de la vegetación dado que las funciones de conectividad ameritan que esta franja tenga el ancho suficiente para los diferentes niveles de organismos vegetales que se encuentran aún, o para la recuperación de las funciones ecosistémicas y las cadenas tróficas en estas franjas ribereñas.

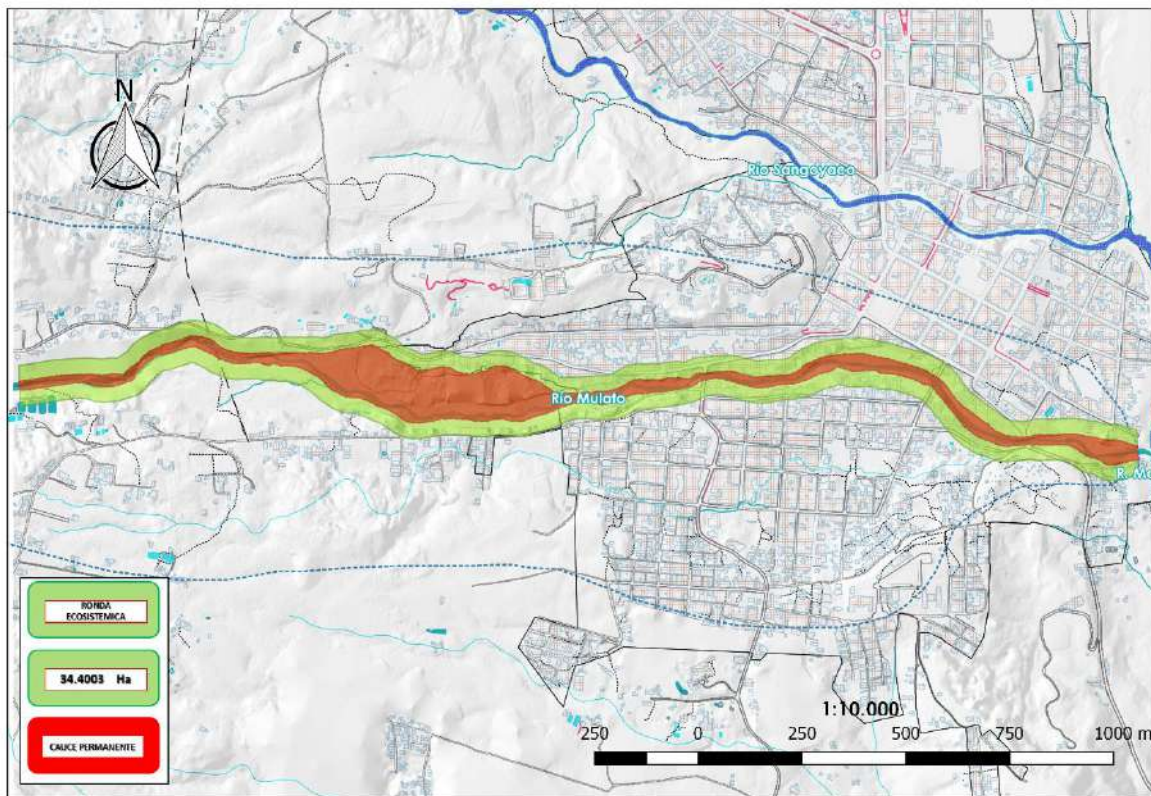
La franja ecosistémica de 38 m a lado y lado del cauce permanente es una franja “simétrica” dentro del área de estudio, debido a las variables que la definen: la altura y las unidades geomorfológicas, ya que la altura en este caso se asume para todo el polígono y esto coincide con solo una unidad geomorfológica. El área total de la ronda hídrica ecosistémica fue de **21,84 ha** (10,89 ha en la margen izquierda y 10,95 ha en la derecha), y de **28,69 ha** (14,30 ha en la margen izquierda y 14,39 ha en la derecha) con la altura máxima de la vegetación. La longitud transversal es de 76 m y 100 m con las alturas promedio (19 m) y máxima (25 m), respectivamente.

**Tabla 40.** Valores de la ronda para el componente ecosistémico del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

Parámetro	Altura (H)	N (Relación entre Dd y Aa)	Componente ecosistémico Valor ronda	Área de la ronda ecosistémica a ambos lados (ha)	Área de total de la ronda ecosistémica* (ha)
Altura promedio	19 m	2	38 m	10,89 (izquierda) 10,95 (derecha)	34,40
Altura máxima	25 m	2	50 m	14,30 (izquierda) 14,39 (derecha)	41,25

\*Que incluye el área del cauce permanente 12,55 ha.

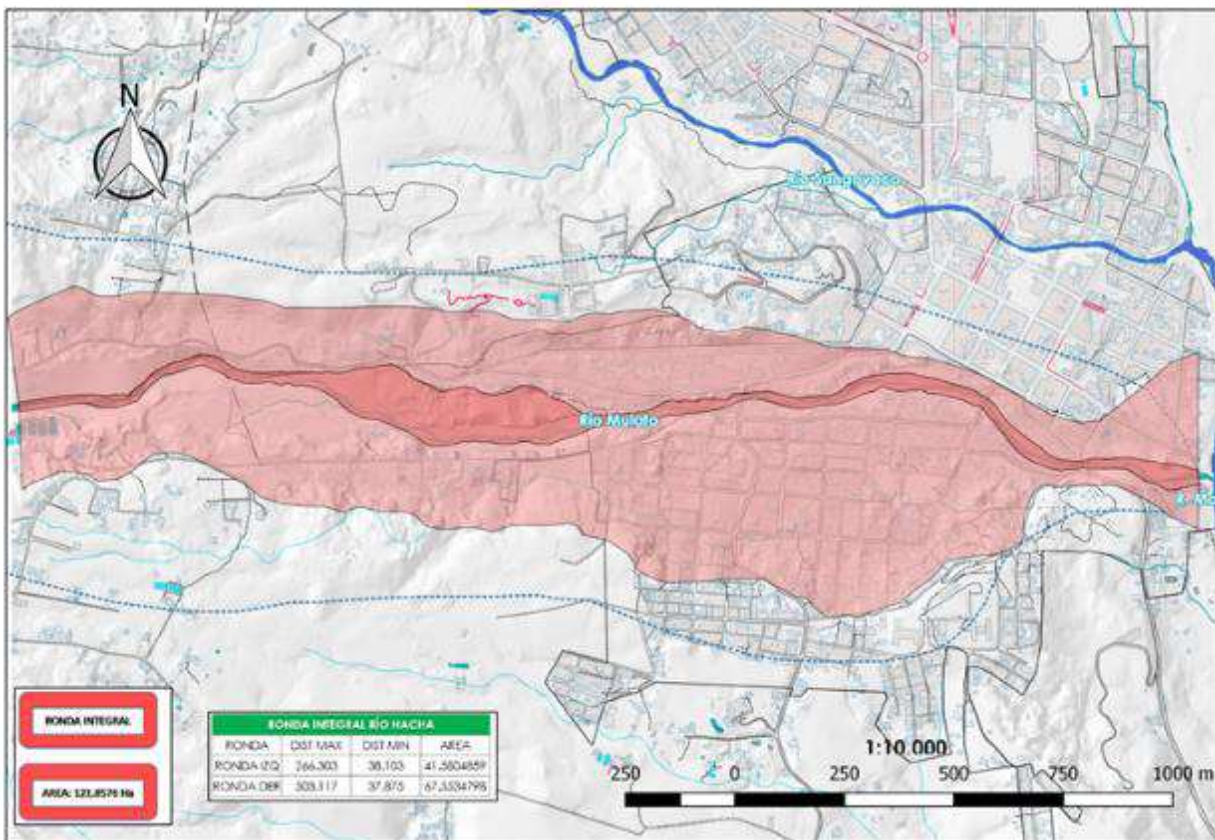
En la **Figura 201** se presenta el resultado final del componente ecosistémico de la ronda hídrica del Río Mulato. Es importante resaltar que la ronda presenta la franja ecosistémica con base en la promedio H (como está propuesta en la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de Rondas Hídricas del MADS - 2017) y con la altura máxima, ésta última de 25 metros se propone como una zona de amortiguación (*buffer zone*), el cual es uno de los dos conceptos claves que están en el centro de la conservación basada en comunidades (Wells & Brandon, 1993). Estos últimos autores Wells & Brandon (1993), proponen que, en primer lugar, las zonas de amortiguación deben estar alrededor de los límites de las áreas de conservación, segundo, que debe existir una mayor participación de la población local en la conservación y el desarrollo, estos dos aspectos son esenciales para la conservación y recuperación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible.



**Figura 201.** Componente ecosistémico de la ronda hídrica del Río Mulato (Mocoa, Putumayo).

Es importante resaltar que de acuerdo a las unidades ecosistémicas registradas en la ronda ecosistémica, el 60% de la ronda se encuentra en algún tipo de Tejido urbano es decir sin o poca vegetación (54%, que corresponde a 18,5 ha y, el 6% restante como pastos limpios), esto indica el estado en el que se encuentra la vegetación asociada a esta ronda hídrica y, el estado de degradación y desaparición que ha sufrido la vegetación de ribera del Río Mulato. Así mismo, cabe resaltar la importancia de ese 40% restante de la ronda hídrica que se encuentra como un Mosaico de pastos con espacios naturales, que vale la pena conservar debido al papel que están cumpliendo dentro de la ronda hídrica del Río Mulato.

#### 6.2.4 Delimitación de la Ronda Hídrica Integral



**Figura 202** Ronda Hídrica Integral río Mulato, Mocoa (Putumayo)

El resultado de la delimitación de cada uno de los componentes físico-bióticos de la ronda hídrica es un mapa trazado a partir del cauce permanente tal y como ya se mencionó en los anteriores apartados. El límite funcional de la ronda hídrica del área urbana y parte de la zona suburbana del río Mulato es entonces la envolvente resultado de la superposición de los tres componentes: geomorfológico, hidrológico-hidráulico y ecosistémico. Esta integración se presenta en la **Figura 202**, se tiene entonces una ronda hídrica con un área de **121.8576 ha** y una longitud transversal en la ribera derecha mínima de 37.87 y máxima de 503.17 ha y, en la ribera izquierda una distancia mínima de 38.103 y máxima de 266.303 ha.

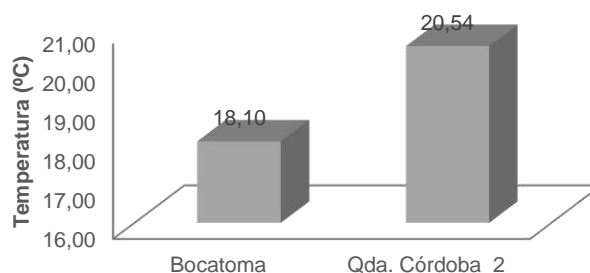
Para este sistema hídrico, el componente geomorfológico fue el principal aportante del acotamiento. Esta ronda hídrica influencia diferentes sitios de interés o barrios del municipio de Moca, entre los cuales se encuentran: 17 de Julio, 5 de Septiembre, Cementerio (sitio de interés), El Centro, José Homero, José María Hernández, Kennedy, La Peña, Las Acacias, Las Américas, Libertador, Los Sauces, Miraflores, Naranjito, Pablo VI, San Agustín, Urbanización Quintas de la Colina y Venecia.

## 6.2.5 Caracterización Físicoquímica e Hidrobiológica (Macroinvertebrados) río Mulato

### 6.2.5.1 Análisis Físicoquímico

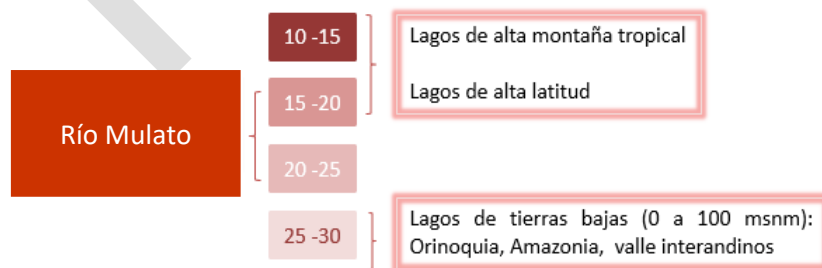
#### Temperatura

La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. La estación Bocatoma presentó el menor valor de temperatura con 18,10 °C y la quebrada Córdoba 2 afluente del río Mulato mostró un valor de 20,54 °C (**Figura 203**), esta estación presentó una menor profundidad y tamaño por lo que la influencia del sol permitió que su temperatura fuera mayor.



**Figura 203.** Valores de temperatura (°C) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008) consideran la siguiente clasificación para algunos sistemas acuáticos, los valores obtenidos de las estaciones sobre el río Mulato fueron comparables y se obtuvo que son propias de sistemas tropicales con temperaturas cálidas.

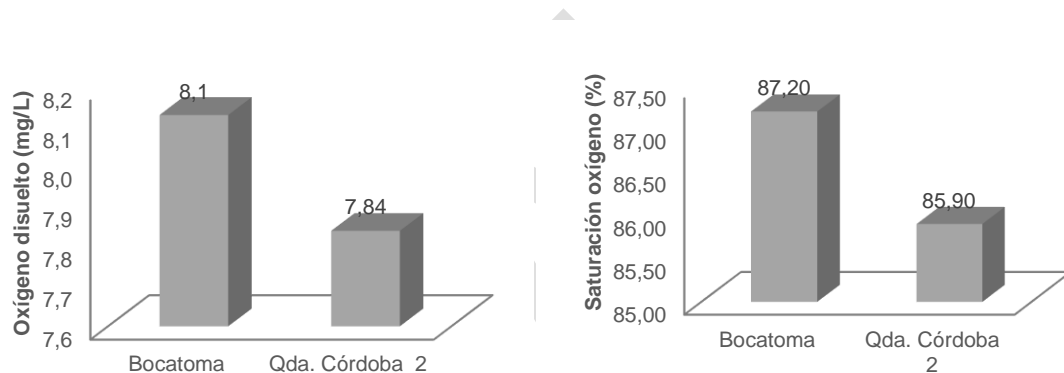


**Figura 204.** Valores de temperatura comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).

### Oxígeno disuelto

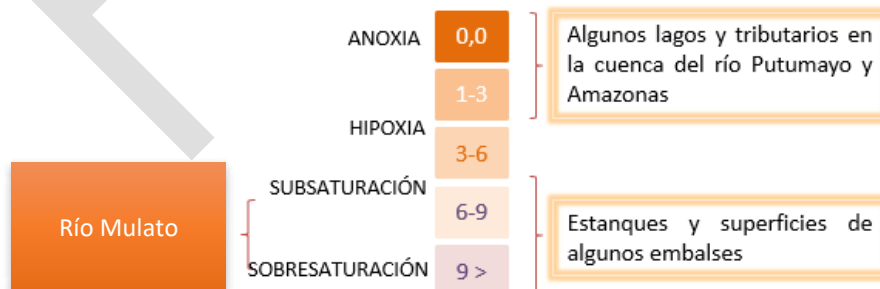
La concentración de oxígeno disuelto en el agua es uno de los parámetros más importantes en limnología. El oxígeno es sin duda un gas de gran importancia biológica en el agua y participa de innumerables reacciones químicas. En general esta variable es usada para definir el nivel de carga orgánica presente en los humedales. Se consideró la concentración de oxígeno (mg/L) y el porcentaje de saturación (%) en las estaciones de estudio.

Se obtuvo que la estación un Bocatoma presentó los mayores datos de oxígeno disuelto 8,1 mg/L y saturación con 87,20 %, por el contrario la quebrada Córdoba 2 mostró los menores valores con 7,84 mg/L y 85,90 %, respectivamente (**Figura 205**).



**Figura 205.** Valores de oxígeno disuelto (mg/ y %) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008) proponen la siguiente clasificación para valores de oxígeno disuelto (mg/L), al comparar los resultados obtenidos se tuvo que los valores fueron altos debido a que este al ser un sistema de piedemonte presenta una mayor pendiente lo que permite que las aguas tengan una corriente alta y por tanto mayor oxigenación por el movimiento de las aguas (**Figura 205**).



**Figura 206.** Valores de oxígeno disuelto (mg/L) comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).

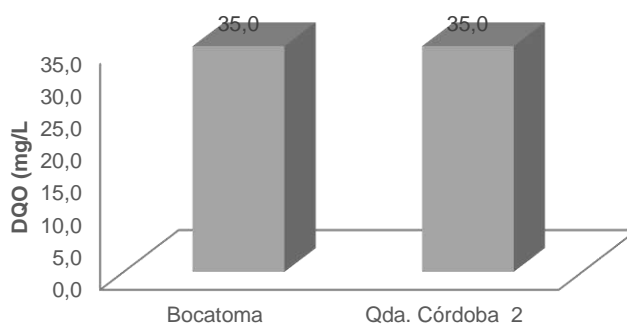
Considerando la saturación de oxígeno, Lynch y Poole (1979), proponen la siguiente clasificación para conocer el estado de un ecosistema acuático.

% Saturación de oxígeno	Calidad
90	Buena
89 - 75	Regular
74 - 50	Dudosa
< 50	Contaminada

Los resultados según esta clasificación muestran una oxigenación de calidad regular, sin embargo, esta categorización debe tomarse con precaución ya que los valores de oxígeno disuelto pueden tener oscilaciones fuertes en un ciclo diario y están modeladas por múltiples factores. Un diagnóstico más certero de la calidad se obtiene analizando los valores de esta variable en conjunto con otros parámetros.

### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A través de la DQO se puede determinar el oxígeno consumido como medida del material oxidable y constituye una aproximación a la cantidad de materia orgánica y/o reductora presente (Ramírez *et al.*, 1997; UBA, 2005). La DQO también es un parámetro analítico de contaminación que mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química, los resultados mostraron valores similares para ambas estaciones con un valor de 35 mg/L (**Figura 207**). Generalmente la norma colombiana reporta este parámetro para vertimientos de aguas residuales, cuyo valor permisible es de 400 mg/L, en este caso los valores encontrados son menores a lo establecido por la legislación.

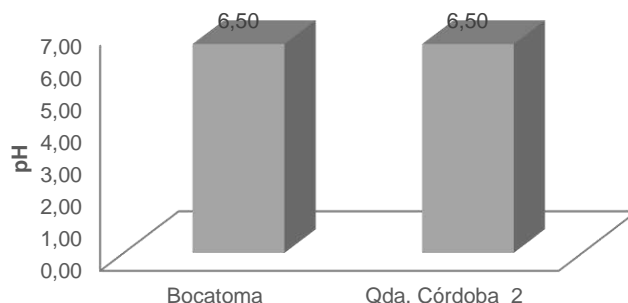


**Figura 207.** Valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

### pH

El pH es definido como el logaritmo negativo de la concentración hidrogeniónica. En una escala que indica acidez o alcalinidad, pH entre 0 a 7 indica acidez y entre 7 a 14 indica alcalinidad (Tundisi & Matsumura Tundisi, 2008). Ambas estaciones monitoreadas muestran valores similares con un pH de 6,50 (**Figura 208**), siendo estas de carácter ácido tendiendo a la neutralidad.



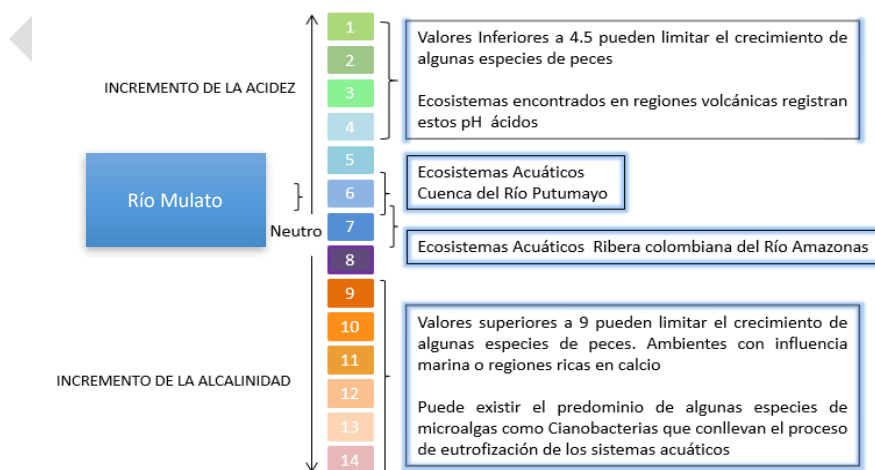


**Figura 208.** Valores de pH para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Tundisi y Matsumura Tundisi (2008) presentan una clasificación de trofia según los valores de pH, los resultados obtenidos indican que estas estaciones presentan una condición natural.

pH	
CONCENTRACIÓN	CALIDAD
1 - 2	Alta concentración de ácidos
6 - 9	Condición Natural
> 10	Muy Eutróficos y con alta concentración de carbono

Considerando las características mencionadas por Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008), se tiene que estas estaciones comparten valores propios de ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Putumayo (**Figura 209**).

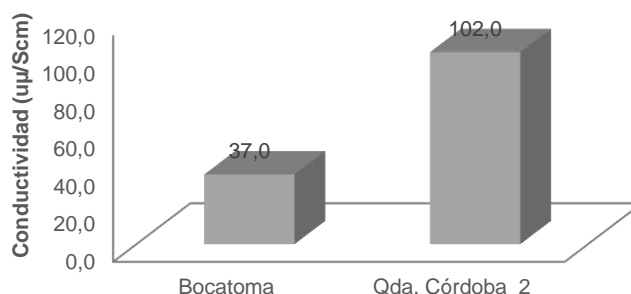


**Figura 209.** Valores de pH comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).

## Conductividad

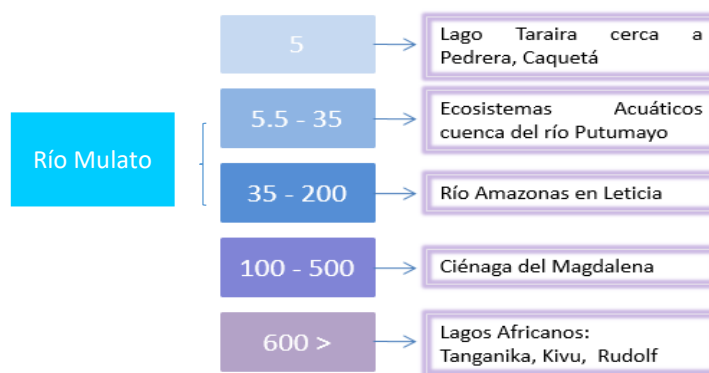
En regiones tropicales, los valores de conductividad en los ambientes acuáticos están relacionados con las características geoquímicas de la región donde se localizan y con las condiciones climáticas (estación seca y de lluvia; Petrucio *et al.*, 2006). Además la conductividad es un parámetro que mide la cantidad de iones en el agua, está relacionada con el grado de mineralización e indirectamente con su productividad, en especial por la presencia de cationes, aniones y nutrientes que presentan los sistemas. (Payne, 1986).

Los resultados mostraron un valor de 37  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Bocatoma y de 102  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la quebrada Córdoba 2, siendo esta última la de mayor valor (**Figura 210**). La conductividad depende de la concentración iónica que a su vez se relaciona con los sedimentos, minerales y los nutrientes disponibles para los organismos. Los valores de conductividad tomados en el estudio muestran que Bocatoma fue inferior lo que puede considerarse como típico de ambientes oligotróficos de baja mineralización, como es característico en las aguas de la región amazónica colombiana (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008). Y la quebrada Córdoba 2 con mayor valor puede estar asociado a la remoción de sedimentos que provocó el aumento de la mineralización y con ello la conductividad.



**Figura 210.** Valores de Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Según las características mencionadas Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008), las estaciones Bocatoma y quebrada Córdoba 2 son propias de ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Putumayo (**Figura 211**).

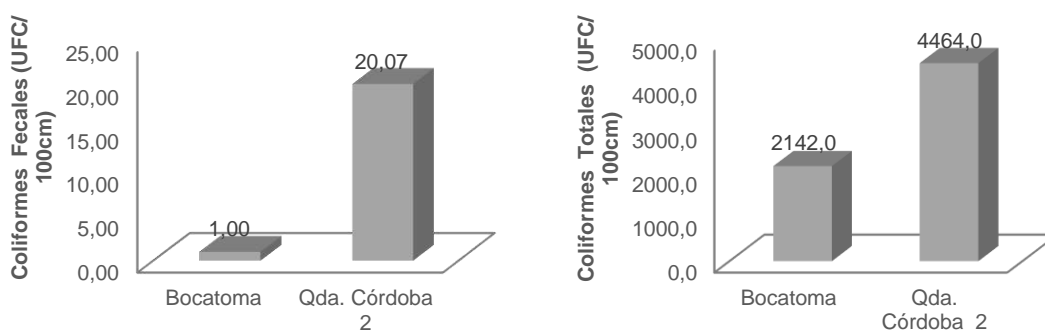


**Figura 211.** Valores de Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) comparables con otros sistemas acuáticos. Valores tomados de Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).

### Coliformes Fecales y Totales

Los coliformes fecales y totales cuyo hábitat es el tracto intestinal del hombre y de otros animales, han sido útiles para medir la ocurrencia y el grado de contaminación fecal en las aguas, estos dan una correlación directa de la contaminación por heces (Souza et al., 1983). Su uso se justifica una vez que la contaminación por coliformes en los ecosistemas acuáticos compromete la calidad de los recursos hídricos para el consumo humano debido al riesgo de contraer enfermedades (Rivera y Martins, 1996), tales como como fiebre tifoidea, fiebre paratifoidea, disentería bacilar y cólera (MMA, 2004), lo que impone la necesidad de su acompañamiento en estudios de calidad da agua.

Los resultados indicaron que la estación Bocatoma presentó los menores valores de CF y CT con valores con 1,0 y 2142,0 UFC/100 ml, respectivamente, por su parte la quebrada Córdoba 2 presentó valores de 20,07 UFC/100 ml en CF y 4464,0 UFC/100 ml en CT (**Figura 212**).

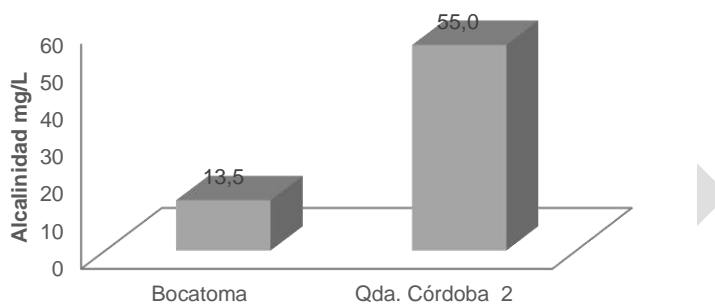


**Figura 212.** Valores de Coliformes Fecales y Totales (UFC/100 cm) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

### Alcalinidad

La alcalinidad depende de las concentraciones de bicarbonatos y carbonatos de hidróxilo (Ramírez & Viña, 1997). También es una medida de la concentración de compuestos básicos en el agua, los cuales permiten mantener el pH en condiciones de pocos cambios. Se determina por la concentración de estas bases en el agua. La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar ácidos.

Los puntos tomados sobre el río Mulato y su área de influencia, mostraron que la estación Bocatoma presentó un menor valor con 13,5 mg/L, por el contrario, la Quebrada Córdoba 2 presentó un mayor valor con 55,0 mg/L (**Figura 213**).



**Figura 213.** Valores de Alcalinidad (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Autores como (Kevern 1996) consideran para algunos sistemas lagunares la siguiente categorización de la alcalinidad, los valores obtenidos muestran un rango bajo de alcalinidad.

Rango	Alcalinidad (mg/L)
Baja	< 75
Media	75 -100
Alta	> 150

### Color

Esta variable ha sido utilizada por varios investigadores en la tipificación de ambientes acuáticos en la Amazonia (Sioli, 1984; Payne, 1986; Esteves, 1988). Para la región colombiana Sioli (1967) reconoce tres grandes sistemas acuáticos; aguas blancas, con gran cantidad de sedimentos, ricos en nutrientes, baja transparencia y pH cercano a la neutralidad, aguas negras; de colores oscuros, con bajo pH y escasos nutrientes y aguas claras; con alta transparencia, baja fertilidad y pH ligeramente ácido. Recientemente Ricaurte et al., 2015 proponen clasificar pequeños tributarios andinos como de aguas transparentes del piedemonte; con alta transparencia en momentos de niveles bajos, y caracterizadas por pH ácido y baja conductividad.

Los resultados mostraron que ambas estaciones presentaron un valor de 5,0 U de C, al ser ecosistemas de piedemonte son consideradas en como aguas transparentes según los reportado por Ricaurte et al. (2015).

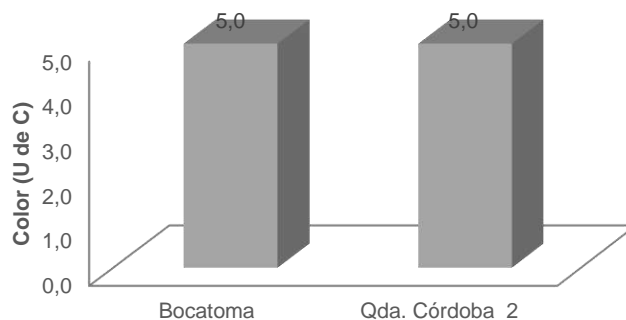


Figura 214. Valores de Color (U de C) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

### Nitrógeno Total Kjeldahl

El nitrógeno es un indicador relevante en los estudios medioambientales, debido a la importancia que este tiene en el control de la calidad de las aguas. El método Kjeldahl es el más utilizado para la determinación de nitrógeno total (N total), así el nitrógeno total Kjeldahl es definido como la suma de amonio libre y compuestos orgánicos nitrogenados que son convertidos a sulfato de amonio (Espinosa et al., 2013). Los resultados mostraron que la estación Bocatoma mostró un mayor valor con 0,27 mg/L, seguido de la quebrada Córdoba 2 con 0,20 mg/L (Figura 215). La norma colombiana menciona valores permisibles de nitratos de 10 mg/L y nitritos entre 0,1 y 1 mg/L que son otras formas de nitrógeno, aunque en este monitoreo no se consideró estas variables el nitrógeno total muestra que los datos encontrados no superan esta valoración.

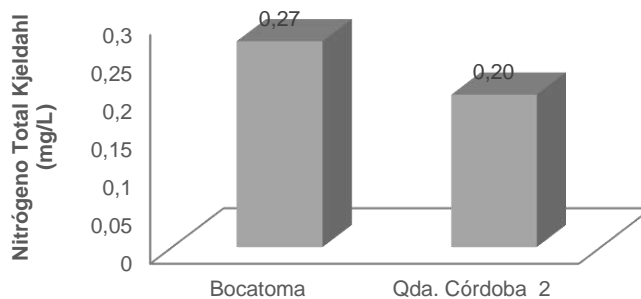


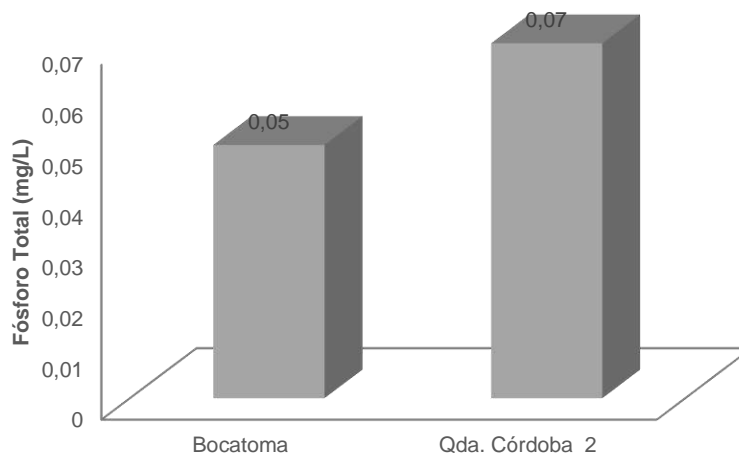
Figura 215. Valores de Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

### Fósforo Total

El fósforo es un elemento esencial para el funcionamiento y crecimiento de las plantas acuáticas entre estas las microalgas. El flujo de fósforo para las aguas continentales depende de los procesos geoquímicos en las cuencas hidrográficas. De un modo general, las formas más comunes de fósforo orgánico son de origen biológico.

Sistemas terrestres no perturbados conservan fósforo, en cuanto las cuencas hidrográficas donde ocurre deforestación generalmente aportan fósforo a las aguas, así como la actividad agrícola intensa

(Moss 1980). Los resultados mostraron que Bocatoma presentó el menor valor con 0,05 mg/L y la quebrada Córdoba 2 el mayor con 0,07 mg/L (**Figura 216**).



**Figura 216.** Valores de Fósforo Total (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

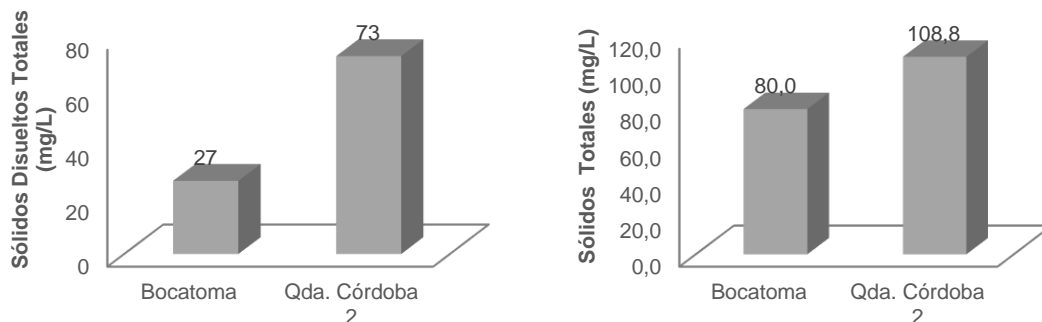
La siguiente es una propuesta de clasificación de los cuerpos de agua según la concentración de fósforo total en cinco categorías de estado trófico (Vollenweider, 1968). Los datos encontrados muestran una condición Oligomesotrófica.

Clasificación trófica	PT (mg/L)
Ultraoligotrófico	< 0,005
Oligomesotrófico	0,005 - 0,01
Mesotrófico	0,01 - 0,03
Eupoitrófico	0,03 - 0,1
Politrófico	0,1

### Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales

La concentración total de sustancias o minerales disueltos es un parámetro útil para conocer las relaciones edáficas y la productividad de un cuerpo natural de aguas, en los sólidos disueltos se agrupan todos los iones que se encuentran presentes en el agua, los más representativos son: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, fosfatos y sílice (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008). En este estudio se encontró una mayor valoración en la quebrada Córdoba 2 con 73 mg/L, seguido de Bocatoma con 27 mg/l (**Figura 217**).

Por otra parte, la cantidad de sólidos totales varía ampliamente, de aguas muy oligotróficas como es el caso de mayoría de las aguas de la región amazónica (<10 mg/L; Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008). Para el estudio se encontraron datos de 80,0 mg/L en Bocatoma y de 108,8 mg/L en la quebrada Córdoba 2, se comenta que la mayoría de lagos y ríos neotropicales se encuentran dentro de este rango (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo).

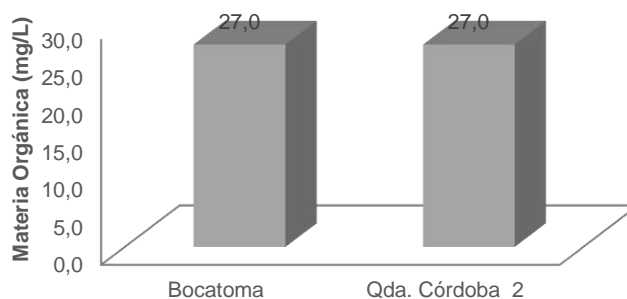


**Figura 217.** Valores de Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

### Materia orgánica

En los ríos tropicales, la materia orgánica es la principal fuente de energía para las comunidades que allí habitan. Las principales proporciones de materia orgánica se encuentra la materia orgánica particulada gruesa (MOPG) y la materia orgánica particulada fina (MOPF; Tamaris-Turizo y Rodríguez-Barrios, 2015).

La Materia orgánica transportada a lo largo del río, es un importante recurso energético y de nutrientes, principalmente en la cabecera (Mathuriau y Chauvet, 2002; Wallace *et al.*, 2007). Esta es generada principalmente por la vegetación ribereña, la cual está constituida principalmente por el aporte de hojas, flores, frutos y ramas (Wallace *et al.*, 1991; Webster *et al.*, 1999; Wantzen y Junk, 2000). Los resultados mostraron valores similares para ambas estaciones con 27,0 mg/L.



**Figura 218.** Valores de Materia orgánica (mg/L) para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

### Legislación colombiana

Los datos obtenidos en los parámetros físicos y químicos de las estaciones Bocatoma y quebrada Córdoba 2, fueron comparados con los valores aceptados para la calidad de agua según la Legislación Nacional de Recursos Hídricos de Colombia, considerando la resolución 2115 de 2007: Artículos 2, 3, 4, 6 y 7 y Resolución 1594 de 1984: TC: Tratamiento Convencional (Art. 38), D: Desinfección (Art. 39) y CFF: Conservación de Flora y Fauna Acuática (Art. 45).

Se encontró que parámetros como el carbono orgánico total para Bocatoma no cumple la norma según el Decreto 1575 de 2007, así como los coliformes totales par ambas estaciones considerando el Decreto 1594 de 1984 y el pH para los dos lugares muestreados según el Decreto 1594 de 1984 (Tabla 41).

**Tabla 41.** Valores comparables con la legislación colombiana

PARÁMETRO	UNIDAD	Decreto 1575 de 2007	Decreto 1594 de 1984		CFF	Bocatoma	Qda. Córdoba 2
			Consumo Humano				
			TC	D			
Alcalinidad Total	mg/L	200	-	-	-	13,50	55,00
Conductividad	uS/cm	<1.000	-	-	-	37,00	102,00
Carbono Orgánico Total	mg/L	5	-	-	-	<b>8,85</b>	2,00
Sólidos Totales (ST)	mg/L	<500	-	-	-	80,00	108,80
Coliformes totales	NMP/100 ml	-	20.000	1.000	-	<b>2142,00</b>	<b>4464,00</b>
Coliformes fecales	NMP/100 ml	-	2.000	-	-	1,00	20,07
pH	Unidades	6,5 a 9	5 a 9	6,5 a 8,5	4,5 a 9	<b>6,50</b>	<b>6,50</b>
Oxígeno disuelto	mg/L	-	-	-	4	8,13	7,84

#### 6.2.5.2 Macroinvertebrados

##### Abundancia

Se consideraron siete estaciones de muestreos para el río Mulato y su área de influencia, el análisis de macroinvertebrados mostró un total de cinco órdenes y diez familias taxonómicas. Entre estaciones, las mayores abundancias estuvieron en Bocatoma con 32 individuos y la familia más representativa fue Chironomidae con 55 individuos (Tabla 42 y Figura 219). Las familias encontradas son similares a lo reportado por Duque *et al.* (2012), y Serrato-Hurtado y Duque (2008) en estudios de macroinvertebrados acuáticos en la región del Putumayo.

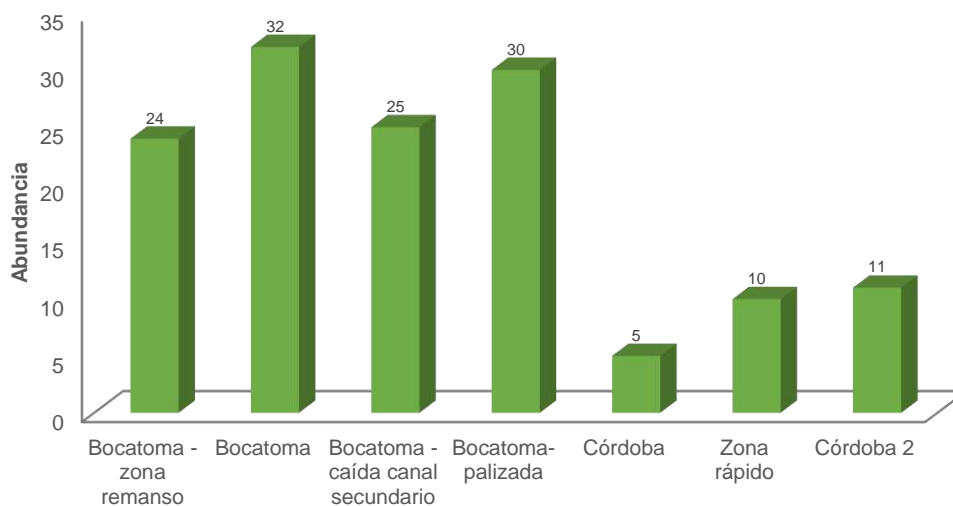
**Tabla 42.** Relación taxonómica de macroinvertebrados encontrados en las estaciones sobre el río Mulato

Orden	Familia	Abundancia por Estaciones							Total
		Bocatoma - zona remanso	Bocatoma	Bocatoma - caída canal secundario	Bocatoma - palizada	Córdoba	Zona rápido	Córdoba 2	
Trichóptera	Hydropsychidae	1	3		3				7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	4	15		5			1	25
Ephemeroptera	Baetidae	13							13
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	1		3					4
Ephemeroptera	Baetidae			16	2		5		23
Díptera	Chironomidae	5	14	3	17	4	3	9	55



**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Orden	Familia	Abundancia por Estaciones							Total
		Bocatoma - zona remanso	Bocatoma	Bocatoma - caída canal secundario	Bocatoma - palizada	Córdoba	Zona rápido	Córdoba 2	
Díptera	Psychodidae							1	1
Díptera	Stratiomyidae					1			1
Coleóptera	Elmidae			2	3		2		7
Plecóptera	Perlidae			1					1
<b>Total</b>		<b>24</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>137</b>



**Figura 219.** Abundancia de macroinvertebrados para las estaciones estudiadas sobre el río Mulato.

### Índices ecológicos

#### Índice Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera (EPT)

Este análisis utiliza tres grupos de macroinvertebrados (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera) que son indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Se obtiene contando el número de taxa de estos órdenes presentes en la muestra. El valor obtenido se compara en un cuadro de calidad de agua (Klemm et al, 1990; Carrera y Fierro, 2001). En el **Anexo 13**, se presenta la relación fotográfica de los individuos más representativos.

Índice EPT	Calidad de Agua
>10	Sin impacto
6 - 10	Levemente impactado
2 - 5	Moderadamente impactado
0 - 1	Severamente impactado

Considerando el índice EPT se obtuvo que cuatro de las estaciones evaluadas presentan una condición ambiental moderadamente impactada y tres de éstas, severamente impactadas (**Tabla 3**), sin embargo cabe comentar que estos resultados deben complementarse con otros sitios de muestreo

para una mayor certeza de la calidad real del ecosistema, además hay que considerar la corriente y pendiente de estos ambientes ya que ésta puede influir en el establecimiento de la comunidad de macroinvertebrados.

**Tabla 43.** Índice EPT para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Estaciones	EPT	Condición
Bocatoma - zona remanso	4	Moderadamente impactado
Bocatoma	2	Moderadamente impactado
Bocatoma -caída canal secundario	3	Moderadamente impactado
Bocatoma- palizada	3	Moderadamente impactado
Córdoba	0	Severamente impactado
Zona rápido	1	Severamente impactado
Córdoba 2	1	Severamente impactado

#### Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

El índice BMWP ordena las familias de los órdenes de macroinvertebrados en 10 niveles con las puntuaciones de 1 a 10, siendo el 10 un número de mayor tolerancia y 1 de menor tolerancia, los valores de referencia fueron tomados de Leiva (2004). En el **Anexo 13**, se presenta la relación fotográfica de los individuos más representativos.

Clase	Valor del BMWP	Calidad del agua
I	101-150	Muy buena calidad
II	61-100	Buena calidad
III	36-60	Calidad media
IV	16-35	Escasa calidad
V	<15	Calidad mala

Los resultados muestran que todas las estaciones muestreadas presentan una calidad mala debido a que el número de familias es menor a 15 según lo reportado por Leyva (2004), como se comentó anteriormente este resultado debe ser comparado con otros análisis, cabe señalar que este fue un muestreo puntual y no necesariamente obedece a la condición real de los ambientes estudiados.

**Tabla 44.** Resultados índice BMWP para las estaciones de estudio sobre el río Mulato.

Estaciones	BMWP	Calidad
Bocatoma - zona remanso	5	Calidad mala
Bocatoma	3	Calidad mala
Bocatoma -caída canal secundario	5	Calidad mala
Bocatoma- palizada	5	Calidad mala
Córdoba	2	Calidad mala
Zona rápido	3	Calidad mala
Córdoba 2	3	Calidad mala

Los resultados del índice EPT y BMWP son similares a lo reportado por Serrato-Hutado y Duque (2008) donde se estudiaron algunos ríos y quebradas del sector de influencia del río Mulato, indicando

una gradual degradación de la calidad de las aguas hasta las cuencas medias y bajas, donde es evidente la perturbación. Estos índices los clasifican como aguas de calidad buena hasta mala.

### **Consideraciones generales**

Este apartado de caracterización fisicoquímica e hidrobiológica del río Mulato buscaba conocer de manera general la calidad hídrica en el tramo inicial del estudio y confirmar la necesidad urgente de incluir dentro del acotamiento de la ronda hídrica la medición de estas variables no sólo en la parte inicial del tramo sino de manera sistemática en todo el área de estudio, el acotamiento de una ronda no implica únicamente definir un área sino tener herramientas para la implementación de acciones en pro de la rehabilitación de este ecosistema acuático.

Los parámetros físicos y químicos permitieron describir las estaciones estudiadas, se tuvo que Bocatoma, punto ubicado sobre el río Mulato presentó los mayores valores de oxígeno disuelto (8.1mg/L y 87.2%), Demanda Química de Oxígeno y nitrógeno total, estas variables están asociadas al mayor caudal del río Mulato, sistema con gran pendiente cuya corriente inyecta oxígeno al agua permitiendo con ello un aumento en la concentración de la misma.

Por su parte la quebrada Córdoba 2 presentó una mayor temperatura esto debido a la menor profundidad que permitió una mayor incidencia de la radiación solar al curso de agua, la conductividad y variables asociadas a esta como alcalinidad, fósforo total, sólidos disueltos totales, sólidos totales y materia orgánica fueron mayores debido a la alta presencia de sedimentos y minerales que tras la remoción por el movimiento de la corriente inyectan nutrientes al sistema.

El muestreo ocurrió el 14/06/2017, es decir, 75 días después de la avenida fluvio torrencial del 31 de marzo y 1 de abril del 2017 y sumado a las labores de remoción y control del lecho explican la alta concentración de sustancias disueltas y suspendidas en el agua.

Los Coliformes fecales y totales también fueron mayor en la quebrada Córdoba 2, sin embargo para el primer caso, estos valores no fueron significativos en la calidad del agua.

Este tipo de ecosistemas fueron categorizados recientemente como de aguas transparentes del piedemonte (Ricaurte et al, 2015) debido a su color entre otros aspectos, sin embargo se obtuvo que a pesar de ser transparentes la cantidad de minerales y nutrientes son significativos debido al gran aporte de sedimentos.

La legislación colombiana permitió conocer que las variables Carbono orgánico Total presentó un mayor valor a lo establecido por la norma según el Decreto 1575 de 2007 en la estación Bocatoma, los coliformes totales fueron mayores a lo permitido en ambas estaciones para el consumo humano y la variable pH superó los valores permitidos en la norma para las dos estaciones, sin embargo los valores encontrados para este caso, son propios de este tipo de ecosistemas y no necesariamente indican algún tipo de contaminación.

En cuanto al análisis biológico, el punto sobre Bocatoma presentó la mayor abundancia siendo el orden díptero el más representativo, la presencia de este grupo de organismos en los ecosistemas acuáticos es considerado como de poca calidad, con baja concentración de oxígeno, gran contenido de materia orgánica y sedimentos.

Los índices EPT y BMWP corroboran esta información ya que generalmente tras el análisis se obtuvieron resultados entre moderadamente y severamente impactados para el primer caso y para el segundo todas las estaciones tuvieron una condición de mala calidad, debido a que estos índices consideran principalmente la presencia de taxones y familias de macroinvertebrados en ambientes con gran cantidad de oxígeno, aguas limpias y claras (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera).

### 6.3 Fase 3: Caracterización socio-cultural dentro del límite funcional

Una vez definido el límite funcional de la ronda hídrica, se procedió a realizar la caracterización socio-cultural en donde se cubren los componentes prediales y socio-ecológicos como insumos para identificar y profundizar en las relaciones sociales, económicas y culturales de las poblaciones humanas locales y los ecosistemas. En este sentido, desde una perspectiva multidisciplinaria se indaga sobre las transformaciones y dinámicas que se han configurado en el río Mulato y su área de influencia.

#### 6.3.1 Caracterización Predial

##### 6.3.1.1 División barrial y veredal en el área de estudio

En el área de estudio predial se encuentran 11 barrios (Las Colinas, La Acacias, Pablo VI, José Homero, La Peña, San Agustín, Naranjito, José María Hernández, Centro, Avenida 17 de Julio y Miraflores) y 2 veredas (Villanueva y Libano), tanto barrios como veredas, se encuentran legalmente constituidos y reconocidos según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Mocoa del año 2008. La **Figura 220** muestra el área en porcentaje de los barrios y veredas y la **Figura 221** la distribución espacial de la división política administrativa de los mismos. Nótese que los Barrios de mayor área en el polígono de estudio son Miraflores, José Homero, San Agustín y Avenida 17 de Julio.

