

INFORME GENERAL DEL EJERCICIO CON LAS CONSIDERACIONES SUPUESTAS Y RESTRICCIONES DE LOS RESULTADOS GENERADOS.

Proyecto

Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa, en el marco de las declaratorias de calamidad pública y desastre del Municipio de Mocoa - Putumayo, debidas al evento presentado el 31 de marzo de 2017.



UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

Bogotá D.C., 2018

	<p align="center"><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	9
2	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	10
2.1	Metodología aplicada	10
2.1.1	Revisión de la cartografía existente	10
2.1.2	Preparación y procesamiento de la información geográfica disponible	10
2.1.3	Evaluación de los Modelos de Elevación Digital Pre y Post evento.....	10
2.2	Consideraciones, suposiciones y restricciones.....	10
2.3	Resultados y análisis.....	11
2.3.1	Modelo de elevación digital pre-evento.....	11
2.3.2	Modelo de elevación digital post-evento	17
2.4	Conclusiones y recomendaciones.....	20
3	HIDROMETEOROLOGÍA	22
3.1	Introducción.....	22
3.2	Metodología.....	22
3.2.1	Establecimiento del Sistema de Información	22
3.2.2	Caracterización morfométrica	22
3.2.3	Procesamiento de las variables hidrometeorológicas y consolidación del Sistema de Información para la modelación.....	23
3.2.4	Análisis de la precipitación.....	23
3.2.5	Marco conceptual de la modelación hidrológica	23
3.2.6	Evaluación de umbrales del sistema de alerta temprana (SAT)	24
3.2.7	Sistema de predicción probabilista (HEPS por sus siglas en inglés - Hydrological Ensemble Prediction System).....	24
3.3	Resultados y conclusiones.....	24
3.4	Recomendaciones.....	27
4	GEOLOGÍA-GEOMORFOLOGÍA.....	29
4.1	Metodología aplicada	29
4.1.1	Introducción	29
4.1.2	Revisión de Información Secundaria	29
4.1.3	Recorrido de Campo.....	29
4.1.4	Análisis de Cartografía Temática	29

	<p align="center"><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

4.1.5	Definición de sectores críticos y sitios de implementación de nuevos monitoreos para disminución de la incertidumbre en la definición de los niveles del sistema de alerta temprana	30
4.1.6	Simulación con HYDRUS-1D.....	30
4.2	Consideraciones, suposiciones y restricciones	30
4.3	Resultados y análisis.....	31
4.3.1	Resumen de la Línea Base de Geología y Geomorfología	31
4.3.2	Recorrido de Campo.....	32
4.3.3	Análisis de Cartografía Temática versus Deslizamientos Ocurridos.....	34
4.3.4	Modelo Conceptual	34
4.3.5	Definición de sectores críticos y sitios de implementación de nuevos monitoreos para disminución de la incertidumbre en la definición de los niveles del sistema de alerta temprana	35
4.3.6	Simulación con HYDRUS-1D.....	37
4.4	Conclusiones y recomendaciones.....	37
5	GEOTECNIA.....	39
5.1	Metodología aplicada	39
5.2	Consideraciones, suposiciones y restricciones	42
5.3	Resultados y análisis.....	43
5.4	Conclusiones y recomendaciones.....	48
6	HIDRÁULICA	48
6.1	Metodología aplicada	48
6.1.1	Información base	49
6.1.2	Modelación hidráulica del evento del 31/03/17	50
6.1.3	Modelación de los escenarios propuestos para generación de zonas de alerta.....	50
6.1.4	Estimación de volúmenes de sólido y caudal líquido	51
6.1.5	Definición de zonas con potencial de afectación.	53
6.1.6	Determinación de sectores críticos	53
6.1.7	Niveles asociados a alertas, tiempos de viaje y curvas de calibración.	54
6.2	Consideraciones, suposiciones y restricciones	55
6.3	Resultados y análisis.....	56
6.3.1	Resultados R.AVAFLOW	56
6.3.2	Resultados FLO2D.....	57
6.3.3	Resultados RAMMS.....	57

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

6.3.4	Resultados Open TELEMAT	58
6.3.5	Umbral de propuestas para la determinación de los niveles de alerta	59
6.4	Conclusiones y recomendaciones	60
7	DIAGNÓSTICO SOCIOTERRITORIAL Y DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LAS MICROCUENCAS OBJETO EN EL MUNICIPIO DE MOCOA	62
7.1	Revisión del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del área urbana y periurbana del municipio de Mocoa	63
7.1.1	Estructura del Concejo municipal de gestión del riesgo y componente programático del plan municipal de gestión del riesgo del municipio de Mocoa	63
7.2	Articulación del PMGRD con el plan de desarrollo municipal 2016 – 2019 del municipio de Mocoa	64
8	DIAGNOSTICO DE LOS ELEMENTOS DEL SAT ACTUALES	66
8.1	Elementos de monitoreo hidro - meteorológico en el marco del SAT para avenida torrencial desarrollados por SIATA - AMVA	66
8.1.1	Características generales de los equipos instalados en el marco del SAT para avenida torrencial por parte del SIATA – AMVA	67
8.1.2	Consideraciones, fortalezas y limitaciones del equipamiento y funcionamiento actual de los equipos de monitoreo instalados por el SIATA – AMVA	68
8.2	Elementos del SAT actual por avenida torrencial implementados a través de la ejecución del contrato celebrado con la empresa Federman Comunicaciones S.A.S.	70
8.2.1	Sistema de comunicación de alertas mediante sirenas y equipos de radioteléfono	71
8.2.2	Sensores de nivel de flujos en las corrientes del componente de monitoreo del SAT	73
8.2.3	Estaciones hidro - meteorológicas multiparametricas compactas	74
8.2.4	Sistema de telemetría y comunicación integrado del equipamiento del SAT	75
8.2.5	Consideraciones, fortalezas y limitaciones del equipamiento y funcionamiento actual de los equipos de monitoreo instalados en el marco del contrato con Federman Comunicaciones S.A.S.	75
8.2.6	Equipos de comunicación para la comunidad suministrados por el CMGRD – UNGRD	77
9	COMUNICACIÓN, DISEMINACIÓN Y CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA	78
9.1	Comunicación y diseminación de las alertas	79
9.1.2	Propuesta de medios de comunicación y diseminación de la alerta en el marco del SAT por avenida torrencial	81
9.2	Capacidad de respuesta	88

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

9.2.1	Componente pedagógico para aumentar y mejorar la capacidad de respuesta frente a eventos de avenida torrencial en el marco del SAT	89
9.2.2	Sistema de evacuación para eventos de avenida torrencial y crecientes súbitas articulado con el SAT 91	
9.2.3	Fortalecimiento institucional a través de acciones de seguimiento, evaluación y sostenibilidad del componente de respuesta en el marco del SAT	98
10	CONCLUSIONES	100
11	BIBLIOGRAFÍA	102

	<p align="center"><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Modelo de elevación digital de 1m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 2-2. Modelo de elevación digital de 2m de resolución espacial – sólo cabecera municipal. Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 2-3. Modelo de elevación digital de 2m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.....	12
Figura 2-4. Modelo de elevación digital de 3m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.....	12
Figura 2-5. Modelo de elevación digital de 5m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.....	13
Figura 2-6. Perfil altitudinal de la parte baja del río Mulato - cabecera municipal. Fuente: elaboración propia.	14
Figura 2-7. Perfil altitudinal de la parte baja de la quebrada Taruca - cabecera municipal. Fuente: elaboración propia.	14
Figura 2-8. Histograma y curva de errores de la unión del DEM de 5m y el de 2m. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 2-9. Batimetría de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 2-10. Cauces desviados en color amarillo y drenajes de la cartografía 1:25000 en color azul. Fuente: elaboración propia.	16
Figura 2-11. Cauces generados después de la corrección del DEM en color rojo y drenajes de la cartografía 1:25000 en color azul. Fuente: elaboración propia.	16
Figura 2-12. Perfil altitudinal de la parte media de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.	17
Figura 2-13. Modelo de elevación digital de 1m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.....	17
Figura 2-14. Perfil longitudinal de la quebrada Taruca (DEM de antes y después del evento). Fuente: elaboración propia.	18
Figura 2-15. Diferencia de alturas entre el DEM de 1 metro y el de 5 metros. Fuente: elaboración propia.....	18
Figura 2-16. Variación de las celdas en coberturas estables. Fuente: elaboración propia.....	19
Figura 2-17. Sección relativa del cauce post evento. Fuente: elaboración propia.....	20
Figura 2-18. Sección relativa del cauce post evento después del ajuste. Fuente: elaboración propia.	20
Figura 3-1 Esquema metodológico del análisis hidrológico de la cuenca compuesta por los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 4-1. Aportes de materiales para los flujos de detritos (a,b). Depósitos aluviales terrazados (c, d). Deslizamiento con parcial represamiento del cauce (e). Fuente: elaboración propia.....	33
Figura 4-2. Depósito aluvial terrazado con grande bloque (a). Erosión concentrada en laderas (b). Tributario de la Taruca (c). Fuente: elaboración propia.	33
Figura 4-3. Modelo conceptual de procesos geomorfológicos en las partes medio-altas de la Q. Taruca y Taruquita. Sin escala. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 4-4. Panorámica de la garganta de la Q. Taruquita, mirando hacia el norte y, en la derecha, espolón rocoso potencialmente adecuado para la instalación de sensores ópticos. Fuente: elaboración propia.....	36
Figura 4-5. Franja de la Quebrada Taruca con alta densidad de deslizamientos donde pueden ocurrir importantes represamientos. Fuente: aerofotografía del dron post-evento suministrada por Corpoamazonia.	36
Figura 4-6. Variación horaria de la presión de poros (h) a diferentes profundidades con respecto a la precipitación (P). Fuente: elaboración propia.	37
Figura 5-1. Esquema explicativo TRIGRS (Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/226192291_fig2_Fig-2-Conceptual-framework-of-applying-the-Ma-tlab-version-TRIGRS-MaTRIGRS-for).....	39
Figura 5-2. Zonificación geotécnica para modelación (Fuente: elaboración propia), junto a deslizamientos inventariados (SGC, 2017).....	41
Figura 5-3. Volumen total deslizado a lo largo de cuatro días de lluvia discretizados en periodos de 6 horas en toda la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia.....	44
Figura 5-4. Factores de seguridad para el evento ocurrido en Mocoa a las 7:00 pm del día 31 de marzo de 2017. Fuente: elaboración propia.....	45
Figura 5-5. Volumen deslizado y precipitación acumulada en el tiempo para condición inicial de nivel freático a 100% de profundidad. Fuente: elaboración propia.	47
Figura 5-6. Volumen deslizado y precipitación acumulada en el tiempo para condición inicial de nivel freático a 45% de profundidad. Fuente: elaboración propia.	47
Figura 6-1. Formación de un flujo desagregado. Fuente: elaboración propia.....	49
Figura 6-2. Hidrogramas de caudal líquido por cada escenario de precipitación acumulada en la cuenca de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.	52
Figura 6-3. Hidrogramas de volúmenes de sólido por cada escenario de precipitación acumulada en la cuenca de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.....	52
Figura 6-4. Ejemplo de perfil topográfico en donde se indica la elevación de las casas más cercanas y el cauce. Fuente: elaboración propia.....	54
Figura 6-5. Ejemplo de umbrales de nivel asociados a una altura de flujo y un caudal. Fuente: elaboración propia.	55
Figura 6-6 Máxima altura de flujo y presión para el escenario 1 R.AVAFLOW. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 6-7. Máxima altura de flujo y presión para el escenario 1 FLO2D. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 6-8. Máxima altura de flujo y presión para el escenario 1 RAMMS. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 6-9. Máxima profundidad alcanzada para el escenario 1 Open TELEMAC. Fuente: Elaboración propia.....	59

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p><i>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</i></p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Figura 8-1. Esquema gráfico de la ubicación espacial de los sensores de nivel instalados en los ríos Sangoyaco y Mulato y las quebradas Taruca y Taruquita extraído de Google Earth (2017). Fuente: Federman Comunicaciones (2017)74

Figura 9-1. Diagrama de estructura organizacional del componente de comunicación de la alerta en el SAT por avenida torrencial. Fuente elaboración propia.....81

Figura 9-2. Ubicación de las unidades comunitarias, edificaciones con 2 pisos o más y predios públicos en las actividades de evacuación sector nor – occidental del área urbana. Fuente: elaboración propia.98

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p><i>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</i></p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1. Definición de parámetros geotécnicos para el modelo TRIGRS para las 16 zonas geotécnicas.	40
Tabla 6-1. Volumen de deslizamientos para los 19 escenarios de precipitación con suelo parcialmente saturado.....	51
Tabla 6-2. Umbrales propuestos de altura lámina de agua para cada sensor de nivel instalado.....	60
Tabla 6-3. Umbrales propuestos de caudal para cada sensor de nivel instalado	60
Tabla 9-1. Unidades de gestión del riesgo comunitario en el municipio de Mocoa y equipamiento de las brigadas o vigías comunitarios del SAT para la comunicación de la alerta.....	84
Tabla 9-2. Estaciones de sirenas propuestas para el fortalecimiento del componente de comunicación del SAT por avenida torrencial y crecientes súbitas del municipio de Mocoa.....	87

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

1 INTRODUCCIÓN

Este documento pretende documentar el ejercicio realizado para el diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa. Se presentan de forma general las características de los modelos utilizados, análisis técnicos desarrollados para la obtención de resultados, además de las suposiciones, consideraciones y restricciones respecto a su uso.

Dado que para la ejecución del proyecto se desarrollaron diferentes componentes técnicos, para la elaboración de éste documento se recopilaron aspectos relevantes en la definición de los umbrales de nivel, precipitación y deslizamientos propuestos para la operación del SAT.

En el capítulo 2 se presenta la revisión, análisis y procesamiento de los modelos de elevación digital utilizados para la modelaciones geotécnicas y fluidodinámicas, pre y post evento. En el capítulo 3 se relaciona el resumen del análisis hidrológico de la cuenca compuesta por los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita (30.65 km²) ubicada en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, Colombia. En el capítulo 4 se presenta el análisis e interpretación de la información geológica y geomorfológica entregada por el Servicio Geológico Colombiano de la zona de estudio.

En el capítulo 5 se describen a manera de resumen los modelos geotécnicos utilizados para la determinación de los volúmenes de sólidos que alimentan los cauces en estudio. El capítulo 6 contiene la información relacionada con las diferentes modelaciones fluidodinámicas realizadas con diferentes softwares, esto con el fin de obtener la mejor representación del evento ocurrido el 31 de marzo de 2017, y así poder modelar diferentes escenarios que permitieran determinar los niveles de alerta.

También en el capítulo 7 se presentan a manera de resumen los lineamientos de gestión del riesgo existentes en el municipio como es el caso del Plan Municipal del Riesgo del Municipio de Mocoa (PMGRD) formulado en el año 2013 por el Comité Municipal de Gestión del Riesgo del Municipio de Mocoa (CMGRD) del cual se citarán sus componentes principales y estructura general del mismo, planes y proyectos. Finalmente en los capítulos 8 y 9 se relaciona el análisis de los elementos del SAT actuales instalados por FEDERMAN y cómo éstos se tuvieron en cuenta en el diseño propuesto.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Durante la ejecución del proyecto se realizaron salidas gráficas, homogenización de los sistemas de referencia, estandarización de los formatos de las salidas gráficas entre otras actividades relacionadas. Todos los productos cartografiados generados durante el desarrollo de las actividades fueron estructurados en una geodatabase la cual tendrá el sistema de referencia y el formato basado en la NTC 4611. (Ver Anexo 1).

2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.1 Metodología aplicada

Para llevar a cabo el desarrollo del componente de Sistema de Información Geográfica se realizó la siguiente metodología:

2.1.1 Revisión de la cartografía existente.

Se generó un documento detallando la cartografía existente de la zona de estudio obtenida de diferentes entidades.

2.1.2 Preparación y procesamiento de la información geográfica disponible

Se realizó la proyección al Sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS / Colombia Zona Oeste (EPSG:3115) de la información disponible para la generación de figuras y mapas temáticos requeridos para la elaboración de los diferentes productos y documentos.

2.1.3 Evaluación de los Modelos de Elevación Digital Pre y Post evento

Se evaluaron los Modelos de Elevación Digital disponibles en la zona de estudio con el fin de obtener la mejor representación del terreno antes y después del evento del 31 de marzo, con el fin de obtener los mejores resultados posibles en las modelaciones hidrológicas, hidráulicas y otros componentes que utilicen este producto como fuente principal de información.

2.2 Consideraciones, suposiciones y restricciones.

La principal restricción es la obtención de la información secundaria y la calidad de los datos con los que se implementaran los modelos y demás procesos a realizar.

2.3 Resultados y análisis

2.3.1 Modelo de elevación digital pre-evento

Para el área de estudio hay disponibles cinco modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) de antes del evento del 31 de marzo de 2017, los cuales son descritos a continuación:

- DEM con resolución espacial de 1m: abarca la cabecera municipal de Mocoa y no tiene información en la parte media y alta del río Mulato y las quebradas Tarura y Sangoyaco (Ver Figura 2-1).

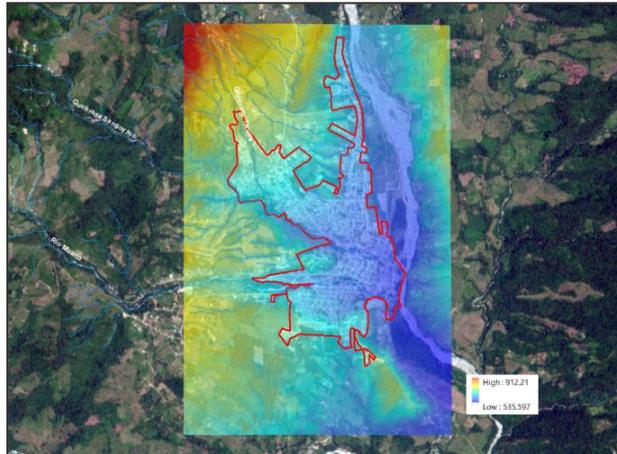


Figura 2-1. Modelo de elevación digital de 1m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia

- DEM con resolución espacial de 2m: como se puede observar en la Figura 2-2, abarca la cabecera municipal de Mocoa y no tiene información en la parte media y alta del río Mulato y las quebradas Tarura y Sangoyaco.

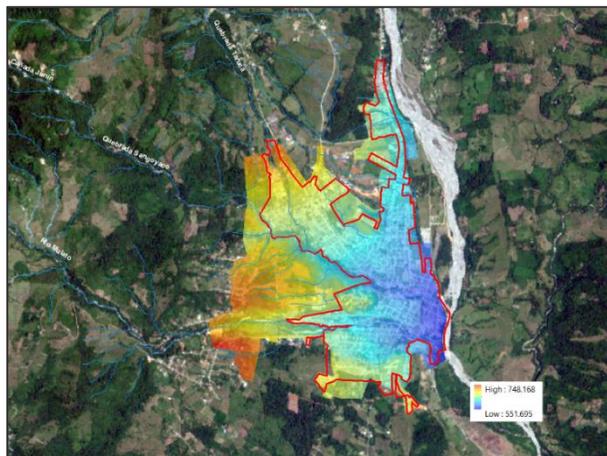


Figura 2-2. Modelo de elevación digital de 2m de resolución espacial – sólo cabecera municipal. Fuente: elaboración propia.

- DEM con resolución espacial de 2m (22-03-17): a diferencia del DEM anterior este por su parte tiene mayor cubrimiento del área de estudio aun así no alcanza a tener información en parte relevantes para las modelaciones que se realizaran para obtener un escenario antes del evento (ver Figura 2-3).

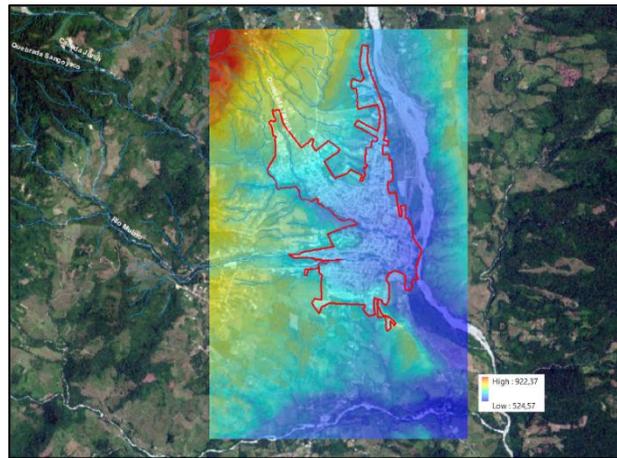


Figura 2-3. Modelo de elevación digital de 2m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.

- DEM con resolución espacial de 3m: de acuerdo a la Figura 2-4 este DEM tiene total cubrimiento de la zona de estudio, está afectado por la presencia de la vegetación en las laderas de los ríos y quebradas, por lo tanto al momento de generar los drenajes se presentan desvíos del cauce principal de la quebrada Taruca y San Antonio.

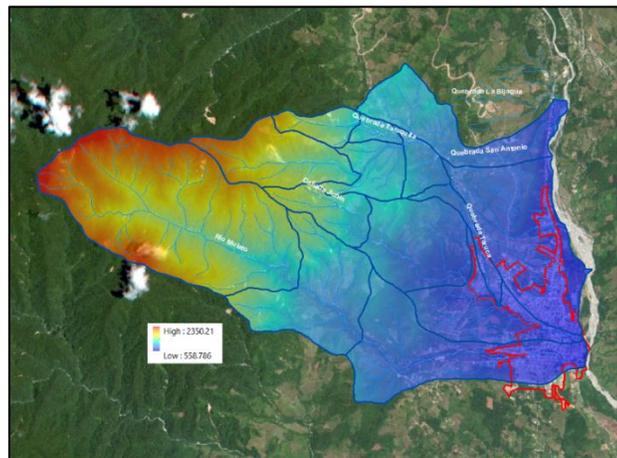


Figura 2-4. Modelo de elevación digital de 3m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.

	<p>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

- DEM con resolución espacial de 5m: imagen de radar banda P que se ve afectada en menor grado por la cobertura vegetal debido a que la longitud de onda alcanza a penetrarla. Este DEM al igual que el de 3m presenta inconvenientes al generar los drenajes (quebrada Taruca y San Antonio), se desvían en la parte media de las quebradas (ver Figura 2-5).