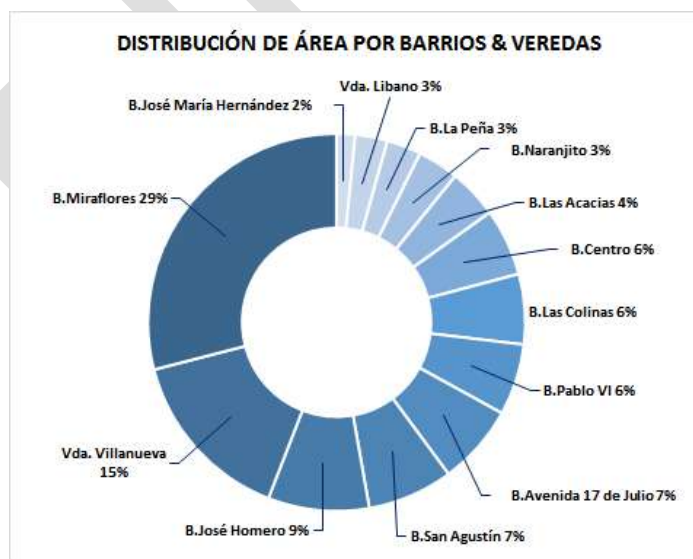


Figura 220. Área de barrios y veredas en porcentaje.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

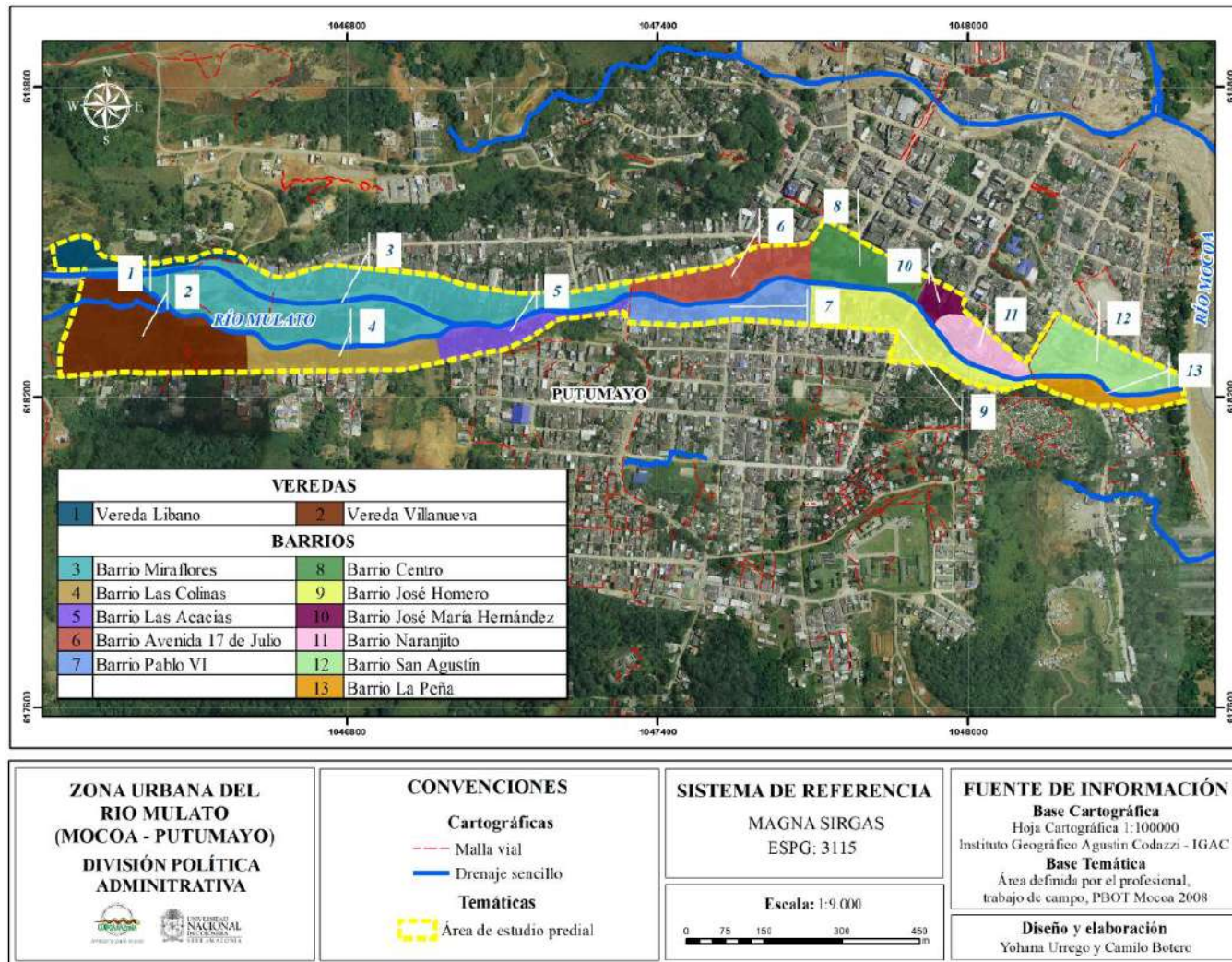


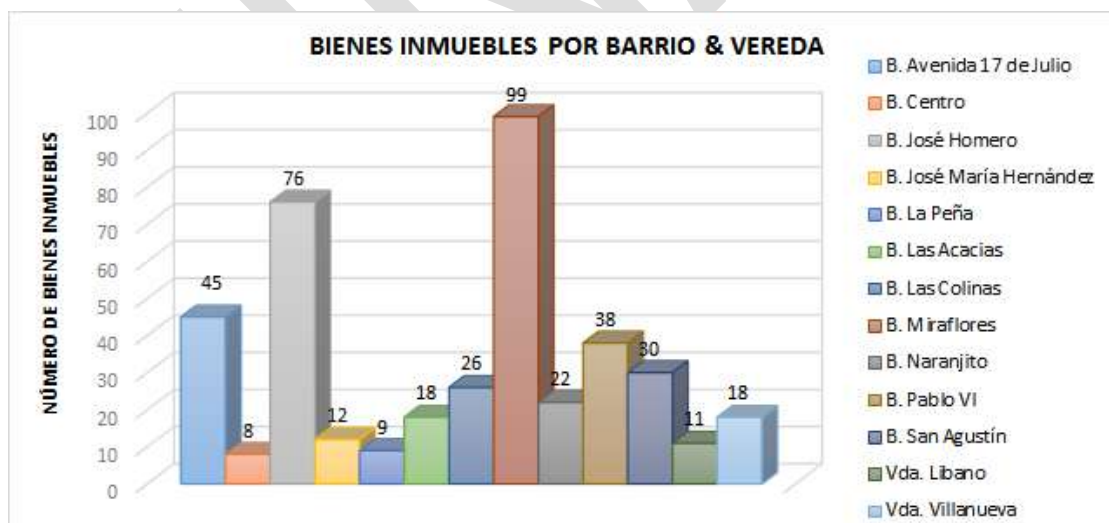
Figura 221. Distribución espacial de barrios y veredas en el área de estudio predial.

### 6.3.1.2 Distribución de los bienes inmuebles

El trabajo de campo predial tiene como resultado la identificación de 412 lotes (bienes inmuebles) y 513 construcciones (edificaciones contenidas en el lote, un lote puede tener una, muchas o no tener construcciones) a lo largo de toda el área de estudio. Los bienes inmuebles presentan áreas que oscilan desde los 25 m<sup>2</sup> hasta los 5200 m<sup>2</sup> en la zona urbana y desde los 10 m<sup>2</sup> hasta los 30550 m<sup>2</sup> en la zona rural.

La zona de estudio presenta construcciones que van desde un piso hasta 5 pisos, teniendo en cuenta que algunas de ellas tienen niveles subterráneos o se encuentran bajo la cota de las vías. El 68,7% de los bienes inmuebles tienen construcciones de un piso, el 13,1% de 2 pisos, el 4,6% de 3 pisos, el 1,9% de 4 pisos y el 0,2% de 5 pisos. Adicionalmente, el 11,4% de los bienes inmuebles no tienen ninguna construcción, estos casos específicos obedecen a lotes que no han sido edificados, zonas de espacio público y bienes inmuebles con construcciones que fueron destruidas y demolidas como consecuencia del fenómeno natural (avalancha por el desbordamiento de los río Mocoa, Mulato y Sangoyaco) ocurrido entre el 31 de marzo y el 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa.

De los 412 bienes inmuebles reconocidos en campo, 315 se encuentran ocupados por personas y 97 no lo están. De los 97 que no están ocupados, 64 corresponden a aquellos que fueron abandonados luego de la avenida fluviotorrencial del 31 de marzo de 2017. También existen casos donde las propiedades se encuentran ocupadas en el día y en la noche las personas duermen en otros lugares por temor a un nuevo fenómeno natural, este caso es típico en los barrios Las Acacias, Miraflores, San Agustín y La Peña.



**Figura 222.** Bienes inmuebles caracterizados por barrio y vereda.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

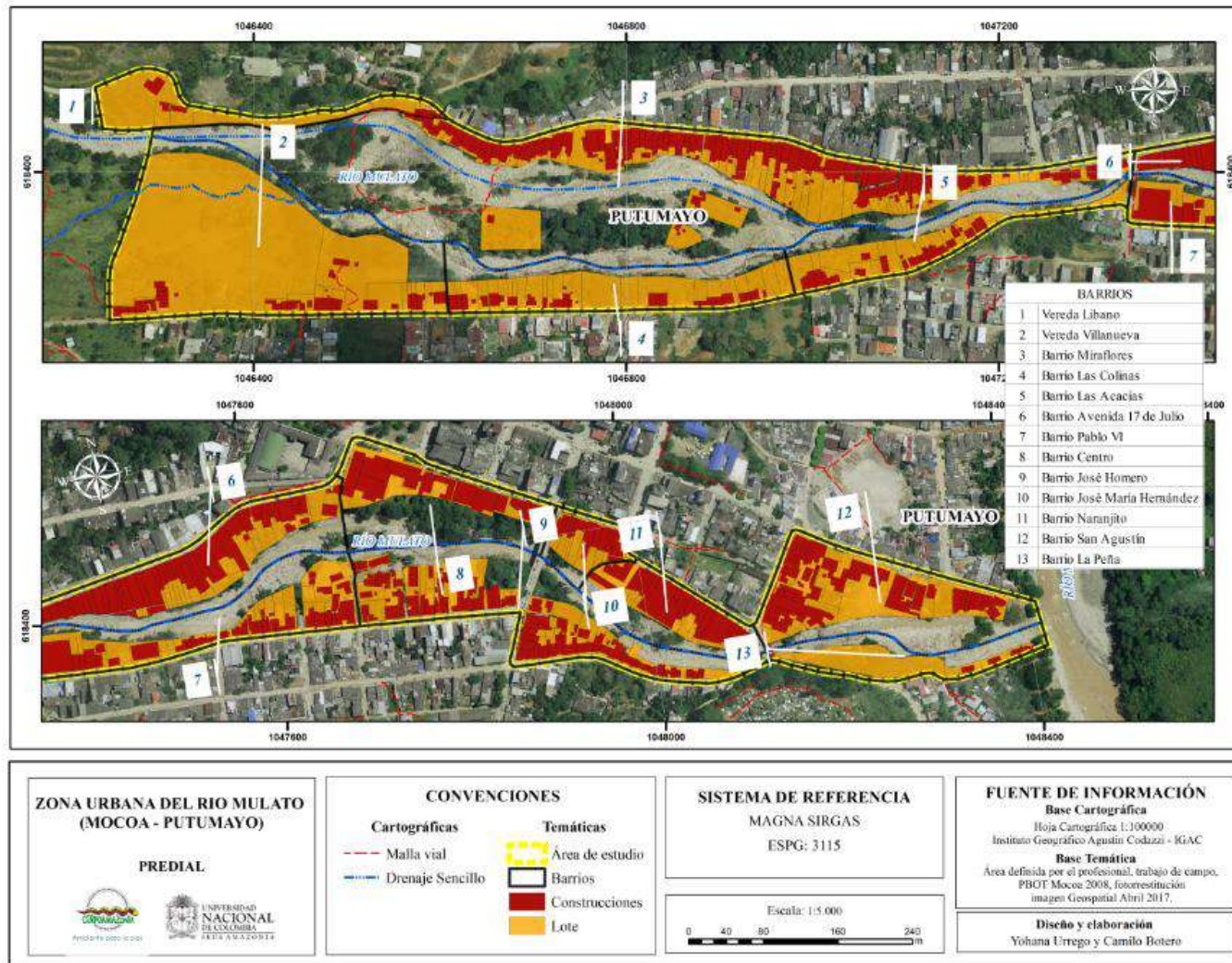


Figura 223. Distribución espacial de lotes y construcciones en el área de estudio predial.

Respecto a la nomenclatura urbana, que es otra de las formas de identificación y localización utilizadas en las actividades de reconocimiento predial, se encontró en el área de estudio una adecuada nomenclatura vial que permitió la identificación de calles, carreras, diagonales, transversales, etc. En el caso de la nomenclatura predial o domiciliaria, no todos los bienes inmuebles cuentan con una placa predial visible, razón por la que se utilizó las coordenadas (Este y Norte) para la exactitud de posición de los bienes inmuebles.

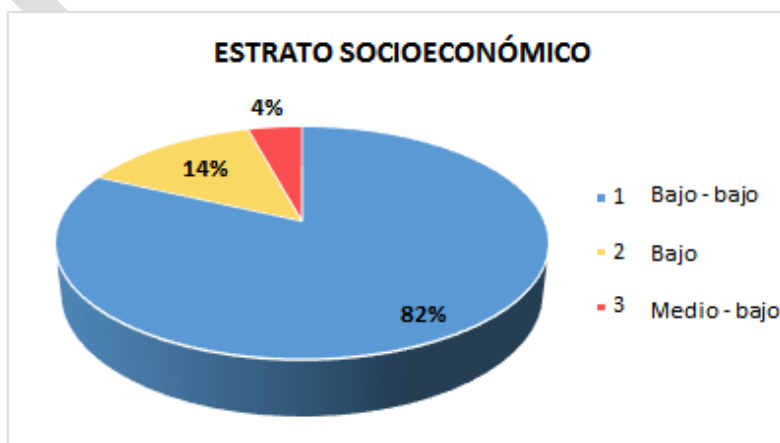
La **Figura 222** muestra el número de bienes inmuebles encontrados por barrio y vereda y la **Figura 242** la distribución espacial de los lotes y construcciones en el área de estudio predial.

#### 6.3.1.3 Estrato Socio-económico

La estratificación socioeconómica es una clasificación jerárquica asignada a los bienes inmuebles residenciales que se realiza con base en las características físicas y de entorno urbano. Tiene varias finalidades, entre ellas las de mayor importancia es identificar las áreas de pobreza y riqueza, definir el cobro de servicios públicos (beneficiarios o contribuyentes de subsidios) e identificar geográficamente los sectores que requieren mayor inversión pública y programas sociales (DANE, 2017).

La caracterización de esta variable se realizó por barrios, Para el área de estudio predial se identificaron los estratos socioeconómicos 1 (Bajo-bajo), 2 (Bajo) y 3 (Medio-bajo), estos corresponden a los estratos bajos donde se encuentran los usuarios de menores recursos, los cuales a su vez son beneficiarios de subsidios en la prestación de los servicios públicos domiciliarios.

La **Figura 224** indica el estrato socioeconómico expresado en porcentaje para el área de estudio predial, nótese que el 82% de los bienes inmuebles tienen el estrato más bajo. La **Figura 225** muestra la distribución espacial del estrato socioeconómico por barrios, siendo el barrio El Centro el de estrato más alto 3 (medio-bajo), seguido por Avenida 17 de Julio, José María Hernández y Naranjito que son estrato 2 (bajo) y José Homero, La Peña, Las Acacias, Las Colinas, Miraflores, Pablo VI, San Agustín, Vereda Líbano y Vereda Villanueva estrato 1 (bajo-bajo).



**Figura 224.** Estrato socioeconómico en al área de estudio predial.



Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

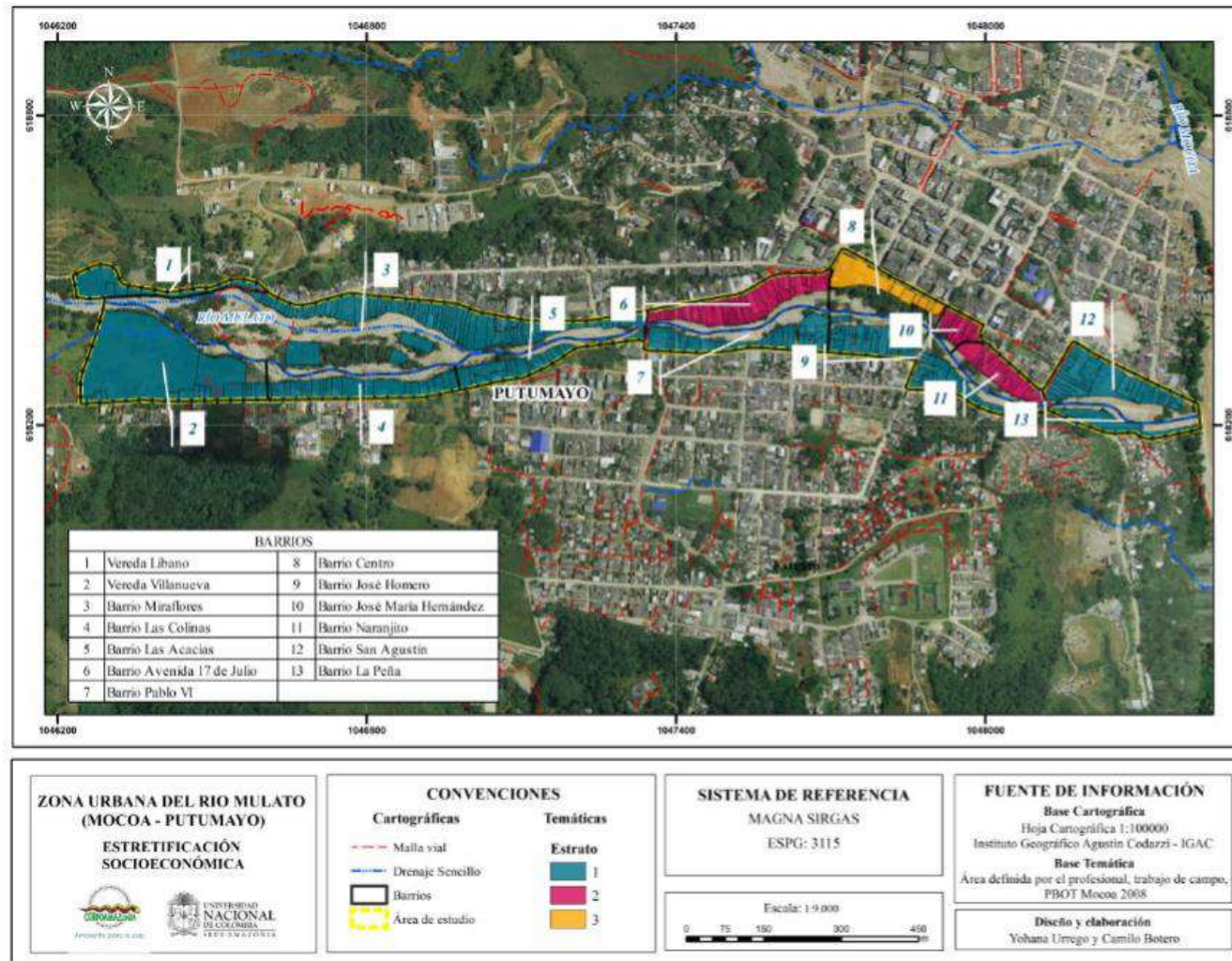


Figura 225. Distribución espacial del estrato socioeconómico por barrios en el área de estudio predial.

#### 6.3.1.4 Tenencia de bienes inmuebles

La tenencia se encuentra enmarcada en la Ley 57 de 1887 (Código Civil de Colombia), la cual regula las distintas clases de bienes (muebles, inmuebles y semovientes) y los poderes y facultades que tienen los sujetos sobre dichos bienes.

Para el presente estudio la clase de bienes caracterizados corresponde a los inmuebles, se denominan de esta forma por su particularidad de no poder moverse de un lugar a otro debido a sus características (posición fija).

Los tipos comunes tenencia (formas de relación con los bienes inmuebles) son propietario, poseedor y ocupante, sin embargo, en el área de estudio se encontraron 7 formas de tenencia para los 412 bienes inmuebles identificados y caracterizados: propietario 72,3%, abandono 15,5%, arrendatario 8,3%, en construcción 1,9%, poseedor 1%, herencia 0,5% y ocupante 0,5%.

Se aclara que esta variable fue caracterizada con base en la información suministrada por las personas encuestadas en el área de estudio, la profundización de esta temática requiere del estudio jurídico de los bienes inmuebles (escritura, registro o matrícula inmobiliaria), el cual se encuentra fuera del alcance del presente estudio. Sin embargo, los datos obtenidos en la comisión de campo permiten tener un panorama general del tipo de tenencia de las personas sobre los bienes inmuebles del área de estudio predial.

La **Figura 226** muestra la distribución espacial de la variable tenencia de los bienes inmuebles en el área de estudio. Nótese que “Propietario” es la de mayor frecuencia.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

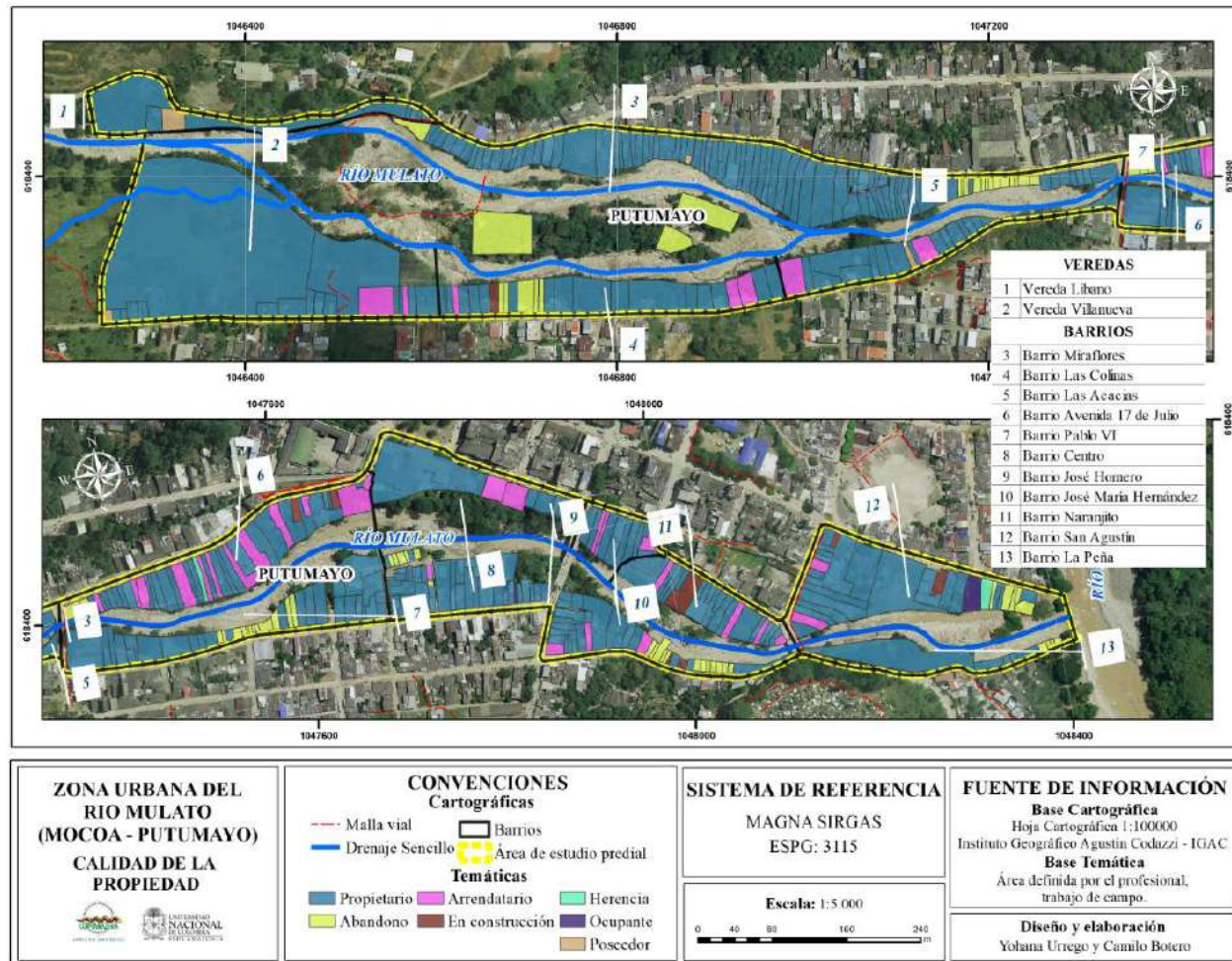


Figura 226. Tenencia de los bienes inmuebles en el área de estudio.

### 6.3.1.5 Estado de conservación de las construcciones

El estado de conservación aplica únicamente para las construcciones contenidas en los bienes inmuebles, esta variable se evaluó teniendo en cuenta su estructura y acabados.

Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Mocoa del año 2008 *“Las viviendas se encuentran terminadas en aceptable estado de conservación y predominan las construcciones de una planta, con pisos en cemento y baldosín, muros en mampostería, cubierta en teja de barro, andenes y sardineles. En cuanto a las viviendas de madera hay un desarrollo de esta pero no como debería ser, pues los desarrollos de este tipo de vivienda no cuentan con la técnica ni las características requeridas para que una vivienda de madera sea recomendable, aun así, existen viviendas en este material con especificaciones y de mejor función habilidad que las mismas viviendas con materiales tradicionales, aunque son escasas reflejan la contextualización del hombre con la región”*.

El trabajo de campo permitió ratificar lo establecido en el PBOT 2008, el estado de conservación de las construcciones fue clasificado en 4 categorías: regular 44,2%, bueno 26,7%, malo 20,9% y excelente 0,2%. El 8% de los bienes inmuebles se encuentran sin esta clasificación y hacen parte de la categoría “No aplica”, estos casos específicos corresponden a áreas con ausencia de edificaciones como lotes y espacio público de zonas verdes.

La **Figura 228** muestra el estado de conservación de las construcciones en el área de estudio predial, se identificó que las zonas con estado de conservación “Malo”, fue donde se presentó la mayor afectación de las edificaciones, como consecuencia del fenómeno natural del 31 de marzo de 2017 (avalancha por el desbordamiento de los ríos Mocoa, Mulato y Sangoyaco). Este es el caso de los barrios Las Colinas, Las Acacias, Pablo VI, José Homero, La Peña, San Agustín y Miraflores los cuales conforman el 64% del área total objeto de estudio.

Cabe destacar, que por lo menos el 30% de los bienes inmuebles cambió su estado de conservación luego de la avalancha del 31 de marzo de 2017 en el municipio de Mocoa, antes de este suceso el grado de calificación para esta variable sobre las construcciones era diferente. Las encuestas realizadas en campo evidenciaron que sumado a la baja calidad de los materiales que presentan algunas construcciones, el mantenimiento que se le da a las mismas durante su uso es poco.

En la **Figura 227** se observan algunos ejemplos de los estados de conservación encontrados en el área de estudio predial.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
DE MOCOA (PUTUMAYO)

**ESTADO DE CONSERVACIÓN MALO**



Predio MU-319 - B. Miraflores



Predio MU-31 - B. Las Colinas



Predio MU-75 - B. Pablo VI

**ESTADO DE CONSERVACIÓN REGULAR**



Predio MU-038 - B. Las Colinas



Predio MU-056 - B. Las Acacias



Predio MU-166 - B. José Homero

**ESTADO DE CONSERVACIÓN BUENO**



Predio MU-206 - B. Las San Agustín



Predio MU-225 - B. Naranjito



Predio MU-258 - B. Avenida 17 de Julio

**ESTADO DE CONSERVACIÓN EXCELENTE**



Figura 227. Fotografías del estado de conservación de las construcciones en el área de estudio.

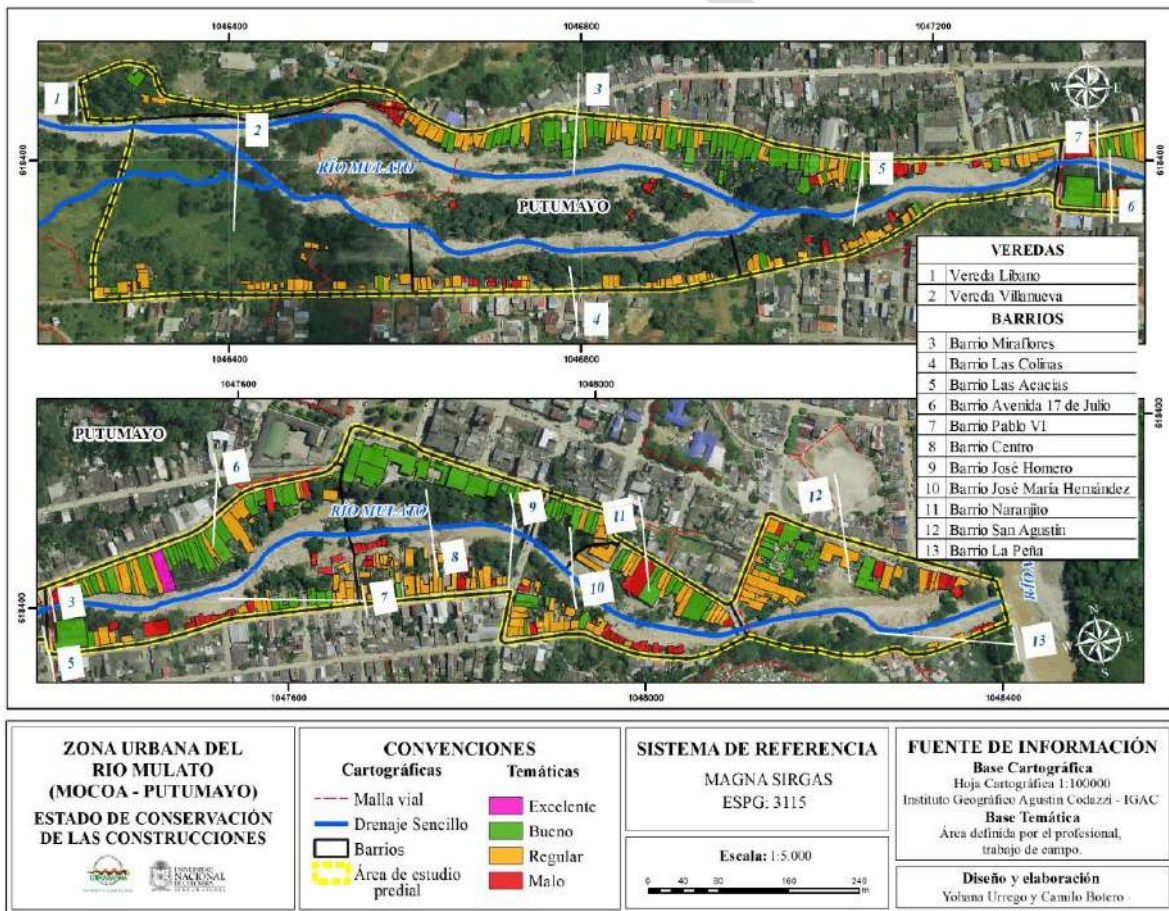


Figura 228. Distribución espacial del estado de conservación de las construcciones en el área de estudio

La topografía del terreno es una variable importante en los procesos de reconocimiento predial, su variación no solo tiene implicaciones en el valor comercial de un bien inmueble sino que además condiciona el grado de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de una superficie (UAECD 2005).

El manual de procedimientos para la determinación de zonas homogéneas físicas urbanas y rurales establece que en perímetro urbano la pendiente ideal para la presencia de edificaciones es entre el 0-15%. Pendientes mayores a este porcentaje incrementan el grado de susceptibilidad a procesos de remoción en masa que se pueden dar en el terreno.

Para el presente estudio las pendientes fueron generadas a partir del Modelo Digital de Terreno (DTM) suministrado por GEOSPATIAL en abril de 2017, el cual tiene 1m de resolución espacial. Los resultados se pueden apreciar en la **Figura 229**, se observa que la ronda del Río Mulato presenta pendientes superiores al 15%. Esta premisa permite determinar que en el área de estudio existen zonas no aptas para la ocupación del territorio y la presencia de asentamientos humanos, sin dejar de mencionar que el evento ocurrido el 31 de marzo del 2017 en el municipio de Mocoa cambió la morfología del terreno abruptamente.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE MOCOA (PUTUMAYO)**

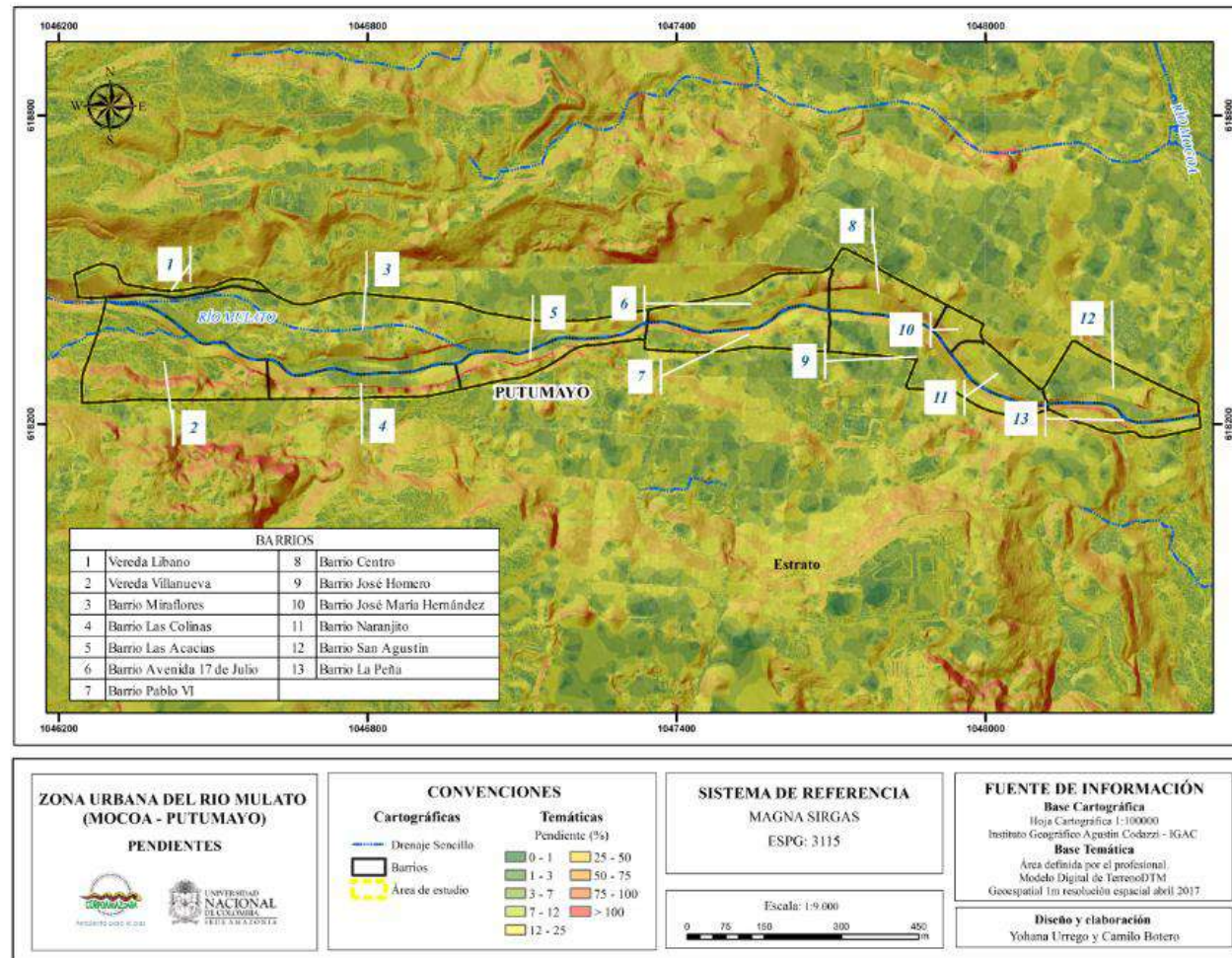


Figura 229. Pendientes en el área de estudio predial.



#### 6.3.1.6 Vías

El Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Mocoa del año 2008 establece que *“hasta el momento el 52% de las vías del municipio se encuentran pavimentadas y en escasos tramos asfaltadas el resto de la rodadura es destapada, en general la malla vial es eficiente vista desde el punto de vista actual debido a lo reducido de los flujos vehiculares pero si miramos hacia el futuro pensaríamos que la estructura vial es muy reducida tanto en la parte física como conceptual pues todas confluyen al centro de la ciudad donde no hay las especificaciones viales para la demanda que se le da”*

Partiendo de la premisa establecida en el PBOT 2008, en este apartado se realizó la caracterización de las vías que dan acceso a los bienes inmuebles del área de estudio. El trabajo de reconocimiento realizado permitió el análisis desde tres aspectos.

#### 6.3.1.5 Clase de vía

Se presentan en el área 5 clases de vías: vehiculares pavimentadas 73,8%, vehiculares sin pavimentar 22,6%, peatonales pavimentadas 1,5%, sin vía 1,5% y peatonales sin pavimentar 0,7%. Para lograr el acceso a los bienes inmuebles sin vía, es necesario en algunos casos atravesar otros predios o el Río Mulato. La **Figura 230** muestra la clasificación vial y su distribución por barrios.

#### 6.3.1.6 Estado de las vías

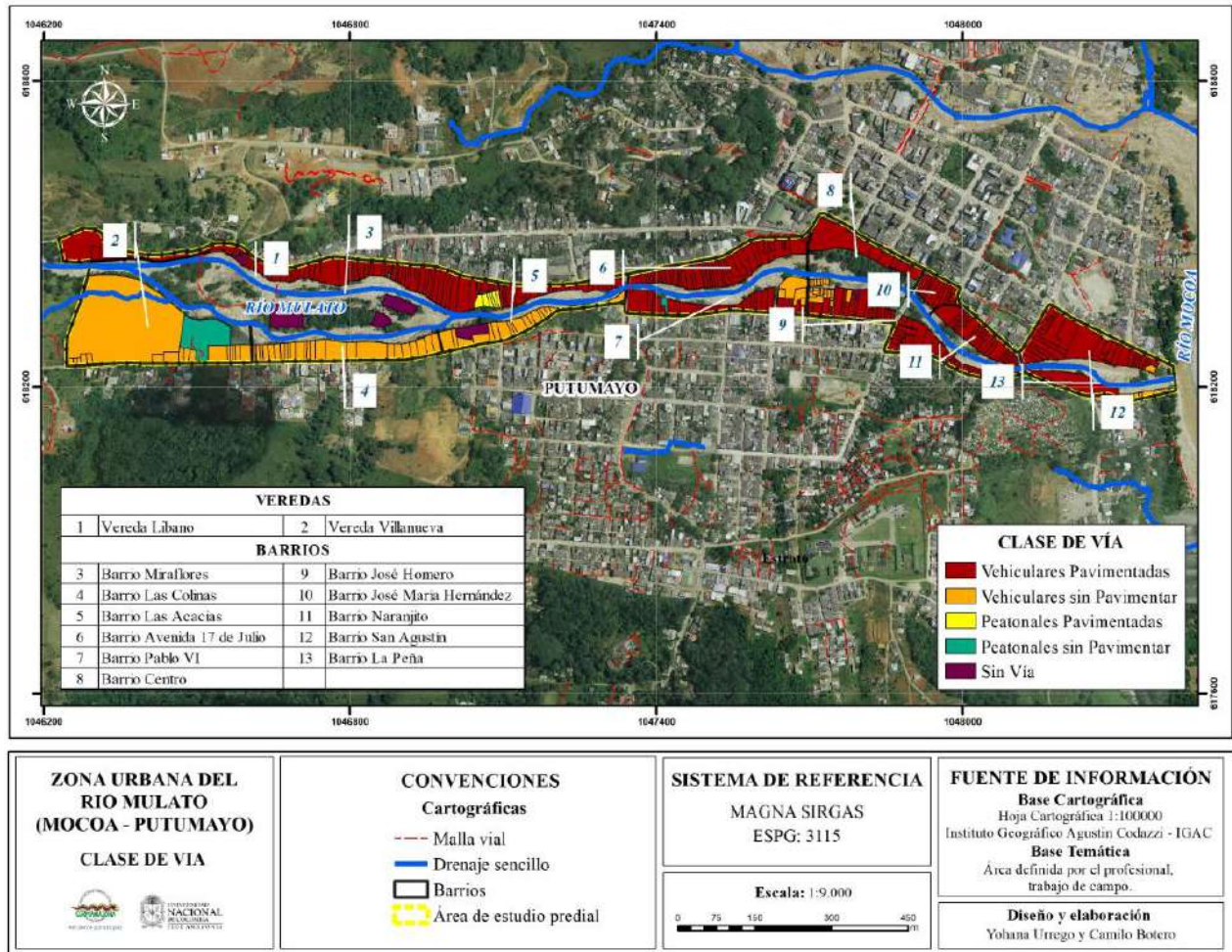
Se presentan en el área 4 estados de vías: bueno 58,5%, regular 29,6%, malo 10,4% y sin estado 1,5%. En general el área tiene vías que permiten la fácil circulación de vehículos y el desplazamiento con fluidez. La **Figura 231** muestra la distribución espacial del estado de las vías, nótese que el barrio Las Acacias y parte del barrio La Peña presentan estado malo y por consiguiente la circulación en estas zonas es lenta, para estos barrios específicamente esto se debe también a que las vías fueron afectadas por el fenómeno natural del 31 de marzo de 2017 en Mocoa.

#### 6.3.1.7 Influencia de las vías

El área cuenta con 4 tipos de influencia vial: zonal o intermedia (permite la circulación entre barrios y veredas) 69,2%, arterial complementaria (permite la conexión entre municipios) 17,2%, local (permite el acceso solo a las unidades de vivienda) 12,1% y sin influencia (asignado a las zonas que carecen de infraestructura vial) 1,5%. La **Figura 230** se muestra la distribución espacial de la influencia de las vías en el área de estudio. Se evidencia que los barrios Avenida 17 de Julio, Naranjito y La Peña son los que presentan la mayor categoría de influencia convirtiéndose en los que posibilitan la circulación a nivel regional.

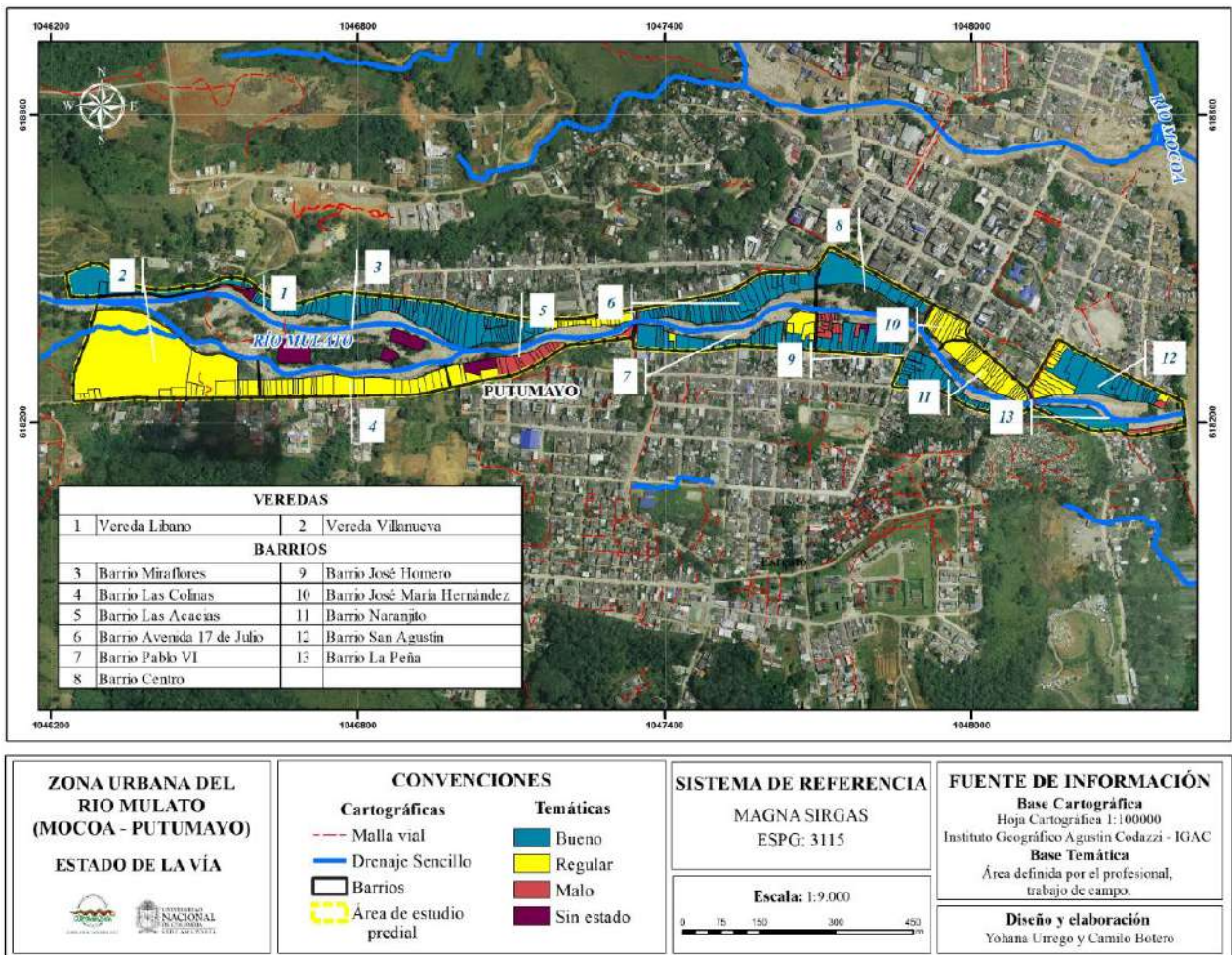
Adicionalmente, se puntualizan los siguientes ítems encontrados en cuanto a la caracterización vial se refiere: **1.** El puente sobre la carrera décima que conecta los barrios Miraflores y Avenida 17 de Julio con Las Acacias y Pablo sexto. se encuentra inhabilitado desde la avalancha del 31 de marzo de 2017 implicando que los habitantes hagan mayores desplazamientos para ir de un lugar al otro e interrumpiendo la conexión regional del municipio. **2.** Los barrios Avenida 17 de Julio, Naranjito y La

Peña cuentan con vías (KR4, KR9, KR10, CL5, CL6, CL7 y CL8) que permiten la accesibilidad regional del municipio de Moca (vía Mocoa-Villagarzón y vía Mocoa-Pitalito), sobre ellas se deben priorizar los proyectos de mejoras y mantenimiento. 3. La población manifiesta que desde el 1 de abril de 2017 luego de la avalancha, se ha disminuido la velocidad de circulación de los vehículos por el cambio de estado de las vías que ha sufrido el municipio en general.



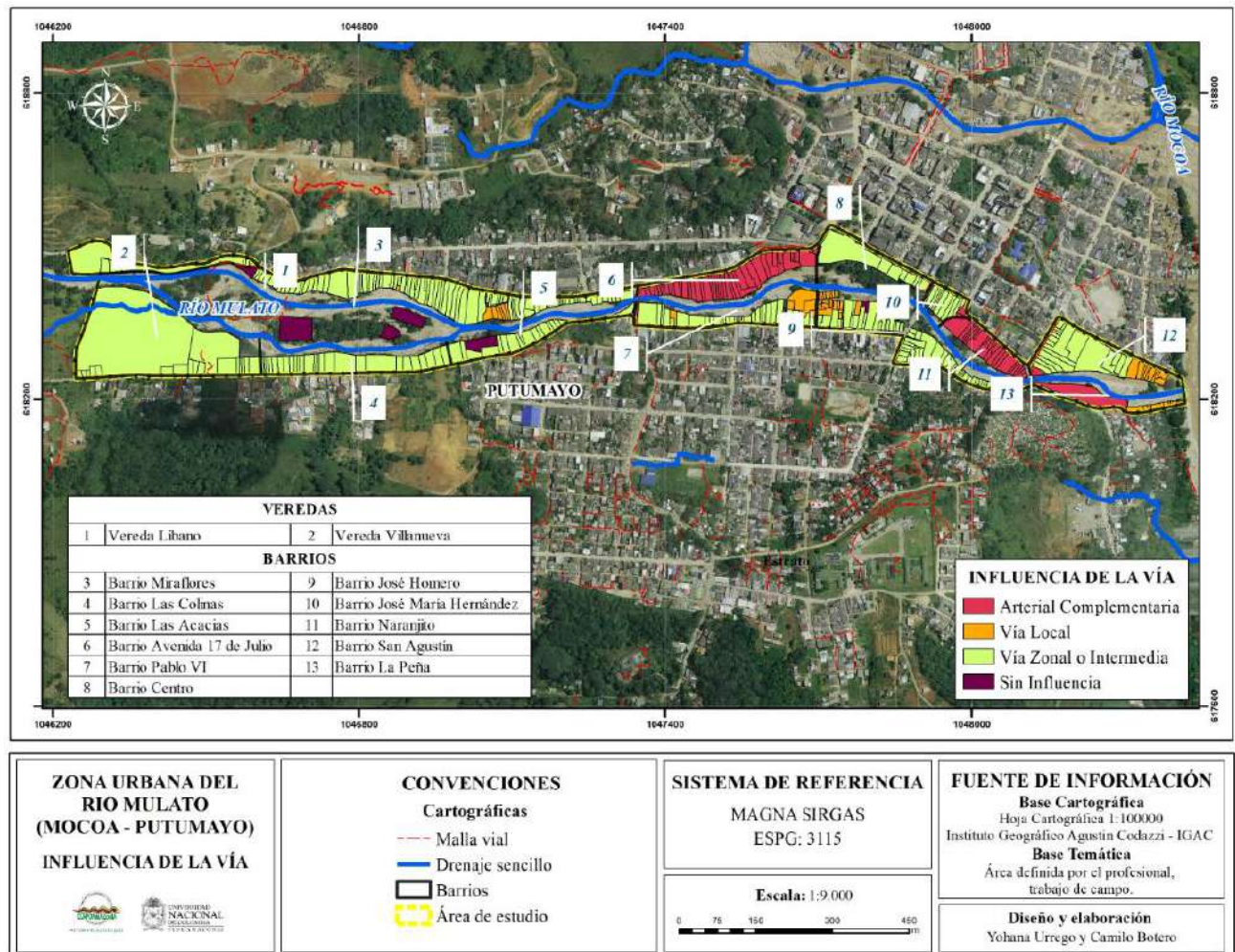
**Figura 230.** Clases de vías en el área de estudio predial.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**



**Figura 231.** Estado de las vías en el área de estudio predial.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO DE MOCOA (PUTUMAYO)**



**Figura 232.** Influencia de las vías en el área de estudio predial. Servicios públicos

### 6.3.1.8 Servicios Públicos

El crecimiento poblacional y urbano que se viene dando en el municipio de Mocoa en los últimos 45 años, trae consigo necesidades inherentes a lo que se conoce como calidad de vida del ser humano, la adecuada cobertura y prestación de los servicios públicos domiciliarios es un ejemplo de ellas.

Esta temática se encuentra estrechamente relacionada con la ronda hídrica pues la falta de cobertura y la ocupación irregular de la ronda hídrica no solo incrementa las necesidades básicas insatisfechas y los riesgos de salud, sino que además aumenta los niveles de contaminación y repercute en la conservación del medio (río Mulato).

De esta forma, se relacionan en este apartado los bienes inmuebles que cuentan o no con la existencia de las redes necesarias para la conexión de servicios públicos. Se relacionan a continuación los detalles encontrados:

El 81% de los bienes inmuebles cuentan con energía eléctrica, el 19% restante corresponde a quienes no poseen el servicio, los motivos identificados de la ausencia del servicio en algunos casos obedece a lotes que se encuentran en construcción, lotes sin edificar o en su defecto bienes inmuebles que como consecuencia de la avalancha del 31 de marzo de 2017 en Mocoa ya no cuentan con la infraestructura en buen estado para la prestación del servicio. La **Figura 233** muestra el cubrimiento del servicio público domiciliario de energía eléctrica para la zona de estudio.

Respecto al acueducto, el área de estudio cuenta con el aprovisionamiento del Río Mulato (acueducto municipal central), el cual abastece la vereda Villanueva y los barrios Centro, San Agustín, Avenida 17 de Julio, Naranjito y La Peña. Este a su vez, cuenta con un sistema complementario de aprovisionamiento del Río Mulato (Sistema Central Canalón) que abastece los barrios José Homero y Miraflores. Adicionalmente, está el acueducto de barrios sur-occidente el cual abastece los barrios Pablo VI y Las Acacias (PBOT, 2008)

En el reconocimiento de campo se encontró para el área que el 76,6% de los bienes inmuebles cuentan con el servicio de acueducto, mientras que el 23,4% no. Los habitantes que cuentan con el servicio manifiestan que desde que ocurrió el fenómeno natural del 31 de marzo de 2017 el servicio no es continuo las 24 horas del día y que la calidad del agua disminuyó, sin dejar de mencionar que la magnitud de este evento ha generado la necesidad de una nueva infraestructura de acueducto para el municipio de Mocoa. La **Figura 234** muestra el cubrimiento del servicio público domiciliario de acueducto para la zona de estudio. Se observa que los barrios Centro, José María Hernández y Naranjito son los que cuentan con el servicio completamente.

En cuanto al Alcantarillado, únicamente el 61,6% de los bienes inmuebles cuentan con el servicio, los bienes inmuebles que no cuentan con el servicio en su mayoría realizan la disposición de aguas residuales directo al Río Mulato. Los habitantes de la zona manifiestan que el sistema de Alcantarillado no es bueno y esto incrementó desde el fenómeno natural del 31 de marzo de 2017, manifiestan que en ocasiones cuando llueve las calles parecen ríos. La **Figura 235** muestra el cubrimiento del servicio público domiciliario de alcantarillado para la zona de estudio, se observa que los barrios Centro y José María Hernández cuentan con el cubrimiento total del servicio mientras que el barrio La Peña presenta ausencia total del servicio.

Con relación al gas natural, se encontró que solo el 19,6% de los bienes inmuebles cuentan con el servicio. En el resto de propiedades los habitantes utilizan pipeta de gas o en su defecto leña para preparación de los alimentos. El bajo cubrimiento se debe a que es un servicio nuevo en el municipio, se espera que con el tiempo exista mayor cubrimiento y que incremente el número de personas que acceden al servicio. En la **Figura 236** se observa el cubrimiento del servicio para el área de estudio.

Referente el servicio público de teléfono, se encontró que solo el 14,8% de los bienes inmuebles cuentan con el servicio. El bajo cubrimiento se debe a dos razones principalmente: **1.** Es un servicio público complementario y no básico, es decir que no se considera 100% indispensable en el desarrollo de las actividades urbanas y **2.** Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han implementado el uso de redes móviles (celulares) como una posibilidad de comunicación rápida, económica, eficaz, confiable y personalizada. En la **Figura 237** se el cubrimiento que presenta este servicio público.

El decreto 2424 de 2006, define que el alumbrado público es un servicio público NO domiciliario y que los Municipios o Distritos son los responsables de la prestación del servicio. Sin embargo, aunque este servicio no es propio de los bienes inmuebles, se evidenció en campo que desde la la avalancha del 31 de marzo del 2017 ocurrida en el municipio de Mocoa, solo el 69,6% del área cuenta con este tipo de iluminación y se obtuvo como dato adicional que desde esa fecha el servicio en repetidas ocasiones es intermitente o no cuenta con la luminosidad que se requiere. La **Figura 238** muestra el cubrimiento del alumbrado público para el área de estudio.

Finalmente se cuantificaron los bienes inmuebles que presentan una ausencia total de la prestación de algún tipo de servicio público tanto domiciliario como no domiciliario, el 18% se encuentran en esta categoría. La **Figura 239** muestra la distribución espacial de las propiedades que se encuentran sin servicios. Se puntualiza que en esta categoría se encuentran los lotes sin edificaciones, en construcción y en abandono como consecuencia del fenómeno natural del 31 de marzo de 2017.

ENCUENTRO

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

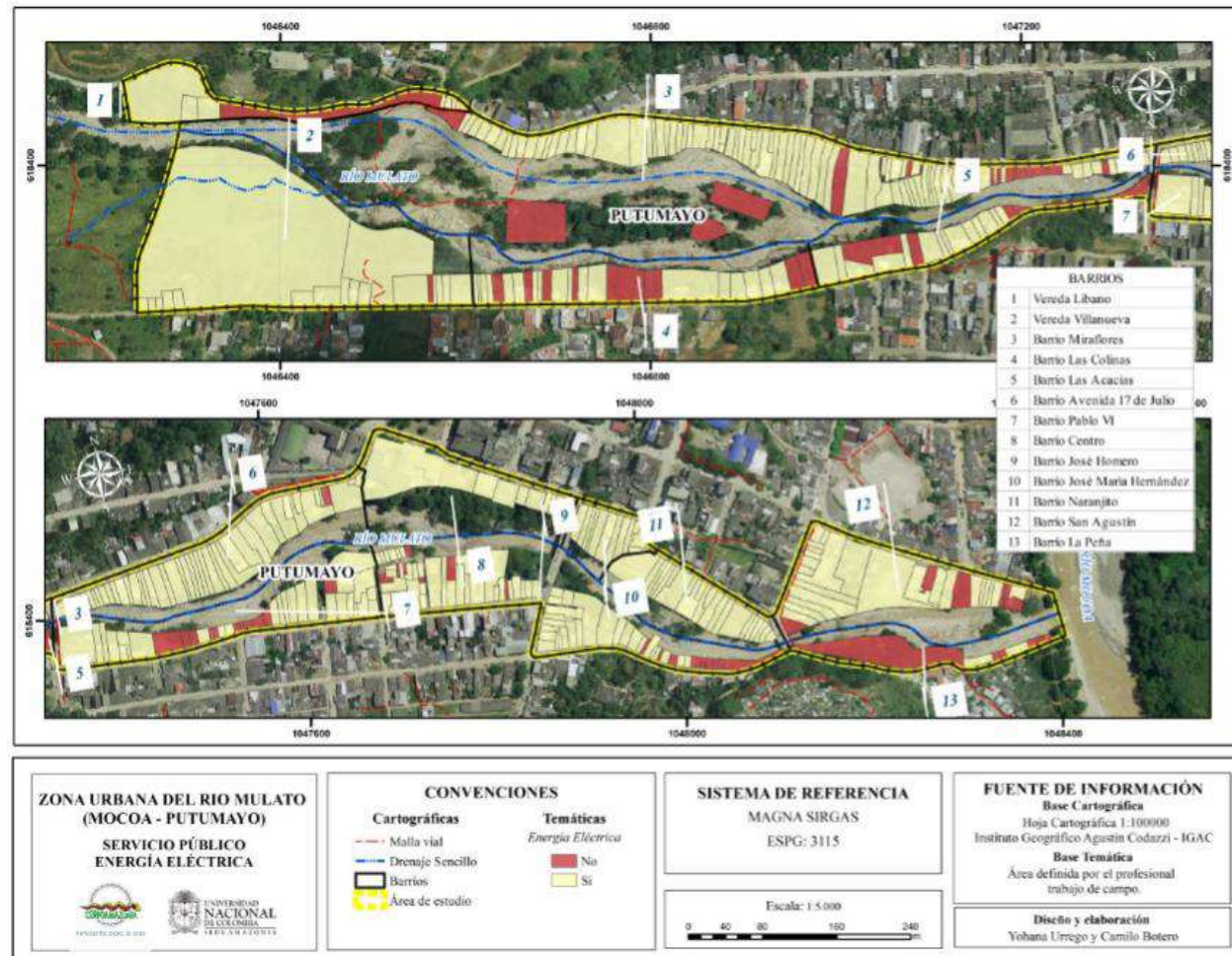


Figura 233. Servicio público domiciliario energía eléctrica en el área de estudio predial.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

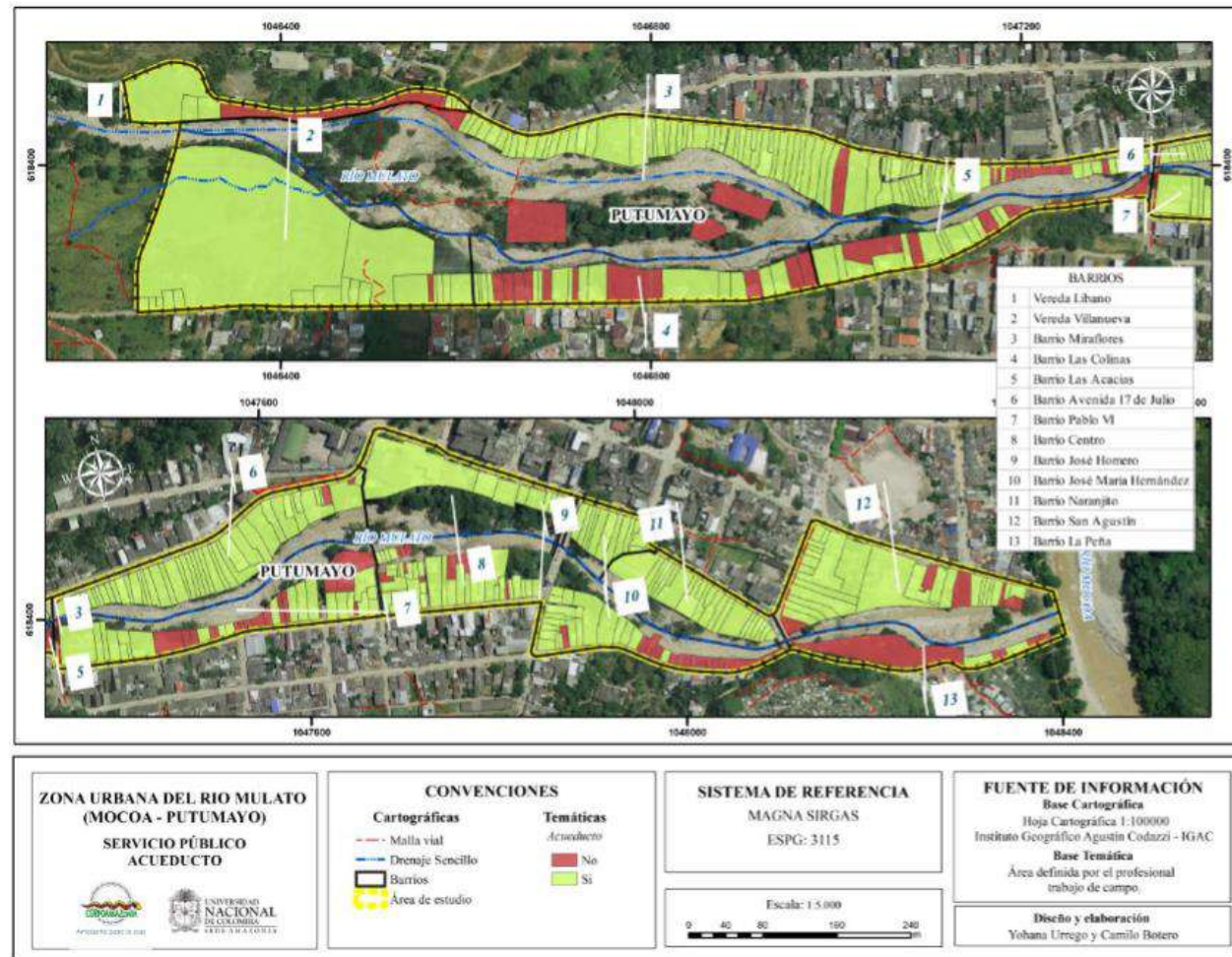


Figura 234. Servicio público domiciliario acueducto en el área de estudio predial.



Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCO A (PUTUMAYO)

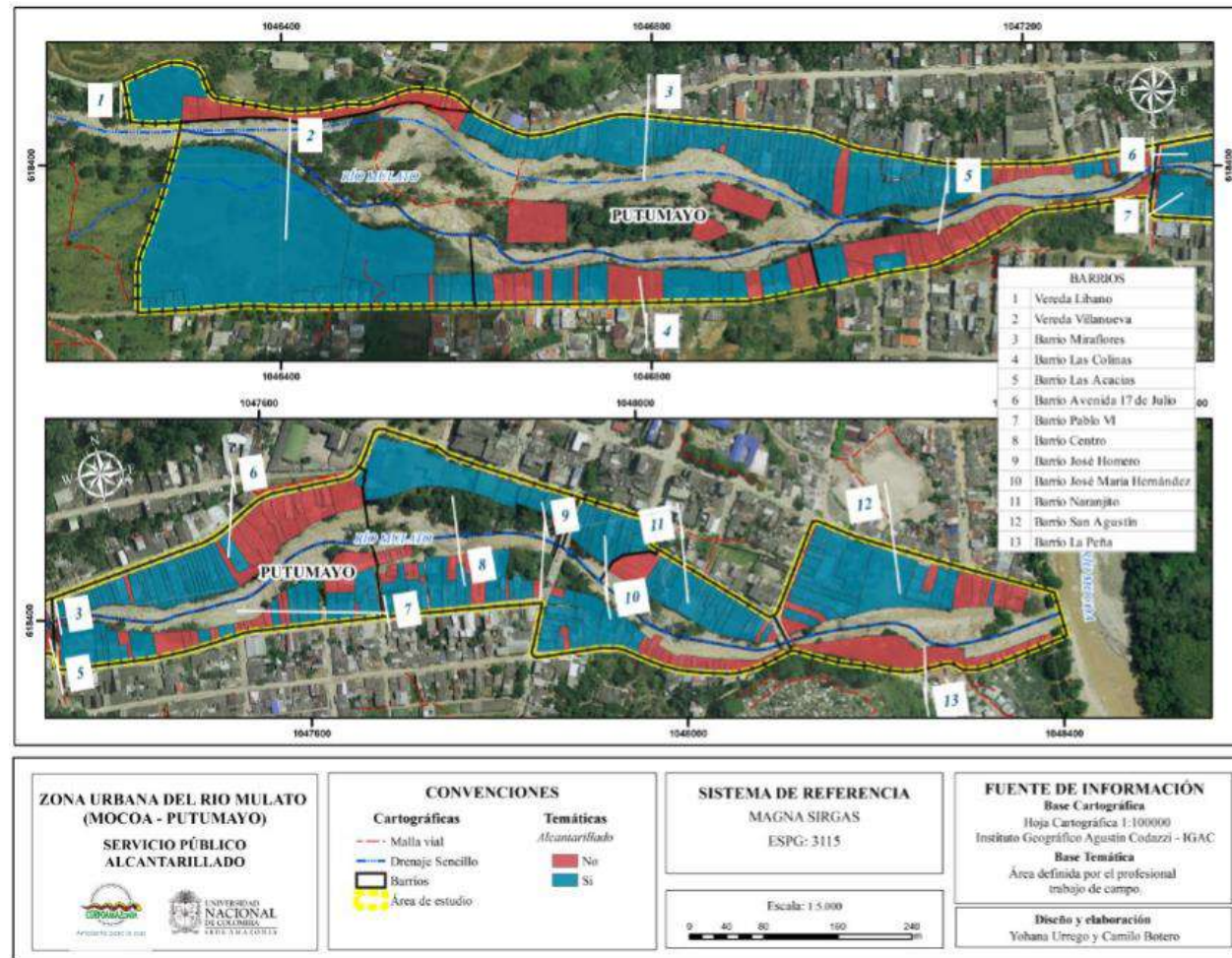


Figura 235. Servicio público domiciliario alcantarillado en el área de estudio predial.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

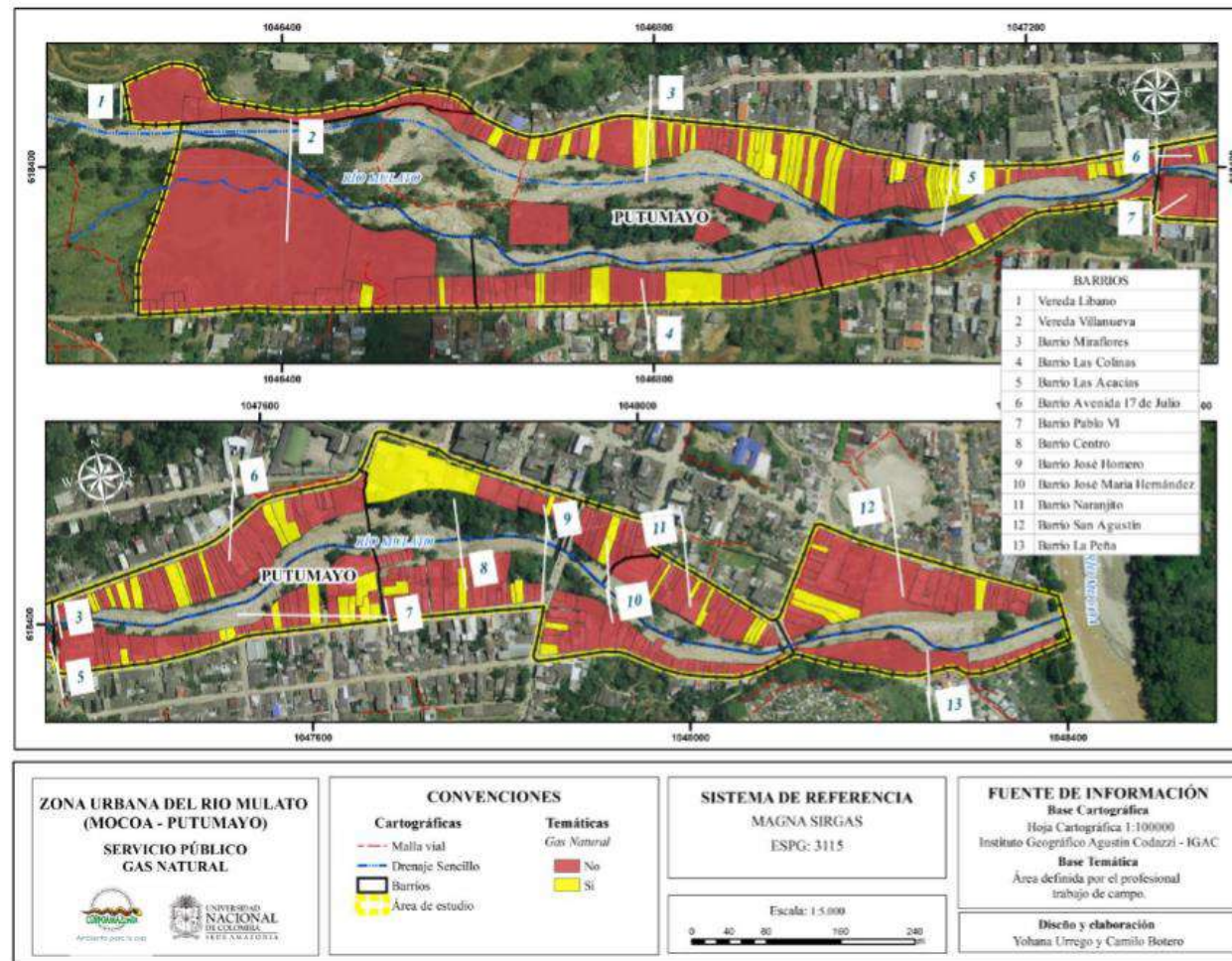


Figura 236. Servicio público domiciliario gas natural en el área de estudio predial.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

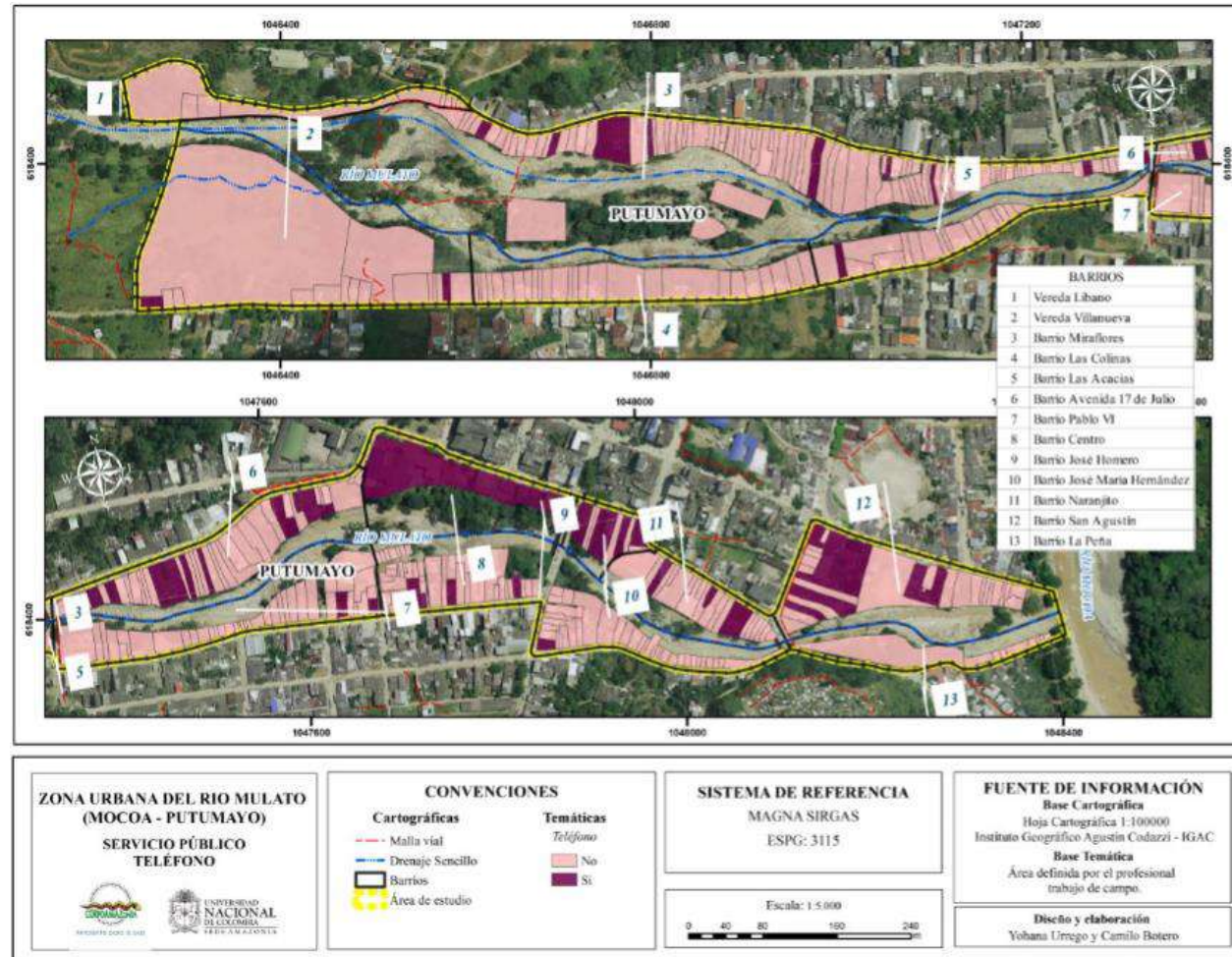


Figura 237. Servicio público domiciliario teléfono en el área de estudio predial.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

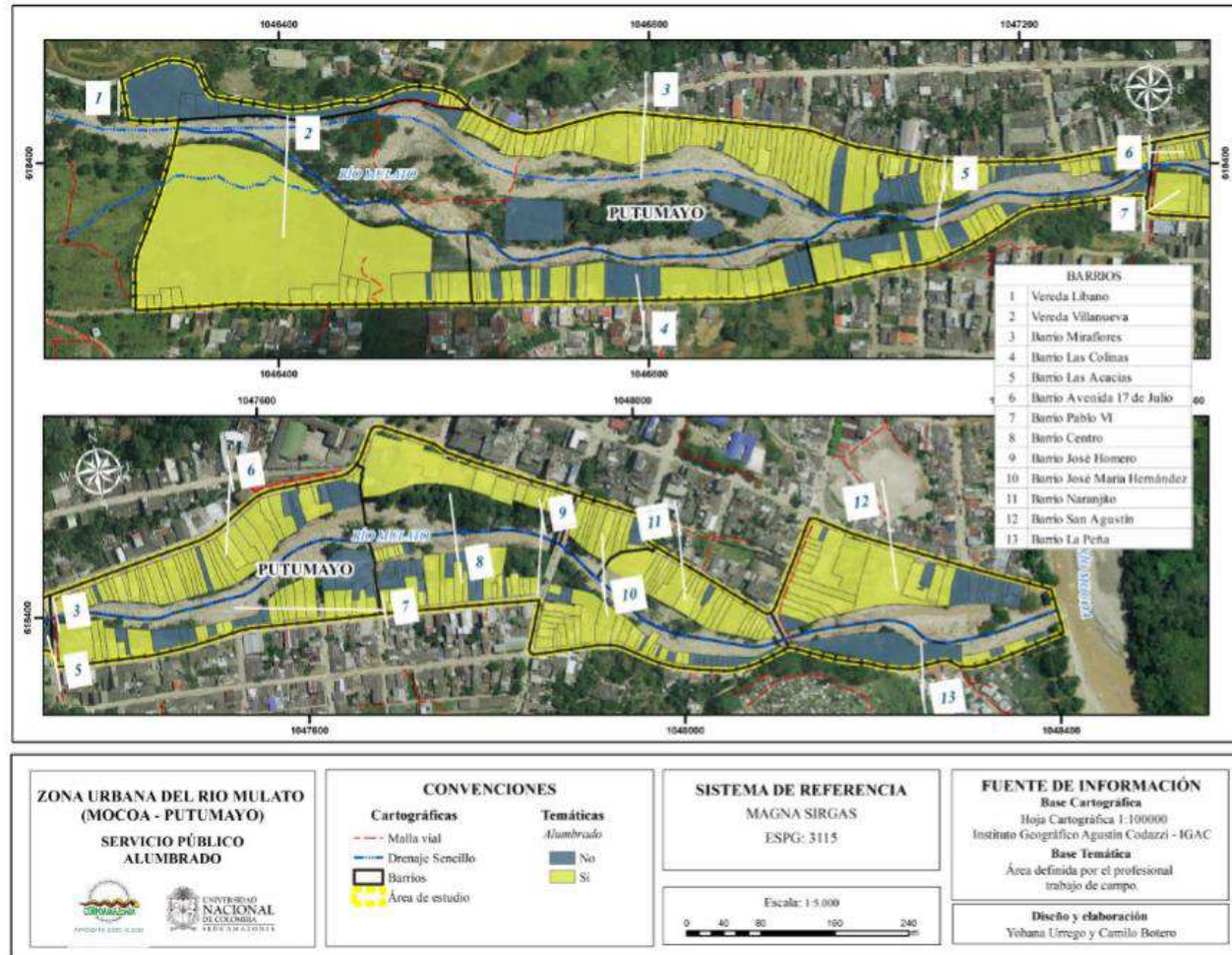


Figura 238. Servicio público no domiciliario alumbrado público en el área de estudio predial.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

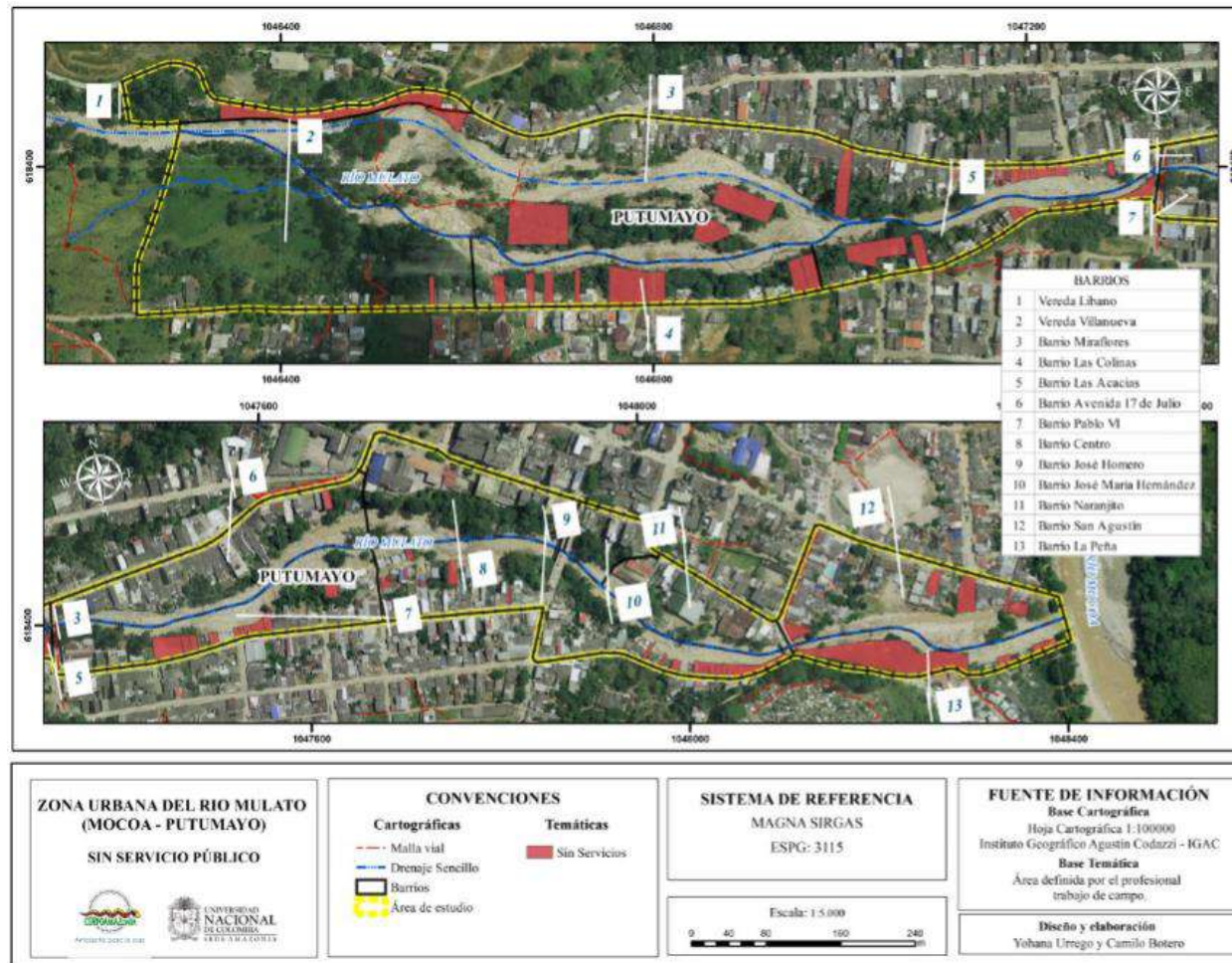


Figura 239. Bienes inmuebles sin servicios públicos en el área de estudio predial.

#### 6.3.1.9 Actividad económica de los bienes inmuebles

Este apartado hace referencia a la actividad económica que se está desarrollando efectivamente en el bien inmueble, en condiciones ideales esta debería coincidir con la norma de uso (PBOT para este caso), sin embargo, en muchas oportunidades estos dos aspectos presentan diferencias (UAECD, 2005)

Se encontraron para el área de estudio las siguientes actividades económicas: residencial 63%, mixto 21%, no edificado 7%, comercial y de servicios 6%, dotacional 2% y espacio público 1%. La **Figura 240** muestra la distribución espacial de las actividades económicas presentes en el área de estudio. Adicionalmente, se tienen las siguientes particularidades: **1.** El uso mixto en su mayoría es residencial-comercial, sin embargo existen casos puntuales donde es comercial-dotacional. **2.** El área presenta comercio y servicios específicos tales como canchas sintéticas, taller de carros, parqueaderos, bodegas, hotel, cooperativas, Inter Rapidísimo, gimnasio, licorerías, efecty, servientrega, droguerías, cajero BBVA, Aguas Mocoa S.A.E.S.P. (Empresa de Servicios Públicos de Mocoa), etc. **3.** Los dotacionales corresponden a iglesias de culto religioso, casa de justicia, punto de atención a víctimas, una fundación, etc. El área no cuenta con dotacionales educativos. **4.** Existen 5 zonas de espacio público de zonas verdes y canchas de fútbol.

El uso de suelo reglamentado para el área de estudio según los anexos cartográficos del componente urbano del PBOT del 2008, establece que los únicos barrios que deberían tener uso diferente al residencial son Centro (uso institucional) y Avenida 17 de Julio, José María Hernández, Naranjito y San Agustín (uso mixto). Sin embargo, al sobreponer el anexo cartográfico del componente urbano con las actividades económicas espacializadas producto del trabajo de campo se encontraron conflictos de uso causados principalmente por la aparición de comercio puntual en muchos de los bienes inmuebles.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA  
 ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO  
 DE MOCOA (PUTUMAYO)

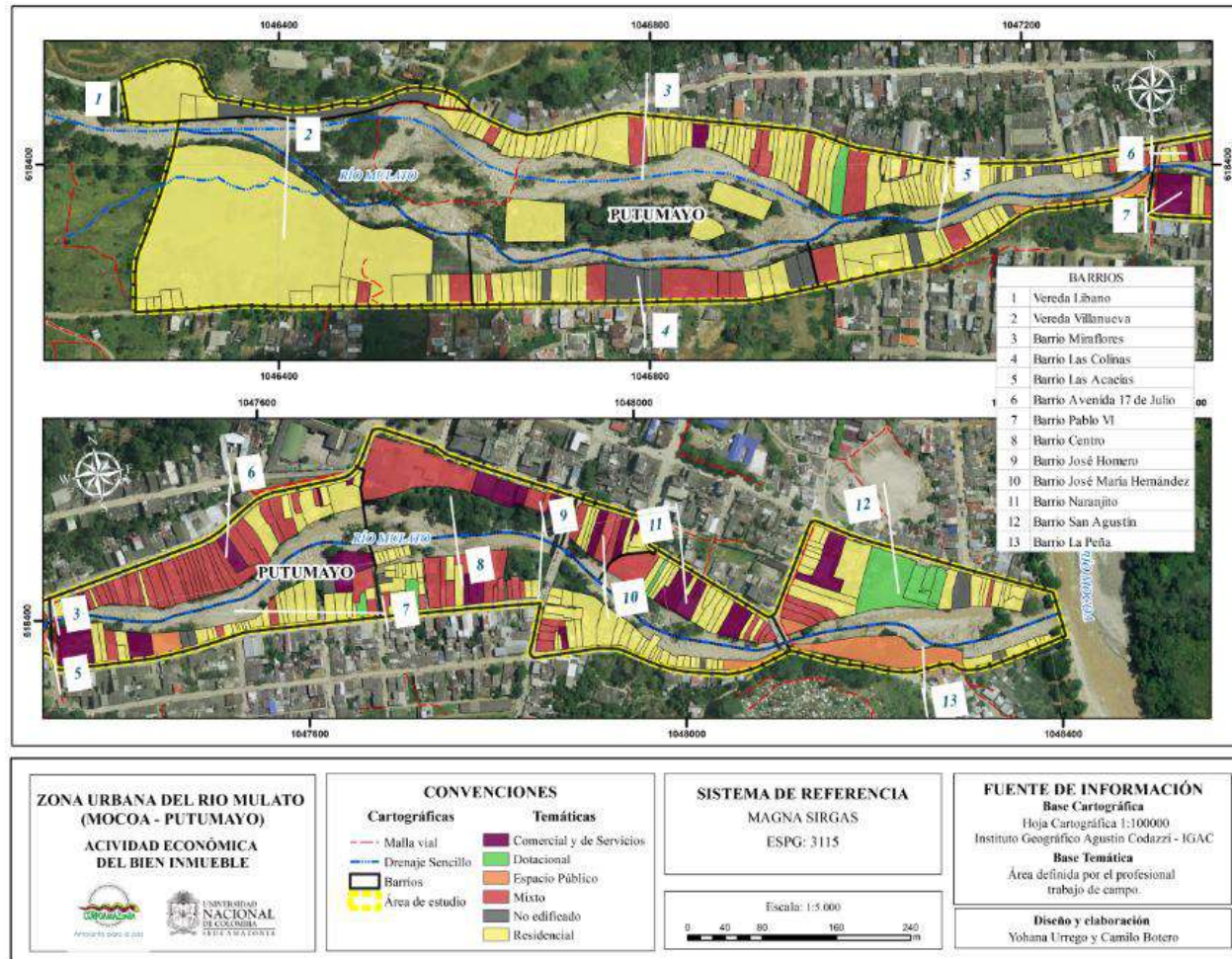


Figura 240. Actividad económica de los bienes inmuebles en el área de estudio predial.

#### 6.3.1.10 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal, es una técnica que permite identificar las transformaciones espaciales de un determinado lugar. Su implementación requiere datos de diferentes fechas y uno de los aportes más destacados es su capacidad de detectar cambios en el tiempo ya sean de tipo natural o por acciones antrópicas.

Para este caso en específico, se evaluó el cambio que ha sufrido la cobertura tejido urbano en el tiempo, identificando ganancia o pérdida de área. Este tipo de análisis de los cambios en los usos del suelo, aportan información para la planificación, gestión territorial, evaluación de impactos ambientales en determinadas zonas, entre otros

El análisis del cambio en el tejido urbano en el municipio de Mocoa (Putumayo) en el periodo 1962-2006 (45 años), se realizó con fotografías aéreas adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Se implementó un análisis de niveles visuales basado en las tonalidades de grises, donde el tono de los objetos en las fotografías aéreas, se encuentra relacionado con la cantidad de energía reflejada por la superficie. De esta forma, las zonas desprovistas de vegetación (drenajes y tejido urbano) se ven en tonos grises claros mientras que la vegetación y las áreas con alto contenido de humedad se ven en tonos de grises oscuros.

La **Figura 241** muestra el resultado del análisis de niveles visuales para el área de estudio predial, se observa en color amarillo el crecimiento urbano en el tiempo alrededor del río Mulato



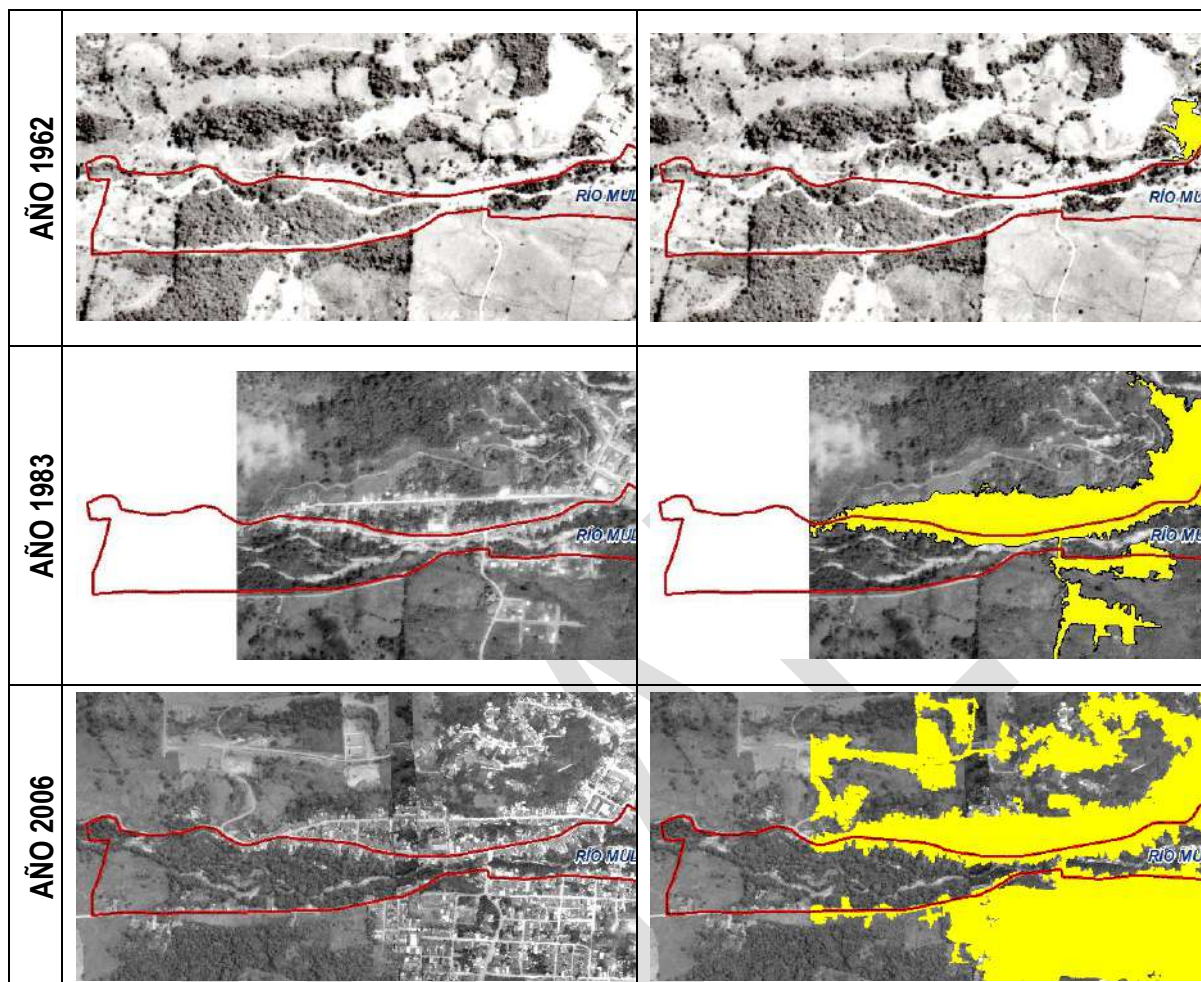


Figura 241. Análisis multitemporal tejido urbano de la ronda del río Mulato

### 6.3.2 Caracterización Socio-cultural

#### 6.3.2.1 Trayectoria Socio-ecológica

Un modo de acercarnos a los sistemas socioecológicos es el entendimiento de la relación histórica entre sociedad y naturaleza que ha marcado los cambios en el territorio. (Rincón-Ruiz *et al* 2014) De ahí la importancia de apreciar desde una perspectiva de larga duración los cambios y transformaciones del municipio de Mocoa como un dinamizador de los cambios del paisaje de la ronda hídrica del río Mulato.

A lo largo de los siglos, lo que hoy en día es el municipio de Mocoa ha pasado por varios procesos de ocupación. En términos generales, la consolidación de este territorio en los siglos anteriores estaba fundamentada en la presencia de diversos grupos y etnias indígenas: Ingas, Sionas, Kofanes, entre otros, y la predominancia de un bosque denso propio del piedemonte amazónico.

Desde la época pre-colonial el territorio era un lugar de tránsito entre los Andes y la selva por parte de grupos indígenas. A partir del siglo XVI, este centro poblado fue fundado por las misiones religiosas y trasladado en varias ocasiones debido a los ataques del pueblo Andakí y por intereses económicos asociados a la explotación de minas de oro por parte de los colonizadores. En los siglos posteriores, XVIII y XIX, las actividades en este espacio estaban vinculadas a las bonanzas extractivas de quina y caucho.

Por otra parte a finales del siglo XIX e inicio del siglo XX se puso en marcha la política de “Territorios Nacionales” que buscaba adjudicar baldíos con la intención de ampliar la frontera de colonización. Además, por este tiempo en Nariño, las familias campesinas sufrían problemas de escasez de tierras debido al fenómeno de acaparamiento en esa región. Esto, sumado al fomento de la colonización llevada a cabo por los misioneros incidió directamente en la llegada de colonos nariñenses a las tierras del putumayo (López, 2005).

El hoy departamento del Putumayo ha pasado por varias figuras territoriales, entre las cuales están: comisaría, intendencia, corregimiento y municipio. El decreto 320 de 1912 creó la comisaría especial del Putumayo; en el año 1944 el decreto 1752 del 17 julio lo convierte en corregimiento y seguido a este decreto esta región fue elevada a Intendencia por la ley 72 de 1968. Finalmente, en 1991 la Constitución política de Colombia la convierte en departamento. Por lo tanto, el Putumayo y el municipio de Mocoa ha tenido diferentes configuraciones político-administrativas a lo largo de los años (Sánchez, 2015).

La colonización de este territorio que se consolidó durante los primeros años del siglo XX significó la instauración de fincas ganaderas y extensiones considerables de cultivos que empezaron a modificar rápidamente el paisaje. Por ese entonces las familias de colonos, principalmente nariñenses, que recién construían sus hogares en la región del Putumayo dependían principalmente del trabajo relacionado con actividades agrícolas y ganaderas. Los pobladores indígenas a medida que avanzaba la colonización se fueron retirando progresivamente del centro poblado.

Durante la primera mitad del siglo XX actividades tales como: el suministro de agua, la pesca, la cacería, el lavado de ropa, la recreación y la higiene personal, se desarrollaban a lo largo del curso del río Mulato. Puede afirmarse que los pobladores del área de influencia del río Mulato dependían en gran medida de este recurso, siendo fundamental en su diario vivir.

#### 6.3.2.2 Unidades ecosistémicas y zonas de transformación

A continuación, se presentan las unidades ecosistémicas definidas por cobertura y clima de la zona de estudio. La identificación de unidades se ajustó a la clasificación de ecosistemas presentado en el mapa de ecosistemas acuáticos y terrestres de la Amazonía colombiana del SINCHI y Parques Nacionales Naturales (2016) y a la clasificación propuesta por Ricaurte *et al.* (2015) de sistemas acuáticos en el piedemonte amazónico (Ver **Tabla 45**).

En la cuenca del río Mulato se identificaron siete unidades ecosistémicas y 3 zonas de transformación (**Figura 242**): **La zona 0 natural de bosque denso alto y ríos de aguas transparentes**, se refiere a la zona alta de la cuenca y que permite dar un panorama en terminos generales del paisaje, la **zona I seminatural** con ecosistemas de vegetación en mosaico y en transformación, y por último, la **zona II tejido urbano continuo y discontinuo**. En las últimas dos zonas se desarrolló el trabajo de campo referido a la caracterización socioecológica en relación al área de influencia del polígono determinado para el estudio de caso.

En la **Tabla 45** se indican las zonas, con sus respectivas unidades ecosistémicas, extensión en hectáreas y su porcentaje con relación a la cuenca, así mismo los resguardos, veredas y barrios que hacen parte.

**Tabla 45.** Zonas de transformación, unidades ecosistémicas, extensión del área y asentamientos

Zona	Ecosistema	Área (ha)	% zona	Barrio, Vereda o Resguardo
0	Natural de bosque denso alto de tierra firme	1020,0	57,8	N/A
	Ríos de aguas Transparentes de Piedemonte	66,8	3,8	N/A
I	Seminatural de vegetación secundaria o en transición	225,6	12,8	Resguardo Inga Mocoa, Vereda El Líbano, Vereda Las Palmeras, Vereda San Luis de Chontayaco, Vereda Villanueva.
	Transformado de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	71,5	4,1	
	Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales	217,2	12,3	
II	Transformado de tejido urbano continuo	93,3	5,3	Barrios Avenida 17 de Julio, Miraflores, Naranjito, San Agustín, José Homero (Bajo), José Homero (Alto), Pablo VI (Bajo), Pablo VI (Alto), Las Colinas, Las Acacias, Centro, José María Hernández, La Peña
	Transformado de tejido urbano discontinuo	70,5	4,0	
	<b>Total</b>	<b>1764,9</b>	<b>100,0</b>	

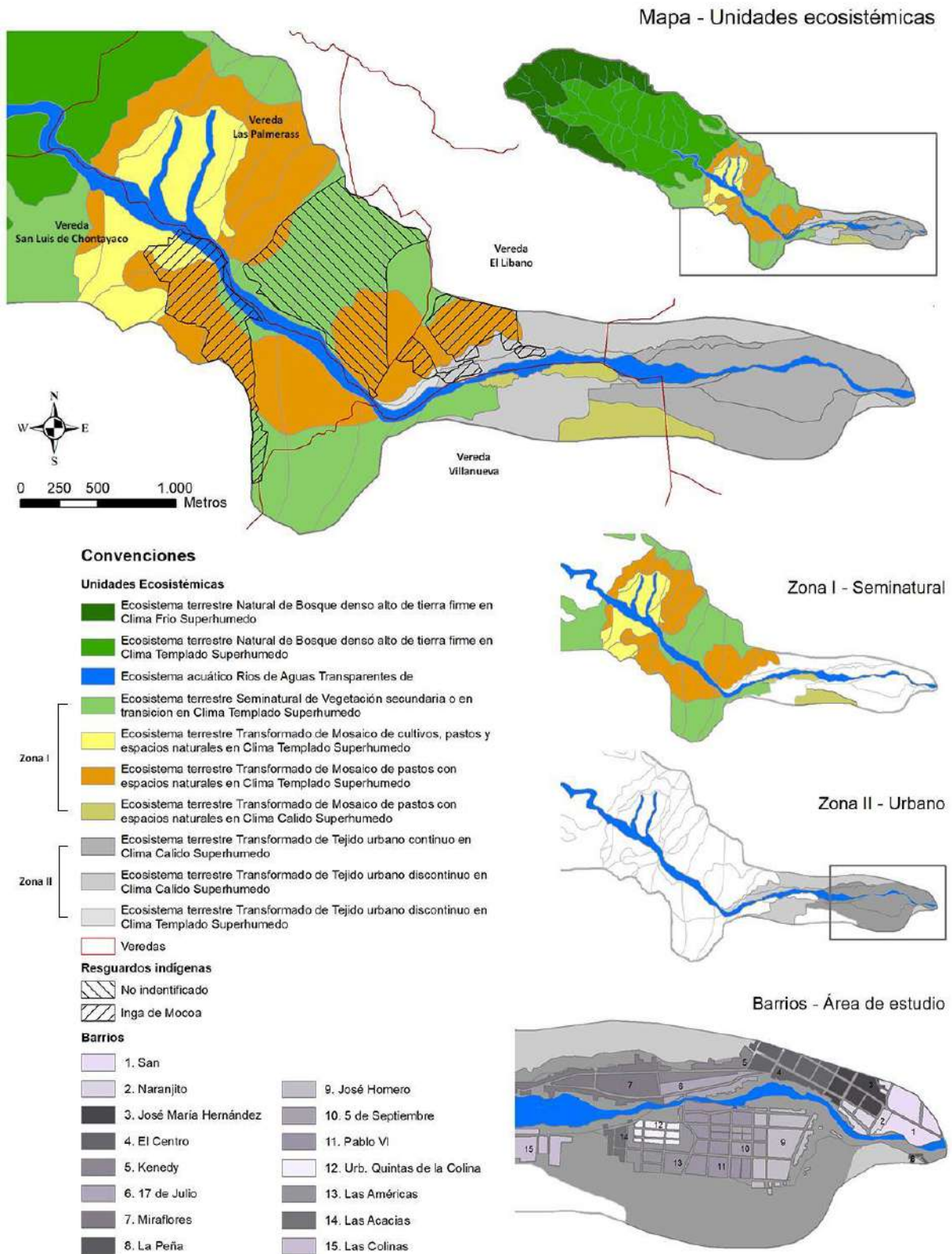


Figura 242 Mapa de unidades ecosistémicas y zonas de transformación actuales del río Mulato

### 6.3.2.3 Servicios ecosistémicos y análisis de actores de la ronda hídrica del río Mulato

#### Enfoque

Siguiendo el enfoque de la valoración sociocultural de los servicios ecosistémicos, para este estudio se describen, caracterizan y se evalúa la tendencia de los SE percibidos y usados por los pobladores locales. Los resultados son de alta funcionalidad para la toma de decisiones en la gestión de la biodiversidad y sus servicios. Asimismo, permite evaluar los beneficios para las presentes y futuras generaciones, a través de la identificación de los conflictos y actores que afectan las funciones de los ecosistemas y la resiliencia de estos mismos, causando la pérdida de la habilidad de seguir generando flujos de SE, por lo tanto, de beneficios para las poblaciones (Rincón-Ruiz *et al.* 2014).