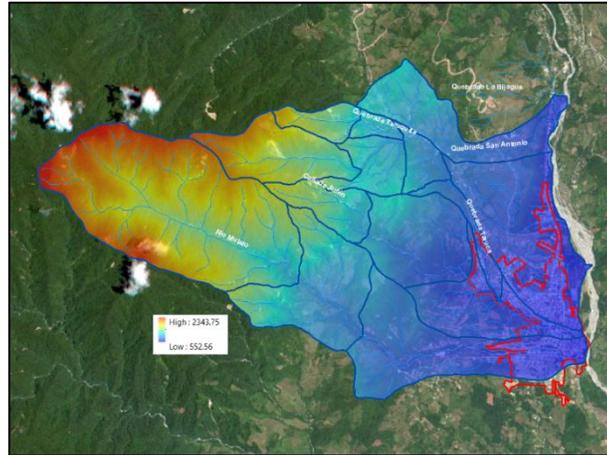


Figura 2-5. Modelo de elevación digital de 5m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.

2.3.1.1 Análisis y procesamiento

De acuerdo a la descripción anteriormente mencionada se hizo necesario realizar un procesamiento de los DEM que habían disponibles, este procedimiento se llevó a cabo de la siguiente forma:

- Se utilizó la herramienta Qgis para observar los perfiles de los drenajes en cada DEM y así poder seleccionar el mejor. Como se puede ver en la Figura 2-6 y Figura 2-7 el DEM que mejor representa la sección transversal de los drenajes es el que tiene una resolución espacial de 2m y el que más difiere de los otros es el de 3m (debido a la vegetación riparia que no deja tener una mejor representación del cauce).

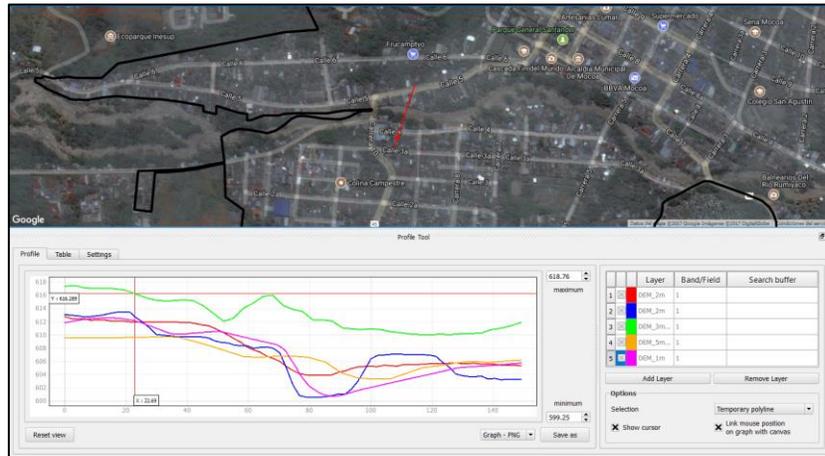


Figura 2-6. Perfil altitudinal de la parte baja del río Mulato - cabecera municipal. Fuente: elaboración propia.



Figura 2-7. Perfil altitudinal de la parte baja de la quebrada Taruca - cabecera municipal. Fuente: elaboración propia.

- Luego se unió el DEM de 2m (que es el que mejor representa la sección transversal de las quebradas) con el DEM de 5m, debido a que el primero no cubre en su totalidad el área de estudio que son las cuencas del río Mulato, las quebradas Sangoyaco, Taruca, Taruquita y San Antonio. Se unieron los DEM por medio de un proceso de minimización de la diferencia de niveles en la línea de contornos de la unión de estos DEM's y se produjo un histograma de diferencias de nivel para puntos generados cada metro en dicho contorno (ver Figura 2-8), dando como resultados errores del orden de 10m, por lo que no se considera aceptable para los fines de las modelaciones.

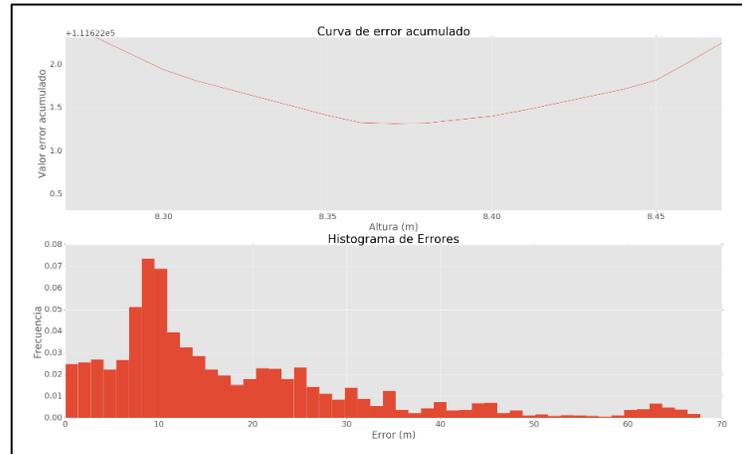


Figura 2-8. Histograma y curva de errores de la unión del DEM de 5m y el de 2m. Fuente: elaboración propia.

- Después de obtener los anteriores resultados se procedió a utilizar sólo el DEM de 5m, y corregir el inconveniente anteriormente mencionado con el desvío de las quebradas Taruca y San Antonio, para esto se pensó utilizar la batimetría que se tiene de la quebrada Taruca y así ajustar los valores del DEM, pero al momento de comparar dichas cotas con las del DEM se evidenció diferencias significativas y además no eran sistemáticas (ver Figura 2-9).

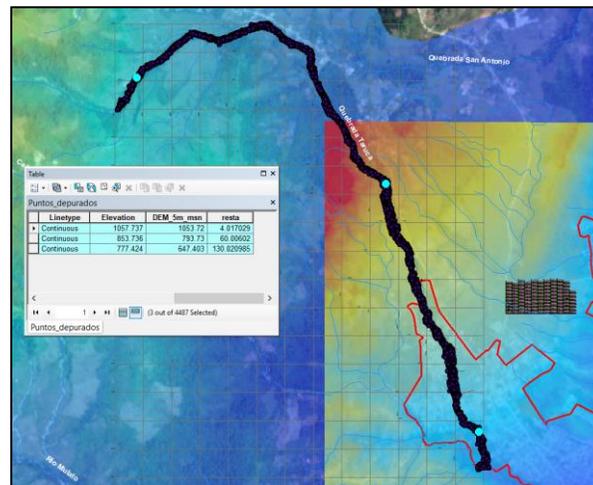


Figura 2-9. Batimetría de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.

- Por último se procedió a realizar manualmente la variación de la cota de las celdas del DEM de 5m con el fin de que los drenajes corrieran por donde debían, este procedimiento se hizo con base a lo observado en las fotografías aéreas disponibles en Qgis. Las variaciones en las cotas están en el

rango de 0.3m a 1m (en algunos casos se disminuyó y en otro se aumentó) lo cual no se considera un cambio significativo y si se obtiene el resultado esperado para realizar unas adecuadas modelaciones. En la Figura 2-10 se puede observar el curso que tenían las quebradas antes de realizar la modificaciones, en la Figura 2-11 el resultado final y en la Figura 2-12 un perfil transversal de una sección modificada.



Figura 2-10. Cauces desviados en color amarillo y drenajes de la cartografía 1:25000 en color azul. Fuente: elaboración propia.

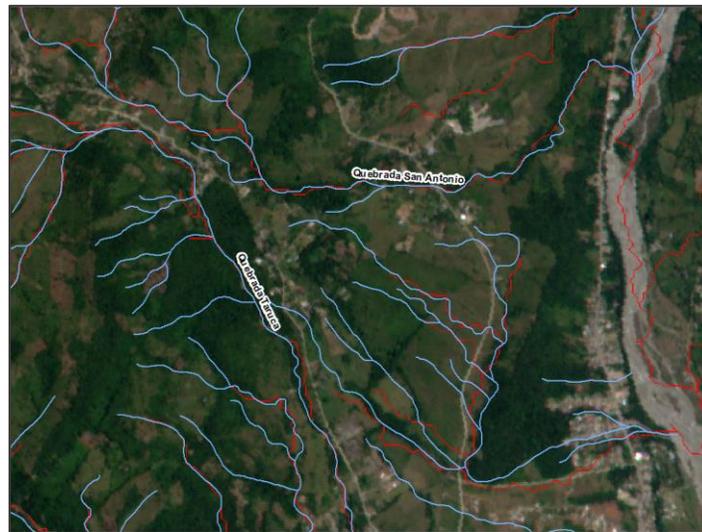


Figura 2-11. Cauces generados después de la corrección del DEM en color rojo y drenajes de la cartografía 1:25000 en color azul. Fuente: elaboración propia.

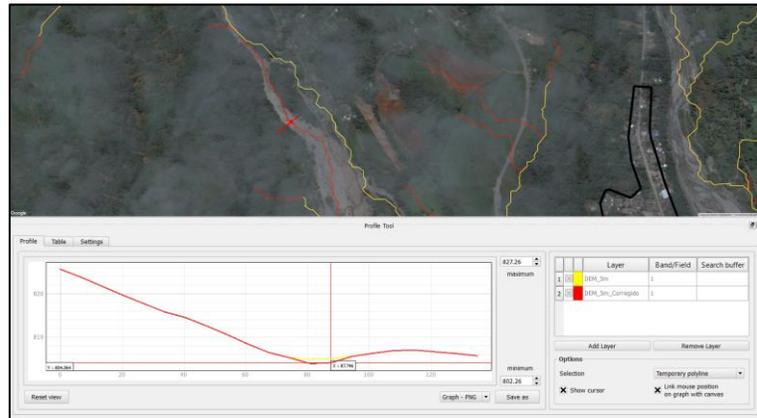


Figura 2-12. Perfil altitudinal de la parte media de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.

2.3.2 Modelo de elevación digital post-evento

Para el área de estudio hay disponible un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) del 04 de abril de 2017 y por consiguiente es el DEM de después del evento. Éste archivo se generó a partir de una nube de puntos generada por Geospatial en resolución espacial de 1m, con base en los sobrevuelos adelantados con avión tripulado y dron. Se debe tener en cuenta que esto fue generado como subproducto de la imagen de alta resolución y no fue llevado a nivel de producto final, por ende, tiene varias restricciones y salvedades debido a la tecnología y procesamiento adelantado, donde se destaca las posibles sobre-elevaciones por la presencia de vegetación.

En la Figura 2-13 se puede observar el área que cubre el DEM, parte baja y media del río Mulato, parte alta de la quebrada Taruca, parte baja y media del río Sangoyaco, quebrada Taruquita y quebrada San Antonio.

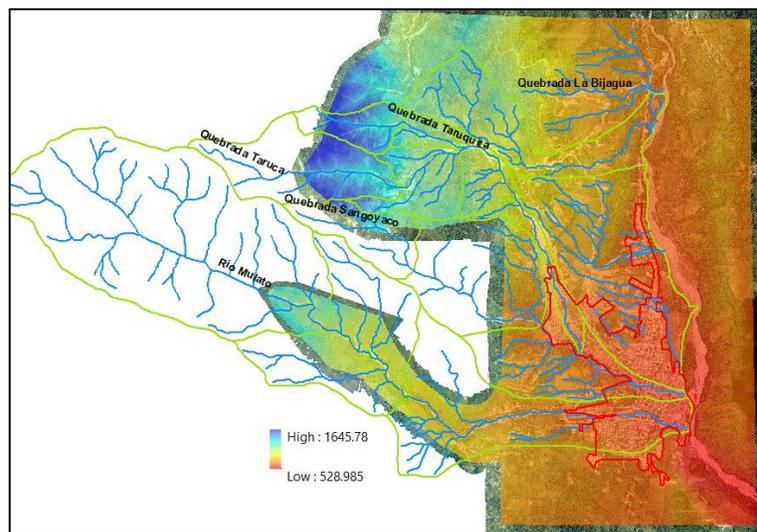


Figura 2-13. Modelo de elevación digital de 1m de resolución espacial. Fuente: elaboración propia.