Estos finalmente son elementos claves para la elaboración de políticas públicas en materia ambiental. En Colombia este tipo de políticas pueden verse reflejadas en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico -PNGIRH- (2010), en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos -PNGIBSE (2012)- y en la Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia (2002). De esta manera se resalta la importancia de los ecosistemas y su relación con el bienestar, mediante la incorporación de estos elementos en la normatividad nacional y los lineamientos para la gestión territorial a través de las diferentes herramientas de gestión.

De acuerdo a la PNGIBSE, los servicios ecosistémicos son categorizados según las funciones que cumplen: **1) Las funciones de regulación** hacen referencia a la capacidad natural y seminatural de los ecosistemas para la regulación de los procesos ecológicos que soportan la vida, por los beneficios indirectos en la calidad de vida humana como aire, agua, suelo y control biológico. **2) Las funciones de hábitat** se refieren a los ecosistemas que proveen refugio y hábitat de reproducción y contribuyen específicamente a la conservación biológica, diversidad genética y procesos evolutivos. **3) Las funciones de producción** están relacionadas a la fotosíntesis y nutrientes que son convertidos en energía por las plantas, además de los productos que son fuente de energía y construcción. Esta es relevante porque se convierte en muchos bienes para los humanos como alimentos y materias primas que son aprovechados en el hábitat natural, por ejemplo, mediante prácticas de cacería, pesca o extracción de materiales (mineral o forestal), o bien, a través de prácticas agropecuarias. **4) Las funciones de información-cultural** que son aquellas que aportan servicios de referencia del ecosistema y contribuyen al mantenimiento de la salud humana proveída por la reflexión, espiritualidad, desarrollo cognitivo, recreación y experiencia estética (de Groot, 2002; Rincón-Ruiz *et al.*, 2014).

Finalmente, para este estudio en particular, se agregan las funciones **5)** que son el resultado de la **Modificación del paisaje** por las acciones humanas, es decir, desde los cambios que hacen los pobladores locales de los ecosistemas debido a su relación histórica en el territorio, hasta las causadas por la construcción de obras de infraestructura, vivienda y adecuación de servicios públicos que impulsan las autoridades municipales y departamentales. Este tipo de funciones no suelen incorporarse en el marco de políticas ambientales, como lo muestra la PNGIBSE. Autores como de Groot (2002) que han venido trabajando en la definición y caracterización de los servicios ecosistémicos y sus funciones, explica que no se toman en cuenta este tipo de funciones dado que no suelen caracterizarse en términos de usos razonables y sostenibles, el cual es uno de los enfoques que está en varias políticas ambientales. Sin embargo, para la definición y discusión de las medidas de manejo y el acotamiento de la ronda hídrica es importante analizar las formas de asentamiento y uso del espacio, por lo que la función de Modificación del paisaje ofrece insumos valiosos que las otras categorías y funciones no permiten analizar las formas de ocupación del espacio.

Otras perspectivas, como la Andrade, Sandino y Aldan-Dominguez (2011) que parte del análisis de los servicios ecosistémicos, describen la importancia de identificar tales estructuras para así entender la importancia de la biodiversidad en regiones urbanas e industriales, por lo tanto no sólo las áreas naturales y seminaturales deben estar consideradas como espacios de gestión de la biodiversidad sino también las áreas urbanizadas, para así plantear a largo plazo medidas de manejo de enriquecimiento biótico, conectividad, drenaje, entre otros.

"En la transformación severa de los ecosistemas (minería, urbanismo, hidroenergía) no siempre es posible una gestión sostenible de la biodiversidad; la sociedad debe estar preparada para definir en estos casos aquello que está dispuesta a ganar y a perder" (Andrade, Sandino y Aldan-Dominguez, 2011)

### **ZONA DE TRANSFORMACIÓN I. SEMINATURAL Y ZONA ACUÁTICA CUENCA MEDIA**

Esta zona se ubica en la parte media de la cuenca del río Mulato y los ecosistemas que componen la zona Seminatural son: Vegetación secundaria o en transición, Transformado de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y Transformado de Mosaico de pastos con espacios naturales. En la zona Acuática cuenca media se encuentra el ecosistema de Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte Amazónico cuenca media (Ver Figura 242).

#### **Actores localizados en la ronda hídrica**

En la zona seminatural se ubica la población del resguardo Inga de Mocoa, la vereda El Líbano, la vereda Las Palmeras, la vereda San Luis de Chontayaco y la vereda Villanueva. La Ley 388 de 1997 establece el uso de suelo rural en dos categorías de uso: suelo rural y suelo suburbano.

El suelo rural lo constituyen terrenos no aptos para suelo urbano, por razones de oportunidad, dada su aptitud para actividades productivas de aprovechamiento de los recursos naturales. En este sentido, en esta categoría se encuentran la vereda San Luis de Chontayaco y Las Palmeras. Por otro lado, el suelo suburbano es conformado por aquellos terrenos en donde se integran modos de vida del campo y de la ciudad. A esta categoría pertenecen las veredas El Líbano y Villanueva con diferentes grados de configuración de lo rural y lo urbano.

A continuación se presentan breves descripciones de cada uno de los asentamientos ubicados dentro del área de influencia de la ronda hídrica. Es importante señalar que sólo los predios de las veredas de San Luis de Chontayaco y Las Palmeras hacen parte en su totalidad de la zona seminatural, mientras que una parte de los predios de las veredas de El Líbano y Villanueva están ubicadas en esta zona. Por otro lado, el resguardo Inga de Mocoa (resolución 027 de 10 de abril de 2003) hace parte del área de estudio dado que sus predios se ubican en vecindad con la vereda El Líbano y San Luis de Chontayaco<sup>6</sup>.

La vereda San Luis de Chontayaco, en 1968 obtiene la personería jurídica para la Junta de Acción Comunal y en la actualidad cuenta con una población de 144 habitantes.

La vereda Las Palmeras: Cuenta con una población de 25 habitantes.

Vereda El Líbano (occidente y noroccidente) en 1986 obtiene la personería jurídica para la Junta de Acción Comunal, en la actualidad cuenta con una población de 453 habitantes.

---

<sup>6</sup> Las figuras 252 y 260 muestran la parte del resguardo Inga de Mocoa que está dentro del polígono de la ronda hídrica del río Mulato, en tanto área con manejo especial. El polígono del resguardo se obtuvo a partir de datos oficiales de la Agencia Nacional de Tierras – ANT – Asuntos indígenas.

Vereda Villanueva: En 1979 obtiene la personería jurídica para la Junta de Acción Comunal, en la actualidad cuenta con una población de 805 habitantes.

Resguardo Indígena Inga de Mocoa: Se trata de un asentamiento disperso ya que sus predios no están conectados entre sí. Se constituyó mediante resolución 027 de 10 de abril de 2003 con 121 hectáreas. En la actualidad cuenta con 848 habitantes de la etnia Inga. Este resguardo según comentarios de los pobladores se encuentra en las inmediaciones de la vereda San Luis de Chontayaco, El Líbano y Villanueva <sup>7</sup> (Ver **Figura 242**).

### **Contexto histórico**

Desde la memoria de los pobladores, se hace referencia a un paisaje donde predominaban extensiones considerables de bosque de piedemonte amazónico, donde las riberas del río Mulato estaban rodeadas de vegetación y el caudal era más abundante de lo que es hoy en día. Recuerdan los habitantes de la zona que anteriormente el río no podía ser atravesado a pie, pues era muy profundo y sus aguas cristalinas corrían a gran velocidad. También se encontraban una serie de pozos naturales que eran aprovechados para las actividades asociadas a la pesca y la recreación. En tales descripciones se reconocen hechos que infieren la capacidad que tenía esta zona en ofrecer servicios de regulación, hábitat, producción e información.

Otros servicios de hábitat y producción fueron reconocidos, en los relatos de los habitantes de estas veredas<sup>8</sup> se describe como gran parte de los alimentos consumidos por los hogares provenían del río y el bosque. Diversas especies de peces se encontraban en las jornadas de pesca, tales como: cucha, sábalo, barbudo, sardina, bocachico, dorada y picalón, entre otros, que abundaban a lo largo del río Mulato. Así mismo, la carne de monte se consumía con frecuencia: guaras, borugas, armadillos e incluso dantas, hacían parte de la dieta. En este sentido, se reconoce que anteriormente la presencia y diversidad biológica de la fauna era mayor, tanto así que se recuerdan con nostalgia<sup>9</sup> los corredores de las dantas y los jaguares en la parte media y alta de la cuenca.

Por otra parte, en relación a la producción, desde las primeras décadas del siglo XX los fundadores de estas veredas se dedicaban principalmente a las labores agrícolas. Entre sus cultivos se destacaban productos tales como: caña de azúcar, plátano, yuca y maíz, entre otros. Vale la pena señalar que la caña de azúcar jugó un papel fundamental en esta zona ya que la panela producida era vendida a la Industria Licorera del Putumayo, en funcionamiento desde 1920 hasta 1995. Esta actividad generaba buena parte de los ingresos de los hogares y del municipio.

Una industria muy importante para la producción de alimentos fue la ganadería, desarrollada en fincas que se extendieron a las riberas del río, en la margen norte desde la vereda Las Palmeras hasta el barrio Avenida 17 de Julio y en la margen sur desde la vereda de San Luis de Chontayaco hasta la desembocadura del río Mulato en el río Mocoa. Aquellas familias que no poseían grandes extensiones de terreno trabajaban como jornaleros en las fincas y las ramadas, según recuerdan los habitantes de esta zona. La extensión de estos terrenos era tal que algunas fincas sobrepasaban las 40 hectáreas y en ocasiones se extendían hasta el curso del río.

Por aquel entonces ninguno de los hogares contaba con servicio de agua, ni energía eléctrica (a excepción del centro de la ciudad). El comercio era apenas incipiente y gran parte de los alimentos

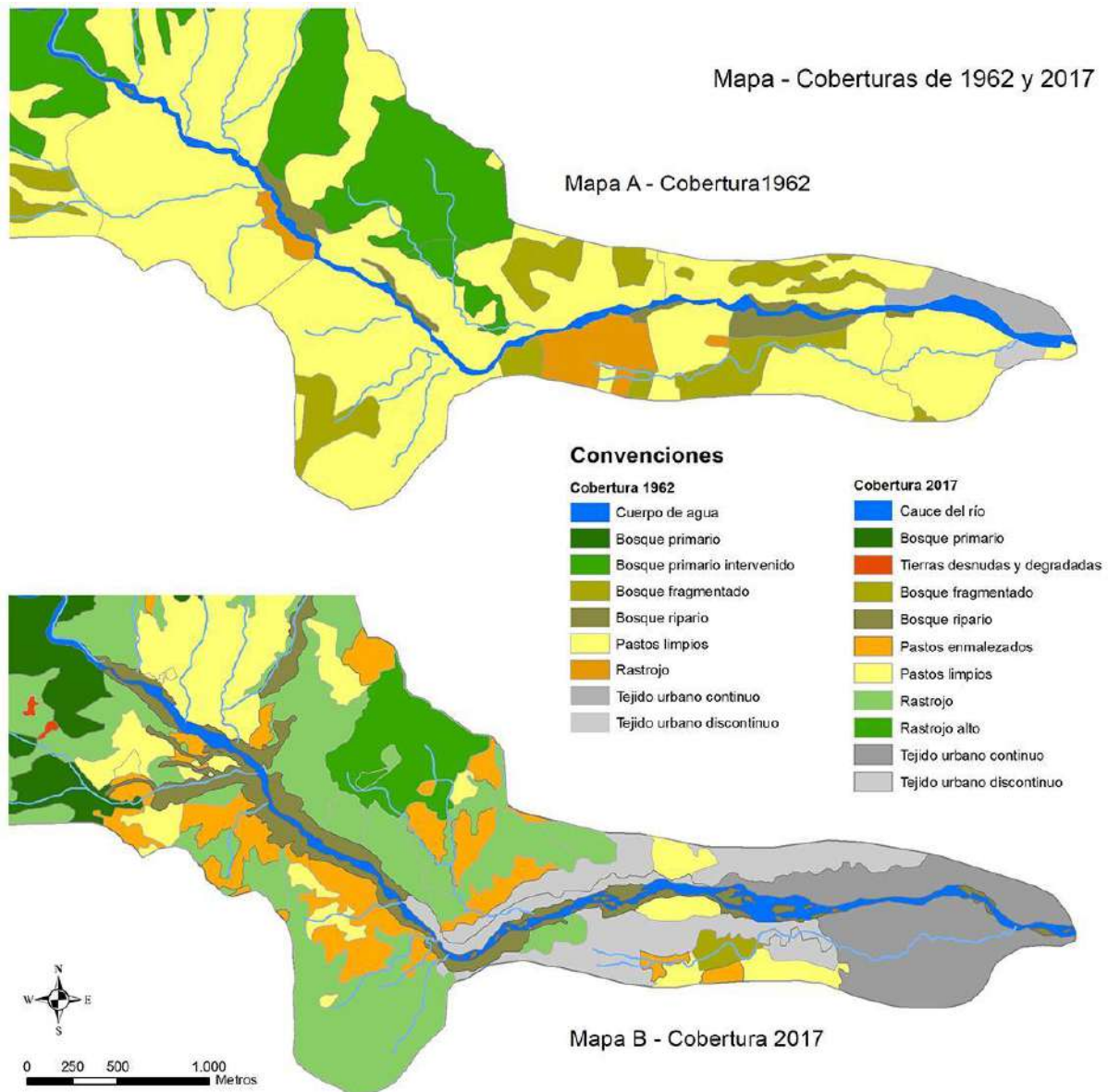
---

<sup>7</sup> Datos tomados de Informe Estadístico SISBEN - Municipio de Mocoa, 2017.

<sup>8</sup> Para consultar información más detallada sobre los cambios en el paisaje desde las percepciones de los pobladores locales puede consultarse el Anexo 14 Historia Socio-ambiental río Mulato

<sup>9</sup> Memorias del taller de historia socioambiental con los pobladores de la vereda El Líbano. Junio de 2017.

consumidos por los habitantes de la zona provenían de sus cultivos y los recursos que ofrecía el medio. La madera que recolectaban del bosque, los rastrojos y el río era el combustible con el cual se preparaban los alimentos, reconociendo por parte de los pobladores otro servicio de producción de estos bosques. Con la expansión del área urbana de Mocoa, la predominancia de las fincas y, por ende, la deforestación, las actividades relacionadas con productos tomados directamente de la naturaleza como la cacería, extracción de madera y leña disminuyeron drásticamente (Ver **Figura 243**). Al respecto, el señor Álvaro Muchavisoy recuerda que “...antiguamente se encontraba en estas partes bosques ‘ancestrales’ primarios, que en la cercanía de Mocoa solo se encuentra aún en la cuenca del río Rumiyaco” (entrevista, 2017).



**Figura 243** Mapa de coberturas 1962 y 2017, basado en las fotos aéreas del IGAC (1962) y Geospatial (2017)

En el marco de la segunda mitad del siglo XX, la producción de panela se vio afectada por el declive de la Industria Licorera por la entrada de panela proveniente de Pitalito y el descenso de los precios. Del mismo modo, buena parte de las fincas ganaderas fueron vendidas abriendo el paso a la parcelación.



Por este tiempo, la finca raíz se convirtió en una actividad económica importante asociada a la expansión y crecimiento urbano de Mocoa.

Otro hecho importante, aunque más reciente, tiene lugar en la década de los años 90, cuando el cabildo Inga de Mocoa por medio del entonces INCORA compraron terrenos para la conformación de su resguardo en la parte media de la cuenca, limitando con la vereda de El Libano y San Luis de Chontayaco. El paisaje en estos predios de los cabildos ha experimentado un proceso de regeneración natural que lo ha convertido en bosque secundario y rastrojos, en contraste con el paisaje que se encontraba en décadas anteriores de pastos limpios y cultivos de caña panelera. Por lo tanto, los servicios provistos por modificación del paisaje presentan dos tendencias, por un lado el desarrollo de nueva infraestructura y construcción de vivienda y por el otro la regeneración natural de los bosques en el resguardo indígena.

**Tabla 46** Cambio de coberturas entre 1962 y 2017. Fotos aéreas del IGAC (1962) y Geospatial (2017)

	<b>Coberturas</b>	<b>1962 Área (ha)</b>	<b>1962 Área (%)</b>	<b>2017 Área (ha)</b>	<b>2017 Área (%)</b>	<b>Cambio Área (ha)</b>	<b>Cambio Área (%)</b>
1	Bosque fragmentado	72,2	4,1	5,4	0,3	-66,8	-3,8
2	Bosque primario	932,4	52,8	1.034,8	58,6	102,4	5,8
3	Bosque primario intervenido	193,5	11,0	-	-	-193,5	-11,0
4	Bosque ripario	17,2	1,0	28,5	1,6	11,3	0,6
5	Cauce río Mulato	31,8	1,8	43,4	2,5	11,6	0,7
6	Pastos enmalezados	-	-	82,1	4,6	82,1	4,6
7	Pastos limpios y cultivos	479,4	27,1	111,6	6,3	-367,8	-20,8
8	Rastrojo	23,6	1,3	254,3	14,4	230,7	13,1
9	Rastrojo alto	-	-	40,1	2,3	40,1	2,3
10	Tejido urbano continuo	13,5	0,8	80,2	4,5	66,7	3,8
11	Tejido urbano discontinuo	2,8	0,2	79,8	4,5	77,1	4,4
12	Tierras Desnudas y Degradadas	-	-	6,0	0,3	6,0	0,3
	<b>Total general</b>	<b>1.766,3</b>	<b>100,0</b>	<b>1.766,3</b>	<b>100,0</b>		

Entre 1962 y el año 2017 el cambio de las coberturas ha sido evidente, se infiere como un fenómeno concomitante relacionado con los procesos de colonización, las dinámicas económicas entre las que se destaca la implementación de cultivos y de espacios para ganadería, así como la apertura de la carretera y la constitución del resguardo indígena Inga-Mocoa. Respecto a estas transformaciones, los pastos limpios y cultivos han disminuido en un 20,8% para un total de 367,8 ha, de las cuales 230,7 ha se han convertido en rastrojo. Este fenómeno de recuperación de los bosques, genera beneficios en términos ecológicos y económicos, ya que permiten el crecimiento de árboles frutales, plantas medicinales y de otras especies que ofrecen alimento y espacio a la fauna local, recuperando así la conectividad y la biodiversidad local. Estos espacios abiertos y de luz, acumulan biomasa rápidamente en los primeros 20 o 30 años, lo que hace que se incremente la captura de carbono atmosférico y se amplie el potencial para contrarrestar el efecto invernadero (CIFOR, 1997). Por otra parte, tales condiciones permiten

además la implementación de sistemas agroforestarles multipropósito, diversas formas de turismo y el sostenimiento de zonas de amortiguación de áreas protegidas.

En cuanto a la expansión urbana, las áreas de tejido urbano continuo y discontinuo aumentaron de 16,3 a 160 ha en un período de 55 años. En la actualidad se observa la tendencia de construcción de viviendas sin espacios verdes, condiciones que generan impermeabilización de los suelos, así como pérdida de conectividad entre áreas boscosas.

### **Servicios ecosistémicos y actores beneficiarios**

A continuación, se presentan los servicios ecosistémicos percibidos actualmente por los pobladores locales, en el marco de las funciones de regulación, hábitat, producción, información y modificación del paisaje.

Es importante señalar que hay servicios ecosistémicos no reconocidos por los pobladores, dado que desde el trasfondo sociocultural de la población, campesina y rural, se prioriza ciertos servicios sobre otros.

### **Regulación**

Los pobladores reconocen la capacidad del río para proveer agua de calidad, identificando la zona alta del río Mulato como un lugar estratégico, razón por la que se han ubicado las bocatomas de los acueductos de Mocoa. Sin embargo, el acceso a este servicio por parte de los pobladores de las áreas urbanas y rurales se realiza a través de acueductos veredales y de la empresa Aguas Mocoa S.A E.S.P, de esta manera la descripción del uso y acceso se describen en la función de producción en el siguiente apartado.

Otro de los servicios de regulación reconocido por los pobladores de la zona, es la capacidad de descontaminación (autodepuración) de las aguas por parte del Río Mulato, a través del transporte de las aguas residuales a lo largo del río. Este beneficio es registrado por 17% de pobladores encuestados en la zona de estudio y mencionados en entrevistas por los pobladores. Asimismo, mencionan la prevención de disturbios cuando reconocen la capacidad del río para controlar sus aguas por su dinámica con la vegetación ribereña, que apoya en el control de cauce y evita riesgos de inundación y de derrumbe. Estos servicios son provistos especialmente por áreas con árboles de Chíparo y Cachimbo dadas sus cualidades de enraizamiento en el suelo que generan barreras naturales de control del cauce. Tales percepciones de los habitantes coinciden con estudios como los realizados por Kutshcker y colaboradores (2009) que mencionan como los ríos, los suelos y su vegetación asociada cumplen la función de regulación de los disturbios y depuración generando baja erosión.

Los pobladores ribereños no sólo reconocen los servicios de tratamiento de descontaminación y prevención de disturbios, sino también la disminución de estos servicios mediante la percepción de la disminución de pesca y áreas de recreación, así como la identificación de riesgos de pérdidas de humanas y de patrimonio relacionado con las viviendas construidas sobre las riberas del río, que indican que el sistema hídrico es cada vez menos resiliente para soportar condiciones atípicas dado el incremento de sus niveles de intervención antrópica.

Por último, los pobladores identifican en el ecosistema terrestre la capacidad de formación del suelo y el ciclado de nutrientes que facilita la producción de alimentos a través de cultivos, huertos, solares y ganadería. La formación del suelo por lo tanto beneficia a los productores y familias del área de estudio. Por ejemplo, en la vereda Las Palmeras y el barrio Miraflores el suelo de las islas del río Mulato es usado para el cultivo de caña, dado los nutrientes que aporta el río a estas áreas, según los pobladores locales (ver **Tabla 47**).

**Tabla 47** Funciones de regulación zona seminatural y cuenca media.

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos bajo valoración sociocultural
<b>Regulación</b>	<b>Mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y soporte de sistemas de vida</b>	
<b>Ecosistema acuático</b>		
Calidad de agua	Capacidad de suministrar agua potable naturalmente	1. Acceso a agua potable por las bocatomas de acueductos veredales o
Tratamiento de descontaminación	Capacidad de reciclaje	2. Capacidad de descontaminación del agua.
Prevención del disturbio	Regulación hídrica.	3. El rol de la vegetación de ribera para el control del descargue hídrico
<b>Ecosistema terrestre</b>		
Prevención de disturbio	Retención del suelo.	4. Prevención de derrumbes por presencia de parches de bosque.
Formación del suelo	Desgaste de rocas, acumulación de materia orgánica	5. Mantenimiento de suelo para la agricultura.

### **Hábitat**

La función de hábitat se identifica en el momento en que los pobladores señalan al río como “fuente de vida” y describen la presencia de aves como búhos, guacharacas, loros, entre otros, que recorren las áreas cercanas al río; mamíferos como armadillos, micos maiceros o frailes y peces como picalón, barbudo, cucha, sardina, dorado, bocachico y curinta. Por lo tanto se infiere la existencia de zonas de refugio y áreas de alimentación para la diversidad biológica local en los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Algunos pobladores relataron la importancia de las pequeñas áreas arborizadas que se encuentran en los solares de las casas y fincas, como corredores de animales hacia las zonas altas de la cuenca del río Mulato donde se encuentra un bosque denso. Estas observaciones de los habitantes coinciden con

la literatura, donde se describe como los ríos son rutas importantes en la dispersión de plantas y animales y corredores para especies migratorias (Gregory *et al.* 1991). Ver **Tabla 48**.

**Tabla 48.** Funciones de hábitat zona seminatural y zona acuática cuenca media.

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos bajo valoración sociocultural
<b>Ecosistemas terrestre y acuático</b>		
<b>Hábitat</b>	<b>Provisión de hábitat para especies de plantas y animales silvestres</b>	
Refugio	Espacio de vivienda para plantas y animales silvestre	1. Mantenimiento de diversidad biológica y genética.
Reproducción	Espacios de reproducción	2. Zonas de importancia reproducción de

### **Producción**

Los pobladores reconocen el suministro de agua como uno de los servicios ecosistémicos principales de producción. Los pobladores rurales se benefician a través de tres acueductos veredales, en dos de los cuales la captación se hace de manera artesanal en afluentes cercanos abasteciendo a las veredas San Luis de Chontayaco y El Líbano; y otro directamente en el río Mulato que abastece a la vereda Villanueva. Mientras que los pobladores de la zona Urbana ubicados en los barrios centro y sur del municipio se abastecen por dos bocatomas de la empresa Aguas Mocoa S.A E.S.P. ubicadas sobre el río Mulato.

Las tres captaciones artesanales no poseen concesiones por CORPOAMAZONIA y son administradas por los mismos pobladores. Sin embargo, la captación que abastece a la vereda Villanueva a diferencia de las otras comprende una bocatoma y red de distribución. Su cobertura beneficia a 125 familias y su administración la ejecuta la Junta Administradora del Acueducto de la Junta de Acción Comunal. Esta vereda se caracteriza por su sistema organizativo en la gestión del suministro de agua y por sus redes de comunicación en trabajos comunitarios como mingas. Lo anterior como respuesta a la falta de cobertura y acceso a servicios públicos del municipio.

El agua captada por la empresa Aguas Mocoa S.A. E.S.P, con concesión por CORPOAMAZONIA, cuenta con dos sistemas de abastecimiento. Un sistema de captación localizado en la vereda Las Palmeras, el cual comprende un desarenador, una planta de tratamiento llamada “Mulata”, tanques y redes de abastecimiento. Este sistema no cuenta con permiso de vertimientos de residuos líquidos y sólidos generados en el proceso de potabilización. Por otro lado, el sistema de captación localizado en la vereda El Líbano cuenta con un sistema desarenador y tanque de almacenamiento, y no posee planta de potabilización, por lo tanto, el agua suministrada es cruda. La calidad del agua para los dos sistemas, es considerada no apta para consumo humano debido a los riesgos asociados a la salud (Superintendencia, 2016).

La distribución y cobertura del primer sistema “Mulata” abastece al suroccidente de la zona urbana de Mocoa con 3265 usuarios. Los barrios de la zona de estudio que hacen parte de esta red son: Pablo VI

(Bajo y Alto), José Homero (Bajo y Alto), al 50% del barrio Avenida 17 de Julio, Las Colinas y Las Acacias. Por otro lado el sistema Líbano abastece a la zona centro con 2647 usuarios. Los usuarios del área de estudio son: Miraflores, 50 % de la Avenida 17 de Julio, Barrio Centro, La Peña, José María Hernández, Naranjito y San Agustín.

En relación a la percepción del suministro de agua como beneficio, el 25% de las personas encuestadas en El Líbano y el 11.1% de Villanueva identificaron el suministro de agua como servicio importante para las actividades productivas y el 99% de las encuestas indican que reciben agua suministrada por la bocatoma en Las Palmeras.

Otras funciones de producción en esta área son solo actividades esporádicas como la cacería y la pesca que son productos tomados directamente de la naturaleza. En la actualidad, algunos pobladores de las veredas El Líbano y San Luis de Chontayaco cazan animales pequeños como boruga, guara y armadillo, especies que son comunes en los rastrojos y solo algunas familias pescan en el río Mulato y sus brazuelos. Se destacan algunas especies como picalón, cucha, curunta y camarones. Sin embargo en la actualidad se puede considerar que estas actividades no hacen parte de los modos de vida, al parecer, por las condiciones actuales de la estructura ecosistémica afectada por la contaminación del río, disminución del caudal y de las áreas boscosas.

Los servicios de producción relevantes por su aporte a la economía familiar son los cultivos de caña, café, yuca y plátano en las veredas San Luis de Chontayaco, Las Palmeras, El Líbano y Villanueva. El procesamiento de la caña para la producción de panela es una fuente de ingresos para algunos hogares, en conjunto con la venta de los otros productos en el mercado local.

La piscicultura, avicultura y ganadería a pequeña escala son otra fuente de ingresos para los habitantes rurales. Por otra parte, se puede destacar la disminución de la actividad ganadera de doble propósito (carne y leche) en las últimas décadas. La piscicultura se concentra en la vereda El Líbano y en Villanueva con pequeños estanques con tilapia, sábalo y bocachico.

La extracción de madera y leña está condicionada actualmente a la regulación y normatividad de CORPOAMAZONIA, sin embargo, hay proyectos de la misma autoridad ambiental con los resguardos indígenas de provisión de madera certificada de otras áreas para evitar la tala indiscriminada. Ver **Tabla 49**.

**Tabla 49.** Funciones de producción zona seminatural y zona acuática cuenca media.

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos
<b>Producción</b>	<b>Provisión de recursos naturales</b>	
<b>Ecosistema acuático</b>		
Alimentación	Conversión de energía solar en animales silvestres.	1. Pesca.
Suministro de agua	Filtración, retención y fuente de agua.	Provisión de agua potable, riego e industria. 2-4. captaciones artesanales veredales 5. Captación Aguas Mocoa S.A. para habitantes de la zona urbana.

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos
		6. Acuicultura 7. Ganadería
<b>Ecosistemas terrestres</b>		
Alimentación	Conversión de energía solar en plantas comestibles y animales silvestres.	8. Cacería.
Alimentación	Conversión de energía solar en plantas comestibles y animales domesticados	9. Avicultura. 10. Acuicultura. 11. Huertos. 12. Ganadería. 13. Agricultura.
Medicina	Conversión de energía solar en productos para la salud y el bienestar	14. Productos de origen vegetal que son usados con conocimientos locales para la curación de enfermedades
Materias primas	Conversión de energía solar en biomasa para construcción y otros usos	15. Energía. Leña y madera construcción. 16. Insumos vegetales.
Otras materias primas	Otras materias primas de la degradación de rocas	17. Minería balastro.

### **Información - cultural**

En cuanto a la función de información, se reconoce el aporte para los pobladores de información estética y de recreación en las zonas altas del río y en los caminos veredales para recorridos en bicicleta de montaña. En términos educativos, se usa el espacio como aula para escuelas locales como en el caso del barrio Miraflores. Autores como de Groot *et al.* (2012), reivindican la importancia de los paisajes por sus funciones estéticas, éticas sociales, belleza, diversificación del paisaje, como potenciales para la educación y formación de espacios de recreación. Se destaca que los pobladores mencionaron reiterativamente la disminución de los servicios de recreación por factores tales como la contaminación, la disminución de caudal y la canalización del río (ver **Tabla 50**).

**Tabla 50.** Funciones de información zona seminatural y zona acuática cuenca media.

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos bajo valoración sociocultural
Información	Provisión de oportunidades para el desarrollo cognitivo	
Información estética	Características atractivas del paisaje	1. Paisaje del río.
Recreación	Variedad de paisajes con potencial de uso recreacional	2. Paisaje río. 3. Zonas verdes veredales.
Educación	Educación ambiental de instituciones educativas	4. Educación ambiental.

### **Modificación del paisaje**

La modificación del paisaje es reconocida y valorada como un servicio que genera bienestar a través de la disposición del suelo para la construcción de infraestructura como viviendas y adecuación de servicios públicos.

En esta zona la distribución espacial de las viviendas es dispersa con espacios verdes entre sí, pequeños solares y en pocos casos infraestructura de piscicultura, avicultura y ganadería Ver **Tabla 51**.

**Tabla 51.** Funciones de información zona seminatural y zona acuática cuenca media

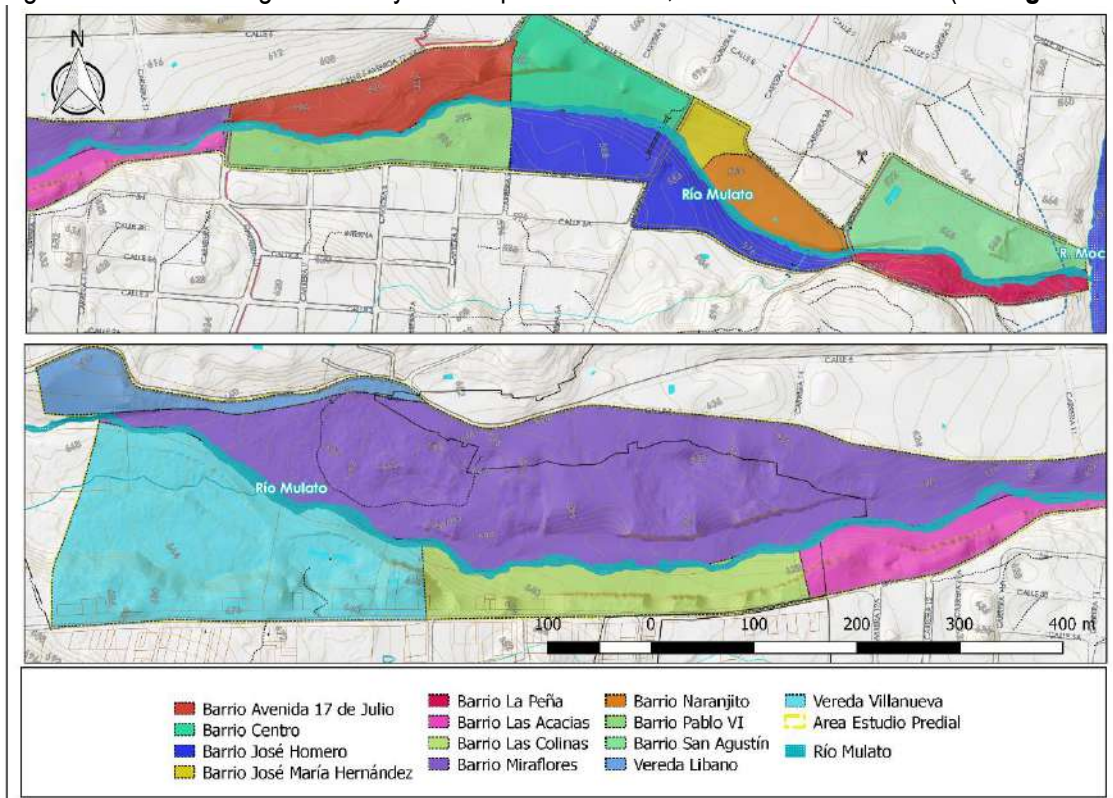
Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos bajo valoración sociocultural
Modificación del paisaje	Otras funciones que provee bienestar a la población que surgen de la modificación del paisaje y del ecosistema.	
Áreas de vivienda	infraestructura destinada a vivienda	1. La infraestructura de vivienda y negocio es un beneficio relevante que ha proporcionado el área.
Infraestructura	Otra infraestructura	2. Las carreteras y puentes, servicios de energía y agua que generan bienestar a la población local.

## ZONA DE TRANSFORMACIÓN II. ZONA URBANA Y ZONA ACUÁTICA CUENCA BAJA

Esta zona se ubica en la parte baja de la cuenca del río Mulato y los ecosistemas que la componen son: Ecosistema terrestre Transformado de Tejido urbano discontinuo, Ecosistema terrestre Transformado de Tejido urbano continuo y Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte Amazónico cuenca baja (Ver Figura 242).

### Actores localizados en la ronda hídrica

La Ley 388 de 1997 establece una serie de categorías de uso del suelo, tales como: suelo urbano, suelo de expansión urbana, suelo rural, suelo suburbano, suelo de protección y espacio público urbano. Algunas de estas categorías incluye áreas para comercio, residencial e industrial (ver Figura 244).



**Figura 244** Barrios y veredas zona urbana continua y discontinua

En el área suburbana se ubican parte de las veredas El Líbano y Villanueva donde se entremezclan los modos de vida del campo y de la ciudad.

En el área urbana se ubican los barrios: Avenida 17 de Julio, Miraflores, Naranjito, San Agustín, José Homero (Bajo), José Homero (Alto), Pablo VI (Bajo), Pablo VI (Alto), Las Colinas, Las Acacias, Centro, José María Hernández y La Peña. Estos barrios se dividen en centro, oriental y sur.

En la parte central se ubican barrios de uso mixto (residencial y comercial) e institucional. Allí se concentra gran parte del patrimonio cultural y arquitectónico del municipio, como se evidencia en las construcciones que actualmente son usadas para la administración municipal. Los siguientes barrios hacen parte de esta zona:

**Barrio Centro.** Con personería jurídica de 1966, sus principales usos son: el residencial para una población de 463 habitantes y con predios para uso institucional y mixto.



**Barrio José María Hernández.** Se funda y crea la personería jurídica en 1975. Sus principales usos son el institucional y comercial. Sin embargo cuenta con una población residente de 139 habitantes.

**Barrio San Agustín.** Con personería jurídica en 1965, sus principales usos son el residencial para 2310 habitantes, de recreación por sus instalaciones deportivas e institucionales por un centro educativo bilingüe indígena Kamsa. En la actualidad en el sector cerca al río Mulato se encuentra la Casa de la Justicia como espacio institucional.

**Barrio Naranjito.** Se funda y crea la personería jurídica en 1991. Su población actual es de 343 habitantes.

En la zona oriental del municipio se ubican barrios de uso mixto, la dinámica residencial y económica de la población se condiciona por la avenida 17 de julio.

**Barrio Avenida 17 de Julio.** Se funda y crea la personería jurídica en 1963. Su principal uso es de carácter mixto con predominio del uso comercial y residencial para 139 habitantes.

**Barrio Miraflores** Se funda y crea la personería jurídica en 1974. En la actualidad tiene su principal uso de carácter mixto donde predomina el uso residencial para una población de 953 habitantes.

En la zona sur se ubican barrios de uso residencial y mixto.

**Barrio José Homero (Bajo).** Se funda y crea la personería jurídica en 1998. Este asentamiento es puente de comunicación entre el sur y el centro. El origen de este asentamiento se remonta a un proceso de lucha por acceso a la tierra por parte de población indígena. En la actualidad tiene uso mixto predominantemente comercial y uso residencial con una población de 1262 habitantes.

**Barrio José Homero (Alto).** La segunda etapa se crea unos años después, y en la actualidad se encuentran un centro educativo construido por la embajada de Japón y una sede la fundación Batuta. Además es el lugar de un cabildo indígena, un centro de recreación y de encuentro. También tienen áreas mixtas donde predomina el uso residencial con una población de 998 habitantes.

**Barrio Pablo VI (Bajo).** Se funda y crea la personería jurídica en 1984. Unos años después se crea la parte alta. Su uso principal es residencial y contaba con una cancha deportiva usada como sitio de recreación que se vio afectada por la avenida fluvio-torrencial del año 2017. En la actualidad cuenta con una población de 203 habitantes.

**Barrio Pablo VI (Alto).** Su uso principal es el residencial para 984 habitantes en la actualidad. Además tiene una vía de acceso a la carretera hacia el río Rumiayaco, como zona de recreación.

**Barrio Las Acacias.** Se funda y crea la personería jurídica en el 2000. Se encuentra ubicado sobre la carretera que comunica al centro de Mocoa con la vereda de Villanueva. Su uso principalmente es residencial para 345 habitantes.

**Barrio Las Colinas.** Se funda y crea la personería jurídica en 2012. Este asentamiento hacía parte de la Vereda Villanueva y en los últimos años se consolidó como un área de expansión urbana. El uso principal es el residencial con viviendas de dos o tres pisos y se caracteriza por el mercado inmobiliario.

**Barrio La Peña.** Se funda y crea la personería jurídica en 2001. Se ubica en la desembocadura del río Mulato en el río Mocoa. Su uso principal es residencial con viviendas precarias, con 310 habitantes en la actualidad<sup>10</sup>.

### Contexto histórico

Esta zona de transformación está compuesta por las áreas urbanas continua y discontinua. Para comprender aspectos tales como la ocupación del espacio, las actividades que aquí se desarrollan, las problemáticas y algunos de los aspectos generales de sus habitantes, es necesario entender el proceso de expansión urbana que ha sufrido Mocoa a lo largo del siglo pasado. Sobre este último punto se realizará una descripción cronológica que da luces sobre el crecimiento de los barrios que se han asentado sobre las márgenes del río Mulato.

Durante la primera década del siglo XX Mocoa se trasladó desde lo que hoy en día se conoce como la vereda de Pueblo Viejo hacia las inmediaciones de los ríos Mulato y Sangoyaco, el lugar en donde se encuentra desde entonces. Durante las dos primeras décadas, los misioneros Capuchinos se concentraron en la consolidación de este centro poblado incentivando la colonización desde otras regiones del país, principalmente de Nariño. Se destaca la construcción de la vía denominada “El camino viejo” que conectaba a Mocoa con Pasto. Por estos años, la población se concentraba en torno a la capilla construida por los misioneros; los habitantes, indígenas y colonos, se dedicaban principalmente a las actividades ligadas al cultivo de la tierra y al aprovechamiento de los servicios tales como la pesca y la cacería. Es importante resaltar que por estos años ingresaron las primeras cabezas de ganado y se puso en marcha la Industria Licorera del Putumayo, abriendo camino a la apertura de fincas ganaderas y a los cultivos de caña, respectivamente. Denotando las nuevas prácticas entorno a la producción de alimentos y uso de la tierra.

El conflicto Colombo-peruano marcó el curso de los años 30 y 40. La necesidad del Estado de hacer presencia en estas zonas de frontera ante la amenaza del ejército peruano impulsó la construcción de la vía nacional conocida como “El trampolín de la muerte”. Esta nueva vía incentivó la llegada de colonos, otras formas de comercio en donde desde las tierras altas se transportaba comida para los soldados hasta la parte baja del Putumayo y a través de esta llegaron los primeros automóviles a Mocoa. Por estos años el centro poblado se expandió desde el centro hacia la parte baja del río con la fundación del barrio San Agustín y hacia la parte media con la expansión del barrio La Cadena. El surgimiento de San Agustín se asocia a la presencia del batallón Codazzi y su aporte en la construcción de la primera cancha de fútbol, alrededor de la cual se conformó el barrio. Entretanto, la nueva vía atravesaba el barrio La Cadena, situándolo como un espacio importante de la ciudad.

Durante la década de los años cincuenta los barrios presentes continuaron su expansión y aparecieron nuevos asentamientos como Miraflores arriba del barrio La Cadena, este crecimiento urbano empezó a desplazar a las fincas y pastizales presentes en esta área. Por este entonces, el centro de Mocoa ya contaba con suministro de luz eléctrica: una turbina, impulsada con el agua del río Mulato abastecía este servicio entre las seis y las diez de la noche. Con el paso de los años sesenta el área urbana de Mocoa sobre la margen izquierda del río Mulato -aguas abajo- se expandió de forma significativa.

Sobre la margen derecha del río –aguas abajo- surgió el barrio Pablo VI en los predios que pertenecían a la misión. Desde la llegada de los Capuchinos estos terrenos estaban consagrados a la ganadería,

---

<sup>10</sup> Fuente: Juntas de Acción Comunal - Barrios Mocoa. Organismo Comunales de primer grado del Municipio de Mocoa. <https://www.datos.gov.co/dataset/Juntas-de-Acci-n-Comunal-Barrios-de-Mocoa/dvdz-8hvg/data>

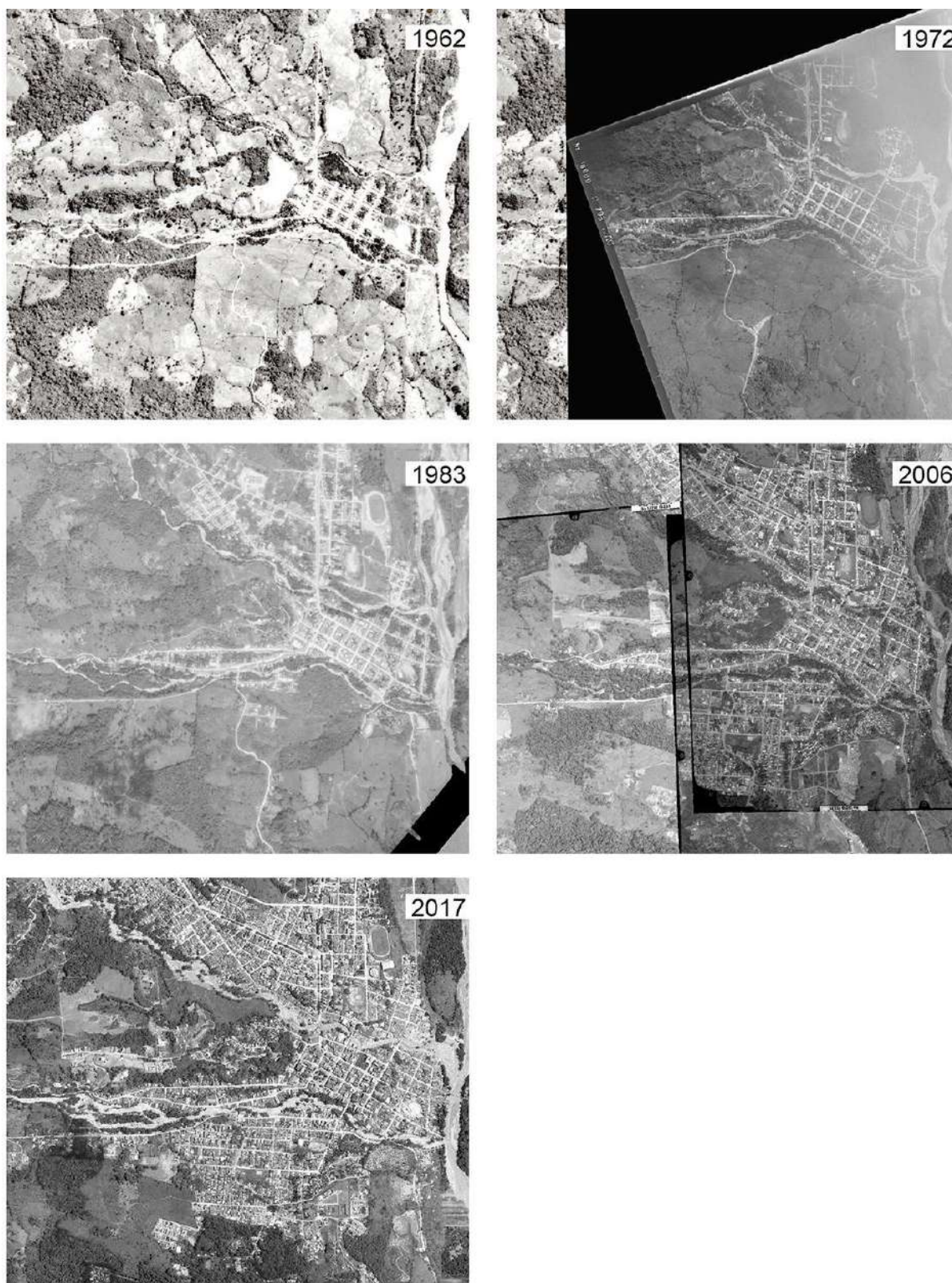
pues de esta actividad dependía una parte de los ingresos que sostenían las labores misioneras. Las primeras viviendas construidas tomaron el nombre de Pablo VI bajo y sentaron las bases para la ocupación de la parte alta de esta ribera a lo largo de la década de los años 70 (Pablo VI alto).

A mediados de los años 80 los predios de la misión que hasta el momento estaban deshabitados fueron invadidos por indígenas Inga, Kamëntsa y Siona, entre otros, liderados por José Homero Mutumbajoy. Este evento marcó el inicio de la ocupación de los predios que hoy en día se conocen como los Saucos, las Américas y Los Libertadores. Durante la década de los años 90 estos nuevos asentamientos crecieron rápidamente. Del mismo modo, nuevas viviendas que hacen parte de Villanueva se expandieron desde la parte alta hacia el área aledaña al río Mulato.

Diversos fenómenos tales como la apertura de vías de comunicación: el Camino viejo en 1912, el Trampolín de la muerte en 1944 y la vía que comunica Mocoa con Pitalito en 1991; los proyectos de colonización dirigida impulsados por el Estado y las misiones; las actividades económicas asociadas a la extracción de recursos; las regalías producidas por la explotación petrolera; la bonanza cocalera; la intensificación del conflicto armado y, con él, el desplazamiento forzado, entre otros aspectos, han sido claves y de una u otra forma han influido en la configuración de este centro poblado. El río Mulato puede ser visto como un eje central sobre el cual se han tejido y ampliado estos asentamientos humanos a lo largo de los años. Aquello que en las primeras décadas del siglo XX estaba compuesto por áreas boscosas, fincas, cultivos y solares, hoy en día es principalmente un espacio residencial con escasas zonas arborizadas.

Por otra parte, en cuanto a las funciones de regulación y recreación, durante la primera mitad del siglo XX, las familias de los barrios asentados en esta área usaban el agua del río para su consumo diario. Así mismo, a lo largo de este curso de agua las mujeres llevaban a cabo labores de lavandería y muchas de ellas obtenían algún tipo de ingresos por esta actividad. De acuerdo a los relatos de los habitantes del sector, el río contaba con pozos hondos que eran frecuentados por los jóvenes y las familias como un espacio de recreación. A la altura del puente del barrio Miraflores existía uno de los sitios de baño más famosos.

El incremento de las viviendas en el área urbana durante la segunda mitad del siglo XX (ver **Figura 245**) implicó el aumento de los vertimientos de aguas residuales conducidos directamente al curso del río. Este fenómeno es reconocido como una de las principales causas de contaminación del agua y una de las razones por las cuales se limitó la pesca, el lavado de ropa y la recreación en este espacio. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta son las obras de mitigación y canalización que han modificado los brazuelos y pozos con los que antiguamente contaba este río (**Anexo 14**). De esta manera, los hechos históricos revelan las continuas modificaciones a la estructura y dinámica de los ecosistemas que influyen los servicios de regulación como el suministro de agua, capacidad de descontaminación y prevención de disturbios.



**Figura 245** Crecimiento urbano Mocoa 1962-2017. Fuente: fotos aéreas adaptadas del IGAC (1962, 1972, 1983, 2006) y Geospacial (2017).

## Servicios ecosistémicos y actores beneficiarios

### Funciones de regulación

Los servicios de regulación en la zona urbana continua y discontinua en comparación con la zona seminatural son menos reconocidos por los pobladores, sin embargo, coinciden en que tales servicios como la prevención de disturbios por retención del suelo y regulación hídrica se encuentran disminuidos por la expansión urbana en las riberas y por la deforestación. Se reconoce aún la presencia del servicio de prevención de disturbios en la isla ubicada al frente del barrio Miraflores. Además se reconocen parches pequeños de vegetación remanente cerca al barrio José Homero. Los habitantes reconocen la capacidad del río y de la vegetación ribereña en la formación del suelo por los nutrientes contenidos en el suelo de huertos y solares que colindan con el río.

También, es una zona que no provee en la actualidad suministro de agua a ningún acueducto, sino que al contrario es la zona receptora de las aguas residuales residenciales disminuyendo la capacidad de descontaminación del río (Ver **Tabla 52**).

**Tabla 52.** Funciones de regulación de la zona urbana y zona acuática cuenca baja

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos bajo valoración sociocultural
<b>Regulación</b>	<b>Mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y soporte de sistemas de vida</b>	
<b>Ecosistema acuático</b>		
Tratamiento de descontaminación	Capacidad de reciclaje	1. Capacidad de descontaminación del agua disminuida en comparación a zona II.
Prevención de disturbio	Regulación hídrica	2. Prevención por retención del suelo por parches de bosque en islas del río.
<b>Ecosistema terrestre</b>		
Prevención de disturbio	Retención del suelo.	3. Prevención por retención del suelo por parches pequeños y dispersos de árboles en las riberas.
Formación del suelo	Desgaste de rocas, acumulación de materia orgánica	4. Mantenimiento de suelo para pequeños huertos.

## Producción

En la zona urbana, la dinámica económica y social está relacionada con actividades laborales en el casco urbano, de esta manera se exponen sólo algunos servicios provistos por el río o por sus áreas cercanas. Dentro de estas se encuentran la avicultura y acuicultura con pequeños galpones y estanques dispersos, además, pequeños huertos en los solares que colindan con el río donde se siembran productos para autoconsumo como aguacate, chontaduro, naranja y caña, entre otros alimentos, en áreas relativamente pequeñas y no en todas las viviendas.

La principal actividad económica relacionada con el río y sus servicios de producción es la extracción de materiales de arrastre de río como arena, ripio y piedras, que son destinados para la industria local constructora. Los barrios José Homero Bajo y parte de Miraflores son identificados como las zonas en donde se realiza esta labor. Se trata de una actividad que se realiza de manera artesanal en la temporada de lluvias, las personas forman pozos en el río Mulato que debido a las crecientes se van llenando progresivamente de estos materiales, para luego ser extraídos manualmente con palas.

Es importante señalar que esta actividad está regulada por parte de CORPOAMAZONIA, restringiendo sin diferenciar la escala o volumen de extracción. En la literatura se conoce este tipo de actividad como extracción mineral de subsistencia. Finalmente, desde el punto de vista de quienes realizan esta actividad no se considera que afecte la dinámica de los ecosistemas acuáticos y afirman que existe una excesiva regulación por parte de CORPOAMAZONIA (ver **Tabla 53**).

**Tabla 53.** Funciones de producción de la zona urbana y zona acuática cuenca baja

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos
<i>Producción</i>	<b>Provisión de recursos naturales</b>	
<b>Ecosistemas terrestres</b>		
Alimentación	Conversión de energía solar en plantas comestibles y animales domesticados	1. Avicultura. 2. Acuicultura. 3. Huertos.
Otras materias primas	Otras materias primas de la degradación de rocas	4. Extracción de arena, ripio y piedras.

## Modificación del paisaje

Una de las direcciones de expansión urbana de la ciudad Mocoa es a lo largo del río Mulato hacia las veredas Villanueva y El Líbano. El área de tejido urbano continuo y discontinuo cubre 158,1 hectáreas que corresponden al 9,3 % de la cuenca, de lo cual 79,9 hectáreas son continuas y 78,2 son discontinuas.

La infraestructura, la seguridad social y económica son percibidos y valorados como los beneficios y simultáneamente son los factores que generan la expansión urbana de estas áreas. Sin embargo, de acuerdo a autores como Cram y colaboradores (2008) señalan que servicios y beneficios derivados del

soporte de la biodiversidad como los ciclos biogeoquímicos, el reciclaje de compuestos orgánicos, la recarga de acuíferos, la modulación de temperatura, humedad y calidad del aire, que están altamente relacionados con la calidad de las poblaciones humanas son poco valorados por los habitantes urbanos como en el caso de Mocoa.

Así como lo señala la literatura, el suelo es el soporte de construcciones o infraestructura, por tal razón se puede considerar como suelo antrópico. Estas áreas podrían ser el soporte de la calidad de vida de los habitantes de las zonas urbanas (Vegter, 2007). Sin embargo, las áreas urbanas continuas en la actualidad poseen pocas áreas arborizadas. Como también lo señalan Bolund (1999) y Kronenberg (2012), dentro de zonas urbanas las áreas arborizadas, cumplen importantes servicios de regulación, entre cuales está la filtración de aire, regulación del microclima, reducción de sonido, drenaje de agua lluvias y el tratamiento de aguas residuales si existiera vegetación riparia (ver **Tabla 54**).

Para los pobladores estas áreas son de suma importancia, pues a pesar del riesgo percibido por inundaciones y derrumbes, fueron los predios más baratos y de fácil acceso en comparación a otras zonas del municipio. En comparación con la zona seminatural, la población por barrio aumenta hasta alcanzar en el barrio de Miraflores un total de 99 predios y en otros barrios como Avenida 17 de Julio 45 predios y José Homero con 76 predios en el área de estudio.

**Tabla 54.** Funciones de modificación del paisaje en zona urbana y zona acuática cuenca baja

Funciones	Procesos ecosistémicos	Servicios percibidos bajo valoración sociocultural
Modificación del paisaje	Otras funciones que provee bienestar a la población que surgen de la modificación del paisaje y del ecosistema.	
Áreas de vivienda	infraestructura destinada a vivienda	1. La infraestructura de vivienda y negocio es un beneficio relevante que ha proporcionado el área.
Infraestructura	Otra infraestructura	2. Las carreteras y puentes, servicios de energía y agua que generan bienestar a la población local.

## 6.4 Fase 4: Definición de Áreas Homogéneas y Medidas de Manejo

### 6.4.1 Contextualización general Áreas homogéneas

Las áreas homogéneas son definidas por cuatro criterios: 1) nivel de transformación de las unidades ecosistémicas, 2) ecosistemas acuáticos de importancia, 3) Análisis de riesgo y 4) sistemas sociales<sup>11</sup>.

**a. Nivel de transformación de los ecosistemas:** Se reconoce el hecho que las comunidades humanas dependen de los recursos naturales y los modifican a través de sus acciones. Esto se expresa por medio de las interrelaciones establecidas entre los sistemas sociales y ecológicos y puede ser entendido a partir de las transformaciones que hacen los seres humanos en el territorio que habitan.

**b. Ecosistemas acuáticos de importancia:** Entendidos como aquellos sistemas de vital importancia en términos tanto ecológicos como sociales. De hecho, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico -PNGIRH- (MAVDT, 2010) tiene como objetivo principal garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz del agua, gestión que se debe articular a los procesos de ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social.

**c. Análisis de riesgo:** se tuvieron en cuenta los aportes de los componentes geomorfológico e hidráulico para definir riesgos asociados a aspectos únicamente físicos del medio por ejemplo por susceptibilidad geomorfológica como riesgos por inundación y/o avenidas fluvio-torrenciales (flujos de detritos) que incluyen un análisis de vulnerabilidad y amenaza, por lo que requieren también, aportes prediales.

La susceptibilidad geomorfológica definida como la zonificación de áreas indicativas de inestabilidad y propensión del terreno a ser involucradas dentro eventos amenazantes (como movimientos en masa y avenidas torrenciales), se determinó de acuerdo a las condiciones morfométricas, y dentro de ellas específicamente la altura relativa con respecto a la altura máxima de la lámina de agua del río Mulato. De igual manera la información fisiográfica (unidades geográficas con características morfométricas diferentes), geológica (distinción de tamaño de grano para rocas sedimentarias y procesos de saprolitización para rocas ígneas), morfogenética (identificación del origen de las geoformas), y morfodinámica (asociando zonas con ocurrencia de procesos morfodinámicos similares), es tenida en cuenta como complemento y como punto de partida para la definición de zonas que han sido afectadas por estos procesos anteriormente. La amenaza solamente se consolida cuando actúa un detonante o desencadenante que alcanza umbrales críticos, y debe considerarse dinámica en función de los cambios de las condiciones que influyen en el terreno a través del tiempo.

El riesgo por inundaciones es el resultado de la relación directa que hay entre las probabilidades de que ocurra un evento y las consecuencias que éste mismo traería en caso de ocurrir. En la gestión del riesgo de inundaciones la probabilidad de que ocurra la inundación corresponde a la amenaza que representa ésta para la vida de las personas y la infraestructura de la ciudad. Entre mayor sea el periodo de retorno, mayor será la amenaza del flujo. Por otro lado las consecuencias se traducen como la vulnerabilidad de la parte de la ciudad que se puede ver afectada por dicha amenaza, es decir que debido a sus

---

<sup>11</sup> El concepto de sistemas sociales hace parte del término sistemas socioecológicos, y este a su vez de la teoría de los sistemas complejos. Para este caso, los sistemas sociales se referencian por su estrecha relación con los sistemas ecológicos y su delimitación se hace a través del reconocimiento de identidades singulares de grupos sociales o comunidades, entre ellos diferentes culturales, étnicas, religiosas o políticas, de aislamiento o acceso a redes de información, que pueden en un momento dado, configurar un sistemas social “separado” y “ reconocible” (Rincón-Ruiz *et al.*, 2014: 99)

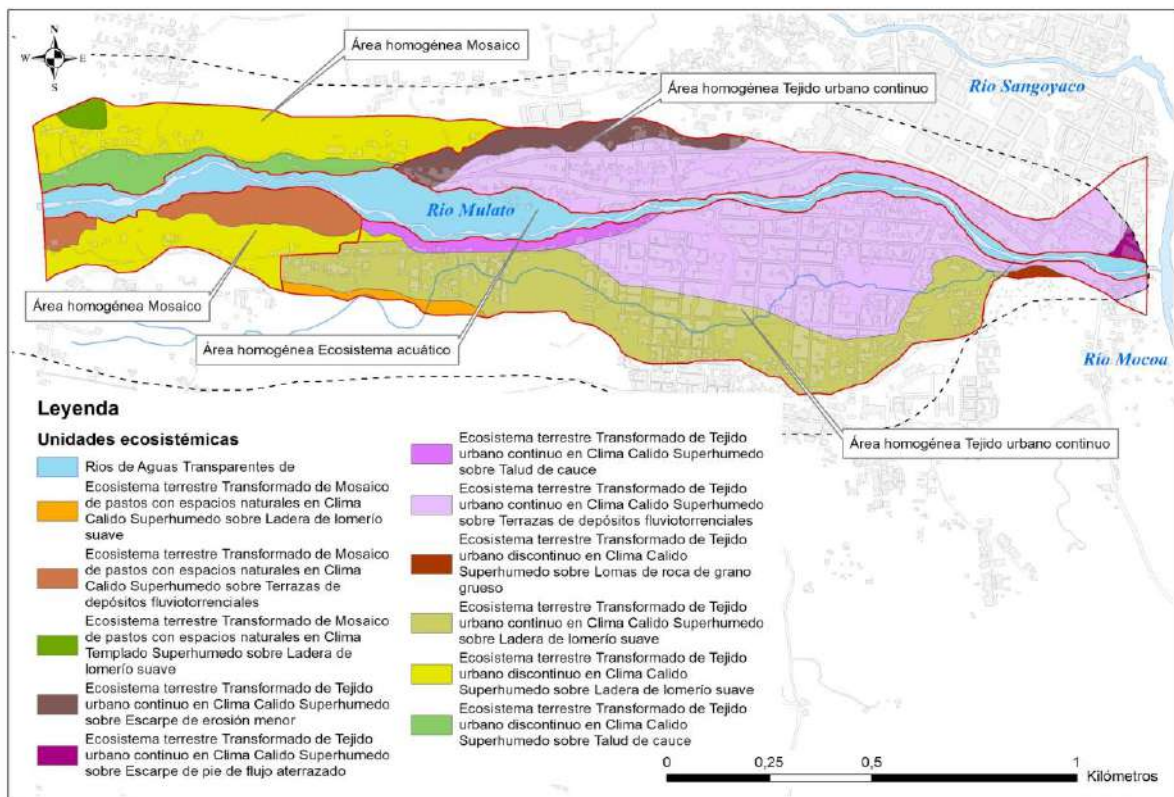


condiciones económicas, sociales y ambientales, que tan propensas están de que dicha amenaza pueda representar una amenaza para su integridad física y económica.

**d. Sistemas sociales:** Se reconocen a partir de ciertas características económicas, políticas, sociales y culturales que imprimen identidad singular a los grupos sociales o comunidades (Rincón-Ruiz *et al.*, 2014).

6.4.1.1 Criterio 1. Nivel de transformación ecosistemas.

El área de estudio se conforma por 12 unidades ecosistémicas características del piedemonte andino-amazónico, correspondiente a la zona de vida bosque húmedo Tropical (bh-T). La cobertura remanente en el área de la cuenca muestra que son bosques de tierra firme con diferentes grados de intervención, que han estado sometidos a la extracción selectiva de especies forestales maderables y no maderables, como es el caso de la palma *Iriartea deltoidea* (Ruiz & Pav.), conocida como bombona, barrigona o chonta. Como resultado de la transformación de estas coberturas en el espacio que comprende la ronda hídrica se encuentran tres unidades terrestres transformadas en mosaico, ocho en tejido urbano y un ecosistema acuático (**Figura 246**).

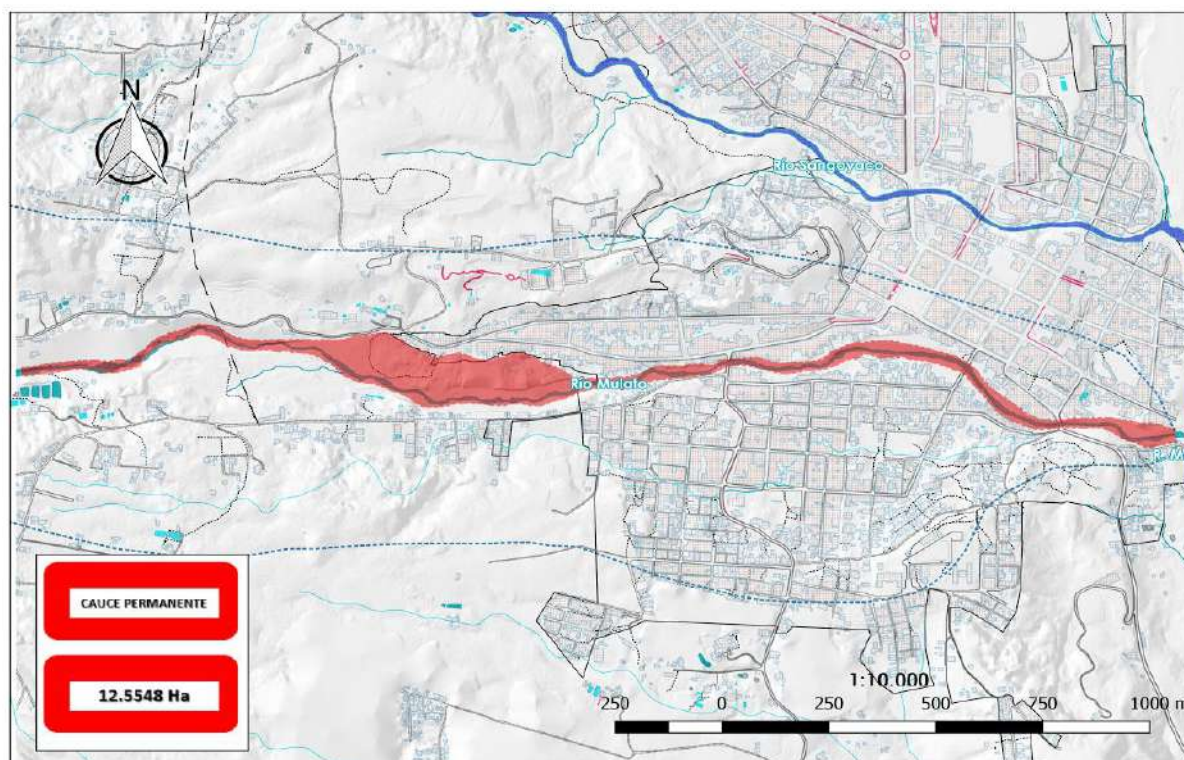


**Figura 246** Unidades ecosistémicas ronda hídrica Río Mulato

#### 6.4.1.2 Criterio 2. Ecosistemas acuáticos de importancia

El río Mulato es un sistema hídrico localizado en el piedemonte amazónico (ver **Figura 247**), pertenece a la cuenca del río Caquetá y es tributario del río Mocoa, por lo cual sus aguas pueden ser tipificadas como aguas transparentes del piedemonte. Ricaurte *et al.*, (2015) realizaron una caracterización limnológica del río Orteguzza, ubicado también en la cuenca del río Caquetá, registraron pH ácidos (4.8 a 6.7), mineralización baja (7 a 30 uS/cm) y temperaturas que oscilan entre 23 y 35.3°C, lo cual permite confirmar que las condiciones fisicoquímicas de estos sistemas hídricos amazónicos reflejan una gran influencia geológica, de forma específica se debe a los aportes del Batolito de Garzón, formación muy antigua con pocos minerales.

Este ecosistema presenta una gran importancia ecológica debido a su alta producción hídrica como resultado de la morfología y localización de su cuenca (zona de alta recarga de agua) que ofrece 1,181 m<sup>3</sup>/s de agua, de los cuales se utilizan 0,03574 m<sup>3</sup>/s y presenta un índice de escasez mínimo del 3,2%. Además, la microcuenca del río Mulato posee un 56% de bosque primario y alberga 3 especies de aves que se encuentran bajo el apéndice II de CITES (CORPOAMAZONIA & Fundación Cultural del Putumayo, 2009).



**Figura 247** Cauce permanente del río Mulato

#### 6.4.1.3 Criterio 3. Sistemas sociales

El análisis del sistema socioecológico de la ronda hídrica del río Mulato permitió identificar 10 sistemas sociales, de los cuales 9 de ellos son caracterizados a partir de los modos de vida y usos del suelo. Entre tanto, el restante corresponde a los actores no ubicados dentro de la ronda hídrica pero cuya área de influencia es aquella, relacionado con el ámbito institucional (ver **Tabla 55** y *Error! No se encuentra el origen de la referencia.*).

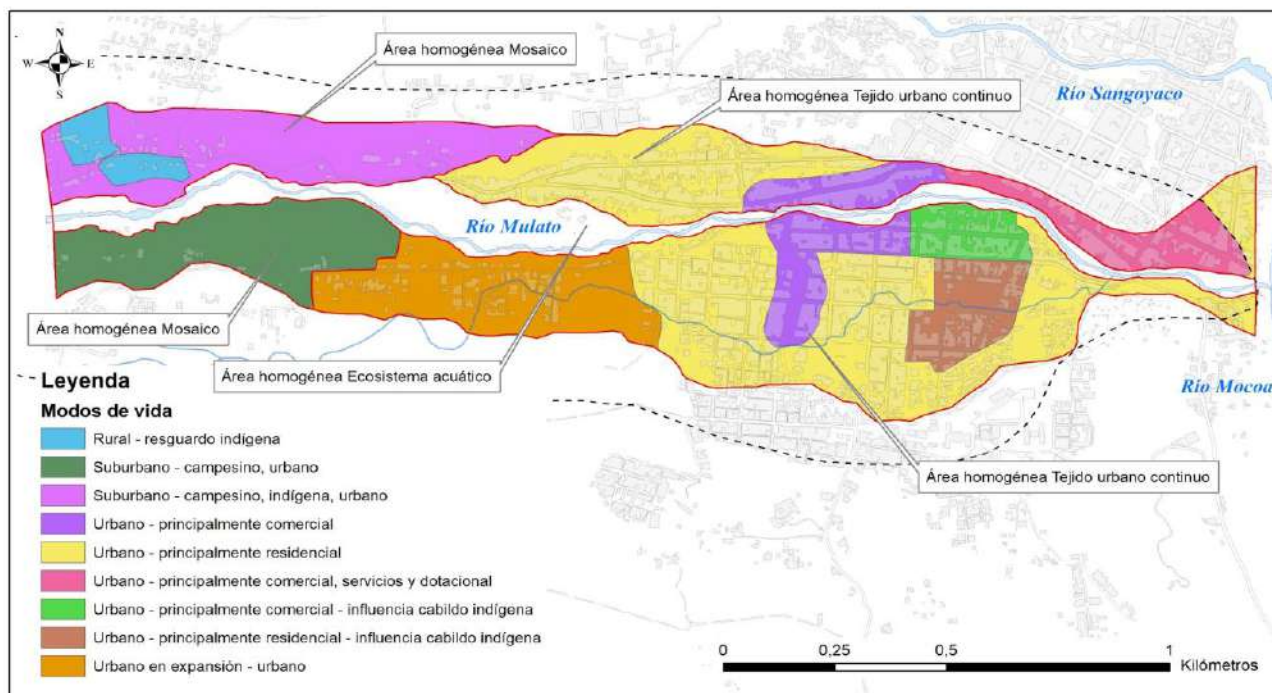
**Tabla 55** Sistemas sociales ronda hídrica del río Mulato

No	Modos de vida	Usos del suelo	Descripción
1	Campesino	Rural	Sistema fundamentado en labores agrícolas familiares en el marco de las dos veredas. Actores no localizados pero con influencia en la ronda hídrica.
Actores sociales: residentes de las veredas Las Palmeras y San Luis de Chontayaco, Junta de Acción Comunal (JAC) de San Luis de Chontayaco.			
2	Indígena	Rural	Sistema en el marco de un resguardo indígena bajo las direcciones del cabildo, manteniendo prácticas ancestrales como el cultivo en chagras guiadas por sus conocimientos tradicionales.
Actores sociales: Población indígena y Cabildo Indígena Inga de Mocoa			
3	Campesino, indígena, urbano	Suburbano	Sistema ubicado en la vereda El Líbano que integra diferentes modos de vida basados en la pluriactividad.
Actores sociales: Residentes de la vereda El Líbano y JAC respectiva.			
4	Campesino, urbano	Suburbano	Sistema ubicado en la vereda Villanueva, que integra prácticas campesinas y de la ciudad en áreas con tendencia a la expansión urbana.
Actores sociales: Residentes de la vereda Villanueva y JAC respectiva.			
5	Urbano	Expansión urbana	Sistema en proceso de consolidación urbana en términos de infraestructura de servicios públicos, desplazando actividades agrícolas.
Actores sociales: residentes de los barrios Las Colinas y Las Acacias y las JACs respectivas.			
6	Urbano	Urbano. Principalmente comercial	Sistema en donde predomina el cambio de la tendencia del uso del suelo residencial por comercial y sus modos de vida no integran actividades de producción agrícola.
Actores sociales: residentes y comerciantes de los barrios José Homero y Av. 17 de Julio, JAC Av. 17 de Julio, mineros artesanales y asociación de volqueteros.			
7	Urbano	Urbano. Comercial, servicios dotacional y	Sistema ubicado en el área céntrica de la ciudad donde se concentran los servicios de administración municipal, el comercio y en menor medida el uso residencial. Sus modos de vida no integran actividades de producción agrícola.
Actores sociales: residentes, comerciantes e instituciones de los barrios Centro, José María Hernández, Naranjito y San Agustín y JACs respectivas.			

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

No	Modos de vida	Usos del suelo	Descripción
8	Urbano	Urbano. principalmente residencial	Sistema que hace referencia a los barrios o asentamientos donde predominan las áreas residenciales. Sus modos de vida no integran actividades de producción agrícola.
Actores sociales: residentes de los barrios La Peña, Miraflores, José Homero y Pablo VI bajo y JACs respectivas			
9	Urbano- Indígena	Urbano, principalmente residencial	Sistema ubicado al sur de carácter urbano, pero que se originó a partir del fortalecimiento de identidad indígena y con presencia en la actualidad de un cabildo.
Actores sociales: pobladores indígenas y cabildo Inga (José Homero)			
10.	Entidades públicas y privadas		
Actores sociales: CORPOAMAZONIA, Alcaldía Municipal de Mocoa, Concejo Municipal de Mocoa, Proyecto de reconstrucción de Mocoa <sup>12</sup> , Veeduría Rondas Hídricas, Aguas Mocoa S.A. E.S.P, ACNUR: Agencia de la ONU para Refugiados, OZIP: Organización Zonal Indígena del Putumayo y Asociación de Cabildos Indígenas Inga de Mocoa (Ñugpa Yuyay). Concejo Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres y Concejo Departamental de Gestión de Riesgo de Desastres.			

<sup>12</sup> Proyecto que surge del decreto No 601 de 2017 "Declarar el estado de emergencia económica, social y ecológica en Mocoa". Liderado por el Ministerio de Defensa y con mesas de trabajo con: (a) Veeduría Ciudadana, (b) Mesa Étnica Diferencial (Asuntos Indígenas), (c) Mesa Técnica Ambiental, (d) Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, (e) Dirección Nacional de Planeación (DNP), (f) Ministerio de Defensa.

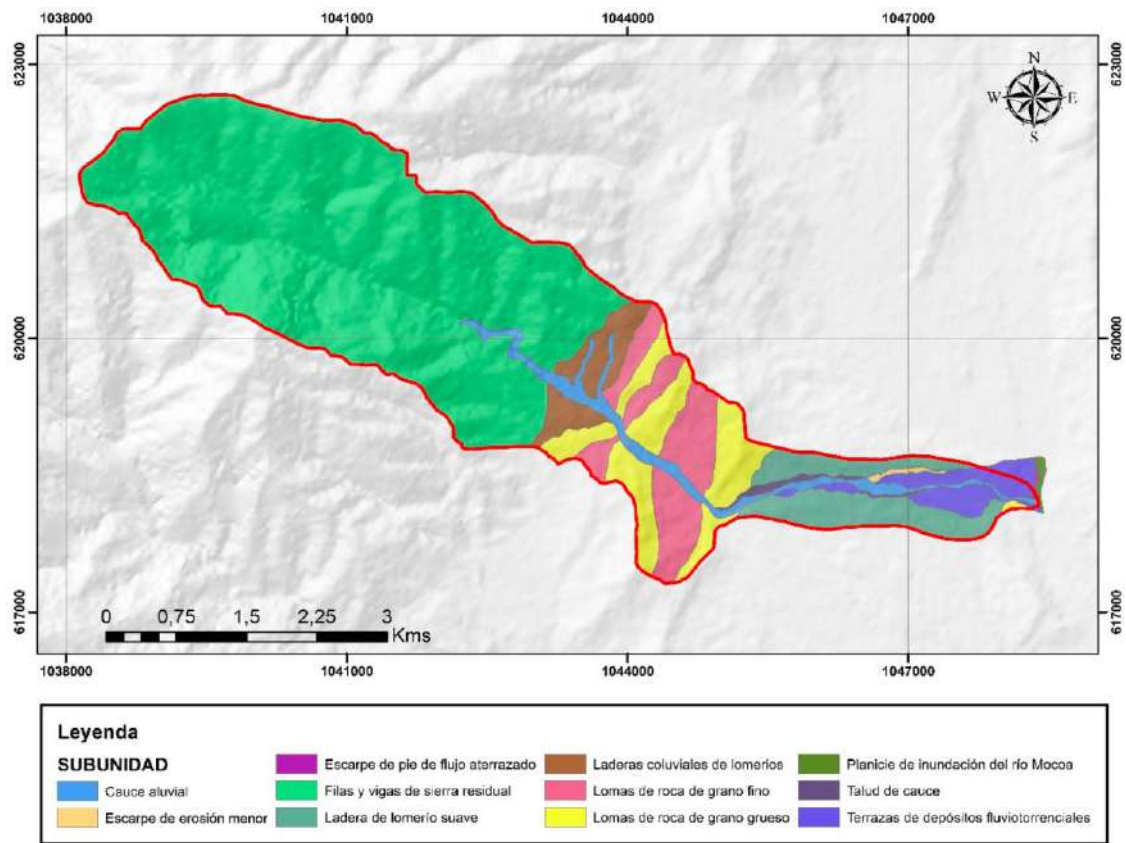


**Figura 248** Mapa de Sistema Sociales

#### 6.4.1.4 Criterio 4. Análisis de riesgo

Para la definición de las unidades geomorfológicas, se utilizó la información fisiográfica (unidades geográficas con características morfométricas diferentes), geológica (distinción de tamaño de grano para rocas sedimentarias y procesos de saprolitización para rocas ígneas), morfogenética (identificación del origen de las geoformas), y morfodinámica (asociando zonas con ocurrencia de procesos morfodinámicos similares).

Las subunidades geomorfológicas establecidas por morfogénesis se agrupan en este mapa (**Figura 249**) en diferentes unidades de acuerdo a los criterios nombrados anteriormente, por lo cual los polígonos definidos fueron modificados con el fin de definir unidades de relieve que en asocio con otras propiedades (climáticas, hidrológicas, socio-económicas), permitan establecer una división del territorio dentro de la cuenca del río Mulato.



**Figura 249** Mapa geomorfológico sintético para definición de ecosistemas.

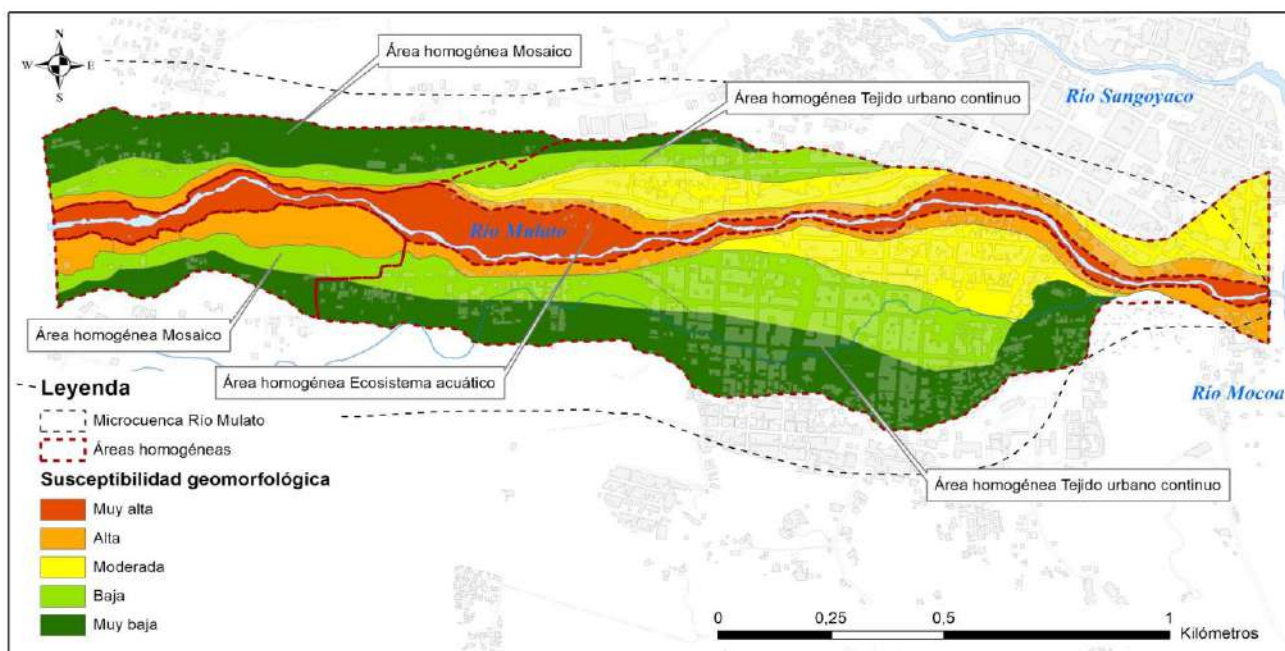
Las unidades establecidas difieren en la parte rural de la parte urbana en cuanto a la asociación genética: en la zona rural se distribuyen en torno al paisaje circundante que rodea el cauce aluvial del río, es decir las vertientes de los lomeríos de rocas de grano fino y grueso, las laderas coluviales y las filas y vigas de la sierra residual de la parte alta de la cuenca. Todas estas unidades representan la zona principal de aporte de sedimentos, los cuales son transportados y depositados posteriormente por el río dentro de su mismo cauce de manera parcial o descargados al río Mocoa. Las unidades del tramo urbano representan en su gran mayoría la configuración del lecho mayor del sistema natural del río Mulato, con sus depósitos torrenciales contiguos tanto al cauce como a las laderas de lomas suaves que limitan la cuenca al norte y al sur de este tramo. En este orden de ideas las unidades geomorfológicas que requieren priorización y atención especial son las de origen fluvial asociadas al cauce activo, es decir el “cauce aluvial” y los “taludes del cauce”, sumado a las “terrazas de depósitos fluvio-torrenciales” pequeñas dentro de la vereda Villanueva. En estas unidades transcurrirán en mayor medida los procesos fluviales intra-anales o de tiempos de retorno más cortos.

En cuanto a las unidades “escarpe de erosión menor” y las “terrazas de depósitos fluvio-torrenciales” restantes de la parte urbana constituyen parte del dominio del río de manera secundaria, es decir, su origen está asociado a procesos fluviales pasados, por lo cual eventualmente en la escala del tiempo geológico pueden volver a presentarse y desarrollar menor, igual o mayor área de afectación. Sin embargo, al ser eventos de grandes magnitudes con períodos de recurrencia incluso superiores a los cientos de años, su manejo debe contemplar no medidas de prohibición y restricción (a excepción de la zona que esté definida en esta unidad como dentro de los límites de la ronda hidrológica o ecosistémica), sino de prevención y mitigación de riesgo por medidas no estructurales. Estas medidas pueden requerir de fases de sensibilización y enseñanza a la población que ocupe estas zonas y, una fase de preparación y elaboración de planes de emergencia que contemplen rutas de evacuación y puntos de encuentro en

caso de que ocurra nuevamente una avenida torrencial y sea activada la alarma de un sistema completo de alertas tempranas.

Las unidades de las áreas rurales en la parte media de la cuenca son principalmente lomeríos, los cuales presentan intercalaciones de rocas de grano grueso con rocas de grano fino. Las “Lomas de roca de grano fino” resultan más susceptibles a procesos de ladera como movimientos en masa tipo deslizamiento traslacional, rotacional o reptación, lo que aumenta el aporte de sedimentos al cauce del río, por lo cual las medidas de manejo dentro de esta unidad deben contemplar la protección de factores que aumenten la estabilidad de las laderas, como la protección de la cobertura vegetal boscosa y arbustiva así como la disminución de actividades como la tala de árboles, entre otras, que aumentan el área del suelo expuesta a degradación y procesos denudativos. Las “lomas de roca de grano grueso” presentan una mayor estabilidad y menor susceptibilidad a procesos de ladera, por lo cual no se sugieren restricciones para cualquier actividad salvo que la pendiente del terreno sea muy elevada afectando la estabilidad de cualquier estructura que se construya sobre ésta.

De acuerdo a lo anterior, las zonas definidas se agruparon según el grado de susceptibilidad geomorfológica a inundaciones o flujos torrenciales dada por condiciones principalmente morfométricas, el cual resulta en el siguiente mapa de susceptibilidad (¡Error! No se encuentra el origen de la r

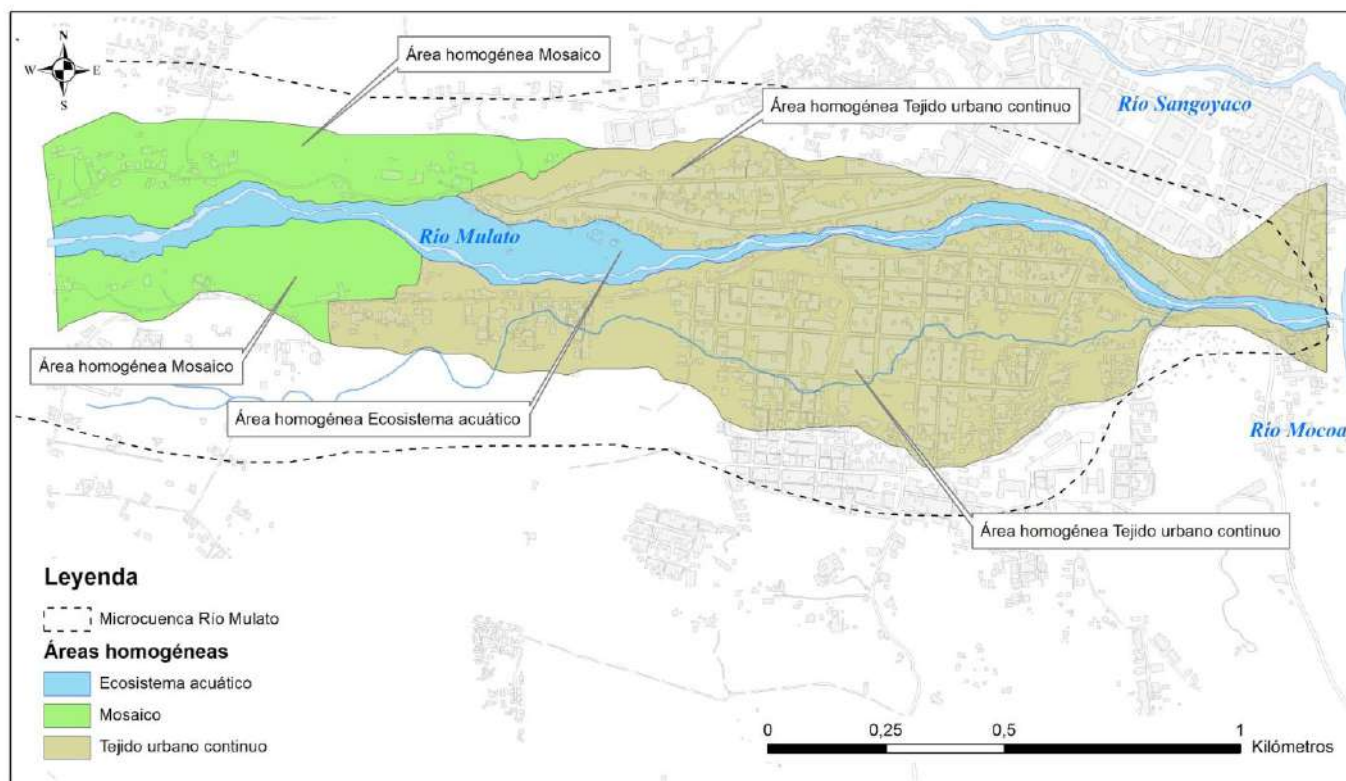


referencia.):

**Figura 250** Mapa de Susceptibilidad Geomorfológica

#### 6.4.2 Áreas homogéneas río Mulato

Las áreas homogéneas de la ronda hídrica del río Mulato presentadas a continuación son el resultado del análisis conjunto de los 4 criterios ya mencionados. Así, cada una de estas áreas reúne una serie de características similares en términos físico-bióticos y socioculturales. (1) Área homogénea ecosistema acuático, (2) área homogénea mosaico y (3) área homogénea tejido urbano (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).



**Figura 251** Mapa de Áreas Homogéneas en la ronda hídrica del río Mulato

### 1. Área homogénea ecosistema acuático

Ecosistema de Ríos de Aguas Transparentes de Piedemonte Amazónico que comprende el 14% del área de ronda con un total de 17,32 ha. Allí se desarrollan actividades de extracción de materiales de arrastre y pesca, a pequeña escala y de manera artesanal. De este sistema se aprovecha el recurso hídrico para el abastecimiento del acueducto municipal de Mocoa. En la actualidad los impulsores de cambio de los servicios ecosistémicos son la contaminación hídrica por los puntos de vertimiento de aguas servidas, depósito de residuos sólidos de carácter doméstico y la ocupación por construcciones de vivienda e infraestructura en general.

### 2. Área homogénea mosaico

Ecosistemas terrestres transformados en mosaicos de pastos con espacios naturales y en tejido urbano discontinuo, comprende el 24% del área de ronda hídrica con 28,24 ha, allí se encuentra ubicado el área de manejo especial del resguardo INGA de Mocoa. La población asentada en esta zona es por tanto de este último resguardo cuenta con un total de 848 habitantes, además, de población de las veredas El Líbano y Villanueva. En cuanto a sistemas sociales, se identificaron los modos de vida campesino, indígena, con actividades ligadas principalmente a labores agrícolas (huertas, pequeños cultivos familiares y cría de animales). Así mismo, se identificó población que integra modos de vida campesino e indígena pero con diversas actividades ligadas a lo urbano, denominándose población pluriactiva.

### 3. Área homogénea tejido urbano

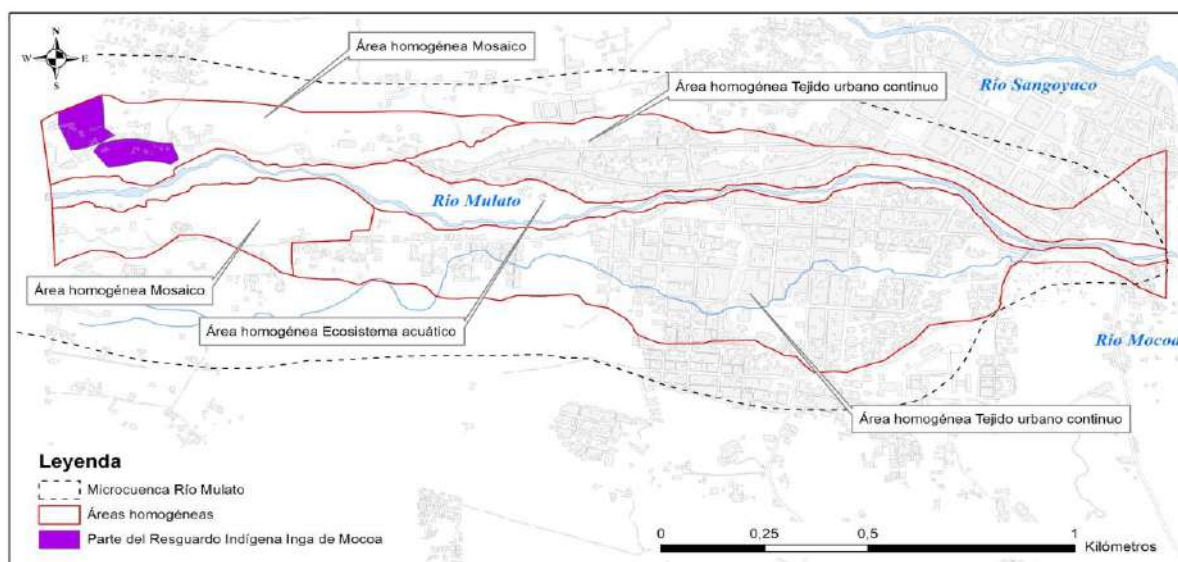
Esta zona se ubica en la parte baja de la cuenca del río Mulato, se caracteriza por ecosistemas terrestres transformados en tejido urbano continuo y representa el 62% del área de ronda hídrica con 74,66 ha.



Los barrios ubicados allí se dividen en los sectores centro, oriental y sur. En la parte central están los barrios con un uso mixto del suelo (residencial, comercial y dotacional), allí se concentra gran parte del patrimonio cultural y arquitectónico del municipio, como se evidencia en las construcciones que actualmente son usadas para la administración municipal. Los siguientes barrios hacen parte de esta zona: Centro, José María Hernández, San Agustín y Naranjito. En la zona oriental del municipio se ubican barrios de uso mixto, la dinámica residencial y comercial de la población se condiciona por la avenida 17 de julio, se encuentran los barrios: Avenida 17 de Julio y Miraflores. En la zona sur se ubican barrios de uso principalmente residencial y mixto: José Homero (Bajo y Alto), Pablo VI (Bajo y Alto), Las Acacias, Las Colinas y La Peña. Se identificaron modos de vida urbano ligados en algunos casos a la vida campesina e indígena, como es el caso del cabildo indígena Inga ubicado en el barrio José Homero.

#### 6.4.2.1 Criterio 1. Áreas de manejo especial

El resguardo Inga Mocoa ubicado en el área homogénea Mosaico se constituyó mediante resolución 027 de 10 de abril de 2003 con 121 hectáreas y en la actualidad cuenta con un total de 848 habitantes pertenecientes a la etnia Inga. En el marco de la ronda hídrica posee 2,4 ha, que representan el 2% del área de la ronda hídrica integral (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).



**Figura 252** Mapa del resguardo indígena Inga – Área de manejo especial

#### 6.4.2.2 Criterio 2. Conflictos Socioambientales

Los estudios sobre los conflictos relacionados con el medio ambiente suelen distinguir entre conflictos ambientales y socioambientales. Por un lado, los llamados conflictos ambientales tienen un eje de análisis que consiste en la evaluación del daño o deterioro que pueden tener los recursos naturales de un determinado territorio como consecuencia de la acción de actores externos y/o internos del territorio (Walter, 2009). De este modo, en este tipo de conflictos el énfasis está puesto en los efectos o consecuencias sobre los recursos naturales y las poblaciones beneficiadas, más que en las causas.

Por otro lado, los conflictos socioambientales son el enfoque adoptado en el presente estudio. En términos generales, podemos entenderlos como aquellos que surgen cuando hay una disputa o confrontación entre uno o más actores (externos e internos) sobre el acceso, uso y manejo de los

recursos naturales (servicios ecosistémicos). Esta definición considera que los conflictos son una forma de tensión entre diferentes clases de actores que surge por la existencia de intereses socioculturales, económicos y políticos –entre otros- relacionados con el uso, control, aprovechamiento, conservación o administración de los recursos naturales y el ambiente (Rodríguez, 2016; Orellana, 1999). Desde un punto de vista conceptual y metodológico, la información e identificación de los conflictos socioambientales proviene de la valoración y percepción de diferentes actores sociales localizados en la ronda hídrica, en términos del uso directo (o indirecto) y manejo (gestión) de los servicios ecosistémicos que presta el río Mulato. En este sentido, los conflictos identificados son el resultado de las entrevistas, recorridos y talleres de cartografía social, a partir de los cuales se hizo un proceso de triangulación de información entre actores sociales, georreferenciación en campo (análisis de transecto) y análisis espacial del paisaje.

De este modo, se identifican 5 conflictos en los cuales existen tensiones entre actores y en los que el bienestar y las dinámicas de los ecosistemas están en juego. La descripción y análisis de los conflictos son el resultado de la triangulación de la información entre la percepción de los pobladores locales, fuentes secundarias y el equipo de trabajo que realizó el estudio. Estos conflictos son: (1) ocupación de la ronda hídrica en zonas de riesgo, (2) contaminación por aguas residuales y residuos sólidos domésticos, (3) construcción de infraestructura como medida de mitigación (4) expansión urbana no planificada y (5) ¿Uso sostenible del río Mulato? Actividades productivas vs. Medidas de conservación.

### Conflicto 1. Ocupación de la ronda hídrica en zonas de riesgo

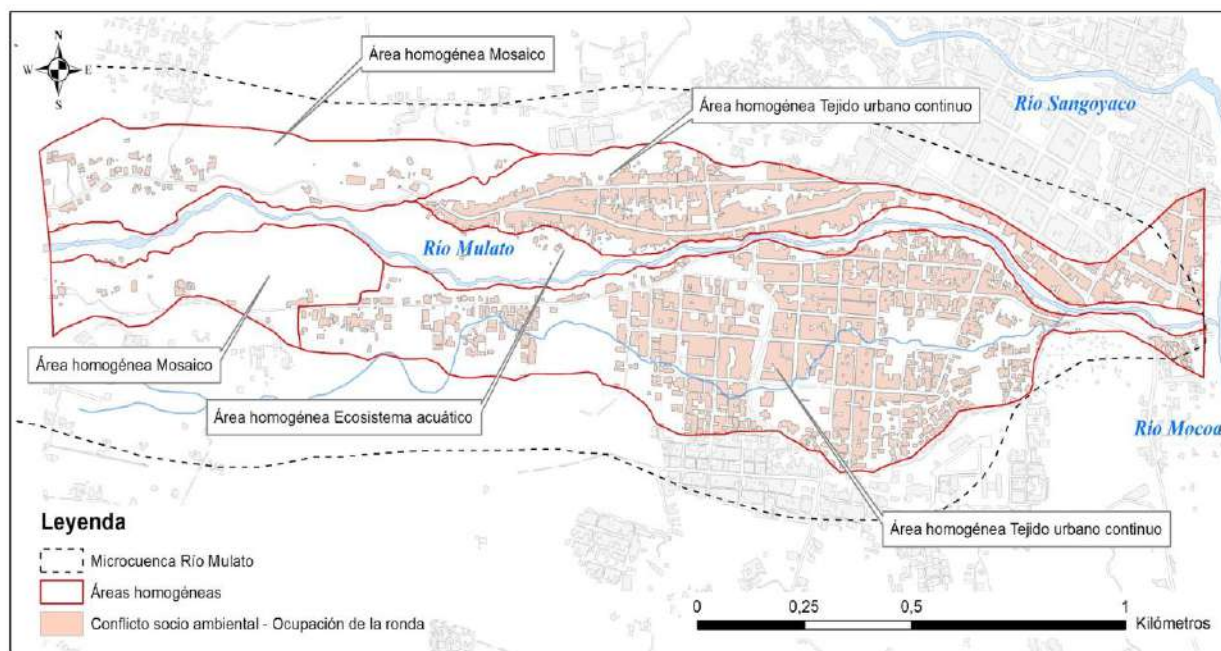


Figura 253 Mapa conflicto socioambiental por ocupación de la ronda hídrica

Desde el documento *Metodología para el acotamiento de las Rondas Hídricas. Documento para la discusión* presentado en 2012, se señala que el principal conflicto es la ocupación por parte de la población de las zonas de inundación en crecientes máximas (lecho mayor excepcional del río), de *barrancos* (talud inestable del cauce) y de suelos antiguos formados por el río (terrazas de depósitos fluviotorrenciales). Por un lado, el conflicto es entendido a partir de la afectación a la dinámica natural,

vista a partir de las funciones geomorfológicas, hidráulico-hidrológicas y ecosistémicas del río, y por otro lado, debido al riesgo para la población y sus bienes (patrimonio), además, de la infraestructura de la ciudad.

La mirada normativa considera que las rondas hídricas hacen parte del concepto de Estructura Ecológica Principal en tanto que constituyen la base de procesos ecológicos entre ecosistemas acuáticos y terrestres, brindando la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de la población. De ahí que los usos principales de las rondas hídricas estén relacionados con las acciones de conservación, preservación y restauración, o bien, con un uso y manejo sostenible de los recursos y servicios que ofrece (Decreto 3600 de 2007).

Desde la mirada de la Política Nacional de Gestión Integral de Riesgos y Desastres (PNGIRD, 2016), la ocupación de las rondas hídricas incrementa las condiciones de vulnerabilidad frente a la ocurrencia de eventos naturales diversos. Sin embargo, la ocupación de las rondas hídricas se puede entender desde dos aspectos: por un lado, la forma de ocupación del espacio y su relación con las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de la población ante fenómenos naturales, y por otro lado, la forma de ocupación como el resultado de procesos sociales, económicos y políticos determinados que han tenido lugar a nivel municipal (Mocoa) y regional (Putumayo).

### **Dinámica del conflicto**

En retrospectiva debe anotarse que la ocupación de las riberas del río del río Mulato hace parte de un proceso que inició desde el siglo pasado y que se ha intensificado desde la segunda década del siglo XX (Sánchez, 2015). La trayectoria de consolidación y expansión de los barrios a lo largo de los años implica un arraigo de los pobladores a esta zona en términos de herencia familiar, lazos sociales y memoria. Este espacio además de ser importante en el aspecto económico, asociado al patrimonio de las familias, debe entenderse como un territorio que ha sido socialmente construido. Dicho de otro modo, existen lazos emocionales, tejidos tanto familiares como comunitarios y una historia compartida por los pobladores. Estos aspectos no se pueden valorar en términos monetarios pero ayudan a comprender la importancia de estas zonas de vivienda para las personas que allí residen, considerando otros aspectos.