2.3.2.1 Comparación de alturas con el DEM de 5m de antes del evento.

Se realizó una comparación de las cotas con el DEM de 5m utilizado para modelar los datos antes del evento y estos fueron los resultados:

- Se hizo un perfil longitudinal de la quebrada Taruca con los dos DEM y se pudo observar que sobre todo en la parte alta de la quebrada presentaban diferencias muy pronunciadas (ver Figura 2-14).

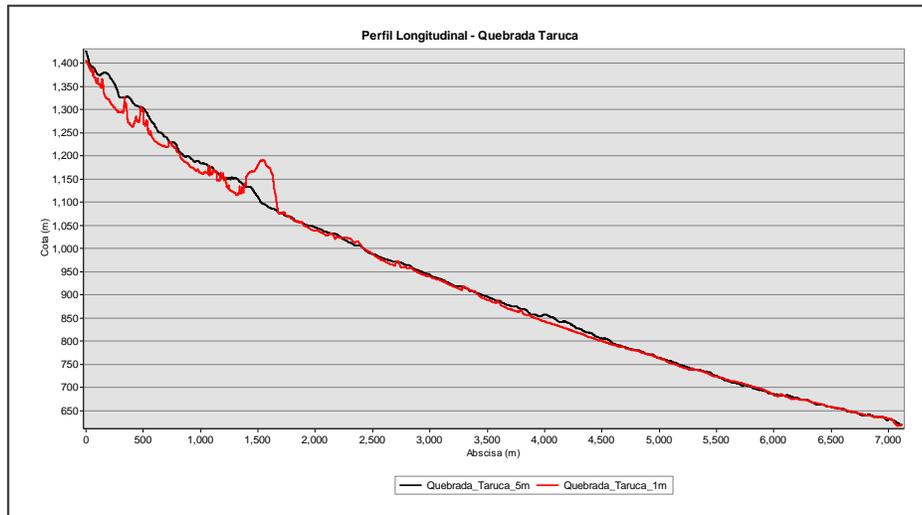


Figura 2-14. Perfil longitudinal de la quebrada Taruca (DEM de antes y después del evento). Fuente: elaboración propia.

- Por otra parte se realizó a través de un algebra de mapas una gráfica para representar las diferencias en las cotas de los dos DEM con el fin de evaluar si se puede utilizar estos archivos para validar datos generados a partir de las modelaciones, pero como se puede observar en la Figura 2-15 las diferencias llegan a ser de 95m, lo cual no se considera consistente para realizar dichas validaciones, también se puede observar que en la áreas planas o con coberturas estables las diferencias son hasta de 4m, las cuales deberían ser de 0 (ver Figura 2-15).

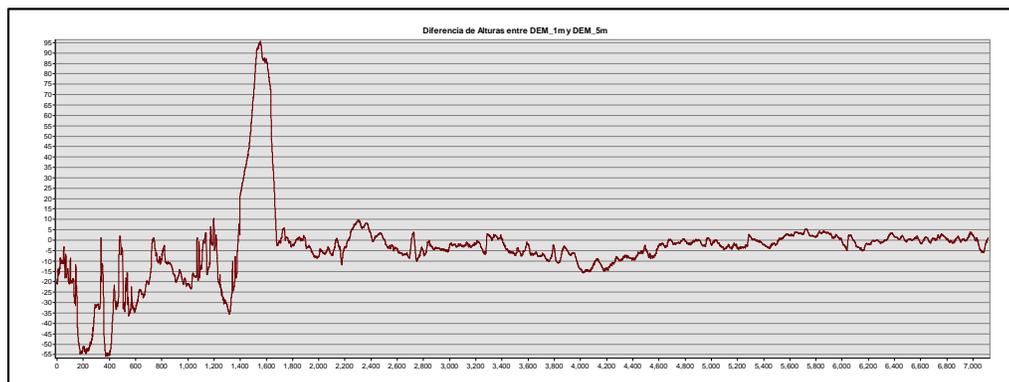


Figura 2-15. Diferencia de alturas entre el DEM de 1 metro y el de 5 metros. Fuente: elaboración propia.

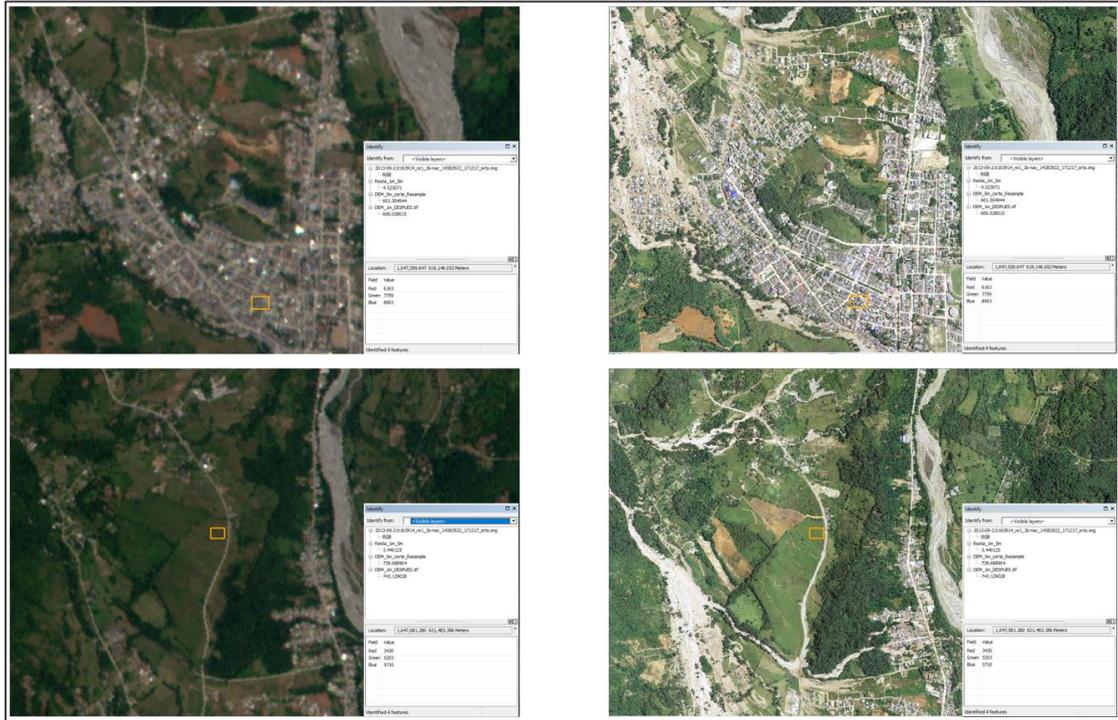


Figura 2-16. Variación de las celdas en coberturas estables. Fuente: elaboración propia.

2.3.2.2 Análisis y procesamiento

- Debido a las grandes diferencias de alturas del DEM pre y post evento se procedió a corregir dicho inconveniente generando un Modelos de Elevación Digital a partir de las secciones transversales de la quebrada Taruca, río Sangoyaco y la parte baja del río Mulato.

El DEM se generó por medio de una interpolación utilizando las secciones transversales y los puntos levantados en campo en la salida del 06 de noviembre y luego se hizo un mosaico con el DEM pre evento, dándole prioridad al DEM generado con los datos de alturas post evento.

- Con respecto a la quebrada Taruca se determinaron las diferencias en altura que existían usando el DEM pre y post evento de 5m de resolución espacial, con lo cual se obtuvo la sección relativa del cauce post evento (ver Figura 2-17 y Figura 2-18).

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

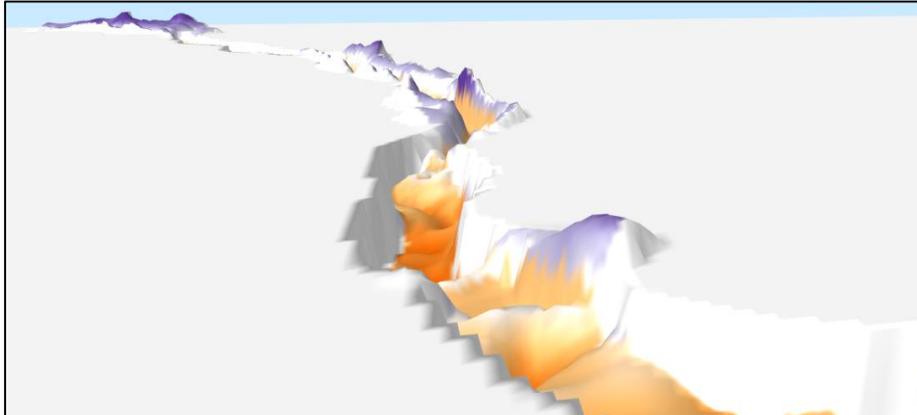


Figura 2-17. Sección relativa del cauce post evento. Fuente: elaboración propia.

Estas alturas oscilan entre -30 m y 20 m de altura, posteriormente se utilizaron las mediciones de las secciones en campo para corregir las secciones absolutas en donde se utilizó un filtro con base a la altura de las secciones medidas en campo. Se comparaban las alturas de las secciones observadas en las mediciones de campo y en los lugares donde existan lugares anómalos con referencia a un promedio móvil longitudinal de 5 puntos antes y después, se corrigieron los valores con base a las mediciones en campo. El resultado de las alturas corregidas oscila entre -15 m y 8 m de profundidad del cauce y altura de barreras laterales respectivamente.

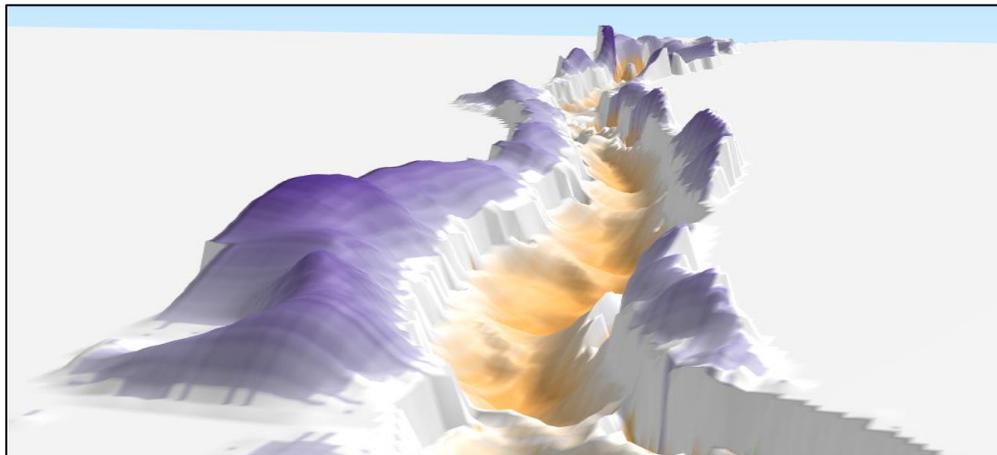


Figura 2-18. Sección relativa del cauce post evento después del ajuste. Fuente: elaboración propia.

2.4 Conclusiones y recomendaciones

Por la ubicación del área de estudio el sistema de referencia utilizado fue Magna Sirgas Colombia Oeste.

	<p>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

El método utilizado para corregir los errores del modelo fue el más conveniente debido a que se logró representar de manera adecuada los escenarios antes y después del evento.

Los Modelos de Elevación Digital deben estar generados a partir de la misma fuente para que no se presenten problemas al momento de comparar los modelos.