Está claro que desde una mirada ambiental y política de gestión de riesgo las riberas del río están catalogadas como zonas de riesgo para las viviendas y las personas de acuerdo a la relación entre fenómenos naturales y la vulnerabilidad. De hecho, algunos de los pobladores más antiguos del área (Barrio San Agustín) recuerdan que en el año 1960 los ríos Mulato y Sangoyaco, así como la quebrada La Taruca, generaron una avenida torrencial como la ocurrida en el año 2017, indicando con ello que cada tanto algunos ríos cambian su curso. De ahí que para los pobladores más antiguos, como el señor Luis Felipe Arteaga del barrio Miraflores, la forma de ocupación del territorio no ha tenido en cuenta el dinamismo del río Mulato, los espacios que el río forma: *"El río se acuerda, él sabe por dónde iba, sabe que lugares son de él y cuáles no"* (entrevista Luis Felipe Arteaga).

Ahora bien, las consecuencias y afectaciones por eventos como las avenidas fluviotorrenciales son variadas y tienen como elemento determinante la ocupación y construcción de viviendas como resultado de la expansión urbana de Mocoa. Así por ejemplo, en el evento de 1960 el número de afectados fue reducido en comparación con las afectaciones del evento de 2017 dado que las áreas donde actualmente están los barrios Miraflores, José Homero y Pablo VI, el proceso de ocupación no estaba consolidado. Otro de los eventos ocurrió hace aproximadamente 25 años, y en esa ocasión algunas viviendas de los barrios Miraflores, Pablo VI y San Agustín se vieron afectadas por la creciente del río Mulato. Finalmente, hace aproximadamente 12 años una nueva inundación afectó principalmente al barrio Avenida 17 de Julio (**Tabla 20**).

Los pobladores locales mencionaron en las encuestas realizadas que las razones de mayor importancia para la construcción de sus viviendas en zonas de riesgo es el acceso a lotes más baratos, la disponibilidad de tierras y la necesidad de un lugar habitable. Por otro lado, los principales riesgos percibidos están asociados a la inundación, la caída de árboles, la erosión del suelo y los derrumbes, haciendo énfasis en algunos casos en el riesgo para sus casas. Asimismo, en las conversaciones y entrevistas los pobladores insisten en el temor por pérdida de la vida y del patrimonio, teniendo en cuenta que la mayoría de los encuestados residen en vivienda propia. De ahí que los pobladores (tanto residentes como comerciantes) de los barrios aledaños al río Mulato tengan una posición -en general- a favor de posibles medidas de manejo de la ronda hídrica en sus aspectos ambientales. Sin embargo, tienen una percepción generalizada de incertidumbre respecto de las consecuencias sociales de las medidas relacionadas con la gestión del riesgo haciendo que estos temas tengan mayor prioridad que los temas estrictamente ambientales.

Los habitantes manifiestan que los planos de riesgos no se encuentran actualizados y cuando se realizaron las consultas, aparecían muchas zonas aptas para la construcción. Sin embargo, luego de la avenida fluviotorrencial se evidenció que las zonas de riesgo eran mayores que las identificadas previamente. Este tipo de ocupación irregular del territorio también obedece al déficit de vivienda lo cual es una problemática a nivel nacional. Las personas en la necesidad de tener un techo donde resguardarse ocupa los espacios sin evaluar los riesgos a los que puede estar expuesto y el impacto negativo que causa al medio. Manifiestan que el gobierno local no cuenta con programas de reasentamiento para las viviendas que se encuentran en zonas de riesgo y cuando salen estos programas no ofrecen 100% calidad de vida a las personas (ej. no existe cobertura total de servicios públicos, vías de circulación y comunicación en buen estado, etc., condiciones previas y necesarias para el desarrollo urbano).

La mayoría de los pobladores identifican que la presencia de árboles en las riberas del río en el área de Mosaico provee el servicio de prevención de disturbios, mientras que en el área de tejido urbano no existen áreas boscosas significativas que permitan amortiguar eventos de inundación, remoción o derrumbes. La importancia de estas áreas arborizadas es reconocida por los habitantes de este sector y sobre este punto plantean la necesidad de labores de reforestación y monitoreo en las riberas del río. En este sentido, CORPOAMAZONIA y la Policía Nacional (Policía Ambiental) han adelantado algunos programas en la vereda El Líbano y el barrio Miraflores para la reforestación de las riberas del río Mulato en su parte media y alta, en el marco de programas de educación ambiental. En estos programas se han empleado plántulas de chíparos, cedros, cachimbos, entre otros. El conocimiento local reconoce que el chíparo es una especie de árbol favorable para la prevención de disturbios, dado que su forma de enraizamiento retiene el suelo.

A pesar de este conocimiento preciso del papel de la vegetación ribereña, los pobladores no identifican otras consideraciones de riesgo generadas por áreas urbanas, como los problemas de encharcamientos, inundaciones, pérdida de biodiversidad, déficit en la recarga de acuíferos y erosión. Asimismo la mezcla con materiales de relleno que favorecen la compactación y que condicionan la baja aireación, drenaje y almacenamiento de humedad (Cotler *et al.*, 2008).

La expresión del conflicto es diferente en la zona mosaico que en la zona de tejido urbano. Respecto a la primera zona se destaca el riesgo directo por pérdida de cultivos, jardines (patios) o solares, con menor riesgo de afectación de viviendas en comparación con el área de tejido urbano. En este sentido, el riesgo es percibido en relación a las actividades productivas de las que dependen los pobladores del área de mosaico. En cuanto a la zona urbana debe anotarse que la población asentada sobre la ribera en alto riesgo está compuesta principalmente por familias de escasos recursos económicos y en áreas de mayor densidad poblacional que aumenta la vulnerabilidad de los pobladores asentados allí.

## El riesgo geomorfológico

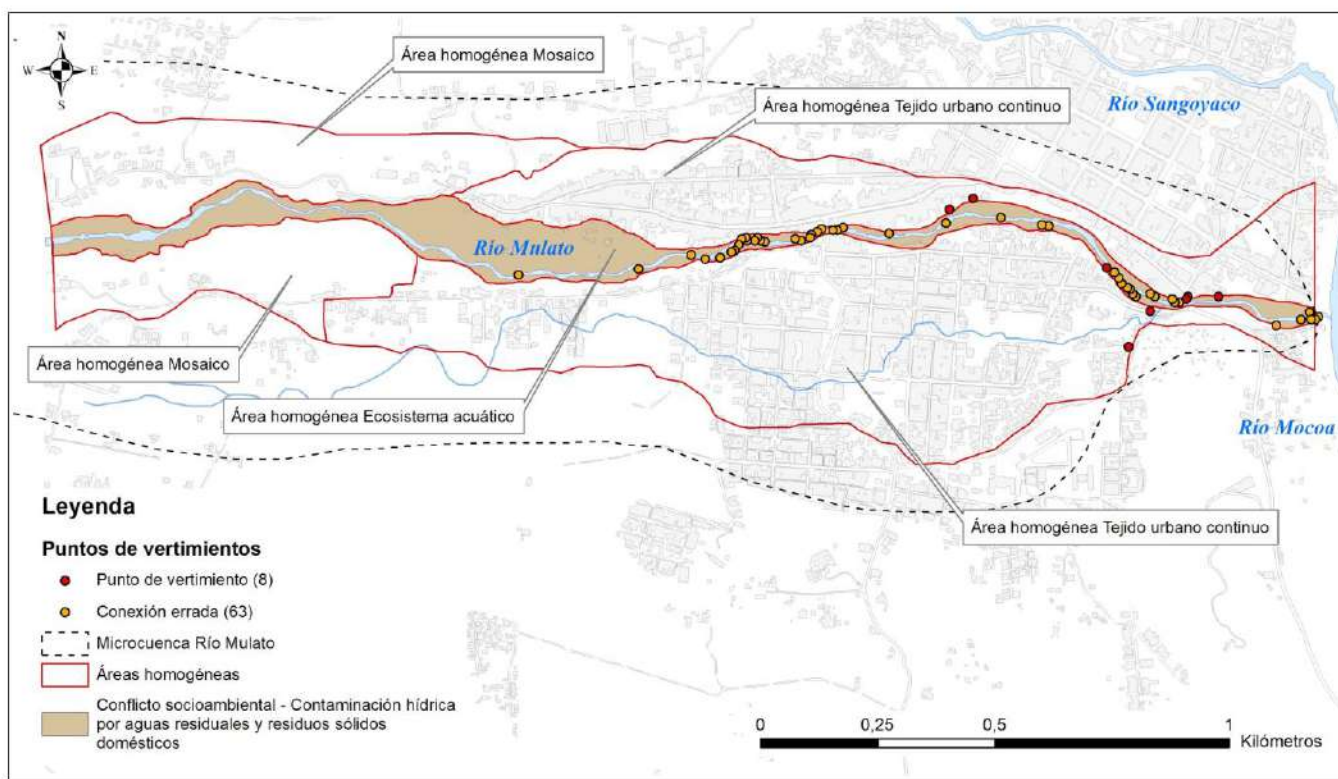
El alcance que tiene la ronda hídrica del río Mulato a nivel geomorfológico es principalmente funcional, para garantizar que los procesos morfológicos del cauce y del sistema fluvial se lleven a cabo con normalidad. Sin embargo existen niveles de susceptibilidad geomorfológica de porciones de terreno que por sus características morfológicas y por evidencias de composición muestran la proporción real del sistema, indicando procesos fluviales a escala macro que deben considerarse para un posterior análisis de riesgo.

El nivel de riesgo más alto será entonces para aquellas construcciones que se encuentren dentro de la zona de susceptibilidad **muy alta** y **alta**, considerando que para el río Mulato la ocurrencia de inundaciones y avenidas torrenciales es frecuente ejerciendo dominio total del río para depositar material sedimentario que proviene de los materiales geológicos de la parte alta y media de la cuenca. En su orden los espacios de susceptibilidades moderadas tienen también un nivel de riesgo mitigable toda vez que se tengan herramientas de control y monitoreo de toda la cuenca, pues sus condiciones topográficas no permiten que los procesos morfológicos tengan mayor alcance durante periodos de tiempo que pueden llegar a ser de 50 años mientras las condiciones climáticas se mantengan.

Por último el nivel de riesgo **bajo** será para toda infraestructura que se encuentra en las zonas de susceptibilidad **baja** y **muy baja**, lo cual se traduce en que las edificaciones que se encuentren allí pueden no verse afectadas por procesos morfológicos del río en una escala de tiempo perceptible por el ser humano (hasta 100 años o más), pero la composición litológica de aquel espacio revela que un evento torrencial de grandes magnitudes podría alcanzar dicho espacio y llegar a causar pérdidas importantes.

A nivel geomorfológico los procesos que representan mayor amenaza son la erosión de bancas y la socavación lateral, que a su vez se desarrollan dentro de la zona de susceptibilidad alta y muy alta. Estos procesos comprometen la estabilidad de los taludes del cauce, por lo cual pueden existir episodios de flujos torrenciales que debiliten la estructura de la banca y terminen con porciones de terreno completamente removidos, como en el caso del evento del 31 de marzo y 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa, el cual la erosión removió aproximadamente entre 10m y 20m hacia afuera de la banca, ocasionando la caída de edificaciones construidas en los márgenes de los taludes del cauce en los barrios José Homero y Miraflores.

## Conflicto 2. Contaminación por aguas residuales y residuos sólidos domésticos



**Figura 254** Mapa conflicto socioambiental por contaminación hídrica (aguas residuales y residuos sólidos domésticos).

Hasta mediados del siglo XX las aguas del río Mulato eran captadas directamente de su cauce para el abastecimiento de los hogares asentados sobre sus riberas. Los habitantes de la zona mencionan que las aguas eran limpias y ante la ausencia de las redes del acueducto se presentaban como la mejor opción para suplir esta necesidad y demanda. Asimismo el río Mulato ofrecía un sitio de recreación, pesca y lavandería para los habitantes. Sin embargo, con el crecimiento del número de viviendas los vertimientos de aguas residuales y las basuras domésticas aumentaron. Es así como los beneficios del río han disminuido drásticamente impidiendo el uso de este recurso y de sus servicios por parte de los pobladores de la zona. De hecho, este río en el área urbana ha dejado de ser un espacio recreativo y sus aguas ya no son consumidas directamente por los pobladores como se hacía en tiempos anteriores.

La anterior problemática no solo está asociada al río Mulato, pues en general, a través del tiempo las fuentes hídricas del municipio de Mocoa presentan contaminación de manera permanente y gradual, causada por vertimientos directos de aguas residuales, disposición de residuos sólidos a las fuentes hídricas, entre otras (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Para el año 2009, las cargas contaminantes por vertimiento de aguas residuales se estimaron en 52,34 l/s, los cuales aportaron 904,5 kg/día de DBO5 y 1257 kg/día de SST que fueron vertidos a los cursos de agua que atraviesan el casco urbano y rural del municipio de Mocoa, como son la quebrada Taruquita y otras quebradas menores, así como los ríos Sangoyaco y Mulato (PSMV, 2009 en Alcaldía Municipal de Mocoa, 2012).

En relación a la gestión de las aguas residuales y el servicio de alcantarillado sobre el río Mulato, se han reportado 84 puntos de vertimientos de aguas residuales y 7 puntos de vertimiento de residuos sólidos

(PSMV, 2009 en Alcaldía Municipal de Mocoa, 2012)<sup>13</sup>; sin embargo, Aguas Mocoa S.A. E.S.P reporta para el año 2015, 8 puntos de vertimientos y 73 conexiones erradas sobre el río Mulato. En la **Tabla 56** se relacionan los caudales de los mencionados vertimientos, que en conjunto aportan 102,7 l/s de aguas residuales.

**Tabla 56** Vertimientos de aguas residuales sobre el río Mulato

No vertimiento	Barrio	Caudal medio (l/s)	Coordenadas geográficas	
			N	W
1	Naranjito	0,92	01°08' 137,9"	76°38' 140,6"
2	Naranjito	4,56	01°08' 137,9"	76°38' 142,7"
3	Naranjito	6,13	01°08' 137,7"	76°38' 142,8"
4	José Homero Alto	4,67	01°08' 134,4"	76°38' 146,8"
5	José Homero Bajo	30	01°08' 136,9"	76°38' 145,3"
6	José Homero Bajo	5,21	01°08' 139,9"	76°38' 148,3"
7	17 de Julio	49	01°08' 144,7"	76°38' 157,5"
8	17 de Julio	2,21	01°08' 143,96"	76°38' 159,16"

Fuente: Aguas Mocoa S.A. E.S.P., 2009

De manera similar, en la **Tabla 57** se especifican las conexiones erradas de vertimientos de aguas negras, grises y combinadas (Aguas Mocoa S.A. E.S.P.), infortunadamente para estos vertimientos no se tiene reporte de caudal.

**Tabla 57** Conexiones erradas vertidas al río Mulato

No de vertimientos	Barrio	Tipo de vertimiento	Coordenadas geográficas	
			N	W
1	San Agustín	Aguas negras	01°08'36.8"	76°38'34.3"
1	La Peña	Aguas negras	01°08'36.5"	76°38'33.7"
1		Aguas negras	01°08'36.3"	76°38'33.9"

<sup>13</sup> De acuerdo al Decreto 735 del 5 de mayo de 2017 el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos está suspendido mientras se reactivan los servicios de acueducto y alcantarillado. En este sentido, la empresa Aguas Mocoa puede operar sin permisos ni licencias, siguiendo un plan de manejo ambiental.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

No de vertimientos	Barrio	Tipo de vertimiento	Coordenadas geográficas	
			N	W
1		Aguas negras	01°08'36.3"	76°38'34.2"
1		Combinado	01°08'36.3"	76°38'34.9"
1		Combinado	01°08'35.9"	76°38'36.6"
2	Naranjito	Aguas negras	01°08'37.5"	76°38'43.3"
1		Aguas grises	01°08'37.5"	76°38'43.3"
1		Aguas grises	01°08'37.5"	76°38'43.6"
1		Aguas grises	01°08'37.7"	76°38'43.8"
1		Aguas negras	01°08'37.9"	76°38'45.0"
1		Aguas negras	01°08'38.1"	76°38'45.3"
1		Aguas negras	01°08'37.9"	76°38'46.3"
1	José Homero	Aguas negras	01°08'38.1"	76°38'46.5"
1		Aguas negras	01°08'38.4"	76°38'46.7"
1		Aguas negras	01°08'38.5"	76°38'46.9"
1		Combinado	01°08'38.8"	76°38'47.3"
1		Aguas negras	01°08'39.2"	76°38'47.5"
1		Aguas negras	01°08'39.6"	76°38'47.8"
1		Combinado	01°08'42.8"	76°38'52.3"
1		Combinado	01°08'42.9"	76°38'52.8"
1		Combinado	01°08'43.4"	76°38'55.6"



**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

No de vertimientos	Barrio	Tipo de vertimiento	Coordenadas geográficas	
			N	W
1		Combinado	01°08'43.0"	76°38'59.4"
1		Combinado	01°08'42.3"	76°39'3.3"
1	17 de Julio	Aguas negras	01°08'42.7"	76°39'6.5"
1		Aguas grises	01°08'42.7"	76°39'6.5"
3		Aguas negras	01°08'42.5"	76°39'6.9"
2		Aguas grises	01°08'42.5"	76°39'6.9"
3		Combinado	01°08'42.5"	76°39'7.2"
2		Aguas grises	01°08'42.5"	76°39'7.2"
1		Aguas negras	01°08'42.6"	76°39'8.0"
2		Aguas grises	01°08'42.6"	76°39'8.0"
1		Aguas negras	01°08'42.4"	76°39'8.3"
1		Aguas grises	01°08'42.4"	76°39'8.3"
1		Combinado	01°08'42.2"	76°39'8.7"
1		Combinado	01°08'42.0"	76°39'8.8"
1		Combinado	01°08'41.8"	76°39'9.4"
1	Miraflores	Combinado	01°08'41.9"	76°39'9.8"
1		Combinado	01°08'41.7"	76°39'11.9"
1		Aguas negras	01°08'41.8"	76°39'12.2"
1		Aguas grises	01°08'41.8"	76°39'12.2"

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

No de vertimientos	Barrio	Tipo de vertimiento	Coordenadas geográficas		
			N	W	
1		Aguas grises	01°08'42.0"	76°39'12.4"	
1		Aguas negras	01°08'42.0"	76°39'12.4"	
1		Aguas negras	01°08'41.8"	76°39'12.6"	
1		Aguas grises	01°08'41.8"	76°39'12.6"	
1		Aguas grises	01°08'41.8"	76°39'13.1"	
1		Aguas negras	01°08'41.8"	76°39'13.1"	
1		Aguas negras	01°08'42.0"	76°39'13.2"	
1		Aguas grises	01°08'42.0"	76°39'13.2"	
2		Aguas negras	01°08'41.9"	76°39'13.5"	
1		Aguas grises	01°08'41.9"	76°39'13.5"	
1		Aguas grises	01°08'41.5"	76°39'13.7"	
1		Aguas negras	01°08'41.5"	76°39'13.7"	
1		Las Colinas	Combinado	01°08'41.1"	76°39'14.0"
1			Combinado	01°08'41.0"	76°39'14.2"
1	Aguas grises		01°08'41.0"	76°39'14.2"	
1	Aguas negras		01°08'40.6"	76°39'15.0"	
1	Aguas grises		01°08'40.6"	76°39'15.0"	
2	Aguas negras		01°08'40.5"	76°39'16.0"	
1	Aguas grises		01°08'40.5"	76°39'16.0"	

No de vertimientos	Barrio	Tipo de vertimiento	Coordenadas geográficas	
			N	W
1		C. de Cerdos	01°08'40.8"	76°39'17.0"
1		-	01°08'39.8"	76°39'20.6"
1		Combinado	01°08'39.4"	76°39'28.9"

Fuente: Aguas Mocoa S.A. E.S.P., 2009

En relación con la gestión y servicio de recolección de basuras, la empresa EMAS Putumayo, administradora del servicio de aseo desde el año 2015, tiene una frecuencia de recolección de dos veces por semana mediante la utilización de dos carros recolectores únicamente en la zona urbana. Se estima que el promedio de residuos sólidos es de 28 ton/día y su disposición final se hace en un relleno sanitario ubicado a las afueras del municipio, cerca de la vía a Pitalito (Aguas Mocoa, 2013). No obstante, en el Plan de Desarrollo Departamental del Putumayo 2016-2019 "Putumayo Territorio de Paz, Biodiverso y Ancestral. Juntos podemos transformar" se afirma que dicho relleno sanitario ya está al final de su vida útil (Asamblea Departamental del Putumayo, 2016).

En la zona rural donde se realizaron recorridos y análisis de transecto parte del equipo de trabajo, se identificó que algunos de los pobladores desarrollan un tratamiento doméstico de la basura que consiste en el aprovechamiento de los residuos orgánicos como abono para las huertas, y los demás residuos en algunos casos son quemados o arrojados al barranco (talud) ubicado entre el río y la carretera de la vereda El Líbano.

Por otro lado, el resguardo indígena Inga-Mocoa localizado cerca de la vereda Líbano tampoco cuenta con servicio de alcantarillado y aseo. Sin embargo, en el año 2012 el resguardo indígena se benefició de un programa de saneamiento básico, el cual fue gestionado y ejecutado entre CORPOAMAZONIA y Aguas Mocoa S.A. E.S.P. que consistió en la instalación de 34 unidades sanitarias y sistemas de almacenamiento de aguas residuales (pozo séptico).

### Dinámica del conflicto

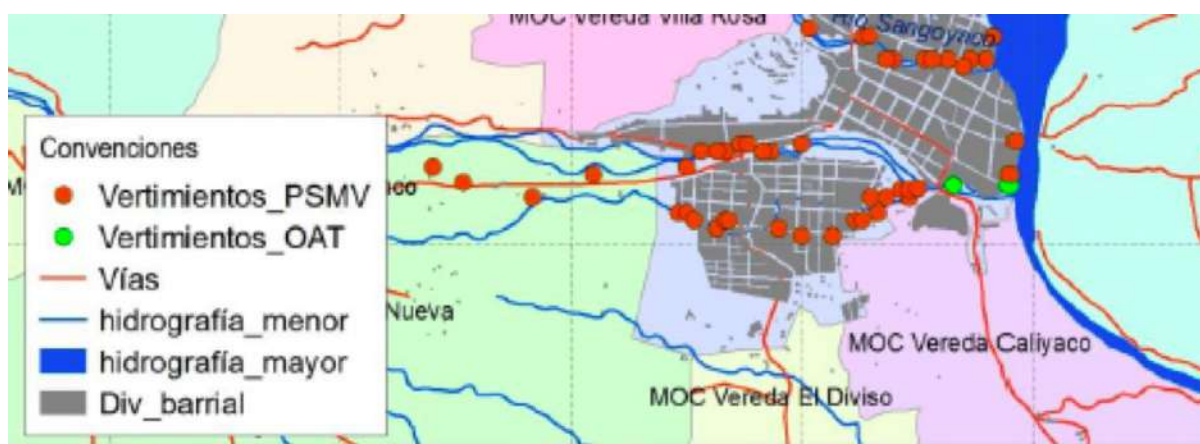
De acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta realizada, los habitantes del área de influencia del río Mulato señalan que los residuos domésticos y las aguas residuales de las viviendas que son vertidos al curso de agua (34,42% y 31,6%, respectivamente) son los principales factores asociados a la contaminación; mientras que la urbanización (10,2%) y la falta de cultura ciudadana (educación ambiental) asociada al cuidado de estos recursos (9,18%) son otros de los factores identificados en el manejo de las basuras (**Anexo 8. Análisis Descriptivo**)

En el área de mosaico, en la cuenca media, se reconocen menos problemáticas por vertimientos o basuras por parte de los pobladores, en este sentido de manera esporádicamente los pobladores de la vereda El Líbano realizan actividades de pesca y recreación en el río.

En el área de tejido urbano, los puntos de vertimientos se concentran en los barrios Miraflores, Avenida 17 de Julio y La Peña (ver **Figura 255**). Los pobladores ribereños del municipio de Mocoa se han visto afectados por la contaminación del río, ya que no pueden hacer uso del agua por el riesgo para la salud, convirtiéndose en los receptores directos de la problemática. De manera indirecta los habitantes de

Mocoa, particularmente quienes viven cerca del río, y visitantes, no pueden usar el río con un fin recreativo, educativo o como potencial turístico.

Otro aspecto del conflicto es el sellamiento del suelo. Esto es, los suelos urbanos tienden a tener problemas de encharcamientos, inundaciones, pérdida de biodiversidad, déficit en la recarga de acuíferos, así mismo la mezcla con materiales de relleno que favorecen la compactación, que condicionan la baja aireación, drenaje y almacenamiento de humedad (Cram *et al.*, 2008). Esta problemática se observa en las calles pavimentadas y los muros en las riberas ubicados en los barrios Miraflores, Avenida 17 de Julio, Centro, Naranjito y Pablo VI, que han modificado la capacidad de descontaminación natural del río.



**Figura 255** Vertimientos del municipio de Mocoa. Fuente: Adaptado de “Vertimientos municipio de Mocoa”. En: Diagnóstico Ambiental para la Estructuración de Lineamiento Técnicos de Ordenación Ambiental como soporte fundamental en los procesos de formulación e incorporación de los aspectos ambientales del esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Mocoa, departamento de Putumayo, 2014.

#### **Cambios en las propiedades del suelo:**

Las propiedades fisicoquímicas del suelo pueden resumirse en las siguientes: textura, estructura, porosidad, permeabilidad, profundidad efectiva, acidez y contenido de materia orgánica. Los suelos desarrollados dentro del sistema fluvial dependen principalmente de las características litológicas y sedimentológicas del lecho y de las bancas, además del desarrollo de vegetación riparia o de galería y de las pendientes del terreno, por ende estos suelos tienden a tener un elevado contenido de nutrientes, materia orgánica y metales pesados, ser poco profundos y tener un pH ligeramente alcalino.

Los vertimientos de aguas servidas sobre estos suelos no alteran la mayoría de las propiedades físicas, pues están regidas por las características nombradas que son externas e independientes a la existencia de flujos canalizados de agua a través de ellos. En cambio, las características químicas del suelo pueden verse severamente afectadas, puesto que las reacciones químicas que se desarrollan a nivel interno por el contacto de los minerales con agentes como el agua y el aire (conocido como el proceso de meteorización), pueden ser acelerados o retardados en función de la composición química de las aguas vertidas, lo cual a su vez afecta directamente el contenido de materia orgánica, la fertilidad e incluso la profundidad del suelo.

### **Conflicto 3. Construcción infraestructura como medida de mitigación**

#### **Contexto**

Las obras de mitigación como muros, diques o jarillones pueden afectar las dinámicas hidrogeomorfológicas de los ríos, de acuerdo a UNAL & MADS (2012). Los pobladores del área mosaico reconocen en menor medida los beneficios de la infraestructura de mitigación, enfatizando en la importancia de las dinámicas naturales del río. Entre tanto, los pobladores de la zona urbana ven estas obras como una medida de protección a largo plazo para las personas y sus viviendas, a diferencia de los pobladores rurales.

Por otro lado, mencionan que algunas de estas medidas no han funcionado debido a la falta de socialización, concertación y vinculación de los actores locales en la toma de decisiones frente a estas propuestas institucionales. Un ejemplo de estas medidas son las acciones emprendidas luego de la declaración del estado de Emergencia Social, Económica y Ecológica a partir de la cual se pretendió estabilizar el río Mulato sin considerar que se requería de un estudio sobre la dinámica fluvial del río. Frente a estas medidas de mitigación algunos pobladores de las veredas afirman que se podría generar otras alternativas, por ejemplo, alianzas entre instituciones y la población local para el desarrollo de programas de reforestación comunitaria, concertación en la toma de decisiones y el desarrollo de estudios previos, como elementos para la formulación de medidas para la prevención de disturbios.

#### **Dinámica del conflicto**

Las obras de mitigación sobre el curso del río Mulato iniciaron a partir de la década de los años 40 con la construcción del canalón<sup>14</sup> sobre el barrio Miraflores. Esta estructura transportaba una parte del agua del río Mulato hasta el barrio La Loma e impulsaba la turbina hidráulica que generaba energía eléctrica en el centro del poblado. Por estos años se construyeron los primeros gaviones de piedras a la altura de Miraflores y El Líbano, con el fin de controlar las crecientes del río. Por otra parte, la primera canalización del río inició en el año 1945; esta actividad la llevaron a cabo mediante trabajo comunitario (mingas) con ayuda de picas y palancas, pues en ese entonces a Mocoa no había llegado maquinaria pesada.

Por otra parte, durante la década de los años sesenta se inició la construcción de una serie de muros de contención a la altura de los barrios Miraflores, Naranjito, Centro y Avenida 17 de Julio. Algunos pobladores de estos barrios se asentaron sobre estas estructuras. Así mismo, en el transcurso de la última década se edificaron nuevos muros a la altura de Miraflores y Pablo VI en el marco de la restauración del puente que conecta estos dos barrios. Vale la pena resaltar que desde el año 1945 el río Mulato ha sido canalizado en repetidas ocasiones. Los pozos, los brazuelos y las playas del río que existían, han sido modificados por este tipo de intervenciones.

La construcción de estructuras hidráulicas asociadas con el desarrollo urbanístico, como por ejemplo: puentes, canalizaciones, muros de contención, rectificación de cauces, etc., alteran la geomorfología del cauce, al igual que el hábitat natural (o paisaje). El incremento de áreas impermeables reduce la función de filtración y el tiempo de concentración de la escorrentía superficial (aguas lluvias) generando así un aumento rápido del caudal y de mayor magnitud que en condiciones naturales.

Los pobladores locales reconocen la modificación del cauce del río debido a estas obras, cambiando las dinámicas de pozos naturales, y así, el hábitat de los peces. De ahí que el espacio construido para estas

---

<sup>14</sup> Obra de infraestructura destinada a transportar una parte de las aguas del río Mulato desde la parte alta del barrio Miraflores hacia el centro de la ciudad. Esto, con el fin de impulsar la turbina hidráulica que generaba energía eléctrica durante los años 40.

obras de mitigación implique la reducción del paisaje natural, y por tanto, la disminución de las funciones estéticas y de recreación de los ecosistemas.

#### Conflicto 4. Expansión urbana no planificada

En 1938 el municipio de Mocoa contaba con 5767 habitantes, de los cuales 1446 personas poblaban la cabecera municipal, de acuerdo a la anterior organización territorial entre cabeceras municipales y comisarías (Sánchez, 2015). Para el año 2017, el municipio ya cuenta con 43.731 habitantes y su concentración urbana pasó del 25% al 82.5% (DNP, 2017a). De acuerdo a Lemaitre (2014), entre los años 1995 y 2011 al municipio de Mocoa llegaron cerca de 57.000 personas víctimas del desplazamiento por conflicto armado. Del total de esta población, el municipio atendió 22.000 personas en un periodo de 17 años, de acuerdo a la información que reposa en el registro único de población desplazada –RUPD- (ver **Figura 256** y **Tabla 58**). Por tal razón, el crecimiento urbano de Mocoa no debe ser entendido exclusivamente desde las migraciones internas del municipio, sino también por las configuraciones y dinámicas regionales asociadas al conflicto interno del país.



**Figura 256.** Registro único de víctimas (RUV), 1 de noviembre de 2017.

En palabras de Lina Sánchez (2012), se estima que la mayor parte de la población desplazada se ha asentado en los barrios más pobres y deteriorados de la ciudad con infraestructura incompleta, niveles de hacinamiento alto y menor acceso a servicios sociales. En el caso particular del área de estudio “una alta concentración se encuentra en barrios localizados al sur del río Mulato, es decir, en los barrios de más reciente conformación, poblados por migrantes putumayenses de origen campesino y de bajos recursos económicos (Pablos VI, 5 de Septiembre, José Homero, Las Américas, Libertador, Los Sauces, El Diviso y Sinaí). Una concentración media se encuentra en los barrios más consolidados al costado noroccidental del río Mulato (La Loma, Kennedy, 17 de Julio y Miraflores)”. (Sánchez, 2015:114).

**Tabla 58** población desplazada recibida en Mocoa 2000-2011.

Años	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Personas	525	878	994	2048	2148	1877	1732	1473	2024	4728	2852	1857
Hogares	176	289	325	576	594	510	435	346	432	978	537	342

Fuente: Registro único de población desplazada –RUPD.

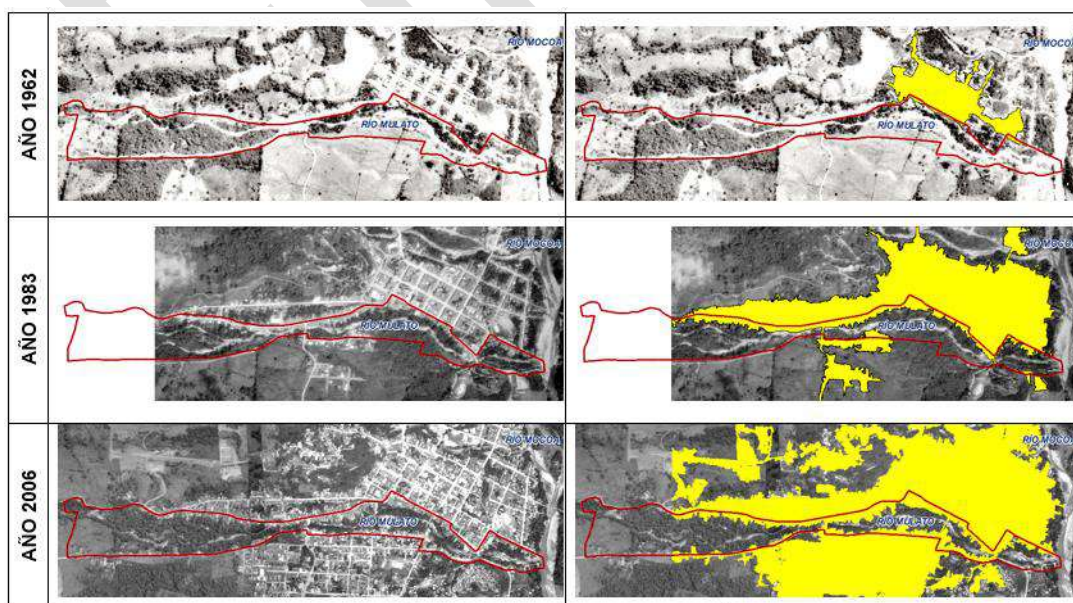
La rapidez con que ocurren las expansiones urbanas exige una inversión en infraestructura y una capacidad política y administrativa que resulta ser no suficiente por parte de las autoridades municipales, como se evidencia en la ejecución de sus Planes Básicos de Ordenamiento Territorial –PBOT- 2008.

Una de las consecuencias de la rápida urbanización (expansión) ha sido la creación de zonas urbanas marginales en la periferia de la ciudad, y de manera particular, en las zonas aledañas a los ríos que atraviesan la ciudad de Mocoa, en zonas de riesgo por deslizamiento e inundaciones.

Los procesos de expansión o crecimiento urbano además han significado la conversión (transformación) de ecosistemas naturales (acuáticos y terrestres) a sistemas transformados predominantemente urbanos, lo cual ha llevado a la alteración o afectación progresiva de la estructura hidrológica, geomorfológica y, en particular, de la ecosistémica del río Mulato. Procesos que están relacionados con pérdida de hábitat para la biodiversidad local, disminución de la conectividad entre áreas naturales y generadores de disturbios como la contaminación por las áreas urbanas, que finalmente, repercuten en la capacidad de los ecosistemas en generar bienestar a través de la prestación de servicios de regulación, hábitat, producción e información.

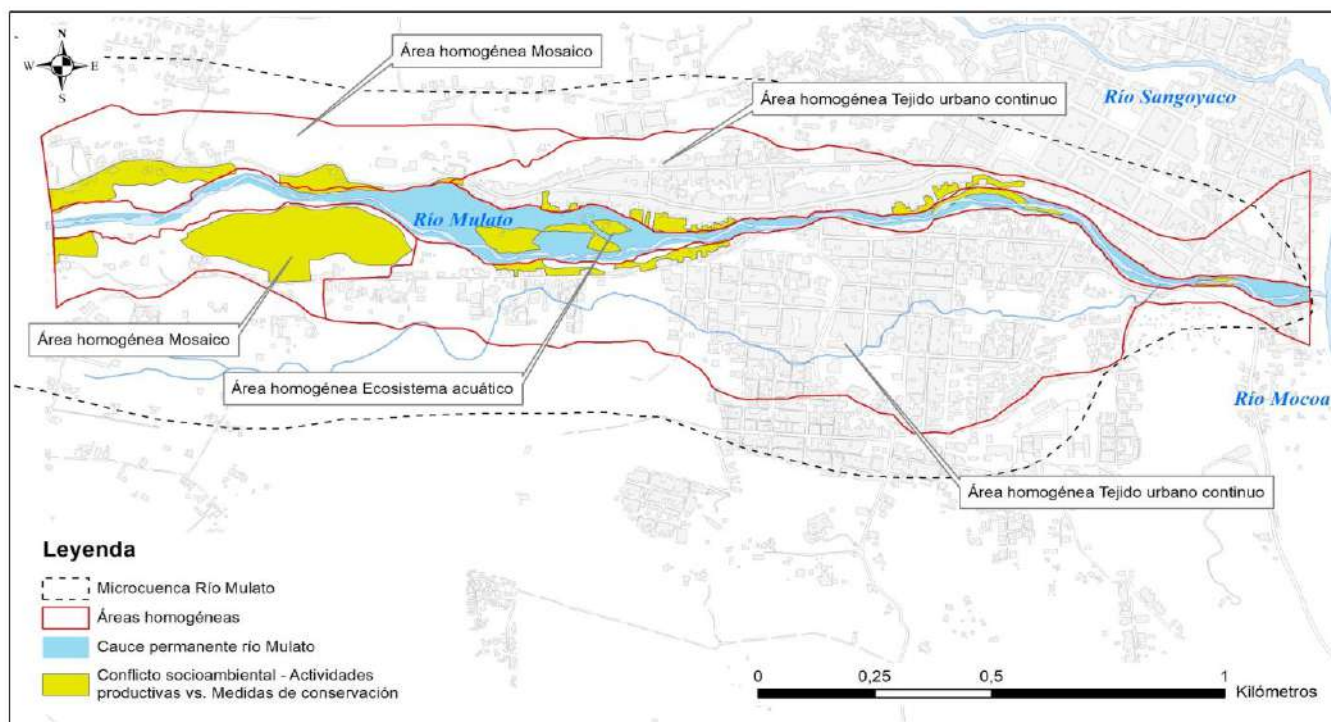
Por otra parte de acuerdo a Llambí y Pérez (2007) la expansión urbana puede generar también otras condiciones como economías informales y congestión urbana. Otros aspectos ligados son la creación de corredores viales para aprovechar la localización y las nuevas actividades no agrícolas en espacios rurales.

El análisis multitemporal realizado con fotografías aéreas para la ronda del río Mulato (**Figura 257**), confirma la transformación espacial que ha sufrido el tejido urbano (expansión) en el periodo 1962-2006 (45 años) resultado de las intervenciones antrópicas. Se observa en tonos grises claros las áreas desprovistas de vegetación (río Mulato, áreas de Mosaico y tejido urbano) y en tonos grises oscuros las áreas con alto contenido de humedad (vegetación). En 45 años las zonas verdes presentan pérdida de área mientras que el tejido urbano una ganancia de área que tiende a seguir en crecimiento. El color amarillo en la figura muestra un crecimiento urbano acelerado alrededor de la ronda del río Mulato y la poca distancia entre el río y las construcciones ratifica la falta de planificación y ordenamiento territorial.



**Figura 257** Análisis multitemporal tejido urbano de la ronda del río Mulato.

### Conflicto 5. ¿Uso sostenible del río Mulato? Actividades productivas vs. Medidas de conservación



**Figura 258** Conflicto socioambiental actividades productivas vs. medidas de conservación

Desde una perspectiva histórica, los pobladores de la zona de transformación al norte del área de estudio, han usado a lo largo de los años esta área como espacios de cultivo (caña, maíz y plátano, entre otros) y ganadería que sustentan parte de los ingresos de sus hogares y están directamente relacionados con las actividades de subsistencia y sus modos de vida campesinos.

Durante las últimas décadas del siglo XX las grandes fincas se han fragmentado (loteo) teniendo como consecuencia que el área de cultivos y los productos se hayan disminuido debido a la expansión urbana de Mocoa, la valorización de las actividades relacionadas con la finca raíz y el descenso en los precios de productos. Sin embargo, debe anotarse que el aprovechamiento de los recursos en estas áreas rurales es fundamental para la pervivencia de los pobladores de las veredas.

En cuanto a la zona de transformación urbana se destaca el aprovechamiento de materiales de arrastre del río Mulato (arena, ripio y piedras) desde mediados del siglo XX. Esta actividad desarrollada de forma artesanal y a pequeña escala por algunas familias se ha presentado como una fuente de ingresos y una alternativa laboral para los pobladores de la zona.

Ahora bien, desde finales de la década de los años 90 CORPOAMAZONIA<sup>15</sup> ha venido adelantando medidas de regulación y sanción frente al aprovechamiento de estos espacios, en las áreas de mosaico y tejido urbano. Estas medidas institucionales entran en conflicto con las necesidades y realidades de los pobladores frente a la importancia de estos recursos como fuente de ingresos para los hogares.

<sup>15</sup> Institución resultado de la fusión de la Corporación Autónoma Regional del Putumayo y CORPOAMAZONIA el 1 de enero de 1995.



Desde un punto de vista normativo, las rondas hídricas son zonas o franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas naturales de estos ecosistemas a través de medidas de protección y conservación. En este sentido, algunas formas de ocupación y usos socioculturales y económicos de estas zonas pueden entrar en conflicto con estas medidas, si no se emprende un manejo sostenible de estas actividades económicas.

### **Dinámica del conflicto**

Las actividades productivas en parte del área de mosaico en la actualidad se relacionan con la producción de alimentos como cultivos de caña, café, plátano, yuca y otros a pequeña escala, ganadería de pocas cabezas con doble propósito (leche y carne), piscicultura con siembra de cachama, tilapia y bocachico; así como pequeños galpones de gallinas. Por otro lado se evidencia que en San Luis de Chontayaco existe el aprovechamiento esporádico de madera y leña. Para el año 2009, de las actividades productivas, las agropecuarias representaban un 83% para los habitantes de las áreas rurales (CORPOAMAZONIA, 2006). Además los pobladores reconocen otros servicios ecosistémicos de regulación, hábitat e información que proveen bienestar, entre estos se encuentran el suministro de agua, prevención de disturbios, hábitat de diversidad biológica y áreas de recreación y educación.

Para el área de tejido urbano, la principal actividad asociada al río es la extracción artesanal de arena, ripio y piedras principalmente por pobladores de José Homero. Sin embargo, cabe anotar que es una actividad a pequeña escala que se desarrolla a la altura de los barrios San Agustín, La Peña, Miraflores y la vereda El Líbano.

A partir de la legislación colombiana las rondas hídricas, por sus variadas funciones, son de carácter público con un uso restringido, como lo establece el artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974. En los casos en que la ronda hídrica tiene un carácter privado (“Salvo derechos adquiridos”), y cuando entra en conflicto con el interés público, se acude a la función social y ecológica que son atribuidas al derecho de propiedad (Artículo 58 de la Constitución Política de Colombia de 1991). De ahí que la delimitación y los usos que se pueden dar a las rondas hídricas deben estar regulados por la Alcaldía Municipal con la orientación de la Autoridades Ambiental (CORPOAMAZONIA).

Por otro lado, desde un punto de vista institucional, se priorizan aquellos usos de las rondas hídricas relacionados con los objetivos de conservación y protección de las mismas, estableciendo así usos restringidos o condicionados para aquellos que pueden afectar las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas. En este sentido, las rondas hídricas dentro del PBOT (2008) de Mocoa adquieren la categoría de Determinante Ambiental, es decir, de suelo de protección cuyo uso principal es la conservación o restauración.

El primer ejercicio de ordenamiento ambiental de las rondas hídricas se dio en el contexto de los talleres adelantados en el año 2012 por el MADS y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Asimismo, en el documento “Determinantes y Asuntos Ambientales para el Ordenamiento Territorial en el Departamento del Putumayo” (2014), resultado del proceso de acompañamiento técnico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS- a CORPOAMAZONIA para la revisión y ajuste de los Planes de Ordenamiento Territorial en los municipios de su jurisdicción, retoma algunos conceptos y lineamientos generales sobre las categorías de uso del suelo relacionadas con las rondas hídricas, como por ejemplo:

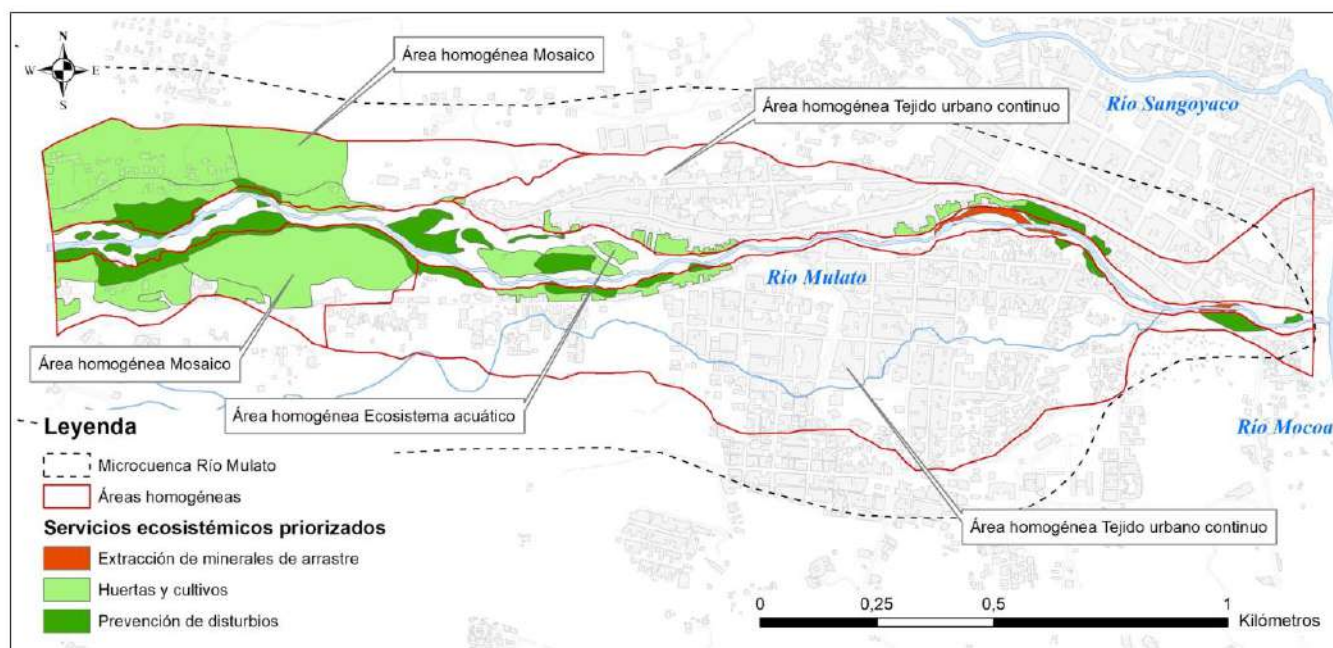
- Uso principal: de preservación o restauración.
- Uso complementario: Educación ambiental, recreación, navegación, goce estético, costumbres y usos adaptados a la dinámica fluvial.
- Uso restringido: Infraestructuras para servicios públicos.
- Uso prohibido: Construcción de viviendas y cualquier tipo de infraestructura permanente.

Para el año 2017 la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia del MADS fue presentada (como documento en consulta pública), dando mayor claridad a varios componentes y temas, que anteriormente no eran explícitos en la normatividad vigente actual. En este sentido, se reconoce la ocupación y algunos usos socioeconómicos y la dependencia de las comunidades asentadas en estas zonas. La dependencia no solo se entiende a partir del aprovechamiento económico de la naturaleza, sino también, por el bienestar que generan otros servicios tales como áreas de recreación, abastecimiento de agua, espacios de hábitat y redes sociales, entre otros.

Sin embargo, el criterio que condiciona las formas de ocupación y el desarrollo de algunas actividades socioeconómicas está determinado por el componente hidrológico (áreas de inundación y periodo de retorno) de las rondas hídricas. Esto significa para algunos pobladores del área de mosaico la restricción o condicionamiento de algunos servicios ecosistémicos de las funciones de producción de los que ellos dependen. Una propuesta local ante posibles medidas de manejo de este tipo que condiciona las actividades productivas, es el pago por servicios ambientales e iniciativas de turismo sostenible.

#### 6.4.2.3 Criterio 3. Servicios ecosistémicos

De manera sintética se puede apreciar que en las área de Mosaico y ecosistema acuático se identificaron alrededor 30 servicios ecosistémicos, mientras que en el área de tejido urbano tan solo 10 servicios (**Figura 259**). El nivel de dependencia es diferente en cada una de las zonas, y por tanto, la presión sobre los servicios es distinta. En el área Mosaico, los pobladores tienen una relación más cercana con ecosistemas menos transformados, mientras que para los habitantes del área de tejido urbano el bienestar está más asociado con los beneficios generados por la modificación del paisaje, visto a partir de las áreas para vivienda y el acceso a servicios públicos.



**Figura 259** Mapa servicios ecosistémicos priorizados para la ronda hídrica del río Mulato

### 6.4.3 Medidas de manejo generales

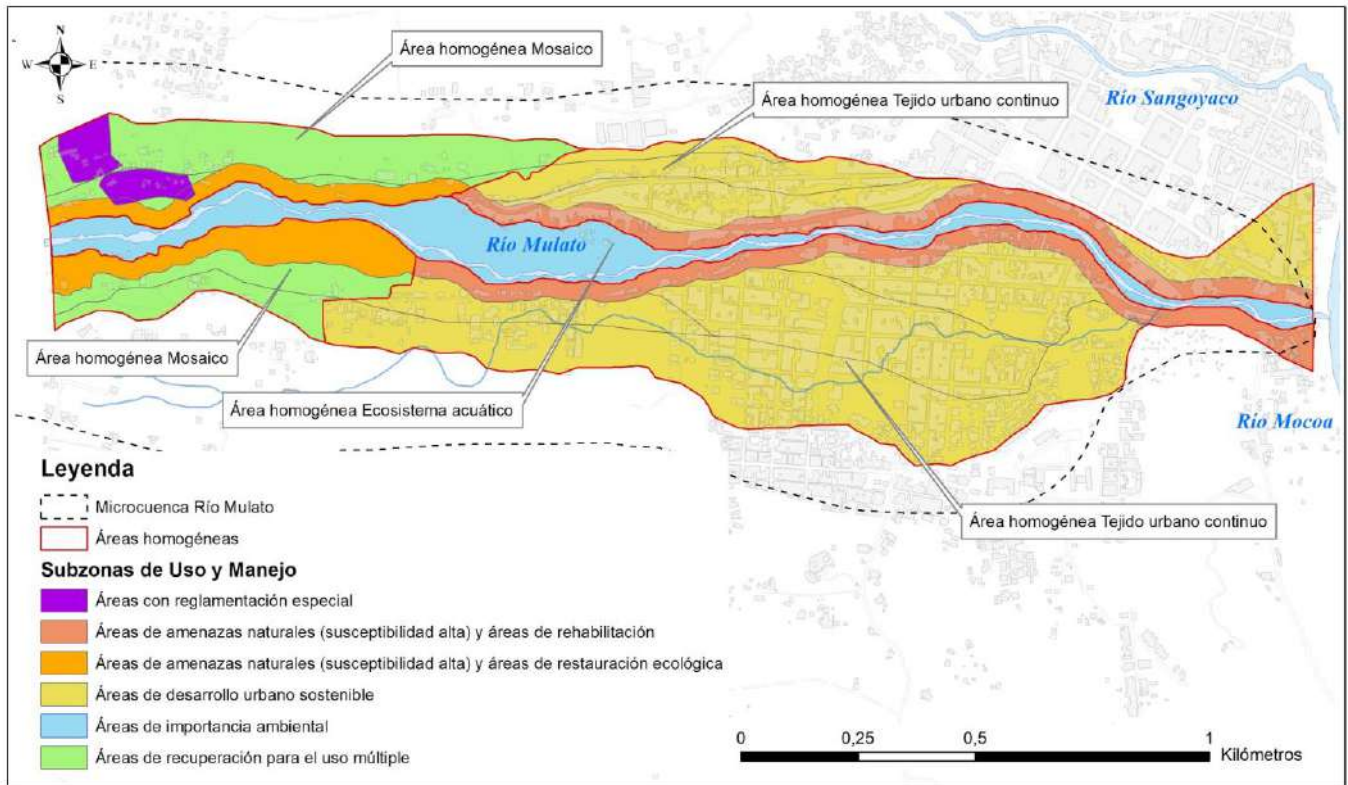
En la definición de las estrategias de manejo ambiental se tuvieron en cuenta los criterios mínimos a considerar planteados por la Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia (MADS 2017), el resumen de estos criterios son:

- a) Preservar áreas naturales de interés.
- b) Restaurar áreas que han tenido algún tipo de intervención y donde puede restituirse el ecosistema natural, buscando conservar o restaurar corredores biológicos.
- c) Mantener áreas en tramos urbanos consolidados sin elementos expuestos vulnerables a eventos de inundaciones, avenidas torrenciales o inestabilidad geotécnica.
- d) Proveer y mantener espacios naturales, o aquellos en proceso de restablecimiento de su estado natural, aptos para el deleite, la recreación, la educación y la valoración social de la naturaleza.
- e) Conservar espacios naturales asociados a elementos de cultura material o inmaterial de grupos étnicos y sus prácticas ancestrales.
- f) Mantener o establecer usos múltiples cuando éstos son compatibles con el objeto de conservación de la funcionalidad de las rondas hídricas.

Para establecer las estrategias de manejo al interior de las tres áreas homogéneas establecidas (Área de ecosistema acuático, Área de Mosaico, Área de Tejido Urbano) para el polígono de estudio del río Mulato, se definieron subzonas de uso y manejo de acuerdo a las particularidades de cada una que llevaron a agruparlas en (**Figura 260**):

- 1) Áreas de importancia ambiental.
- 2) Áreas con reglamentación especial.
- 3) Áreas de amenazas naturales (susceptibilidad alta) y áreas de rehabilitación.
- 4) Áreas de amenazas naturales (susceptibilidad alta) y áreas de restauración ecológica.
- 5) Áreas de desarrollo urbano sostenible.
- 6) Áreas de recuperación para el uso múltiple.

A continuación, se presentan las medidas de manejo consideradas por área homogénea establecida (ver **Tabla 59**).



**Figura 260** Mapa subzonas de uso y manejo dentro de las áreas homogéneas de la ronda hídrica del polígono de estudio del río Mulato (Mocoa, Putumayo).

**Tabla 59** Medidas de manejo para la ronda hídrica del río Mulato (Mocoa, Putumayo).

Área homogénea	Categoría de ordenación	Zonas de uso y manejo	Subzona de uso y manejo	Descripción	Objetivos específicos
Área de Ecosistema acuático	Conservación y protección ambiental	Áreas de protección	Áreas de importancia ambiental	Ecosistemas estratégicos - río Mulato y desembocaduras de afluentes, vegetación de ribera (Sucesión natural y reforestación).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recuperar el eje fluvial desde un punto de vista ambiental y ecológico.</li> <li>2. Manejar de forma sostenible los residuos sólidos y la disponibilidad, calidad y uso del recurso hídrico.</li> <li>3. Desarrollar actividades productivas de uso sostenible.</li> <li>4. Implementar acciones dirigidas a viviendas ubicadas en áreas de alto riesgo, fortaleciendo el ordenamiento territorial, gobernabilidad y participación de los ciudadanos.</li> <li>5. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica muy alta.</li> </ol>
Área de Mosaico	Conservación y protección ambiental	Áreas de protección y restauración	Áreas de amenazas naturales (susceptibilidad alta) y áreas de restauración ecológica	<p>Zonas delimitadas como de amenaza alta por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, actividad volcánica, e incendios forestales, entre otros.</p> <p>Zonas degradadas y con vegetación en diferentes estadios sucesionales.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica alta.</li> </ol>
			Áreas con reglamentación especial	Área de Manejo Especial Territorio étnico - resguardo indígena Inga de Mocoa	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Restablecer las funciones ecosistémicas de la ronda hídrica a través de la restauración ecológica de áreas degradadas y, la conservación de relictos de vegetación riparia y conexa remanentes.</li> <li>3. Articular y fortalecer las prácticas ambientales con las áreas de manejo especial teniendo en cuenta las iniciativas en materia ambiental del resguardo INGA de Mocoa y la OZIP (Organización Zonal Indígena del Putumayo).</li> </ol>
	Uso múltiple sostenible	Áreas de restauración	Áreas de recuperación para el uso múltiple sostenible	Áreas transformadas que presentan deterioro ambiental y que pueden ser recuperadas para continuar con el tipo de uso múltiple definido de acuerdo a su aptitud.	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Promover el desarrollo de actividades productivas sostenibles para el beneficio de pobladores locales.</li> <li>5. Implementar acciones dirigidas al desarrollo rural sostenible, fortaleciendo el ordenamiento territorial, la gobernabilidad y la participación de los ciudadanos.</li> <li>6. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica bajo y muy bajo.</li> </ol>

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Área homogénea	Categoría de ordenación	Zonas de uso y manejo	Subzona de uso y manejo	Descripción	Objetivos específicos
Área de Tejido Urbano	Conservación y protección ambiental	Áreas de protección y rehabilitación	Áreas de amenazas naturales y áreas de rehabilitación	Zonas delimitadas como de amenaza alta por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, actividad volcánica, e incendios forestales, entre otros.	1. Reducir el riesgo por susceptibilidad geomorfológica por flujos torrenciales dada condiciones principalmente morfométricas, que para esta zona se ha caracterizado como ALTO.
				Zonas degradadas, de vegetación dispersa y arbolado urbano.	2. Rehabilitar y, recuperar áreas degradadas que promuevan la conectividad de la vegetación dispersa remanente, y el arbolado urbano.
	Uso múltiple sostenible	Áreas urbanas	Áreas urbanas municipales	Áreas urbanas municipales	3. Promover espacios de recreación, educación y disfrute paisajístico. 4. Implementar acciones dirigidas, concertadas y asertivas en busca del desarrollo urbano sostenible (social, económico y ambiental), fortaleciendo el ordenamiento territorial, la gobernabilidad y la participación ciudadana. 5. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica moderada, baja y muy baja.

#### 6.4.4 Medidas de manejo Zona acuática río Mulato

6.4.4.1 Medida 1. Recuperar el eje fluvial desde un punto de vista ambiental y ecológico.

**Objetivo a corto plazo:** Disminuir paulatinamente la contaminación hídrica por vertimientos puntuales y difusos de aguas residuales que descargan sobre el río Mulato.

##### Acciones

- Actualización del plan básico de saneamiento municipal, aumentando la capacidad de la red de alcantarillado para que recolecte y lleve las aguas servidas a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), realizando una descarga de aguas residuales tratadas que cumplan con la normatividad ambiental colombiana al río Mulato.
- Realizar por parte de la autoridad ambiental acciones efectivas de control y sanción a vertimientos ilegales.
- Preservar los parches de chiparos establecidos dentro del área acuática

**Objetivo a mediano plazo:** Preservar las áreas remanentes de vegetación y, recuperar la vegetación de ribera en este espacio de transición del ecosistema acuático a los diferentes ecosistemas terrestres presentes en la ronda hídrica.

##### Acciones:

- Establecer áreas protectoras y de preservación de las coberturas vegetales remanentes en diferentes estadios sucesionales.
- Revegetalizar la zona riparia del río Mulato a través de la selección de especies nativas de la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical y Montano Bajo, de rápido crecimiento y buen sistema radicular que permita retener y compactar el suelo. De acuerdo al levantamiento florístico registrado en "Plantas del Centro Experimental Amazónico -CEA- Mocoa, Putumayo" (Peñuela Mora & Jiménez-Rojas, 2010).
- Implementar un vivero transitorios que apoye el proceso de revegetalización de la mano de la comunidad.
- Aumentar la cobertura con chíparos, planificando corredores paralelos al cauce principal.
- Adelantar un proceso técnico, social y ambiental para hacer la declaratoria de área protegida las zonas media y alta del río. De otra parte realizar la adquisición de áreas en la parte media y alta del río, en especial sobre la ronda hídrica determinada, con sustento en la ley 99/93 y sus reglamentarios.

**Objetivo a largo plazo:** Desarrollar un sistema ecológico de bosque - río, que propenda una mejora sustancial del paisaje y de los servicios ecosistémicos de regulación y de hábitat, con miras a generar corredores de conectividad en el paisaje andino amazónico. La importancia de la ronda en este tipo de ríos cordilleranos es fundamental para el sostenimiento de la biota acuática, ya que el aporte alóctono del bosque es la base para la cadena trófica del río, por ello se deben tomar medidas integrales que atañen el cauce permanente y el área aferente.

**Acciones:**

- Desarrollar acciones de restauración ecológica que propicien la sucesión natural y, asistir el proceso de recuperación a través del enriquecimiento, la forestación y reforestación con especies nativas, por ejemplo, plantas herbáceas y arbustos con flores vistosas de sotobosque que permitan la llegada de fauna asociada.
- Monitoreo de la fauna acuática y terrestre que ocupa la zona de transición, las cuales se recuperan y establecen a medida que van cambiando y mejorando las condiciones de cobertura y de calidad del agua del río y sus riberas.
- Repoblamiento con especies ícticas nativas que habitan este corredor fluvial, identificadas por medio de estudios biogeográficos y conocimiento local.
- Monitoreo de la calidad ecológica a través del uso de bioindicadores del estado del ecosistema acuático y, de su zona de transición con el ecosistema terrestre.
- Monitoreo de las especies establecidas mediante técnicas de restauración ecológica activa (forestación y reforestación de especies nativas, enriquecimiento forestal).

*6.4.4.2 Medida 2. Manejar de forma sostenible la disponibilidad, calidad y uso del recurso hídrico y de los residuos sólidos.*

**Objetivos a corto plazo:** (1) Cuantificar la oferta hídrica del río Mulato. (2) Determinar el grado de contaminación por carga orgánica global de los vertimientos líquidos y residuos sólidos en el área de influencia de la ronda hídrica.

**Acciones:**

- Instrumentación de la cuenca hídrica del río Mulato.
- Implementación de un sistema de monitoreo de alerta temprana para monitorear y advertir sobre situaciones de riesgo a la población
- Caracterización de vertimientos y captaciones (censo de usuarios, caudales, calidad fisicoquímica)
- Estimación de las cargas contaminantes vertidas al río Mulato (en función del ciclo hidrológico).
- Establecimiento de jornadas de limpieza y recolección de residuos sólidos no biodegradables en zonas críticas de acumulación.
- Adelantar procesos de sensibilización y formación ambiental formal (por ejemplo, mediante PRAES) y no formal.

**Objetivo a mediano plazo:** (1) Mejorar la calidad del agua en el río Mulato. (2) Minimizar la cantidad de residuos sólidos que van a sitios de disposición final.

**Acciones:**

- Evaluación de la capacidad de asimilación del río Mulato.
- Definición de los objetivos de calidad de agua del río Mulato.
- Sistematización de la información generada como parte del monitoreo e integrar los resultados a la plataforma del Sistema de Gestión Integral del Agua SIRH del IDEAM.
- Disminución progresiva de las cargas contaminantes vertidas al río Mulato.
- Erradicación de formas inadecuadas de disposición final de residuos sólidos.



- Promoción de estrategias educativas y culturales enfocadas en hábitos de consumo responsable.
- Desarrollo de programas para la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos por parte de la administración municipal.

**Objetivo a largo plazo:** (1) Consolidar un uso sostenible del río Mulato en términos de oferta, demanda, calidad y riesgos. (2) Adelantar estrategias de sostenibilidad ambiental enfocadas en el tratamiento y valorización de residuos sólidos como estrategia de sostenibilidad ambiental.

**Acciones:**

- Promoción de iniciativas para la protección y conservación de la cuenca del río Mulato.
- Asegurar por parte de la autoridad ambiental el cumplimiento de los objetos de calidad del río Mulato.
- Reducción de por lo menos el 50 % de las aguas residuales vertidas sin tratamiento previo.
- Implementación de indicadores para el seguimiento al Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Reciclaje y reutilización de por lo menos el 50% de los residuos sólidos aprovechables generados.
- Monitoreo de la capacidad de asimilación del río Mulato.
- Evaluación ecológica de las comunidades acuáticas (Bioindicadores) para determinar el grado de recuperación del río Mulato.

6.4.4.3 Medida 3. Desarrollar actividades productivas que propendan por la conservación<sup>16</sup> del área de ronda hídrica.

**Objetivo a corto plazo:** Elaborar lineamientos de sostenibilidad para estas actividades productivas con la participación de los actores locales.

**Acciones:**

- Caracterización del estado actual de pesca, minería y turismo, en términos actuales de los principales beneficiarios de estos servicios, los lugares en donde se realizan estas actividades.
- En el caso de la minería artesanal: Determinación de la capacidad de recarga del material de lecho, en las que se debe tomar en cuenta tasas de sedimentación, condiciones morfológicas e hidrológicas actuales, así como las tasas máximas de extracción de materiales del río.
- En el caso de pesca artesanal: Determinación de especies peces aprovechables y su estado, así como de las artes de pesca.
- En el caso de turismo: Determinación de la capacidad de carga de los ecosistemas y requerimientos en infraestructura y costos para el desarrollo de la actividad.
- identificación de los principales aspectos y lugares potenciales para el desarrollo de estas iniciativas productivas de carácter sostenible.

---

<sup>16</sup> Según la Política Nacional de Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE- (2012), la “Conservación” debe ser entendida y gestionada como una propiedad emergente, generada a partir del balance entre acciones de preservación, uso sostenible, generación de conocimiento y restauración de la biodiversidad.

- Establecimiento de acuerdos entre actores locales e instituciones para el adecuado manejo ambiental, social, cultural y económico de las actividades mencionadas.
- Acompañamiento en el diseño de iniciativas locales ajustadas a los acuerdos previos de sostenibilidad que propendan por el bienestar social y se consoliden como una alternativa económica.
- Diseño de mecanismos de seguimiento, monitoreo y evaluación de estas actividades por parte de la población local.

**Objetivo a mediano plazo:** Implementar actividades productivas sostenibles en el marco de los objetivos de conservación.

**Acciones:**

- Iniciar la primera fase de implementación de las actividades productivas de carácter sostenible.
- Fortalecimiento integral en la ejecución de estas iniciativas.
- Seguimiento, monitoreo y evaluación de estas actividades con el fin de mejorar el funcionamiento y los beneficios.
- Formación en diversas áreas del conocimiento en relación a la labor desarrollada dirigidas a los participantes de estas iniciativas.

**Objetivo a largo plazo:** Asegurar que el desarrollo de estas actividades **que** sean congruentes con los acuerdos trazados aportando a la sostenibilidad ambiental, así como al bienestar social y económico de los habitantes locales.

**Acciones:**

- Instauración de un sistema de gestión de la sostenibilidad en el largo plazo que se adecue a su realidad y escala de cada una de las iniciativas.
- Optimización de los beneficios sociales y económicos de la comunidad local y minimización de los impactos negativos.
- Optimización de los beneficios para el medio ambiente y minimización los impactos negativos.

*6.4.4.4 Medida 4. Implementar acciones dirigidas a viviendas ubicadas en áreas de alto riesgo, fortaleciendo el ordenamiento territorial, gobernabilidad y participación de los ciudadanos.*

**Objetivo a corto plazo:** Identificar los bienes inmuebles que se encuentran en zonas de alto riesgo para la construcción y habitabilidad.

**Acciones:**

- Identificación de bienes inmuebles que se encuentran inmersos en el río Mulato.
- Caracterización física, económica, jurídica y fiscal de los bienes inmuebles identificados con el fin de cualificar y cuantificar posibles áreas de reubicación de manera coordinada con el CMGRD.

**Objetivo a mediano plazo:** Reubicar los bienes inmuebles que se encuentran en zonas no aptas para la habitabilidad

**Acciones:**

- Reubicación de bienes inmuebles que se encuentran en áreas de alto riesgo no mitigable en el río Mulato.
- Demolición de las construcciones (bienes inmuebles) que se encuentran en el río Mulato, objeto de reubicaciones.
- Recuperación de las áreas demolidas a través de revegetalización de especies características de la franja ecosistémica (Ej. chiparo).

**Objetivo a largo plazo:** Regular y controlar el urbanismo espontáneo en el río Mulato.

**Acciones:**

- Prohibición de la construcción de viviendas en el río Mulato.
- Establecimiento de multas a las personas que de forma espontánea construyan en el río Mulato, así como las entidades que permitan o no dichas acciones.

*6.4.4.5 Medida 5. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica muy alta.*

**Objetivo a corto plazo:** Restablecimiento de las condiciones naturales del sistema morfológico fluvial

**Acciones:**

- Evacuación completa de cualquier ocupación permanente que se encuentre dentro de esta zona.
- Restricción de construcciones y nuevas obras de infraestructura residencial o productiva dentro del área.

**Objetivo a mediano plazo:** Conservación de las condiciones morfológicas naturales del sistema fluvial

**Acciones:**

- Restringir construcción de nueva infraestructura residencial o productiva dentro del área de ronda hídrica.

**Objetivo a largo plazo:** Configuración del territorio como área de riesgo alto

**Acciones:**

- Cambiar el uso del suelo dentro de la zona para restauración y preservación natural.

#### 6.4.5 Medidas de manejo río Mulato Zona mosaico

6.4.5.1 Medida 1. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica alta.

**Objetivo a corto plazo:** Realizar estudio detallado de riesgo por avenida fluviotorrencial, inundaciones y remoción en masa.

**Acciones:**

- Desarrollo de un estudio de estabilidad geotécnica para las bancas del cauce
- Evacuación de aquellas construcciones que se encuentren en estado de conservación deficiente según análisis predial
- Restricción para la construcción de nueva infraestructura residencial o productiva dentro del área
- Implementación de un sistema de monitoreo de alerta temprana para el riesgo por inundaciones y avenidas fluviotorrenciales.
- Caracterización biofísica de las áreas de amenaza y riesgo. Posterior socialización de resultados ante la CMGRD y la comunidad local.

**Objetivo a mediano plazo:** Adecuación espacios susceptibles por inestabilidad

**Acciones:**

- Restauración natural de las zonas de banca en las cuales se tengan condiciones de estabilidad geotécnica baja.
- Mejorar los sistemas de alertas tempranas para fenómenos climáticos extremos que pueden ocasionar eventos de gran amenaza e incendios forestales.

**Objetivo a largo plazo:** Protección de áreas con condiciones de riesgo alto

**Acciones:**

- Monitoreo y control por parte de las entidades respectivas de la jurisdicción para que no se construyan nuevas edificaciones en estos espacios

6.4.5.2 Medida 2. Restablecer las funciones ecosistémicas de la ronda hídrica a través de la restauración ecológica de áreas degradadas y, la conservación de relictos de vegetación riparia y conexas remanentes.

**Objetivo a corto plazo:** Recuperar y restablecer las áreas degradadas y, establecer áreas protectoras y de conservación de las coberturas boscosas actuales remanentes, así mismo, evitar la erosión, la pérdida de suelo, la calidad visual y del paisaje.

**Acciones:**

- Restauración de las áreas degradadas a través de técnicas de restauración activa y pasiva (regeneración natural), a través de la forestación y reforestación con especies nativas de la zona de vida bosque húmedo Tropical y Montano Bajo, especialmente considerando aquellas que se encuentren en la franja riparia.
- Mejora de las características estructurales y de composición, y de regeneración de la vegetación secundaria remanente a través del enriquecimiento con especies

nativas, al igual que en la acción anterior, que sean de la zona de vida bosque húmedo Tropical y Montano Bajo, especialmente considerando aquellas que se encuentren en la franja riparia.

- Preservación y aumento de los parches de chiparos (*Zygia longifolia*), y de otras especies emblemáticas para la zona como la chonta o bombona (*Iriartea deltoidea*) y, las especies maderables que se reportan como escasas en la región.
- Fomento de la conexión de la vegetación de ribera remanente con el paisaje conexo a través de usos compatibles con la funcionalidad de la franja ecosistémica.
- Articulación de los esfuerzos de protección y recuperación de la vegetación riparia de la ronda hídrica del río Mulato entre la comunidad, la academia, la investigación y, la institucionalidad.

**Objetivo a mediano plazo:** Evitar el deterioro de las poblaciones de especies de flora y fauna nativas presentes en la vegetación remanente en la ronda hídrica, y aumentar la cobertura riparia.

**Acciones:**

- Conexión de las áreas remanentes de vegetación con las de restauración a través de la planificación de corredores biológicos no sólo en la zona de mosaico, sino con las otras dos áreas homogéneas: zona acuática y de Tejido Urbano.
- Formación en temas de restauración ecológica con especies nativas, e integrar a la comunidad en los temas de restauración ecológica a través de estrategias de investigación participativa y educación ambiental.
- Profundización en la biología, ecología y silvicultura de especies nativas de gran relevancia para la ronda hídrica, como por ejemplo el chiparo (*Zygia longifolia*), y otros árboles y palmas que se encuentran en los relictos de bosques.
- Elaboración de estudios de las cadenas tróficas en el ecotono de las rondas hídricas.

**Objetivo a largo plazo:** Preservar y recuperar los hábitats, las zonas de refugio y de alimentación de la fauna local y, las especies nativas de flora y fauna que cohabitan la franja ecosistémica en los relictos de bosque remanente, y los ecosistemas restaurados.

**Acciones:**

- Incremento del trabajo con la comunidad en el manejo y usos del suelo adecuados compatibles con las funciones ecosistémicas de la ronda hídrica del río Mulato y de las áreas conexas a ésta.
- Monitoreo de la fauna asociada a la vegetación restaurada y enriquecida.
- Monitoreo de la vegetación establecida en las diferentes técnicas de restauración ecológica aplicadas.
- Establecimiento de senderos de educación ambiental y ocio a lo largo de los corredores riparios.

6.4.5.3 *Medida 3. Área de manejo especial. Proteger la base material natural favoreciendo las prácticas tradicionales asociadas al uso de estos espacios, reconociendo los vínculos espirituales y su cosmología.*

Antes de la implementación de medidas de manejo, las instituciones competentes en la gestión técnica, económica, socio-cultural y ambiental para el manejo integral del río Mulato y la ronda hídrica determinada, deberán garantizar a las comunidades étnicas que se encuentren en el territorio el derecho a la consulta previa, de acuerdo a las especificaciones del convenio No. 169 de la Organización Internacional del Trabajo - OIT-

**Objetivo a corto y mediano plazo:** Proteger la base material natural favoreciendo las prácticas tradicionales asociadas al uso de estos espacios, reconociendo los vínculos espirituales y la cosmología de estos grupos humanos en relación al territorio que habitan.

**Acciones:**

- Rescate del conocimiento tradicional asociado a las prácticas culturales que median el manejo territorio.
- Protección y fortalecimiento de los medios de vida, entendido como el conjunto de prácticas tanto cotidianas como rituales.
- Protección de los valores materiales e inmateriales asociados a estos grupos étnicos.
- Protección de la base ambiental como sustento de vida.

**Objetivo a largo plazo:** Articular las estrategias de coordinación propia y, fortalecer el apoyo de las iniciativas en materia ambiental del resguardo INGA de Mocoia y las organizaciones indígenas relacionadas (p.e. OZIP).

**Acciones:**

- Fortalecimiento y acompañamiento a las propuestas e iniciativas propias que surjan del cabildo y la OZIP (Organización Zonal Indígena del Putumayo).

6.4.5.4 *Medida 4. Promover el desarrollo de actividades productivas sostenibles agropecuarias (especies menores) y turísticas para el beneficio de pobladores locales.*

**Objetivo a corto plazo:** Elaborar lineamientos o bases técnicas de sostenibilidad para estas actividades productivas con la participación de los actores locales.

**Acciones:**

- Caracterización del estado actual del sector agropecuario y el turismo, en términos actuales de los principales beneficiarios de estos servicios.
- En el caso del sector agropecuario: Identificación de cultivos, huertas y cría de animales, entre de otros, desarrollados por los habitantes de las veredas de esta zona.
- En el caso de turismo: Determinación de la capacidad de carga de los ecosistemas y requerimientos en infraestructura y costos para el desarrollo de las actividades en el marco de la sostenibilidad.
- Identificación de los principales aspectos y lugares potenciales para el desarrollo de iniciativas productivas de carácter sostenible.

- Establecimiento de acuerdos entre actores locales e instituciones para el adecuado manejo ambiental, social, cultural y económico de las actividades relacionadas con el campo agropecuario y turístico.
- Acompañamiento en el diseño de iniciativas locales ajustadas a los acuerdos previos de sostenibilidad que propendan por el bienestar social y se consoliden como alternativas económicas de los habitantes de esta zona.
- Diseño de mecanismos de seguimiento, monitoreo y evaluación de estas actividades por parte de la población local.

**Objetivo a mediano plazo:** Implementar actividades productivas agrícolas y turísticas sostenibles.

**Acciones:**

- Iniciar la primera fase de implementación de las actividades productivas de carácter sostenible.
- Fortalecimiento integral en la ejecución de estas iniciativas.
- Seguimiento, monitoreo y evaluación con el fin de mejorar el funcionamiento y los beneficios generados.
- Formación en diversas áreas del conocimiento en relación a la labor agropecuaria y turística dirigidas a los participantes de estas iniciativas.
- Promoción de alianzas estratégicas con instituciones públicas, privadas o mixtas, tales como el Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA- y Agencia de Desarrollo Rural en procura de la financiación de emprendimientos.

**Objetivo a largo plazo:** Asegurar que el desarrollo de estas actividades sean congruentes con los acuerdos trazados aportando a la sostenibilidad ambiental, así como al bienestar social y económico de los habitantes locales.

**Acciones:**

- Instauración de un sistema de gestión de la sostenibilidad en el largo plazo que se adecue a su realidad y escala de cada una de las iniciativas.
- Optimización de los beneficios sociales y económicos de la comunidad local y minimización de los impactos negativos.
- Optimización de los beneficios para el medio ambiente y minimización los impactos negativos.

*6.4.5.5 Medida 5. Implementar acciones dirigidas al desarrollo rural sostenible, fortaleciendo el ordenamiento territorial, la gobernabilidad y la participación de los ciudadanos.*

**Objetivo a corto plazo:** Determinar el estado actual del desarrollo urbano en el área mosaico.

**Acciones:**

- Caracterización física de los bienes inmuebles e identificación de posibles riesgos.
- Identificación de construcciones en mal estado de conservación o alto grado de deterioro e implementación de acciones de mejora.
- Identificación de usos que no contribuyen con la conservación de la ronda hídrica.

**Objetivo a mediano plazo:** Controlar el crecimiento urbano acelerado.

**Acciones:**

- Ejecución de programas donde el uso del suelo cumpla las funciones de esparcimiento, recreación, ecológicas, ornamentación, protección, recuperación y rehabilitación del entorno o similares.
- Desarrollo de programas donde se controle el crecimiento urbano acelerado conservando las zonas verdes y evitando la fragmentación, la pérdida de hábitat y la alteración del ecosistema. En cuanto a la ocupación del territorio se refiere que la aparición de nuevas construcciones no debe ser concentrada, se deben preservar las zonas verdes, contribuir con el desarrollo sustentable y reducir los riesgos.

**Objetivo a largo plazo:** Garantizar el desarrollo urbano sostenible.

**Acciones:**

- Monitoreo y seguimiento a los programas de desarrollo urbano sostenible.

*6.4.5.6 Medida 6. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica baja y muy baja.*

**Objetivo a largo plazo:** Preparar a la comunidad para la ocurrencia de fenómenos de gran magnitud y proteger las áreas que aumenten la carga de sedimento del río.

**Acciones para áreas de susceptibilidad baja:**

- Diseño de un plan de contingencia con el sistema de alertas tempranas en función de valores extremos de caudal registrados, en el cual se adopten puntos de encuentro y rutas de evacuación concertados con la comunidad, en el marco del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD)

**Acciones para áreas de susceptibilidad muy baja:**

- Dar un uso adecuado del suelo a las zonas con estabilidad geotécnica baja y erosión activa fuerte, velando por la conservación de espacios naturales de recuperación por movimientos en masa y reptación

#### **6.4.6 Medidas de manejo Zona de tejido urbano**

*6.4.6.1 Medida 1. Reducir el riesgo por susceptibilidad geomorfológica por flujos torrenciales dada condiciones principalmente morfométricas, que para esta zona de tejido urbano se ha caracterizado como ALTO.*

**Objetivo a corto plazo:** Realizar estudio detallado de riesgo por erosión e inestabilidad

**Acciones:**

- Desarrollo de un estudio de estabilidad geotécnica para las bancas del cauce
- Evacuación y/o reubicación de aquellas construcciones que se encuentren en estado de conservación deficiente según análisis predial



- Restricción para la construcción de nueva infraestructura residencial o productiva dentro del área según lo determinado en la revisión y ajuste del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT).
- Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de alerta temprana para el riesgo por inundaciones.

**Objetivo a mediano plazo:** Adecuación espacios susceptibles por inestabilidad

**Acciones:**

- Restauración natural de las zonas de banca en las cuales se tengan condiciones de estabilidad geotécnica baja.

**Objetivo a largo plazo:** Protección de áreas con condiciones de riesgo alto

**Acciones:**

- Monitoreo y control por parte de las entidades respectivas de la jurisdicción para que no se construyan nuevas edificaciones en estos espacios.

*6.4.6.2 Medida 2. Rehabilitar y recuperar áreas degradadas, y promover la conectividad de la vegetación dispersa remanente, las zonas de restauración y el arbolado urbano.*

**Objetivo a corto plazo:** Mejorar las condiciones ecológicas del componente ecosistémico de la ronda hídrica del río Mulato.

**Acciones:**

- Restauración adecuada y planificada de la vegetación de ribera y de las áreas conexas a la ronda hídrica del río Mulato.
- Preservación y enriquecimiento con especies nativas de los remanentes de vegetación en los diferentes estadios sucesionales presentes al interior de la ronda hídrica.
- Rehabilitación y restauración de las áreas degradadas o abandonadas por la ocupación urbana.
- Fomento de trabajo participativo, de educación y sensibilización ambiental con la comunidad, e involucrarla en las actividades de restauración y rehabilitación.
- Integración de las actividades de restauración a las obras civiles, con enfoque en bioingeniería.

**Objetivo a mediano plazo:** Aumentar las áreas de cobertura vegetal de la franja ecosistémica del río, integrar y planificar de manera adecuada la restauración de la vegetación de ribera y de las áreas conexas a la ronda hídrica del río Mulato para la recuperación de la continuidad del corredor ecológico y, el mejoramiento paisajístico.

**Acciones:**

- Conectar las áreas remanentes de vegetación con las de restauración a través de la planificación de corredores biológicos no sólo en el área de tejido urbano, sino con las otras dos áreas homogéneas: acuática y de mosaico.
- Establecimiento parques lineales en la zona de amortiguamiento de la ronda hídrica del río Mulato.
- Realización de trabajo participativo, de educación y sensibilización ambiental con la comunidad.

**Objetivo a largo plazo:** Recuperar la conectividad ecológica de la franja ecosistémica al interior de la ronda hídrica del río Mulato.

**Acciones:**

- Fomentar la conexión de la vegetación de ribera remanente con el paisaje conexo a través de usos compatibles con la funcionalidad de la franja ecosistémica.

*6.4.6.3 Medida 3. Implementar acciones dirigidas, concertadas y asertivas en busca del desarrollo urbano sostenible (social, económico y ambiental), fortaleciendo el ordenamiento territorial, la gobernabilidad y la participación ciudadana.*

**Objetivo a corto plazo:** Identificar los bienes inmuebles que se encuentran en zonas no aptas para la construcción y habitabilidad.

**Acciones:**

- Promoción de espacios de recreación, educación y disfrute paisajístico.
- Actualización del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Mocoa replanteando el uso del suelo y las zonas de protección absoluta específicamente en la ronda de los cuerpos de agua. Como consecuencia del fenómeno natural (avalancha por el desbordamiento de los ríos Mocoa, Mulato y Sangoyaco) ocurrido entre el 31 de marzo y el 1 de abril de 2017 en el municipio de Mocoa.
- Realizar un estudio detallado caracterizando el estado de conservación y grado de deterioro de las construcciones determinando los bienes inmuebles que se deben reubicar.
- Identificación de bienes inmuebles que se encuentran en riesgo geológico (remoción en masa) o hidrológico (inundación).

**Objetivo a mediano plazo:** Reubicar los bienes inmuebles que se encuentran en zonas no aptas para la habitabilidad y promover programas de desarrollo urbano sostenible.

**Acciones:**

- Desarrollo de programas sobre el adecuado uso del suelo conforme a lo establecido en el PBOT del municipio de Mocoa una vez este sea actualizado.
- Reubicación y demolición de bienes inmuebles en mal estado de conservación o que se encuentren en riesgo geológico (remoción en masa) o hidrológico (inundación).

- Promoción de programas enfocados a mantenimiento y mejora de los bienes inmuebles.
- Promoción de programas de planificación urbana con implantación de áreas verdes contribuyendo con la conservación del medio, el mejoramiento de la calidad de vida y disminuyendo el impacto causado por la presencia de asentamientos humanos en la ronda del río Mulato.

**Objetivo a largo plazo:** Garantizar el desarrollo urbano sostenible.

**Acciones:**

- Prohibición del desarrollo de actividades de urbanismo espontáneo y no planificado.
- Promoción de programas de planificación urbana con implantación de áreas verdes contribuyendo con la conservación del medio, el mejoramiento de la calidad de vida y disminuyendo el impacto causado por la presencia de asentamientos humanos en la ronda del río Mulato.
- Establecimiento de multas a las personas que de forma no planificada construyan en la ronda del río Mulato, así como las entidades que permitan o no controlen dichas acciones.

## 6.5 Mecanismo de participación: Comisión Ambiental del Río Mulato (CARM)

La Comisión Ambiental del Río Mulato -CARM- es una propuesta de mecanismo de participación por medio del cual se busca definir el marco de gestión e implementación de las medidas de manejo ambiental de la ronda hídrica. La CARM se constituye como un ejercicio de gobernanza ambiental del territorio a través de la planeación participativa en un esquema de coordinación y colaboración entre los diferentes actores sociales relacionados con el río Mulato interesados en participar. En este sentido, su línea de acción está orientada en la incorporación de la ronda hídrica como Determinante Ambiental en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Mocoa, su armonización en instrumentos de planeación y gestión ambiental como el POMCA<sup>17</sup> y en políticas y planes de la gestión del riesgo.

En este orden de ideas, la CARM es una instancia de participación con un esquema organizativo cuya finalidad es la negociación y resolución de conflictos en la implementación de las medidas de manejo de la ronda hídrica. De ahí que la CARM es una instancia de participación **base** y de referencia para otros escenarios, como son los **Consejos de Cuenca** de acuerdo al Decreto No. 1640 de 2012, o bien, los procesos de Concertación Ambiental y el Concepto del Consejo Territorial de Planeación en relación al PBOT.

La Comisión Ambiental del Río Mulato es una estrategia de participación que hace énfasis en aquellos actores sociales que no hacen parte de organizaciones o gremios formales (i.e. personería jurídica) pero están relacionados con el río Mulato. Se trata pues de brindar protagonismo a todos los interesados en participar, particularmente los actores sociales de los que

---

<sup>17</sup> La microcuenca del río Mulato no cuenta con un instrumento como el POMCA, a pesar de que se realizaron estudios y una propuesta de ordenación que no fue aprobada. Sin embargo, es importante la articulación de la ronda hídrica en todos los instrumentos de planeación y ordenación con los que cuenta la autoridad ambiental y el municipio.

trata el numeral 11 del Artículo Segundo sobre los miembros del Consejo de Cuenca (“Los demás, que resulten del análisis de actores”) de la resolución No. 0509 de 2013.

La estructura organizativa de la CARM está compuesta por tres (3) comités y una mesa permanente de concertación:

**Comité Ejecutivo:** Es un espacio a través del cual se gestionará el plan de acción que se requiera para cumplir con el objetivo de la CARM. Se trata de una instancia ejecutiva que se relaciona con los otros comités integrantes de la comisión, a través de la consulta y asesoramiento para la implementación adecuada de las medidas de manejo.

**Comité de Usuarios<sup>18</sup>:** Es un espacio de expresión y control entre pares que promueve una participación efectiva y diferencial mediante un proceso deliberativo en el cual los usuarios pueden llevar sus inquietudes, establecer prioridades y elevar requerimientos al Comité Ejecutivo en la Mesa de Concertación.

**Comité Técnico:** Es una estructura de consulta y apoyo a la toma de decisiones de la Mesa de Concertación. En este sentido, se trata de una instancia de facilitación técnico científico y social para el abordaje de las medidas de manejo de la ronda hídrica. Se establece como una red de colaboración entre instituciones, organismos técnicos y actores de la sociedad civil que aportarán sus saberes para el cumplimiento del objetivo de la CARM.

**Mesa de Concertación:** Es el espacio en el que se relacionan los tres comités que integran la CARM por medio del cual se lleva a cabo la discusión, concertación e implementación de la propuesta de manejo ambiental. (Ver **Figura 261**)

---

<sup>18</sup> Por usuarios entendemos los diferentes actores sociales, formales e informales, que gestionan, usan y manejan los servicios ecosistémicos del área de influencia del río Mulato.

## COMISIÓN AMBIENTAL DEL RÍO MULATO



Figura 261 Esquema organizativo de la Comisión Ambiental del Río Mulato - CARM

### Fase de comunicación

Para la conformación de la comisión son importantes los medios de comunicación y difusión, con los cuales se hace la convocatoria, incentivando la participación informada en este proceso con un enfoque diferencial. Teniendo como referencia la experiencia de la veeduría ciudadana del proyecto, la presentación y socialización del estudio y sus resultados, así como la participación de la población en las actividades durante la fase de campo del estudio de acotamiento de rondas hídricas, se presentan a continuación algunas recomendaciones:

Desde un punto de vista práctico, se tuvieron encuentros con los presidentes de las Juntas de Acción Comunal de los barrios que están alrededor del río Mulato. Con ello se buscaba la mayor difusión, haciendo la invitación a través de ellos para que la población participara en las actividades del equipo de trabajo. Esta estrategia permitió contrastar que la difusión por medio de las JAC es diferencial por barrios y veredas, restringiendo la información en la mayoría de los casos al círculo que administra la JAC. Lo anterior se debe a que estas asociaciones tienen en cuenta principalmente a sus miembros afiliados, sin considerar otros actores. De ahí la necesidad de considerar los territorios (barrios y veredas) como el espacio sobre el cual hay actores formales (organizados) e informales.

Ahora bien, entre las actividades del estudio estaba el análisis predial que requería hacer una visita técnica por cada predio (vivienda). Muchas personas, aún siendo afiliados a la JAC de su barrio, desconocían el propósito de la visita, por lo cual se diseñó otra estrategia de publicidad del estudio mediante el **volanteo** con el que se entregaba en cada vivienda una carta de presentación, objetivo y cronograma para la visita del análisis predial. Fue mediante esta estrategia que el equipo de trabajo tuvo contacto con actores antes no considerados.

De este modo, el volanteo se recomienda como una de las estrategias de comunicación más acertadas para la difusión de información, en conjunto con el uso en otros medios como las cartas de invitación formal, difusión radial, escrita (periódicos), por *web sites* o redes sociales (Twitter, Facebook, etc.) y redes de whatsapp que son estrategias complementarias pero que su acción individual no tienen el alcance esperado debida a que no todos los actores sociales tienen acceso a estos medios.

### **Fase de Convocatoria**

Para la conformación de la CARM y de sus comités de trabajo es importante la participación informada, contextualizada y oportuna de sus miembros, por lo cual es necesario realizar un proceso pedagógico que involucre los actores sociales interesados.

En este sentido, se sugiere la capacitación en los resultados del estudio de acotamiento de la ronda hídrica y, sobretodo, en la propuesta de manejo ambiental de la ronda hídrica. Para ello se recomienda en el proceso pedagógico incluir los temas normativos, técnicos e implicaciones sociales y ambientales relacionados con la propuesta de manejo ambiental, teniendo en cuenta que la CARM es un espacio de diálogo entre distintos actores con lenguajes y puntos de vista diferentes, que van desde el conocimiento técnico-científico hasta el conocimiento local (empírico y tradicional).

Así mismo, en la fase de convocatoria se presentan los objetivos de la CARM, su forma organizativa y de participación de los actores sociales por comités de trabajo; el alcance y los escenarios de actuación; los lineamientos para el proceso de discusión, concertación e implementación de las medidas de manejo.

En el marco del acceso a la información, se recomienda poner a disposición de los pobladores y ciudadanos en general la información relacionada con la ronda hídrica del río Mulato, fortaleciendo el flujo de comunicación, por un lado, entre la autoridad ambiental y la población, y por otro lado, con otras instancias o esferas de participación, como es "Proyecto de Reconstrucción de Mocoa", la Alcaldía y Concejo municipal.

En esta fase de convocatoria se sugiere identificar las posiciones e intereses de los actores sociales frente a las medidas de manejo, puede realizarse a través de un sondeo de opinión. Además, esta herramienta puede ser un diagnóstico inicial a través del análisis DOFA (debilidades, oportunidades, amenazas y fortalezas) de los actores sociales respecto de su participación en la discusión, concertación e implementación de la propuesta de manejo ambiental.

#### *Resguardo Inga de Mocoa*

El resguardo Inga Mocoa es un área de manejo especial dentro de la ronda, por lo cual se recomienda que la propuesta de manejo ambiental se enmarque en el mecanismo de Consulta previa siguiendo los lineamientos del Ministerio del Interior.

### **Fase análisis Social CLIP**

A continuación se describen los resultados del análisis de actores sociales con la finalidad de garantizar la participación de los diferentes actores en la discusión, concertación e implementación de la propuesta de manejo ambiental de la ronda hídrica.

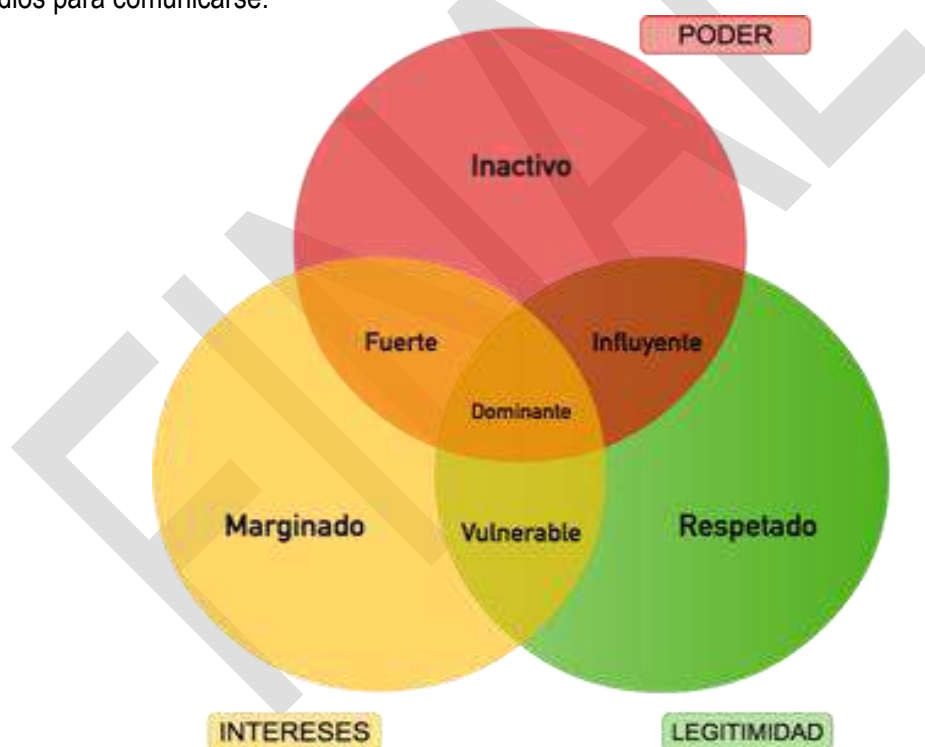
El análisis social CLIP<sup>19</sup> es una herramienta del Sistema de Análisis Social (SAS) por medio del cual se crean perfiles de los actores sociales y se describen las estructuras de las relaciones que hay entre ellos en una situación determinada o línea de acción, como es el escenario de discusión, concertación y aplicación de las medidas de manejo de la ronda hídrica del río Mulato.

Los perfiles de los actores se basan en tres factores: legitimidad, intereses y poder (Ver **Figura 262**).

**a. Legitimidad:** Se trata del reconocimiento de los derechos y responsabilidades de los actores sociales frente a la discusión, concertación e implementación de las medidas de manejo.

**b. Intereses:** Hace referencia a la posición de los actores sociales frente a la propuesta de manejo ambiental.

**c. Poder:** Se refiere a la capacidad de utilizar los recursos que cada actor social controla con la finalidad de implementar la propuesta de manejo ambiental de la ronda hídrica. Estos recursos son evaluados desde la riqueza económica, la autoridad política y el acceso a la información y los medios para comunicarse.



**Figura 262** Categorías o perfiles de los actores sociales

Los perfiles son el resultado de la asignación de valores contextuales a los niveles de poder, legitimidad e intereses.

<sup>19</sup> CLIP: Colaboración y/o Conflicto, Legitimidad, Intereses y Poder (Chevalier, 2004).

**Tabla 60** Descripción de los perfiles de los actores sociales.

Perfiles de actores	
Tipo	Descripción
<b>Dominante</b>	Poder alto, interés alto (a favor o en contra), legitimidad alta
<b>Fuerte</b>	Poder alto, interés alto (a favor o en contra), legitimidad baja o ninguna
<b>Influyente</b>	Poder alto, interés bajo (en contra o ningún), legitimidad alta
<b>Inactivo</b>	Poder alto, interés bajo (en contra o ningún), legitimidad baja o ninguna
<b>Respetado</b>	Poder alto o ninguno; interés alto o bajo (a favor, en contra o ninguno), legitimidad alta
<b>Vulnerable</b>	Poder bajo o ninguno, interés alto (a favor o en contra), legitimidad alta
<b>Marginado</b>	Poder bajo o ninguno, interés alto (a favor o en contra), legitimidad bajo o ninguno

El primer paso del análisis CLIP consistió en la definición del contexto del ámbito en el que se identifican los actores sociales o grupos involucrados beneficiados o afectados por las medidas de manejo ambiental luego del acotamiento de la ronda hídrica del río Mulato. Este contexto está relacionado con los objetivos principales y específicos de cada área homogénea, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 61. Objetivos medidas de manejo por áreas.**

Medidas de manejo de la ronda hídrica del río Mulato		
Área Acuática	Área Mosaico	Área Tejido Urbano
1. Recuperar el eje fluvial desde un punto de vista ambiental y ecológico.	1. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica alta.	1. Reducir el riesgo por susceptibilidad geomorfológica por flujos torrenciales dada condiciones principalmente morfométricas, que para esta zona de tejido urbano se ha caracterizado como ALTO.
2. Manejar de forma sostenible los residuos sólidos y la disponibilidad, calidad y uso del recurso hídrico.	2. Restablecer las funciones ecosistémicas de la ronda hídrica a través de la restauración ecológica de áreas	2. Rehabilitar y, recuperar áreas degradadas que promuevan la conectividad de la vegetación



<b>Medidas de manejo de la ronda hídrica del río Mulato</b>		
<b>Área Acuática</b>	<b>Área Mosaico</b>	<b>Área Tejido Urbano</b>
	degradadas y, la conservación de relictos de vegetación riparia y conexas remanentes.	dispersa remanente, y el arbolado urbano.
3. Desarrollar actividades productivas de uso sostenible.	3. Articular y fortalecer las prácticas ambientales con las áreas de manejo especial	3. Promover espacios de recreación, educación y disfrute paisajístico.
4. Implementar acciones dirigidas a viviendas ubicadas en áreas de alto riesgo, fortaleciendo el ordenamiento territorial, gobernabilidad y participación de los ciudadanos.	4. Promover el desarrollo de actividades productivas sostenibles agrícolas y turísticas para el beneficio de pobladores locales.	4. Implementar acciones dirigidas, concertadas y acertivas en busca del desarrollo urbano sostenible (social, económico y ambiental), fortaleciendo el ordenamiento territorial, la gobernabilidad y la participación ciudadana.
5. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica muy alta.	5. Implementar acciones dirigidas al desarrollo rural sostenible, fortaleciendo el ordenamiento territorial, la gobernabilidad y la participación de los ciudadanos.	5. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica moderada, baja y muy baja.
	6. Reducir el riesgo por avenidas fluviotorrenciales. Susceptibilidad geomorfológica baja y muy baja.	

El segundo paso del análisis es la realización de una lista e identificación nominal de actores que puede encontrarse en la descripción de los Sistemas Sociales. El tercer paso es la elaboración de una matriz de doble entrada para identificar, por un lado, el nivel de poder o recursos que cada actor o grupo involucrado puede utilizar para promover sus intereses<sup>20</sup> (a favor o en contra) frente

<sup>20</sup> La categoría de intereses suele describirse en términos de ganancias y pérdidas netas, por lo cual se hizo una modificación de su valoración en nociones más simples como es la posición e interés a favor, neutro (ninguna) o en contra (ACEDI, 2005).

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

a las medidas de manejo ambiental de la ronda hídrica. Y por otro lado, el nivel de legitimidad que reconocen los actores y grupos involucrados sobre otros actores.