Con un levantamiento topográfico se mejorarían los errores presentados, este método resulta ser el más adecuado para obtener una representación del terreno del área de estudio debido a la presencia de vegetación arbórea en esta zona.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p><i>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</i></p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

3 HIDROMETEOROLOGÍA

3.1 Introducción

En este documento se presenta el resumen del análisis hidrológico de la cuenca compuesta por los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita (30.65 km²) ubicada en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, Colombia. El área de estudio hace parte de la subzona hidrográfica del río Alto Caquetá que a su vez es tributaria de la zona hidrográfica río Caquetá. La cuenca podría conceptualizarse como un sistema que integra los ríos Sangoyaco y Mulato, los cuales atraviesan el casco urbano del municipio de Mocoa y desembocan en el río Mocoa. La quebrada Taruquita vierte sus aguas en la quebrada Taruca y continúa su tránsito hasta el río Sangoyaco.

3.2 Metodología

El análisis hidrológico de la cuenca compuesta por los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita se abordó como se expresa a continuación y se ilustra esquemáticamente en la Figura 3-1.

3.2.1 Establecimiento del Sistema de Información

Se realizó una recopilación por diferentes entidades públicas de carácter nacional y regional como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), la Alcaldía del Municipio de Mocoa, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (Corpoamazonia) y el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA).

3.2.2 Caracterización morfométrica

A partir de la cartografía nacional base suministrada por el IGAC, se llevó a cabo la caracterización de los principales parámetros morfométricos para tener un primer índice de orden de magnitud de la respuesta hidrológica de la cuenca (Ver Capítulo 2.1.7). La morfometría hidrográfica descrita se centra en el área, longitud, forma y atributos del relieve de la cuenca, y su importancia radica en el poder de inferencia que genera sobre fenómenos tales como las inundaciones, remoción en masa y avenidas torrenciales entre muchos otros más (Domínguez C., 2010).

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

3.2.3 Procesamiento de las variables hidrometeorológicas y consolidación del Sistema de Información para la modelación

Mediante métodos estadísticos se analizó la información hidroclimatológica disponible en el área de estudio. Por otro parte, con base en la información diaria y minutal proporcionada por el IDEAM y el SIATA se implementaron metodologías de desagregación temporal de lluvia y la temperatura con el fin de obtener series cada 10 minutos (Ver Capítulo 2.2.7). Además, la evapotranspiración, idealmente medida en campo, se estimó mediante la formulación de Oudin (Seiller & Anctil, 2016), la cual utiliza datos de posicionamiento global (latitud y longitud) y temperatura.

3.2.4 Análisis de la precipitación

Dada la necesidad de información de precipitación a alta resolución espacial y largos registros de la misma, se llevaron a cabo estimaciones de precipitación a través de un análisis complejo que tiene en cuenta varios factores:

1. La consistencia entre la información de los registros diarios y minutales.
2. Los resultados de la simulación con el modelo meteorológico WRF.
3. Los patrones de lluvia que se pueden inferir de las imágenes satelitales el día del evento.
4. La disminución de escala (*downscaling*) temporal siguiendo la metodología basada en eventos similares y algoritmos genéticos propuesta por Lee & Jeong (2014).

3.2.5 Marco conceptual de la modelación hidrológica

En vista de la escasez de información referente a caudal y niveles existentes en el área de estudio, se optó por abordar un esquema metodológico de regionalización de caudales, el cual consiste en identificar una cuenca con mediciones disponibles y características similares al área de estudio, en este caso se optó por la cuenca vecina al norte de Mocoa llamada Piedra Lisa II. Posteriormente se calibraron en esta cuenca tres modelos hidrológicos: GR4J, HBV y Sacramento.

La calibración de los modelos hidrológicos se llevó a cabo mediante dos algoritmos de optimización matemática: Dynamically Dimensioned Search (DDS) y el Shuffled Complex Evolution (SCE) (Ver Capítulo 2.3).

Finalmente los caudales supuestos en Mocoa resultan del filtrado de la serie procesada de precipitación minutal en la estación Acueducto a través de los modelos hidrológicos definidos en la calibración (Ver Capítulo 2.3.5).

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

3.2.6 Evaluación de umbrales del sistema de alerta temprana (SAT)

La definición de los umbrales de precipitación, se estimó tomando en cuenta la metodología de la NOAA (2010) con las cuales se estimaron curvas lluvia - escorrentía y los umbrales de precipitación (Ver sección 2.7).

3.2.7 Sistema de predicción probabilista (HEPS por sus siglas en inglés - Hydrological Ensemble Prediction System)

Finalmente se muestra la potencialidad de configurar un HEPS basado en el pronóstico probabilista del modelo meteorológico WRF, tres modelos hidrológicos y múltiples parametrizaciones. Los resultados son concluyentes en un periodo de análisis de solo dos meses debido a las restricciones computacionales. Incluso se muestra que para el evento crítico de marzo de 2017 se tenían indicios de ocurrencia de caudales importantes desde el 29 de marzo de 2017. En este punto es importante resaltar que la magnitud del evento crítico del 31 de marzo está relacionada no solamente con caudales de gran magnitud sino también con la ocurrencia de múltiples deslizamientos que generaron la catástrofe ya conocida.

3.3 Resultados y conclusiones

La validación de cualquier proceso de simulación en geociencias debe basarse en observaciones, así la carencia de información en Mocoa se convierte en el primer obstáculo hacia un modelo integral de alta confiabilidad.

Las metodologías empleadas para la generación de las entradas de los modelos (precipitación, temperatura y evapotranspiración) introducen incertidumbre, como también la hipótesis considerada de homogeneidad espacial en la cuenca.

Por otra parte, la carencia de estaciones limnimétricas o limnigráficas cierra el sistema de incertidumbre puesto que no puede asociarse el impacto de la precipitación con una salida observada de caudal. En el intermedio quedan entonces otra cantidad de variables meteorológicas no menos importantes para definir adecuadamente los balances hídricos y energéticos en el ciclo hidrológico tales como las radiaciones de onda corta y larga, la temperatura, la presión atmosférica, el viento, la humedad específica, la humedad del suelo y la variación del nivel freático entre otras.

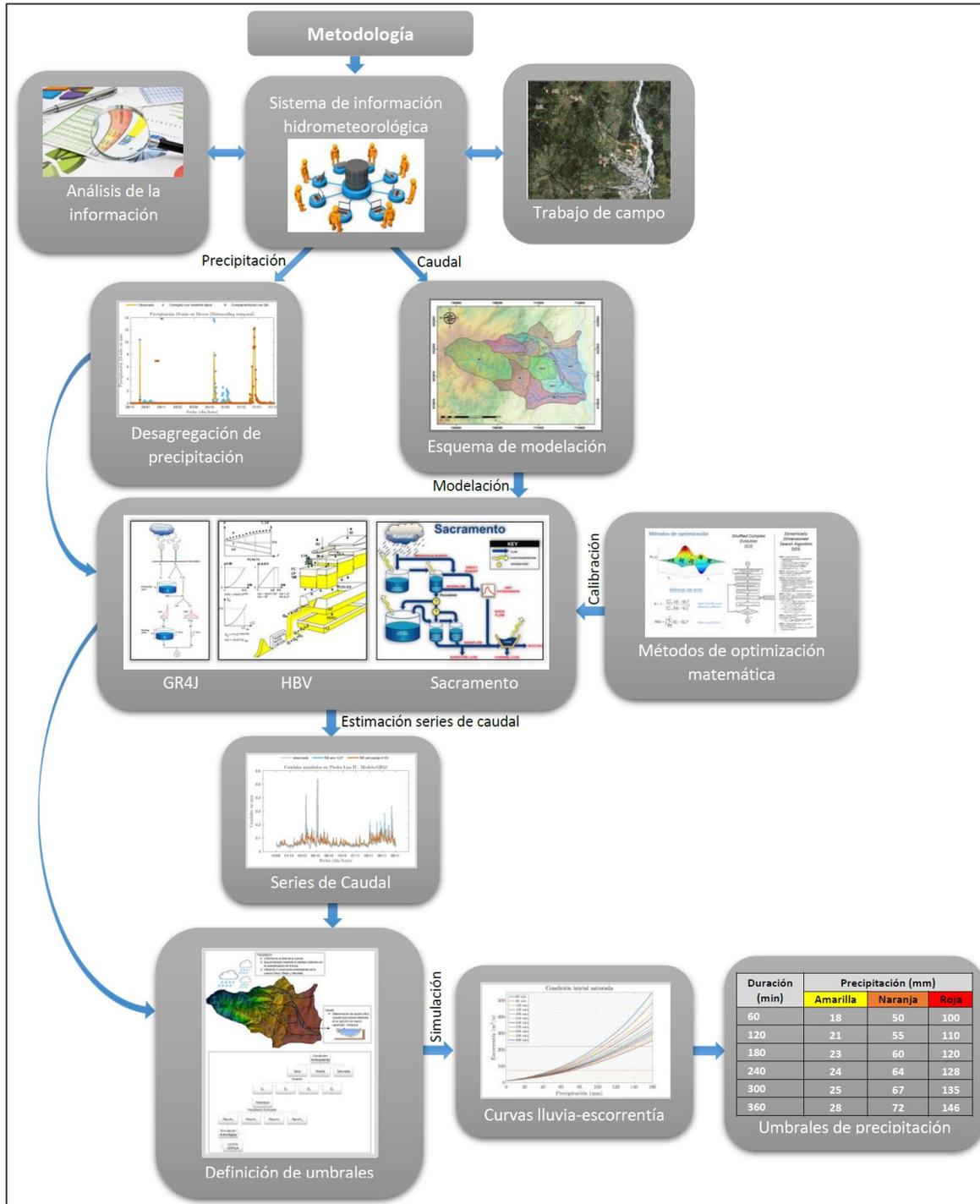


Figura 3-1 Esquema metodológico del análisis hidrológico de la cuenca compuesta por los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita. Fuente: Elaboración propia

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

En Mocoa el tiempo de concentración de la cuenca es de orden sub-horario en las unidades hidrológicas de respuesta homogénea (UHRH) y del orden de dos horas en la cuenca simulada globalmente, esta condición acentúa aún más el problema de disponibilidad de información puesto que la información hidrometeorológica disponible es principalmente de resolución diaria. Por consiguiente fue necesario utilizar una técnica de re-escalado temporal (desagregación temporal) basada en algoritmos genéticos y vecinos próximos que utiliza la distribución de la precipitación cada 10 minutos y las lluvias diarias acumuladas.

Es importante resaltar que hay dos estaciones limnigráficas instaladas por el SIATA en los ríos Mulato y Sangoyaco, localizados en el casco urbano de Mocoa, las cuales fueron instaladas después del evento del 31 de marzo del 2017, las cuales no se utilizaron debido a la carencia de curvas de calibración.

Hidrológicamente la cuenca delimitada para Mocoa es considerada una cuenca no instrumentada, lo cual obliga al modelador a crear un marco hipotético del comportamiento hidrológico que va desde la selección de cuencas cercanas con posibilidad de comportamiento análogo, la elección de un modelo hidrológico, la parametrización del mismo y la delimitación del alcance del modelo. En este orden de ideas la exploración del comportamiento hidrológico se basó en el estudio de cuencas vecinas, seleccionando la cuenca Piedra Lisa II.

En cuanto a los modelos hidrológicos empleados, la selección se basó en cinco aspectos: la naturaleza del modelo, la resolución temporal nativa, la facilidad de acoplamiento en Mocoa, la confiabilidad del modelo y finalmente, la disponibilidad del código fuente del modelo, eligiendo los modelos del GR4J, HBV y Sacramento.

Con los argumentos anteriormente mencionados se resalta el modelo francés GR4J porque es un modelo conceptual que permite extraer un índice de humedad del suelo como factor clave en las avenidas torrenciales, asimismo se pueden extraer las variables que intervienen en el balance hídrico (caudal superficial, sub-superficial y base). El acoplamiento del modelo depende del conocimiento de dos variables: la precipitación y la temperatura (o directamente la evapotranspiración).

Por otro lado, la confiabilidad se ve soportada en la aplicación aceptable de este modelo en varias latitudes: Francia, Australia, Alemania, Canadá e incluso en Colombia. Finalmente, el código fuente de este modelo se encuentra disponible por los desarrolladores del mismo en Fortran y R (<http://webgr.irstea.fr/activites/airgr>), lo cual facilitaría enormemente la tarea de acoplamiento del modelo en un SAT operacional basado en simulación hidrológica. Aunque se hicieron evaluaciones hidrológicas con los modelos HBV y Sacramento (de los cuales quedan los

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

códigos de acoplamiento en la memoria de este proyecto), se seleccionó dada su simplicidad el modelo GR4J en la definición de umbrales.

Para el establecimiento de los umbrales del SAT se tomó como referencia la guía FFG (Flash Flood Guidance) de la NOAA, en la cual una vez establecidos los niveles de alerta se estiman las acumulaciones de lluvia que activarían los distintos niveles de alarma, asumiendo una distribución espacial homogénea de la precipitación en toda el área de estudio y mediante el análisis con las curvas de Huff se seleccionó el segundo cuartil dado que representa las duraciones de eventos de precipitación característica para Mocoa con una probabilidad de ocurrencia del 90%.

Finalmente las simulaciones con el HEPS permitieron visualizar la pertinencia de la integración de los pronósticos meteorológicos en el SAT, mostrando las incidencias del pronóstico hidrometeorológico en un marco de decisión con una antelación de hasta tres días.

3.4 Recomendaciones

A continuación, se exponen las líneas que deberían regir la proyección del SAT como un sistema en continua evolución:

Instrumentación: las cuencas en estudio están pobremente instrumentadas, se podría decir que la instrumentación existente no responde a la escala espacial y temporal de la cuenca. De tal forma es necesario plantear un programa de instrumentación hidrometeorológica y de geotecnia que permita integrar las observaciones como hechos que definen el comportamiento de este complejo sistema. En esta línea contar con una red de estaciones que incluyan la concentración de sólidos es prioritario puesto que los umbrales de precipitación pueden cambiar drásticamente en función de esta variable, además de ser un claro indicador de posibles derrumbes que potencialmente provocarían micro-represas con alta potencialidad catastrófica.

Simulación hidrometeorológica: la calidad de la simulación tanto meteorológica como hidrológica depende en gran medida de las observaciones disponibles, así que paralelo a la instrumentación se debe proponer un programa de recalibración de los modelos.

Asimilación de datos: en un modelo de pronóstico es de vital importancia la asimilación de datos observados para corregir continuamente los pronósticos pasados.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Acoplar en línea un modelo probabilista de pronóstico meteorológico: dados los cortos tiempos de respuesta hidrológica es necesario contemplar la necesidad de acoplar los pronósticos meteorológicos. En tal caso es muy importante validar los pronósticos del IDEAM para incluirlos en el SAT en modo pronóstico.

Operacionalidad: dada la complejidad de un acople hidrometeorológico se debe visualizar la necesidad computacional de un SAT para facilitar su operación.

Seguimiento: proyectar un seguimiento de funcionamiento del SAT para minimizar las falsas alertas y perfeccionar los umbrales de decisión incluyendo los criterios económicos que rigen la activación del SAT.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

4 GEOLOGÍA-GEOMORFOLOGÍA

4.1 Metodología aplicada

4.1.1 Introducción

El componente de geología y geomorfología del proyecto buscó interpretar y analizar la información temática geológica y geomorfológica suministrada por varias entidades para entender los mecanismos que generaron el evento del 31 de marzo de 2017 y así poder generar un modelo conceptual que alimentara el modelo geológico-geotécnico-hidroológico acoplado del proyecto y asimismo generar una serie de recomendaciones para la instalación de puntos de monitoreo adicionales para el diseño del Sistema de Alerta Temprana (SAT). En los siguientes apartados se resumen las actividades realizadas y los resultados más sobresalientes de este componente. Para información más detallada y exhaustiva se deben revisar los demás entregables del proyecto.

4.1.2 Revisión de Información Secundaria

La primera tarea que se realizó fue la revisión de información secundaria suministrada principalmente por Corpoamazonía y el Servicio Geológico Colombiano (SGC), análisis de fotografías aéreas y satelitales, así como revisión de la literatura científica en el tema, paso necesario en la elección del modelo geológico-geotécnico-hidroológico más apropiado para simular las condiciones que detonaron el evento del 31 de marzo.

4.1.3 Recorrido de Campo

Durante los días 7-9 de septiembre de 2017 se realizó una visita de campo a las cuencas de las quebradas Taruca, Taruquita, Sangoyaco y río Mulato para familiarizarse con los procesos geológicos y morfodinámicos que influyeron sobre la generación del flujo de detritos.

4.1.4 Análisis de Cartografía Temática

Con el propósito de analizar los patrones espaciales de los movimientos en masa ocurridos, con respecto a factores cuales pendiente, geología y cobertura de la tierra, se superpusieron el mapa de pendientes generado con base en el DEM oficial de 5m del proyecto y los mapas geológico, geomorfológico, de movimientos en masa y de cobertura de la tierra elaborados y suministrados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). De esta forma se realizó un análisis de los movimientos en masa (deslizamientos) ocurridos en el 2017, por medio de histogramas de frecuencia que relacionan el % de área deslizada con respecto a las clases de elevación, pendiente, formaciones geológicas, unidades geomorfológicas, clases de cobertura de la tierra, orientación y forma de la ladera.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

4.1.5 Definición de sectores críticos y sitios de implementación de nuevos monitoreos para disminución de la incertidumbre en la definición de los niveles del sistema de alerta temprana

Con base en la cartografía temática suministrada por el SGC, análisis de la imagen del dron post-evento, se identificaron sectores de los cauces geológicamente más estables, para la potencial instalación de instrumentación hidrológica para el sistema de alerta temprana (SAT) del municipio de Mocoa. Esta instrumentación sería adicional a la que instaló la compañía Federman en el área de estudio.

4.1.6 Simulación con HYDRUS-1D

Con el objetivo de explorar los posibles mecanismos de saturación de la zona no saturada que generaron los deslizamientos relacionados con el evento del 31 de marzo de 2017 y de esta forma apoyar y complementar la simulación de escenarios del modelo geológico-geotécnico-hidrológico acoplado basado en el modelo numérico TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Slope Stability) (Baum et al., 2010), se realizaron unas corridas basada en el modelo numérico HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2013). La principal ventaja de HYDRUS-1D con respecto a TRIGRS es la velocidad de computación y de esta forma la oportunidad de modelar columnas individuales de suelo con diferentes capas, mientras que la principal limitación es que no es un modelo hidrológico-geotécnico acoplado y tampoco un modelo distribuido, es decir no se puede simular la estabilidad de taludes en una cuenca. La parametrización hidráulica del suelo se realizó por medio de información secundaria, principalmente IGAC (2014), entre otros.

4.2 Consideraciones, suposiciones y restricciones

En la generación del componente geológico y geomorfológico del proyecto aplican las siguientes consideraciones, suposiciones y restricciones:

- Durante la visita de campo se realizó un breve control de las condiciones geológicas y geomorfológicas de los sitios más fácilmente accesibles, sin embargo, no se abarcó toda el área de estudio debido a dificultades para acceder a las partes más montañosas caracterizadas por elevadas pendientes y limitaciones de recursos. En este sentido es oportuno aclarar que no está en el alcance de este componente la producción de cartografía temática del área de estudio, más bien el análisis de esta para apoyar el modelo acoplado geológico-geotécnico-hidrológico, necesario para informar los volúmenes de movimientos en masa que iniciaron el evento. Por tanto, en el ejercicio se asumió que los productos suministrados por el SGC durante el presente proyecto son exentes de mayores errores.
- Debido a los continuos procesos de erosión y agradación, a los cuales están sujetos los lechos de las quebradas y ríos, que son acentuados por la actividad tectónica del área de estudio, fue difícil identificar

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

secciones del cauce de las quebradas que puedan considerarse como geológicamente más estables con respecto a otras.

- El ejercicio de modelación con HYDRUS-1D es limitado por la falta de mediciones in situ acerca de los parámetros hidráulicos del suelo considerado. Para investigar con mayor detalle el suelo y comprobar sus mecanismos de saturación y respuesta antes diferentes eventos lluviosos, se necesitan datos de campo y de laboratorio que no fueron disponibles para este ejercicio de simulación.

4.3 Resultados y análisis

4.3.1 Resumen de la Línea Base de Geología y Geomorfología

La información revisada permitió resumir que, desde el punto de vista geológico-ingenieril, existen cuatro categorías de calidad de roca (SGC, 2017):

- Rocas de Muy Baja Calidad: pertenecen a esta categoría rocas del Monzogranito de Mocoa (Jurásico) próximas a la Falla Mocoa-La Tebaida (la principal estructura tectónica del área), lodolitas de la Formación Villeta (Cretácico), arcillolitas de la Formación Rumiayaco (Cretácico) y arcillolitas del Grupo Orito (Paleógeno)
- Rocas de Baja Calidad: rocas del Monzogranito de Mocoa (más distantes de la Falla Mocoa-La Tebaida), lodolitas de la Formación Villeta (Cretácico), areniscas friables de la Formación Rumiayaco (Cretácico), lodolitas de la Formación Pepino Miembro Medio (Paleógeno) y arcillolitas del Grupo Orito (Paleógeno).
- Rocas de Calidad Intermedia: rocas del Monzogranito de Mocoa (aún más distantes de la Falla Mocoa-La Tebaida), conglomerados de la Formación Pepino Miembro Inferior y Miembro Superior (Paleógeno).

Los principales problemas de inestabilidad de laderas ocurren en zonas con afloramientos de suelos residuales que pueden alcanzar los 2.5m de profundidad (SGC, 2017), aunque en algún sector se estiman espesores mayores, desarrollados a partir de rocas de muy baja y baja calidad del Monzogranito de Mocoa, y en zonas con afloramientos de roca muy fracturada/meteorizada (de muy baja a baja calidad) del Monzogranito de Mocoa que generan caídas de bloques que pueden obstruir los cauces y alimentar los flujos de detritos. La profundidad de los suelos es variable en el área de estudio y no se tiene información detallada al respecto.

Los depósitos de materiales sueltos, que reposan discordantemente sobre las rocas paleógenas, cretácicas y jurásicas, ocupan las partes más bajas de las cuencas y consisten esencialmente de múltiples abanicos fluviales representados por depósitos fluvio-torrenciales actuales, subactuales y antiguos. Estos depósitos constituyen una

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

importante fuente de materiales para la alimentación de los flujos de detritos que se inician en las partes medias y altas de las cuencas, en particular en las quebradas Taruca y Taruquita.