**Tabla 62** Perfiles de los actores río Mulato.

Actores sociales	Poder: Alto (A), Bajo (B) y Sin Poder (S/P)				Legitimidad	Intereses	Perfil
	Riqueza Económica	Autoridad Política	Información y comunicación	Ponderación Poder			
Juntas de Acción Comunal	S/P	B	B	B	A	A/F	Vulnerable
Aguas Mocoa S.A. E.S.P	A	S/P	A	A	B	A/F	Fuerte
Cabildo Inga (José Homero)	S/P	B	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Corpoamazonia	A	A	A	A	A	A/F	Dominante
ACNUR	B	B	A	B	A	N	Vulnerable
OZIP	S/P	A	S/P	S/P	A	N	Vulnerable
Población del resguardo indígena Inga de Mocoa	S/P	A	S/P	S/P	A	N	Vulnerable
Alcaldía Municipal de Mocoa	A	A	A	A	A	A/F	Dominante
Concejo Municipal de Mocoa	B	A	A	A	A	A/F	Dominante
"Proyecto de Reconstrucción de Mocoa"	A	A	A	A	A	A/F	Dominante

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Actores sociales	Poder: Alto (A), Bajo (B) y Sin Poder (S/P)				Legitimidad	Intereses	Perfil
	Riqueza Económica	Autoridad Política	Información y comunicación	Ponderación Poder			
Mineros Artesanales	S/P	S/P	B	S/P	B	E/C	Marginado
Población del barrio Av. 17 de Julio:							
Comerciantes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginado
Residentes	S/P	S/P	B	S/P	B	A/F	Marginado
Población del barrio Miraflores							
Comerciantes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginado
Residentes	S/P	B	B	B	B	A/F	Marginado
Población de la vereda El Líbano:							
Campeños	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginado
Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginado
Indígenas	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginado

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Actores sociales	Poder: Alto (A), Bajo (B) y Sin Poder (S/P)				Legitimidad	Intereses	Perfil
	Riqueza Económica	Autoridad Política	Información y comunicación	Ponderación Poder			
Población del barrio José Homero:							
Comerciantes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Indígenas	S/P	B	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Residentes en zonas de riesgo	S/P	S/P	S/P	S/P	S/L	A/F	Marginalizado
Población del barrio Naranjito							
Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Residentes en zonas de riesgo	S/P	S/P	S/P	S/P	S/L	A/F	Marginalizado
Población del barrio San Agustín							

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Actores sociales	Poder: Alto (A), Bajo (B) y Sin Poder (S/P)				Legitimidad	Intereses	Perfil
	Riqueza Económica	Autoridad Política	Información y comunicación	Ponderación Poder			
Residentes	S/P	B	B	B	A	A/F	Marginalizado
Comerciantes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
"Dotacional"	B	A	B	B	S/L	A/F	Vulnerable
Población del barrio Las Colinas							
Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Población del barrio La Peña							
Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Residentes en zonas de riesgo	S/P	S/P	S/P	S/P	S/L	A/F	Marginalizado
Población del barrio Pablo VI (Bajo)							
Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado
Comerciantes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginalizado

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

Actores sociales	Poder: Alto (A), Bajo (B) y Sin Poder (S/P)				Legitimidad	Intereses	Perfil
	Riqueza Económica	Autoridad Política	Información y comunicación	Ponderación Poder			
Residentes en zonas de riesgo	S/P	S/P	S/P	S/P	S/L	A/F	Marginado
Población del barrio Las Acacias  Residentes	S/P	S/P	S/P	S/P	B	A/F	Marginado
Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres	A	A	A	A	A	A/F	Dominante

Basado en las categorías y valores de los niveles de poder, legitimidad e intereses, fue posible identificar el perfil de cada uno de los actores. Es importante hacer énfasis en que la asignación de los valores se basó en la información recolectada del componente social a través de las entrevistas, encuestas y talleres de cartografía social que se realizaron con la participación de distintos actores sociales. Lo anterior implica que los valores asignados corresponden al contexto del estudio del acotamiento de la ronda hídrica por lo que sus valores pueden variar, mostrando así la dinámica de la realidad social.

La construcción de los perfiles de los actores relacionados con el área de influencia del río Mulato permite identificar la condición global en términos de poder, legitimidad e intereses de los actores mediante las categorías Dominante, vulnerable y marginado. Respecto a la toma de decisiones y la implementación de las medidas de manejo se recomienda que los actores vulnerables y marginados sean priorizados en el marco de este proceso. Esto, teniendo en cuenta que su participación es fundamental en tanto están localizados en el área que comprende la ronda hídrica y son beneficiarios directos de los servicios ecosistémicos que presta esta zona y, por otra parte, se encuentran en una condición de inequidad frente a otros actores que presentan la categoría de dominante en cuanto que hacen parte de una estructura de relaciones conflictivas (intereses en contra).

En este sentido, este análisis promueve la necesidad de incorporar un enfoque diferencial a lo largo del desarrollo de este proceso, brindando protagonismo a aquellos actores que inicialmente

tienen una posición en contra de alguna medida de manejo y buscando que eventualmente este proceso participativo de la CARM permita cambiar el estatus del perfil de estos actores mediante su incorporación a las estructuras de relación colaborativa con los que cuentan los actores de perfiles dominantes y fuertes.

En este sentido el enfoque diferencial es una herramienta importante. En palabras del Departamento Nacional de Planeación -DNP- “el enfoque diferencial es un método de análisis, de actuación y de evaluación de la población, basado en la protección de los derechos fundamentales de las poblaciones desde una perspectiva de equidad y diversidad. En ese sentido, considera la complejidad de la situación de pobreza como algo diferencial según el tipo de sujeto, y por otro lado, promueve una visión múltiple de las opciones de desarrollo, respetando la diversidad étnica y cultural. Es así como la aplicación de este enfoque podría contribuir a superar las visiones asistencialistas para la población y de bajo impacto a largo plazo, y también, concretar mecanismos que reproduzcan la inclusión y el desarrollo con equidad”.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Departamento Nacional de Planeación. Guía para la incorporación de la variable étnica y el enfoque diferencial en la formulación e implementación de planes y políticas a nivel nacional y territorial Subdirección de Ordenamiento y Desarrollo Territorial Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible. Bogotá, 2012.

## 7. CONCLUSIONES

La ronda hídrica integral del río Mulato tiene un área de **121.8576 ha** y una longitud transversal en la ribera derecha mínima de 37.87m y máxima de 503.17m y, en la ribera izquierda una distancia mínima de 38.103m y máxima de 266.303m; representa la superposición de tres componentes: geomorfológico, hidrológico-hidráulico y ecosistémico, siendo el mayor aportante la geomorfología.

El evento del pasado 31 de marzo y 1 de abril de 2017 es una muestra de la energía del río Mulato, el cual es un río recto de montaña cuyos depósitos reflejan que su dinámica es alta y su franja de acción mayor a la que se tenía estimada. Los procesos morfodinámicos principales que ocurren dentro de su cauce son erosivos (como la socavación lateral), y los deslizamientos en los taludes menores del cauce, procesos que van modificando la geometría hidráulica aguas abajo. El comportamiento torrencial del río también está determinado por el cambio de las pendientes longitudinales, por lo cual la actividad tectónica de las fallas de la zona es un factor de control importante en el ajuste de la topografía y por ende de la energía potencial del río, y su estudio y control así como el monitoreo de caudal y lluvias aguas arriba deben ser primordiales para entender la dinámica del río y como instrumento de alarma para informar sobre la ocurrencia de posibles eventos amenazantes.

La dinámica natural del río Mulato más las constantes intervenciones antrópicas para desviar el cauce generan un cambio constante del paisaje y de la configuración hidrológica y geomorfológica de la cuenca, por lo cual los componentes geomorfológicos dentro de ésta son relativamente inestables y tienden a aparecer y desaparecer en cuanto las condiciones climáticas, hidrológicas, hidráulicas y ecosistémicas cambien.

La delimitación de la ronda hídrica del componente geomorfológico comprende una franja de 121.5988 ha en donde se garantiza la ocurrencia de todos los procesos naturales morfodinámicos asociados al río Mulato para la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Mocoa.

Los escasos registros existentes de caudal del río Mulato no permiten estimar caudales máximos mediante métodos basados en el análisis de series temporales, dado que la serie de tiempo existente no tiene registros de crecidas en una cuenca de naturaleza torrencial y con amplia historia de avenidas, flujos de detritos e inundaciones. Por lo anterior, los modelos lluvia-escurrentía se configuran como una buena alternativa de análisis en cuencas con escasos datos de caudal.

La revisión de la relación de las avenidas torrenciales históricas del río Mulato ocurridas en 1989, 1994 y 1997 guarda correspondencia con los incrementos de lluvia registrados en por lo menos una de las estaciones pluviométricas ubicadas en zonas aledañas a la respectiva cuenca. Para las avenidas torrenciales de 1947 y 1971 esta relación no pudo ser analizada, dada la ausencia de información.

Las enormes diferencias en los caudales máximos estimados a partir de datos de lluvia para los periodos de retorno 10, 25 y 50 años difieren notablemente de los reportados por Romo (2015). Esto se debe a que unos pocos registros de caudal promedio, no logran reflejar el régimen de una cuenca torrencial y especialmente, los eventos de crecientes o avenidas, en las que transitan caudales extraordinarios de magnitudes que pueden llegar a ser de 20 a 1000 veces mayores respecto al caudal promedio. En ese sentido, si no se cuenta con series históricas de caudal con una longitud de por lo menos 15 años, es necesario emplear datos históricos de lluvia, que permitan reflejar la magnitud real de las crecidas torrenciales y no datos puntuales de caudal.



Los caudales máximos estimados a partir de datos de precipitación se consolidan como un insumo fundamental para la determinación de la ronda hidrológico - hidráulica, la cual es definida tras la aplicación del modelo hidráulico.

Los resultados del modelo hidráulico y la calidad del mismo dependen de la precisión del modelo digital del terreno, en este caso los resultados del modelo hidrodinámico muestran algunos errores asociados a la corrección realizada para limpiar el MDT, es importante saber interpretar los resultados pues estos errores pueden generar confusión al momento de ver la mancha de inundación.

El río no tiene una planicie de inundación definida, en la mayoría de su recorrido tiene pendientes pronunciadas en sus bordes, lo que permite el recorrido de un volumen de agua considerable que no desbordan. Sin embargo el modelo arrojó dos zonas críticas de inundación. La primera al inicio del casco urbano, donde el río cuenta con área inundable extensa. La segunda en la zona de la desembocadura al río Mocoa, donde se presenta una zona inundable en el costado norte del río.

Las velocidades del río pueden alcanzar 6 m/s en eventos de período de retorno altos, existen zonas vulnerables en estos puntos que pueden generar problemas de socavación, arrastre de material y daño a las edificaciones. Se recomienda relocalizar a las edificaciones vulnerables que se encuentren en la margen de socavación del río.

El período de retorno de 20 años corresponde a la mancha de inundación del cauce permanente, y la mancha de 100 años a de la ronda hídrica del componente hidrológico-hidráulico.

De las tres modelaciones realizadas, se tomó para el estudio de riesgo los resultados de propagación para el escenario de susceptibilidad ALTA, por lo menos para la zona montañosa, donde se presentan gran cantidad de deslizamientos. Los demás escenarios serán utilizados para la zona urbana, donde la propagación define una zona de inundación mucho más clara.

Para la modelación de avenidas fluvio-torrencales se utilizó el método SHALSTABProgram para determinar las áreas de probables deslizamientos, esto debido a la carencia de información en la cuenca alta. Sin embargo esta metodología presenta muy buenos resultados en el caso del río Mulato, pues como se pudo ver en el proceso de modelación, sus resultados coinciden bastante bien con los deslizamientos que se pueden observar en las fotografías aéreas.

Es importante tomar medidas en las zonas donde se presentan deslizamientos y flujos de detritos en los tres escenarios repetidamente, con mayor razón cuando existen viviendas o infraestructura importante en riesgo. El modelo de avenidas fluvio-torrencales es una potente herramienta que permite localizar estas zonas altamente susceptibles a presentar deslizamientos sin embargo es recomendable realizar estudios completos y detallados de suelos *in situ*, para de esta manera corroborar que las zonas acá presentadas presentan una verdadera amenaza.

Las áreas de iniciación calculadas y reportadas en el presente informe corresponden a áreas probables, por esta razón se recomienda que las autoridades tomen estas áreas como una guía de trabajo para empezar a hacer inspecciones en campo que permitan corroborar los verdaderos peligros que representan estas zonas inestables.

El modelo de propagación corrido para la quebrada La Taruca demuestra lo preciso que pueden llegar a ser estos modelos, si se observa con detenimiento se pueden notar grandes coincidencias en el tamaño y dirección de los flujos de detritos del modelo y las marcas que dejó la avalancha que ocurrió el 31 de Marzo y el 1 de Abril del 2017. La prudencia siempre debe ser la base de su aplicación, ya que como lo manifestamos algunos estudios adicionales hay que realizar, entre ellas

las medidas físicas del suelo que alimenten los modelos. Con ello se tiene mayor certeza para acompañar la toma de decisiones y lograr disminuir el riesgo de desastres.

El análisis muestra un total de doce barrios en riesgo, se recomienda realizar medidas de manejo que permitan reubicar o restringir el uso en dichas zonas, priorizando las que se encuentran dentro de las áreas de alto riesgo según el mapa presentado.

La altura promedio obtenida para la vegetación de la ronda del Río Mulato fue de 19 m que da como resultado una ronda de 38 metros a cada lado del cauce permanente del Río Mulato. Así mismo, se calculó para el H máximo (25 m para una franja de 50 m) de la vegetación dado que las funciones de conectividad ameritan que esta franja tenga el ancho suficiente para los diferentes niveles de organismos vegetales que se encuentran aún, o para la recuperación de las funciones ecosistémicas y las cadenas tróficas en estas franjas ribereñas.

El componente ecosistémico de la ronda hídrica del Río Mulato se encuentra en un 79% destinado a otros usos del suelo que no son compatibles con las funciones ecológicas que debe cumplir la vegetación de ribera, lo cual demanda acciones para la recuperación de estas áreas, así como de conservación de aquellas áreas que aún tienen relictos de bosques y que juegan un papel fundamental en la ronda hídrica.

El trabajo de reconocimiento realizado por el componente predial permitió ratificar que la ocupación del territorio no se da de forma ordenada y planificada. Un ejemplo simple de ello es la cercanía de los bienes inmuebles con el río Mulato, en barrios como Miraflores, Las Acacias, Pablo VI, José Homero, Naranjito, San Agustín y La Peña esta distancia no supera los 20m. A esto se suman dos panoramas identificados **1.** Las personas en su necesidad de tener un lugar donde vivir, edifican por necesidad o desconocimiento en zonas que desde el PBOT han sido demarcadas como áreas de protección absoluta. **2.** No se evidencian acciones concretas de entes reguladores que controlen la ocupación no planificada.

Se identificaron en el trabajo de campo amenazas antrópicas tales como viviendas construidas en terrenos de alta pendiente o no nivelados e inadecuado manejo de basuras y aguas residuales, sin duda alguna estos escenarios se encuentran fuera de lo que se conoce como conservación del medio.

El crecimiento urbano de las últimas décadas ha generado inconvenientes en la adecuada prestación de los servicios públicos domiciliarios básicos, en especial el acueducto y alcantarillado. La falta de cobertura no solo ha incrementado las necesidades básicas insatisfechas y los riesgos de salud, sino que además ha repercutido en la conservación del medio (río Mulato) y en la calidad de vida. Se debe garantizar un mayor cubrimiento y mantenimiento, esta condición reduce las amenazas antrópicas que se puedan llegar a presentar por el mal manejo de basuras y disposición de aguas residuales.

El río Mulato se ha convertido en el vertedero de aguas servidas de los habitantes de la ronda hídrica, ante la ausencia de una planta de tratamiento. Aunque el río se considera fuente abastecedora de agua además de ofrecer otros importantes bienes y servicios ambientales está siendo afectado por contaminación por el déficit de la cobertura de alcantarillado y a las inadecuadas actividades antrópicas.

El fenómeno natural ocurrido entre el 31 de marzo y 1 de abril de 2017 es un ejemplo de que el país no ha crecido con el ordenamiento territorial, es común ver como se ha dado urbanismo espontáneo (no planificación, no control) de ocupación del suelo y del territorio. En el caso de

Mocoa y más específicamente en el área de estudio, la gente se acostumbró a vivir al lado del río Mulato desconociendo los riesgos y las medidas necesarias que se deben tener para preservar el medio y la vida.

Para esta zona en específico los análisis prediales y todos los productos elaborados constituyen una nueva fuente de información primaria que posibilita la adecuada toma de decisiones. El fenómeno natural ocurrido el 31 de marzo de 2017 modificó por completo la ronda del río Mulato generando la necesidad de tener información reciente y posterior al suceso, este trabajo permitió actualizar las variables en cuanto a las características físicas de los bienes inmuebles se refiere.

La guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia propuesta por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del 2017 sugiere el uso del PBOT y la información catastral existente (datos primarios) como una de las posibles fuentes para identificar los predios aledaños a los cuerpos de agua, así como las actividades económicas que allí se desarrollan. El trabajo realizado ratifica la necesidad de contar con información organizada y actualizada que permita la adecuada toma de decisiones y para este caso en específico que contribuya con la adecuada formulación de las medidas de manejo de la ronda hídrica.

Se pudo apreciar que en la zona seminatural se identifican 30 servicios ecosistémicos, mientras que en la zona urbana tan solo 10 servicios. El nivel de dependencia es diferente en cada una de las zonas, y por tanto, la presión sobre los servicios es distinta. En la zona seminatural, los pobladores tienen una relación más cercana con ecosistemas menos transformados, mientras que para los habitantes de la zona urbana el bienestar está más asociado con los beneficios generados por la modificación del paisaje, visto a partir de las áreas para vivienda y el acceso a servicios públicos (Ver **Figura 263**).

Es importante destacar que el aumento de áreas boscosas (Ver **Tabla 63**) de las últimas décadas en la zona seminatural está relacionado directamente con los servicios de regulación y hábitat. Las razones por las cuales hay un aumento se debe a: (1) Adquisición de predios de fincas ganaderas para la constitución de resguardos indígenas cuyo uso del suelo está relacionado con saberes tradicionales. (2) Fragmentación de extensas fincas ganaderas por medio del loteo (compra y venta de predios en el marco de la expansión urbana de la ciudad) con nuevos usos del suelo. (3) Las medidas de manejo ambiental y regulación sobre el aprovechamiento (por ejemplo forestal) por parte de Corpoamazonia en las fincas y predios ubicados en la zona media y alta de la cuenca del río Mulato, y (4) el cambio de las actividades agropecuarias a causa de la caída de los precios de la carne y la panela con la construcción de la carretera Mocoa-Pitalito. Sobre este último punto, la apertura de esta nueva vía de comunicación facilitó el ingreso de productos con costos menores en relación a los que eran producidos en el municipio de Mocoa.

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia & CORPOAMAZONIA**  
**ACOTAMIENTO DE LA RONDA HÍDRICA DEL RÍO MULATO EN EL MUNICIPIO**  
**DE MOCOA (PUTUMAYO)**

**Tabla 63.** Cambio de coberturas entre 1962 y 2017

	<b>Coberturas</b>	<b>1962</b> Área (ha.)	<b>1962</b> Área (%)	<b>2017</b> Área (ha.)	<b>2017</b> Área (%)	<b>Cambi</b> <b>o Área</b> <b>(ha.)</b>	<b>Cambio</b> <b>Área</b> <b>(%)</b>
1	Bosque fragmentado	72,2	4,1	5,4	0,3	-66,8	-3,8
2	Bosque primario	932,4	52,8	1.034,7	58,6	102,3	5,8
3	Bosque primario intervenido	193,5	11,0	-	-	-193,5	-11,0
4	Bosque ripario	17,2	1,0	50,7	2,9	33,5	1,9
5	Cauce río Mulato	31,8	1,8	37,5	2,1	5,7	0,3
6	Pastos enmalezados	-	-	79,5	4,5	79,5	4,5
7	Pastos limpios	479,4	27,1	109,9	6,2	-369,5	-20,9
8	Rastrojo	23,6	1,3	243,8	13,8	220,2	12,5
9	Rastrojo alto	-	-	40,1	2,3	40,1	2,3
10	Tejido urbano continuo	13,5	0,8	79,9	4,5	66,4	3,8
11	Tejido urbano discontinuo	2,8	0,2	78,2	4,4	75,4	4,3
12	Tierras Desnudas y Degradadas	-	-	6,0	0,3	6,0	0,3
	Total general	1.766,3	100,0	1.766,3	100,0		

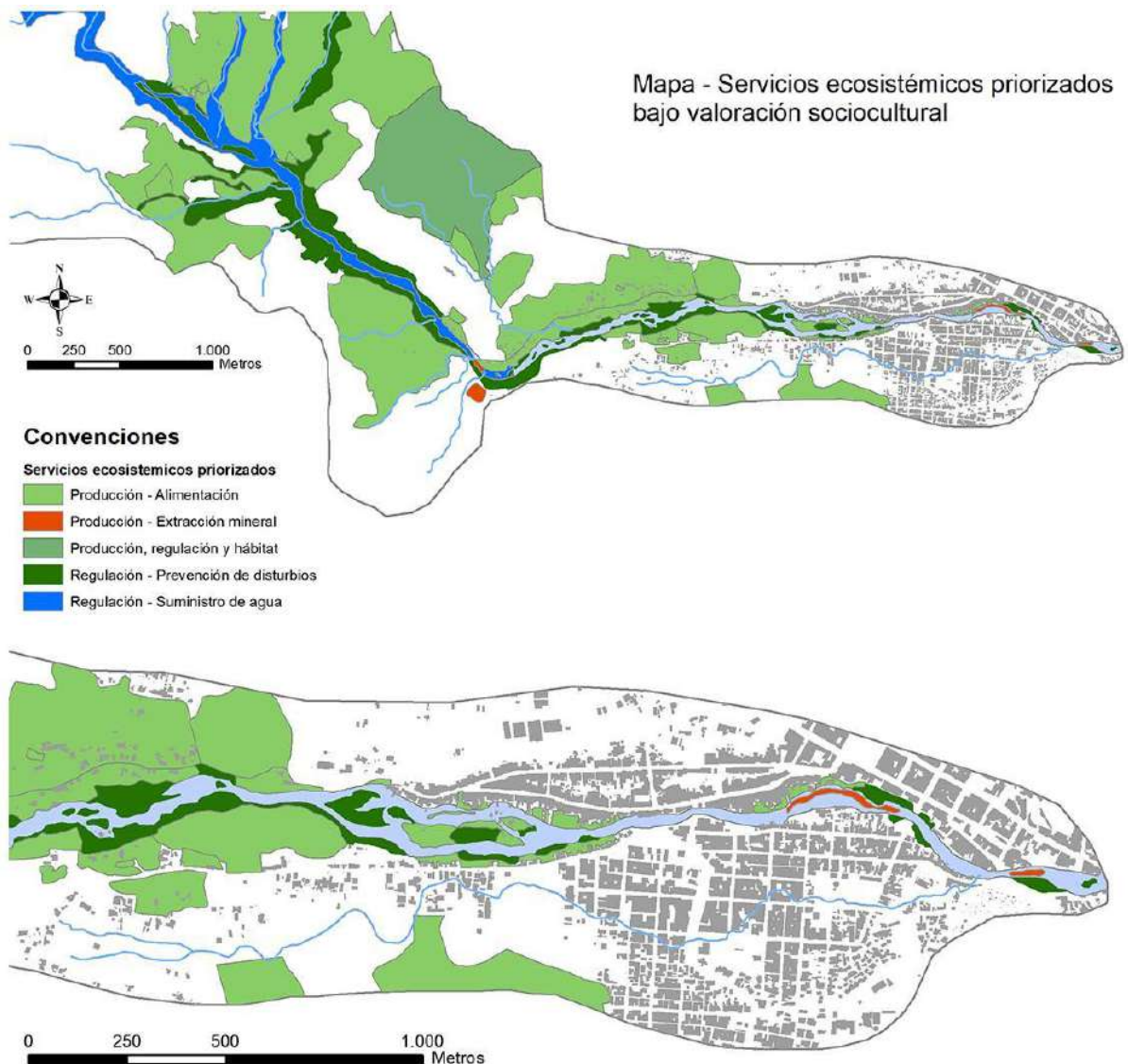


Figura 263 Mapa de servicios ecosistémicos priorizados en la actualidad bajo la valoración sociocultural.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, E.; Auer, I.; Brunet, M.; Peterson, T. C. & Wieringa, J. 2003. Guidelines on climate metadata and homogenization. World Meteorological Organization, p. 53.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2005). *Manual de procedimientos para la determinación de zonas homogéneas urbanas y rurales*. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/91056825/Manual-de-ZHF-Urbano-y-Rural>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2010). Resolución 3513 DE 2010. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=41781>
- Alcaldía Municipal de Mocoa. (2002). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipal de Mocoa*. Anexos cartográficos del componente urbano.
- AMVA, Á. M. del V. de A. (2007). *Plan de Ordenación y Manejo del río Aburrá, POMCA*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Antelo, M. R. y Fernández, M. E. 2014. Estimación de datos faltantes de precipitación diaria para las distintas ecorregiones de la República Argentina. Actas IFRH 2014. Segundo Encuentro de Investigadores en Recursos Hídricos. Ezeiza, Buenos Aires, p 58. ISBN 978-987-45194-2-9.
- Aparicio, F. J. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México D.F. ISBN 968-18-3014-8, 302 p.
- Arango, C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F. 2012. Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente. Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología, IDEAM.
- Arevalo, F. (2015). *Demarcación de la nueva franja de ronda hídrica y posible inundación hidráulica según estudios técnicos en la modificación del POT correspondiente a la quebrada lavanderas del municipio de Barrancabermeja - Santander*.
- Armenta, G. E. 2013. Análisis detallado del efecto foehn generado por la Cordillera Oriental en el Alto Magdalena (Huila y Tolima). Tesis de Maestría en Ciencias - Meteorología. Universidad Nacional de Colombia, 100 p.
- Asamblea Departamental del Putumayo. (2016). Plan de Desarrollo Departamental del Putumayo 2016-2019. Territorio de Paz, Biodiverso y Ancestral. Juntos Podemos Transformar.
- Augusto, N. 2015. Drenaje. Escurrimiento superficial y subterráneo. Disponible en: <http://drenajeuapucallpa.blogspot.com.co/2015/03/>
- Barrios, A. G. & Guzmán, C. A. 2015. Estado del Arte de las metodologías para delimitación de rondas hídricas en el contexto internacional y local.
- Barrios, A., & Guzmán, C. (2015). *Estado del arte de las metodologías para la delimitación de rondas hídricas en el contexto internacional y local*, 71 p.

- Blöschl; Sivapalan, M.; Wagener, T.; Viglione, A. & Savenije, H. 2013. Runoff prediction in ungauged basins. Synthesis across processes, places and scales. Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-02818-0, 492 p.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293–301.
- Borrero, S. & Clarkson, A. (2010). *Manual de reconocimiento predial Colombia*. IGAC. Retrieved from <http://ceppia.com.co/Documentos-tematicos/TERRITORIAL/MANUAL-DE-RECONOCIMIENTO-PREDIAL.pdf>
- Bregoli F. & Medina V. 2014 Debris-flow susceptibility assesment at regional scale: Validation on an alpine environment.
- Bregoli F., Bateman A., Medina V., Ciervo F., Hürlimann M. & Chevalier G. 2011. Development of preliminary assessment tools to evaluate debris flow hazard, in: 5th international conference on debris-flow hazards mitigation, mechanics, prediction and assessment, Padua, Italy - 14-17 june, ed. r.genevois, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, La Sapienza Edition, Roma, pp. 835-844.
- Breña, A. F. y Jacobo, M. A. 2006. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F., 289 p.
- Caballero, J. H. 2011. Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. *Gestión y Ambiente*, Vol. 14 (3): 45-50, ISSN 0124.177X.
- Calvache, J. (2016). Informe final - Sección 0 Caracterización de la estabilidad de recurso hídrico del río Mulato como elemento compuesto de la estructura principal, de ordenamiento ambiental del municipio de Mocoa, Departamento del Putumayo.
- Campos-Aranda, D. F. 2014. Modelación del proceso precipitación-escorrentía mensual por medio de regresiones. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, Vol. XV (4): 625-636.
- Campos-Aranda, D. F. 2015. Estimación simultánea de datos hidrológicos anuales faltantes en múltiples sitios. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, Vol. XVI (2): 295-306. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.riit.2015.03.013>.
- Carvajal, J. H. (2011). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, 71.
- Cazalac - Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe. 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe. Chile, 69 p.
- CIFOR. (1997). Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los tropicos de America Latina. Indonesia: CENTER FOR INTERNATIONAL FORESTRY RESEARCH.

Código Florestal - Lei 4.771/1965 Áreas de preservação permanente - artigo 4.

Corominas, J. 1996. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal* 33 (2), 260–271.4.

CORPOAMAZONIA - Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia. 2017a. Evaluación ambiental preliminar de la emergencia generada por avenidas torrenciales de los ríos Sangoyaco y Mulato y las quebradas Taruca, Conejo y Almorzadero. Boletín No. 1, 2 de abril Municipio de Mocoa, Departamento del Putumayo.

CORPOAMAZONIA - Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia. 2017b. Mapa de la delimitación de la avenida fluvio torrencial ocurrida entre el 31-03 y 01-04-2017. Municipio de Mocoa, Departamento de Putumayo.

Corpoamazonia. (2015). *Estudio para el acotamiento de la ronda hídrica de los ríos Mulato, El Hacha y de la quebrada Yahuaraca, en la zona urbana de los municipios de Mocoa, Florencia y Leticia, departamentos de Putumayo, Caquetá y Amazonas.*

CORPOAMAZONIA. 2014. Determinantes y Asuntos Ambientales para el Ordenamiento Territorial en el Departamento del Putumayo. 69 pp.

Corporación autónoma regional de cundinamarca. *Guía metodológica para la delimitación de zonas de ronda en la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Cundinamarca.* Retrieved from [https://rhes.ruralhorizon.org/uploads/documents/guia\\_metodologica\\_para\\_la\\_delimitacion\\_de\\_zonas\\_de\\_ronda\\_car.pdf](https://rhes.ruralhorizon.org/uploads/documents/guia_metodologica_para_la_delimitacion_de_zonas_de_ronda_car.pdf)

Corporación Autónoma Regional del Guavio. (2015). *Guía técnica para la delimitación de las zonas de ronda hídrica en afluentes priorizados de la corporación autónoma regional del Guavio-Corpoguavio.*

Correa, I. 2000. Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los ríos de la cuenca alta del Río Chama utilizando macroinvertebrados bénticos. Tesis de grado de Licenciado en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Venezuela. 61 p.

Cortolima. (2013). Determinantes y asuntos ambientales a considerar en los Planes de Ordenamiento Territorial. 273 p.

Cram, S., Cotler, H., Morales, L., Sommer, I. & Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín Del Instituto de Geografía. UNAM*, 66, 81–104.

Chapman, D. 1996. *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.* Chapman Hill. London. 626 p.

Chow, V. T, Maidment, D. R. y Mays, L. W., 1988. *Applied Hydrology.* Ed. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series. Nueva York, Estados Unidos de América.

Chow, V. T, Maidment, D. R. y Mays, L. W., 1994. *Hidrología Aplicada.* Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Bogotá. ISBN: 958-600-171-7, 584 p.



- Dankers, R., & Feyen, L. (2008). Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high-resolution climate simulations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 113(19), 1–17. <https://doi.org/10.1029/2007JD009719>
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico. Arth Grouting S.A.C., Perú, 901 p.
- Daza, O. J., & Sanabria, R. (2008). Identificación de conflictos de uso de suelo en rondas hídricas : herramienta para manejo ambiental . Caso de estudio municipio de Paipa. *Perspectiva Geográfica*, 13–26 p. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3650858>
- De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, Mike., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L., ten Brink, P., van Beukering, P., Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- Defra/Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme. 2006. R&D Outputs: Flood Risk to People, Phase 2. HR Wallingford.
- Dosskey, M., Vidon, P., Gurwick, N., Allan, C., Duval, T. & Lowrance, R. (2010). The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Vol 46 (2): 261-277.
- Escobar-Vargas, J. A., Santos Rocha, A. C., & Trujillo-Vela, M. G. (2017). *INFORME TÉCNICO DESASTRE EN MOCOA-PUTUMAYO*.
- Escobar-Vargas, J. A., Santos, A. C. y Trujillo-Vela, M. G., 2017. Informe Técnico Desastre en Mocoa-Putumayo. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Espinosa M del C., Y. León y X. Rodríguez. 2013. Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales. *Cenic Ciencias Químicas*, 44 (1): 11-22.
- Feldman, A. 2000. Hydrologic Modeling System HEC - HMS Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, 148 p.
- Ferrer, J. (2010). *Normas técnicas de valorización*. Retrieved from [http://www.hisenda.gva.es/documents/90598172/91214225/AnexoI NormasTécnicas4\\_01\\_2010\\_c.pdf/a7e0dbf7-43a4-42b1-89bd-76395dbe88e5](http://www.hisenda.gva.es/documents/90598172/91214225/AnexoI NormasTécnicas4_01_2010_c.pdf/a7e0dbf7-43a4-42b1-89bd-76395dbe88e5)
- Finol, H. (1971). Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes. *Revista Forestal Venezolana*, 14(21), 29–42.
- Flórez, J. H. & Bolaños, A., editores. 2009. Manual de drenaje para carreteras. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías Subdirección de Apoyo Técnico, 538 p.
- Fowler, S. J. 2000. Protecting Stream and River Corridors - Creating Effective Local Riparian Buffer Ordinances. Carl Vinson: Carl Vinson institute of Government, University of Georgia.

- Gamma P. 1999 - dfwalk—Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. PhD-  
Thesis, University of Berne, 144 pp
- González, H., & Nuñez, A. (2001). *MONZOGRANITO DE MOCOA (Batolito de Mocoa)*.
- Gregory, S., Swanson, F., Mckee, W. A., & Cummins, K. (1991). An Ecosystem Perspective of  
Riparian Zones. *BioScience*, 41(8), 540–549.
- Guzmán D.; Ruíz, J. F.; Cadena M. 2014. Regionalización de Colombia según la estacionalidad  
de la precipitación media mensual, a través de Análisis de Componentes Principales (ACP).  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Grupo de Modelamiento de  
Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología.
- Heiser, M.; Scheidl, C.; Eisl, J.; Spangl, B. & Hübl, J. 2015. Process type identification in torrential  
catchments in the Eastern Alps. *Geomorphology* 232: 239-247.
- Holdridge, L. R. (1976). *Life zone ecology*. San Jose, Costa Rica.
- Howard, A. D. (1967). Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. *AAPG Bulletin*,  
51, 1965. <https://doi.org/10.1306/5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Hürlimann M, D. Rickenmann & V. Medina 2008. Evaluation of approaches to calculate debris-flow  
parameters for hazard assessment.
- Hürlimann, M., Rickenmann, D., Medina, V. & Bateman. 2008. A. Evaluation of approaches to  
calculate debris-flow parameters for hazard assessment. *Engineering Geology*, 102: 152–163
- Hydrologic Engineering Center. 1998. HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual. US Army  
Corps of Engineers. Version 4.1, 434 p.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2012. Mapa de Clasificación  
Climática Caldas-Lang. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Clasificaci-n-Clim-tica-Caldas-Lang-2012/3akx-3ph5>. Fecha de acceso: 03 de agosto de 2017
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. Mapa de  
Precipitación Media Total Anual. Promedio Multianual 1981-2010. Escala 1:9'000000.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2017. Catálogo Nacional  
de estaciones del IDEAM, Versión 9, enero de 2017. Disponible en:  
<http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>.
- Infante, S., Ortega, J. y Cedeño, F. 2008. Estimación de datos faltantes en estaciones  
meteorológicas de Venezuela vía un modelo de redes neuronales. *Revista de Climatología*.  
Vol. 8: 51-70. ISSN 1578-8768.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1988). *Resolución 2555 de 1988*, por la cual reglamenta la  
formación, actualización y conservación del Catastro Nacional y subroga la resolución 660  
del 30 marzo de 1984
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2008). *Resolución Número 620 DE 2008*. Retrieved from

[http://www.catastrolatino.org/documentos/foros\\_tematicos\\_IGAC/foro\\_I/legislacion/adjuntos\\_colombia/res620.pdf](http://www.catastrolatino.org/documentos/foros_tematicos_IGAC/foro_I/legislacion/adjuntos_colombia/res620.pdf)

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Resolución número 0070 de 2011, 4 de febrero de 2011.*  
Retrieved from  
[http://www2.igac.gov.co/igac\\_web/normograma\\_files/RESOLUCION\\_70\\_2011.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/RESOLUCION_70_2011.pdf)
- Johnson, D. (1932). Streams and Their Significance. *The Journal of Geology*, 40(6), 481–497.
- Jojoa, O. A. 2003. Análisis de amenazas y vulnerabilidad geológica en la cuenca de la quebrada Taruca y Sangoyaco para el área rural, sub-urbana y urbana de la población de Mocoa. Informe Final. Corporación para el Desarrollo del Sur de la Amazonia, CORPOAMAZONIA. Dirección Regional Putumayo.
- Kevern N.R, Wilhm J.L.Dyme G. M. 1966. Use of artificial sustate to estimata the productivity of periphyton. *Limnol. Oceanogr.* 11:499-502.
- Klemm, D.J., P.A. Lewis, F. Fulk y J.M. La-Zorchak. 1990. Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA/600/4-90/030. U S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring Systems Laborato y, Cincinnati, Ohio 45268.
- Kronenberg, J. (2012). Urban ecosystem services. *Sustainable Development Applications*, 3.
- Kutschker, A., Brand, C., & Miserendino, M. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral*, 19, 19–34.
- Leiva M. 2004. Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del Estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX región de la Araucania. Universidad Católica de Temuco, Facultad de ciencias. Temuco. 111p.
- López, A. J. G. (2005). *Putumayo, indios, misión, colonos y conflictos 1845-1970: fragmentos para una historia de los procesos de incorporación de la Frontera Amazónica y su impacto sobre las sociedades indígenas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Luna, E. y Lavado, W. 2015. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, Vol. 28, N. 3, 42-52.
- Lynch J.M. y N.J. Poole 1979. *Microbial Ecology*, Blackwell, London.
- Llambí, L., & Pérez, E. (2007). Nuevas ruralidades y viejos campesinismos . *Agenda para una nueva sociología rural latinoamericana*, 4(59), 37–62.
- Llambí, L., & Pérez, E. (2007). Nuevas ruralidades y viejos campesinismos . *Agenda para una nueva sociología rural latinoamericana. Cuadernos de Desarrollo Rural*, 4(59), 37–62.
- MADS, 2017. Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. 1 - 128 pp.

- Mark, R.K. & Ellen, S.D. 1995. Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 93-106
- Martí, R. (2011). Recuperación de riberas. *Manual de Desarrollo Sostenible*, 10, 8–9.
- Milliman, J. D.; Lee, T. Y.; Huang, J. C. & Kao, S. J. 2017. Impact of catastrophic events on small mountainous rivers: Temporal and spatial variations in suspended and dissolved-solid fluxes along the Choshui River, central western Taiwan, during typhoon Mindulle, July 2-6, 2004. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 205: 272-294.
- Minambiente, & UNAL. (2012). *Guía para el acotamiento de las rondas hídricas de los cuerpos agua de acuerdo a lo establecido en el artículo 206 de la ley 1450 de 2011 -- PLAN NACIONAL DE DESARROLLO*. Bogotá, D.C., Colombia.
- Minambiente. (2017). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*. Bogotá, D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente. (2017). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*, 1–128.
- Ministerio de Ambiente. (2017). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*, 1–128 p.
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Manual de recolección de datos en campo Colombia*. Retrieved from [http://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-85585\\_inventario\\_pdf4.unknown](http://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-85585_inventario_pdf4.unknown)
- Ministerio de educación. (2009). *Propuesta de estándar de las direcciones urbanas para los equipamientos del ministerio de educación*. Retrieved from [http://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-193290\\_estandar\\_direcciones\\_urbanas.pdf](http://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-193290_estandar_direcciones_urbanas.pdf)
- Monsalve, G. 1995. Hidrología en la ingeniería. Editorial Escuela de Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Montealegre, J.E. 2007. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos de El Niño y La Niña en Colombia. Instituto Colombiano de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales -IDEAM-. Colombia.
- Mora, C. (2012). Intervención de bordes hídricos a partir del diseño urbano sostenible - Eje ambiental río Sangoyaco. Mocoa - Putumayo, 510 p. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12262/>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M&T - Manuales y Tesis SEA* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>
- Moss, B. 1980. Ecology of fresh waters. Blackwell. Oxford.
- Murcia, U.; Gualdrón A., Londoño, M. 2016. Mapa de coberturas de la tierra a escala 1:100.000. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Disponible en: <http://siatac.co/web/guest/productos/coberturasdelatierra>

- Naranjo, L.G. 2012. El Piedemonte Andino-Amazónico de Colombia, su importancia en el contexto regional y nacional. *En* Fajardo, D., LG. Naranjo, & I. Niño (Eds.) Manejo integral de cuencas hidrográficas a través del uso de agroforestería sustentable en la Amazonia colombiana (pp. 9-11). Cali, Colombia. Corpoamazonia y WWFColombia.
- Navarro, J. A., Galeano, G., & Peñuela-M., M. C. (2010). Palmas del CEA. In M. C. Peñuela-Mora & E. M. Jiménez (Eds.), *Plantas del Centro Experimental Amazónico –CEA– Mocoa, Putumayo* (pp. 321–390). Leticia, Amazonas: Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia- CORPOAMAZONIA, Grupo de Ecología de Ecosistemas Terrestres Tropicales- Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonia.
- Navarro, J., Galeano, G., & Bernal, R. (2014). Manejo de la palma barrigona o chonta (*Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav.) en el piedemonte amazónico colombiano y perspectivas para su cosecha sostenible. *Colombia Forestal*, 17(1), 5–24. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.1.a01>
- NOAA (Nortional Oceanic and Amospheric Administration). 2016. El Niño/Southern Oscillation (ENSO): Historical El Niño/La Niña episodes (1950-present). [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears).
- OCHA, Unidad de Manejo y Análisis de Información Colombia. 2017. Mapa de Zonas de Afectación, Putumayo, Mocoa.
- Olave, P. E. 2015. Generación de montos diarios de precipitación a partir de series observadas rellenadas con datos de reanálisis. Tesis de Pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Chile, 178 p.
- Olaya, G. & Wilches, H. 2007. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Capítulo 2, Observación y medición en aguas superficiales de niveles, caudales y sedimentos; p. 22-88.
- Olsson, A. (1956). *Handbook of South American Geology, an Explanation of the Geologic Map of South America*.
- OMM - Organización Meteorológica Mundial. 1994. Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. Quinta edición, No 168.
- Pabón, J. 2009. Variabilidad Climática y Cambio Climático en la sábana de Bogotá. Seminario Internacional Bogotá y Cundinamarca: Avances y perspectivas en la integración regional. Colombia.
- Pabón, J.; Eslava J. & Gómez, R. 2001. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*. 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C.
- Payne A. I. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. Jhon Wiley Sons NY.
- Petrucio, M. M., F.A.R. Barbosa y A.L.S. Furtado. 2006. Bacterionplankton and phytoplankton production in seven lakes in the Middle Rio Doce basin, south-east Brazil. *Limnol.*, 36:192-203.
- Prieto, C. & Arias, G. (2007). Diversidad biológica del sur de la Amazonía colombiana. *Diversidad*

*Biológica Y Cultural Del Sur de La Amazonía Colombiana -Diagnóstico-*, 650 p.

Ramírez, A., R. Restrepo y G. Viña. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *TyF - Ciencia, Tecnología y Futuro.*, 1(3): 135-153.

República de Colombia, Congreso de la República. *Código Civil ley 57 de 1887*, comprende las disposiciones legales sustantivas que determinan especialmente los derechos de los particulares, por razón del estado de las personas, de sus bienes, obligaciones, contratos y acciones civiles.

República de Colombia, Congreso de la República. *Ley 388 de 1997*, por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones.

República de Colombia. (2006). *Decreto 2424 de 2006*. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=20707>

Ricaurte, L.F.; Núñez-Avellaneda, M.; Pinilla, M.C.; Marín, C.A.; VelásquezValencia, A.; Alonso, J. C.; Mojica, J. I.; Betancourt, B.; Salazar, C.; Caicedo, D.; AcostaSantos, A.; Castro, W.; Argüelles, J. H. 2015. Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Ortegúaza, Departamento del Caquetá, Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Convención de Ramsar. Bogotá, Colombia. 128 p.

Ricaurte, L.F.; Núñez-Avellaneda, M.; Pinilla, M.C.; Marín, C.A.; Velásquez- Valencia, A.; Alonso, J. C.; Mojica, J. I.; Betancourt, B.; Salazar, C.; Caicedo, D.; Acosta- Santos, A.; Castro, W.; Argüelles, J. H. (2015). *Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Ortegúaza, departamento del Caquetá, Amazonia colombiana*. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Convención de Ramsar.

Rinaldi, M., O'Hare, M. T., Gunn, I. D. B., McDonald, C., Hutchins, M., Cisowska, I., ... Rääpysjärvi, J. (2015). REstoring rivers FOR effective catchment Management, 1–109. <https://doi.org/D1.1>

Rivera, I.N.G. y M.T. Martins. 1996. Bacterias enteropatógenicas no ambiente acuático. *Rev. Ciênc. Farm.*, 17:115-136.

Robertson, K. & Castiblanco, M. A. 2011. Amenazas fluviales en el piedemonte amazónico colombiano. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 125 - 137, July 2011. ISSN 2256-5442. Disponible en: <<http://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/27185/36747>>. Fecha de acceso: 09 de agosto de 2017

Robertson, K., & Castiblanco, M. (2011). Amenazas fluviales en el piedemonte amazónico colombiano. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 20, 125–137. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/27185>

Roldán-Pérez, G.A. y J.J. Ramírez-Restrepo. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 440p.

Romo, S. P. (2015) Estimación del riesgo por inundación en la ribera del río Mulato (Mocoa – Colombia). Tesis de Maestría – Universidad de Salzburg.

- Romo, S. P. 2015. Estimación del riesgo por inundación en la ribera del río Mulato. Tesis de Maestría en SIG. UNIGIS - Universidad de Salzburgo, 105 p.
- Romo, S. P. 2015. Estimación del riesgo por inundación en la ribera del río Mulato. Tesis de Maestría en SIG. UNIGIS – Universidad de Salzburgo, 105 p.
- Rosenberg, D.M y V.H Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York, New York, USA. 488 pp.
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. Elsevier B.V.
- Royo y Gomez, J. (1942). *Datos para la geología económica de Nariño y Alto Putumayo*. Bogotá.
- Sánchez Steiner, L. M. (2015). *La ciudad-refugio: migración forzada y reconfiguración territorial urbana en Colombia: el caso Mocoa*.
- SANCHEZ-STEINER, L. M. (2012). La ciudad-refugio. *Migración forzada y reconfiguración territorial urbana en Colombia*. Universidad del Norte.
- Semana Sostenible. (2017). Chiparo, el árbol que salvó a un barrio de la tragedia en Mocoa. Retrieved December 6, 2017, from <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/multimedia/chiparo-el-arbol-que-salvo-a-un-barrio-de-la-tragedia-en-mocoa/37505>
- Servicio Geológico Colombiano. (2003). Memoria geológica plancha 430- Mocoa escala 1:100.000 versión 2003.
- Servicio Geológico Colombiano. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, (2), 158.
- Servicio Geológico Colombiano. (2014). Susceptibilidad Y Amenaza Relativa Por Movimientos En Masa Escala 1 : 100 . 000 Plancha 430 – Mocoa, (8), 1–40.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). Mapa Geomorfológico Aplicado a movimientos en Masa; Plancha 430-Mocoa, 2014.
- SIAT-AC. (2017). Mapas de Coberturas de la Tierra. Retrieved May 1, 2017, from <http://siatac.co/web/guest/productos/coberturasdelatierra>
- SINCHI y Parques Nacionales Naturales (2016) *Mapa Ecosistemas acuáticos y terrestres de la Amazonía colombiana. Año 2014 Versión 1. Escala 1:100.000*. <http://siatac.co/web/guest/productos/ecosistemas/ecosistemas-100k/mapas>
- SINCHI. (2016). Coberturas de la tierra periodo 2016. Retrieved May 1, 2017, from <https://www.sinchi.org.co/>
- Sioli, H. 1967. Hydrochemistry and geology in the brazilian Amazon region. *Amazoniana* 1(3):267-277.
- Sioli, H. 1984. The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Pub. Dordrecht, 763 pp.

- Sixth Framework Programme. Flood risk assesment and flood risk management. EU-funded Integrated project 2015.
- Souza, L.C., S.T. Iaria, G.V. Paim y C.A.M. Lopes. 1983. Bactérias coliformes totais e coliformes de origem fecal em águas usadas na dessedentação de animais. *Rev. Saúde Pública*, 17(2):112-122.
- Superintendencia. (2016). Evaluación integral de prestadores Aguas Mocoa S.A. E.S.P. Bogotá.
- Takahashi, T. 1978. Mechanical characteristics of debris flow. *ASCE J Hydraul Div.* 104. 1153-1169.
- Tamaris-turizo, C.H., y J. Rodríguez-barrios. 2015. Transporte de materia orgánica a lo largo de un río tropical de montaña en la sierra nevada de santa marta (Colombia). *Acta biol. Colomb.*, 20(3):209-216.
- Tangui, M. Quibd, M, & Atrato, M. *Zonificación cuencas y microcuencas de tangui y munguido municipios de quibdó y medio atrato*, 1–49 p.
- TCM - Tecnología de Carreteras MOPU. 1987. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. ISBN: 7433-457-8, 96 p.
- Te Chow. 1997. Hidráulica de canales abiertos, McGraw Hill.
- Tsuchida, T.; Athapaththu, A. M. R. G.; Hanaoka, T. & Kawaguchi, M. 2015. Investigation of landslide calamity due to torrential rainfall in Shobara City, Japan. *Soils and Foundations*; 55 (5): 1305-1317.
- Tundisi, J.G y T. Matsumura-Tundisi. 2008. *Limnología*. Oficina de textos. Sao Paulo 631.
- UBA – Universidad de Buenos Aires. 2005. *Limnología, Guía de trabajos prácticos*. Departamento de tecnología, genética y evolución, facultad de ciencias exactas y naturales. Recuperado de: <http://biolo.bg.fcen.uba.ar/limn.htm>.
- Ujueta, G. (1999). La Cordillera Oriental Colombiana no se desprende de la Cordillera Central. *Geología Colombiana*, 24(Noviembre), 3–28.
- Universidad Javeriana, 2017. Informe Técnico Desastre en Mocoa-Putumayo. Bogotá.
- Vallejo Joyas, M. I., Londoño Vega, A. C., López Camacho, R., Galeano, G., Álvarez Dávila, E., & Devia Álvarez, W. (2005). *Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo Establecimiento de Parcelas Permanentes Volumen I*.
- Vargas, M. R. & Díaz-Granados, O. M., 1998. Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia.
- Vegter, J. (2007). Urban Soils – An Emerging Problem? *Urban Soils*, 7(2).
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa Inventarios de Biodiversidad; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.



<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication. Paris, Organization for Economic Cooperation and Development, 192 p.

Wells, M. P., & Brandon, K. E. (1993). The principles and practice of buffer zones and local participation in biodiversity conservation. *Ambio*, 22(2-3), 157-162.

WMO - World Meteorological Organization. 1971. Climatic Change, Annexed III: Standard Tests of Significance to be Recommended in Routine Analysis of Climatic Fluctuations, pp. 58-71. Technical Note No. 79, WMO-No. 195. Secretariat of the WMO, Génova, Suiza, 1971, 79 p.

Zinck, J. A. (2012). *Geopedología* (ITC Specia). Enschede, The Netherlands.

Zongxing, L.; Yuanqing, H.; Puyu, W.; Wilfred H. Theakstone, Wenling, A.; Xufeng, W.; Aigang, L.; Wei, Z.; Weihong, C. 2012. Changes of daily climate extremes in southwestern China during 1961-2008, *Global and Planetary Change*, Vol. 80: 255-272, ISSN0921-8181, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.06.008>.