4.3.2 Recorrido de Campo

Los resultados más importantes de la visita de campo se resumen a continuación:

- En los depósitos aluviales terrazados de la parte baja de las cuencas de la quebrada Taruca y Taruquita existe un espesor de suelo residual (topsoil) muy delgado.
- El espesor de suelo residual aumenta donde afloran rocas sedimentarias y cristalinas. En la parte alta de la quebrada Taruca (rocas cristalinas del Monzogranito de Mocoa) se identificaron suelos residuales de hasta 4-5m de espesor (estimación visual), pero por lo general no superan los 2-2.5m.
- La mayoría de los deslizamientos y caídas de rocas se alimentan en zonas de alta pendiente, en afloramientos de suelos residuales/saprolito del Batolito de Mocoa, y en laderas verticales o muy inclinadas de depósitos terrazados existentes erosionados por los drenajes principales durante procesos morfodinámicos actuales. En menor proporción en suelos fluvio-coluviales sobre rocas sedimentarias y directamente en rocas sedimentarias (Figura 4-11).
- Además de las laderas inestables de los depósitos terrazados a lo largo de los cauces principales, los tributarios y pequeñas corrientes que bajan de las laderas muy inclinadas de las quebradas principales (i.e. Taruca, Taruquita) aportan materiales sólidos (i.e. bloques y matriz) para los flujos torrenciales (Figura 4-12), como parte de los procesos denudativos de las laderas.
- El Batolito de Mocoa se encuentra generalmente moderadamente a muy fracturado debido a la actividad tectónica de la Falla Mocoa-La Tebaida.



Figura 4-1. Aportes de materiales para los flujos de detritos (a,b). Depósitos aluviales terrazados (c, d). Deslizamiento con parcial represamiento del cauce (e). Fuente: elaboración propia.



Figura 4-2. Depósito aluvial terrazado con grande bloque (a). Erosión concentrada en laderas (b). Tributario de la Taruca (c). Fuente: elaboración propia.

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

4.3.3 Análisis de Cartografía Temática versus Deslizamientos Ocurridos

Los resultados más importantes de este análisis indican que:

- La mayoría de deslizamientos (77%) ocurrió sobre terrenos con elevación intermedia, entre 912 y 1448 msnm, y en la franja de pendientes entre 23 y 45 grados (69% del área total de deslizamientos).
- La mayoría de deslizamientos (24%) se desarrollan en áreas cubiertas por “vegetación secundaria o en transición”, que resulta ser la clase de cobertura con mayor presencia en el área (18%), seguidos por “bosque fragmentado” (16% del área total deslizada), y por “pastos enmalezados o enrastrados” (15% del área total de deslizamientos).
- La mayoría de deslizamientos (83%) se encuentra distribuida entre cuatro unidades geológicas: roca de muy baja calidad del Monzogranito de Mocoa (Rmbmgm, 51%), roca de baja calidad del Monzogranito de Mocoa (Rbmgm, 11%), roca de baja calidad de arcillolitas del Grupo Orito (Rbaro, 9%), roca de calidad intermedia de conglomerados de la Formación Pepino Miembro Superior (Ricps, 12%).

4.3.4 Modelo Conceptual

Los principales procesos geomorfológicos que produjeron el material de arrastre del evento fueron (Figura 3-3):

- *Deslizamientos superficiales en suelos residuales/saprolito.* Este proceso se debe esencialmente a: (i) pérdida de resistencia del suelo residual/saprolito, debido a lluvia antecedente acumulada y eventos intensos de precipitación como los que ocurrieron el día del evento. Una porción de estos deslizamientos y arrastre de material, se relaciona con procesos erosivos y de transporte que ocurren en los tributarios menores de las quebradas principales, durante eventos mayores de precipitación.
- *Caída de bloques en el lecho de las quebradas.* Este proceso se debe esencialmente a: (i) pérdida de resistencia y deslizamientos del saprolito, (ii) socavación lateral de las márgenes de las quebradas que se vuelven inestables y producen deslizamientos de flujos de tierra (matriz) y caída de bloques que estaban incorporados en los depósitos terrazados que componen las laderas de las mismas quebradas.
- *Socavación lateral y Removilización material del fondo.* Similarmente a lo mencionado en el punto anterior, la socavación lateral produce a su vez inestabilidad de las laderas de las quebradas causando deslizamientos y arrastrando material. El material del fondo es material depositado a lo largo de los cauces principales durante eventos anteriores, que es re-movilizado debido a la fuerza inicial del flujo de detritos y que permite alcanzar los volúmenes de detritos que se producen durante eventos mayores, como lo sucedido el pasado 31 de marzo de 2017.

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

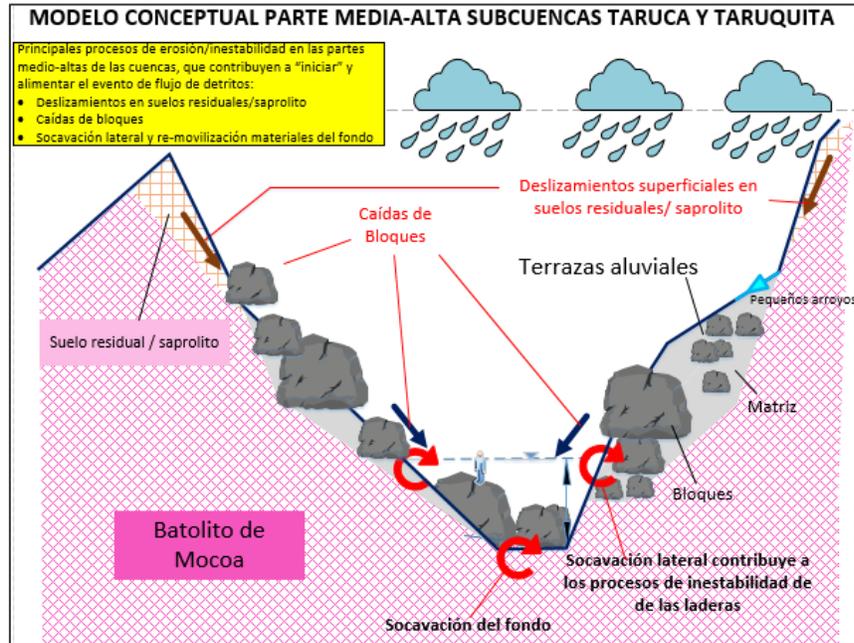


Figura 4-3. Modelo conceptual de procesos geomorfológicos en las partes medio-altas de la Q. Taruca y Taruquita. Sin escala. Fuente: elaboración propia

4.3.5 Definición de sectores críticos y sitios de implementación de nuevos monitoreos para disminución de la incertidumbre en la definición de los niveles del sistema de alerta temprana

En la garganta de la quebrada Taruquita se forma en un afloramiento, fracturado y relativamente meteorizado, del Monzogranito de Mocoa con pequeñas intrusiones de diques máficos (Figura 3-4). La sección es relativamente estable a los procesos geomorfológicos porque no presenta materiales sueltos en el lecho, tampoco suelo residual o saprolito. Como se puede apreciar en la Figura 3-4, esta zona podría ser considerada para la instalación de instrumentos que alimenten el sistema de alerta temprana, aprovechando que aflora roca (superficie más estable) en lugar de suelo.

En la Quebrada Taruca medio-alta existe una franja con alta densidad de deslizamientos que es probablemente la franja que contribuyó de forma más significativa con el flujo de detritos del 31 de marzo del 2017 (Figura 3-5). Esta franja es susceptible de importantes represamientos, por tanto, se sugiere considerar la instalación de videocámaras, ya que la ayuda visual sería muy útil en caso de represamientos, pero también para entender mejor cómo se desarrollan los mecanismos de generación de flujos de detritos, tarea imprescindible para mejorar en futuro la modelación hidrológico-hidráulica y el SAT.



Figura 4-4. Panorámica de la garganta de la Q. Taruquita, mirando hacia el norte y, en la derecha, espolón rocoso potencialmente adecuado para la instalación de sensores ópticos. Fuente: elaboración propia.

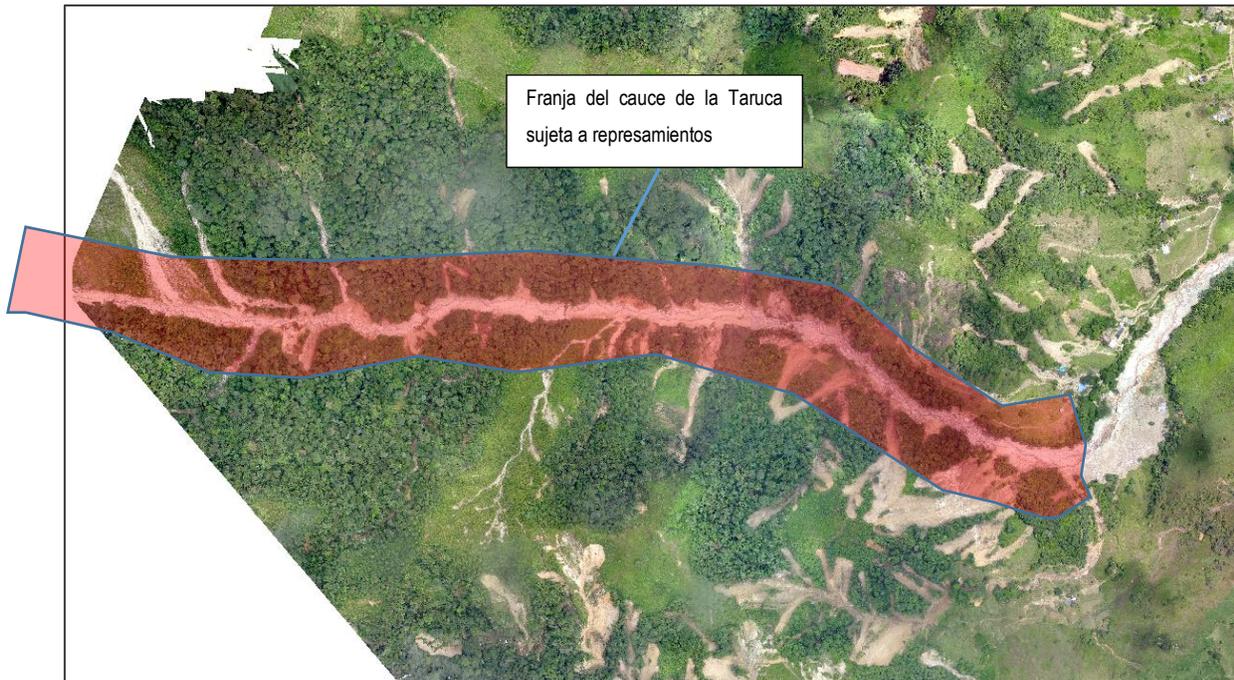


Figura 4-5. Franja de la Quebrada Taruca con alta densidad de deslizamientos donde pueden ocurrir importantes represamientos. Fuente: aerofotografía del dron post-evento suministrada por Corpoamazonía.

4.3.6 Simulación con HYDRUS-1D

Los resultados principales se muestran en la Figura 3-6 abajo.

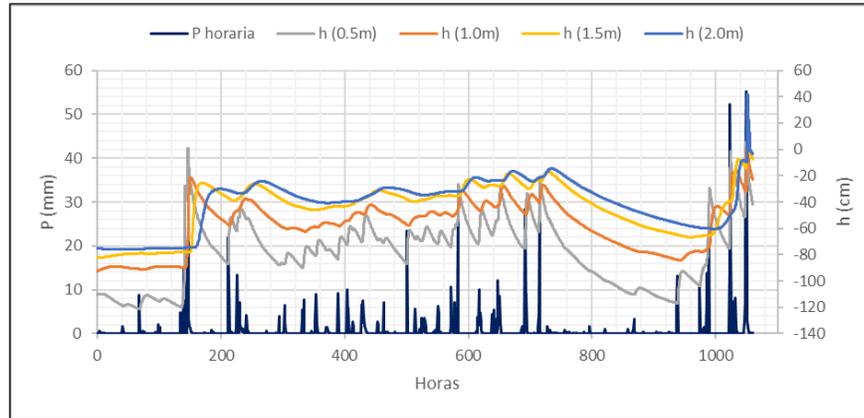


Figura 4-6. Variación horaria de la presión de poros (h) a diferentes profundidades con respecto a la precipitación (P). Fuente: elaboración propia.

Se observa que:

- HYDRUS-1D produce un escenario plausible de mecanismos de saturación del suelo durante los eventos lluviosos que precedieron el evento del 31 de marzo-01 de abril de 2017, lo cual es importante para informar el diseño del SAT de Mocoa.
- La simulación sugiere que los eventos de precipitación que se generaron en el período 29 de marzo-01 de abril de 2017, caracterizados por elevada intensidad horaria, contribuyeron sustancialmente a la generación de los movimientos en masa de las partes medias y altas de las cuencas (especialmente Q. Taruca y Taruquita), que alimentaron los flujos de detritos del 31 marzo-01 abril.
- A pesar de la buena capacidad drenante del suelo considerado (Typic Hapludands), la lluvia antecedente acumulada (y no solo la intensidad horaria) es definitivamente un factor crítico (simulación con escenario de lluvia homogénea, no mostrado en este resumen).

4.4 Conclusiones y recomendaciones

Las principales conclusiones y recomendaciones del componente geológico-geomorfológico son las siguientes:

- Los principales factores condicionantes de los deslizamientos que alimentaron el flujo de detritos del 31 de marzo-01 de abril de 2017 fueron las elevadas pendientes, la muy baja a baja calidad de la roca en las partes medio-altas de las cuencas y la cobertura de la tierra.
- Excepto para los pluviómetros, los demás sensores propuestos por Federman (2017) pueden considerarse como sistemas reactivos o sensores para un sistema de alerta del evento (event warning

 <p>NGRD Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres</p>	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	 <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Bogotá</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

system) más que componentes para un sistema de alerta temprana (advanced warning system), de acuerdo con Arattano & Marchi (2008). Esto debido a que los tiempos de tránsito de la onda de debris flow en las quebradas Taruca, Taruquita y Sangoyaco, entre zonas de iniciación y la zona urbana, son menores a 20-30 minutos, de acuerdo con las modelaciones hidráulicas del evento por parte del componente hidráulico del proyecto.

- Debería evaluarse la posibilidad de instalar también videocámaras en las partes altas de las cuencas, en áreas de potencial represamiento que permitirían diferenciar falsas alarmas de alarmas verdaderas, aunque su eficacia sería seriamente perjudicada si el evento se detona de noche, como lo que ocurrió recientemente en Mocoa.
- Simulaciones con Hydrus-1D permitieron generar escenarios plausibles de mecanismos de saturación de la zona no saturada en las partes medio-alta de la Q. Taruca.
- Para el Sistema de Alerta Temprana (SAT) se recomienda considerar la instalación de varios tipos de sensores. Activar un sistema de alerta con datos de un solo tipo de sensor no es recomendado, por la razón que se deben evitar falsas alarmas y es mejor emplear sistemas integrados que se basan en varios tipos de sensores (Arattano & Marchi, 2008).
- Retomando las conclusiones de Arattano & Marchi (2008), es muy importante resaltar la importancia de una cuidadosa gestión y mantenimiento del SAT, porque la presencia de un sistema de alerta puede inducir una sensación de seguridad, que es justificada solo si se garantiza una adecuada y continua operación del sistema.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

5 GEOTECNIA

5.1 Metodología aplicada

El componente geotécnico se concentró en entender los procesos de remoción de masa que se presentan en la cuenca de las quebradas Taruca, Taruquita, Mulato y Sangoyaco, así como en buscar un modelo de cálculo que permita cuantificar los volúmenes de aporte sólido generado por los deslizamientos detonados por lluvia en la cuenca de estudio. El porcentaje más alto de los deslizamientos registrados en la cuenca se generan en los perfiles de suelos meteorizados en la zona de transición topográfica y geomorfológica adyacente a la falla de Mocoa. Según el inventario realizado por el Servicio Geológico Colombiano, el mecanismo de falla más frecuente observado en los deslizamientos de la zona es de tipo traslacional poco profundo. El modelo conceptual consistió en usar un modelo espacial de estabilidad de taludes, basado en la solución de equilibrio en cada celda del dominio de un talud infinito sometido a la infiltración unidimensional (en dirección vertical) de la lluvia. El modelo seleccionado fue TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model), código libre y abierto desarrollado por el Servicio Geológico Norteamericano (USGS), ver esquema en la Figura 5-1.

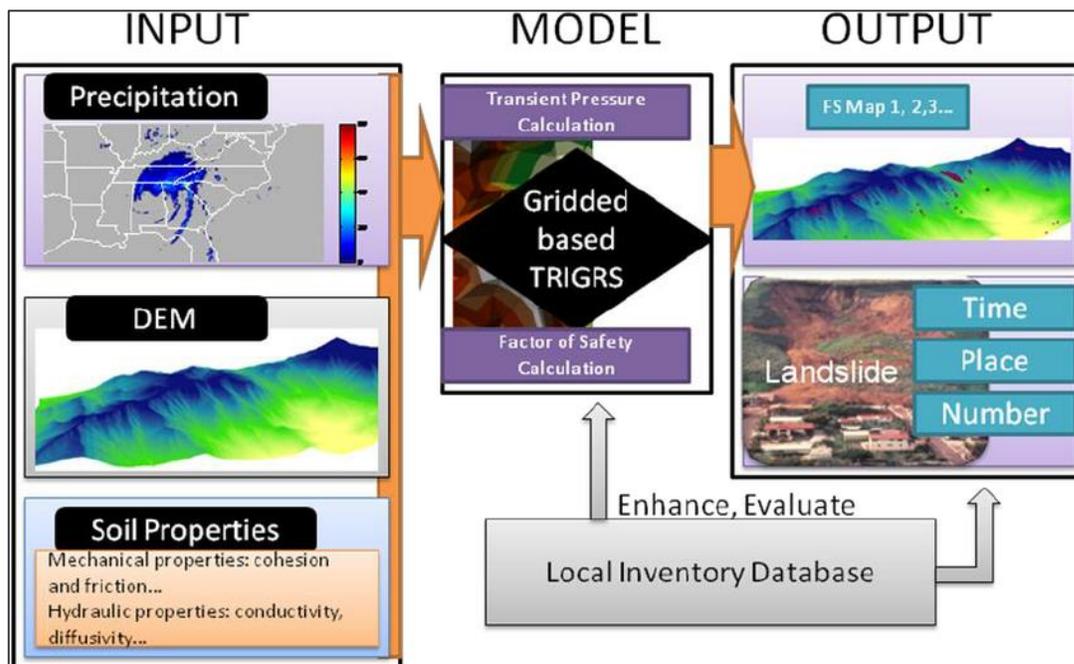


Figura 5-1. Esquema explicativo TRIGRS (Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/226192291_fig2_Fig-2-Conceptual-framework-of-applying-the-Ma-tlab-version-TRIGRS-MaTRIGRS-for)

El programa TRIGRS calcula el cambio transitorio en la presión de poros y correspondientemente, el cambio en el factor de seguridad debido a la infiltración de la lluvia. El programa modela la infiltración de la lluvia, resultante de las tormentas que tienen duración de horas o algunos días, usando soluciones analíticas para ecuaciones

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p>	
	<p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	

diferenciales parciales que representan un flujo vertical unidimensional en materiales isotrópicos y homogéneos para condiciones saturadas o no saturadas. El uso de series de funciones escalonadas permite que el programa represente la entrada de precipitaciones, y un modelo de escorrentía simple permite al usuario desviar el exceso de agua de las áreas impermeables a áreas más permeables teniendo en cuenta la pendiente. El programa TRIGRS utiliza un modelo simple de talud infinito para calcular el factor de seguridad celda por celda. Una fórmula aproximada para el esfuerzo efectivo en materiales no saturados ayuda al cálculo del factor de seguridad en suelos no saturados. La heterogeneidad horizontal se toma en cuenta al permitir que las propiedades del material, la lluvia y otros valores de entrada varíen de una celda a otra. Este programa se usa junto con el software del sistema de información geográfica (SIG) para preparar mallas de entrada y visualizar los resultados del modelo.

Como parte de la implementación del modelo espacial de estabilidad de taludes, se realizó una zonificación geotécnica, mediante la cual se agrupan materiales de similar origen geológico, similar espesor de suelo, geomorfología, cobertura vegetal, tipo de suelo entre otras propiedades. A partir de la interpretación de dichas coberturas, junto con la información del inventario de deslizamientos realizado por el Servicio Geológico se llegó a una delimitación de 16 zonas, tal como se presenta en la Figura 5-2 y en la Tabla 5-1, donde se resumen las propiedades hidráulicas y geotécnicas de las columnas de suelo representativas de cada zona.

Tabla 5-1. Definición de parámetros geotécnicos para el modelo TRIGRS para las 16 zonas geotécnicas.

Nº Zona	Espesor (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Angulo de fricción (°)	Contenido saturado de agua (%)	Contenido residual de agua (%)	Conductividad hidráulica saturada (m/s)	Difusividad hidráulica [m ² /s]	Tasa permanente de infiltración lz (m/s)
1	2	15	65	28	42.33	0.18	3.31E-07	2.50E-05	5.00E-09
2	1.5	15	65	28	42.33	0.18	3.31E-07	2.50E-05	5.00E-09
3	2.5	15	65	28	42.33	0.18	3.31E-07	2.50E-05	5.00E-09
4	1.7	13	10	20	42.33	0.18	3.31E-07	2.50E-05	5.00E-09
5	1	17	30	20	49.48	0.18	5.00E-07	2.50E-05	5.00E-09
6	1	16	7	14	42.33	0.18	3.31E-07	1.50E-05	3.00E-09
7	1	15	15	28	42.33	0.18	3.31E-07	1.50E-05	3.00E-09
8	2	13	11.7	19	49.48	0.18	5.00E-07	2.50E-05	5.00E-09
9	2.5	17	50	33	35.17	0.18	5.42E-07	5.00E-06	1.00E-09
10	2	16	60	30	42.33	0.18	3.31E-07	2.50E-05	5.00E-09
11	0.5	13	100	19	49.48	0.18	5.00E-07	2.50E-05	5.00E-09
12	0.5	18	45	33	35.17	0.18	5.42E-07	2.50E-05	5.00E-09
13	0.5	18	25	33	35.17	0.18	5.42E-07	1.50E-05	3.00E-09

N° Zona	Espesor (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Angulo de fricción (°)	Contenido saturado de agua (%)	Contenido residual de agua (%)	Conductividad hidráulica saturada (m/s)	Difusividad hidráulica [m ² /s]	Tasa permanente de infiltración (m/s)
14	1.5	15	10	10	35.17	0.18	5.42E-07	1.50E-05	3.00E-09
15	1.7	13	10	20	42.33	0.18	3.31E-07	2.50E-05	5.00E-09
16	2	13	11.7	19	49.48	0.18	5.00E-07	2.50E-05	5.00E-09

Fuente: elaboración propia.

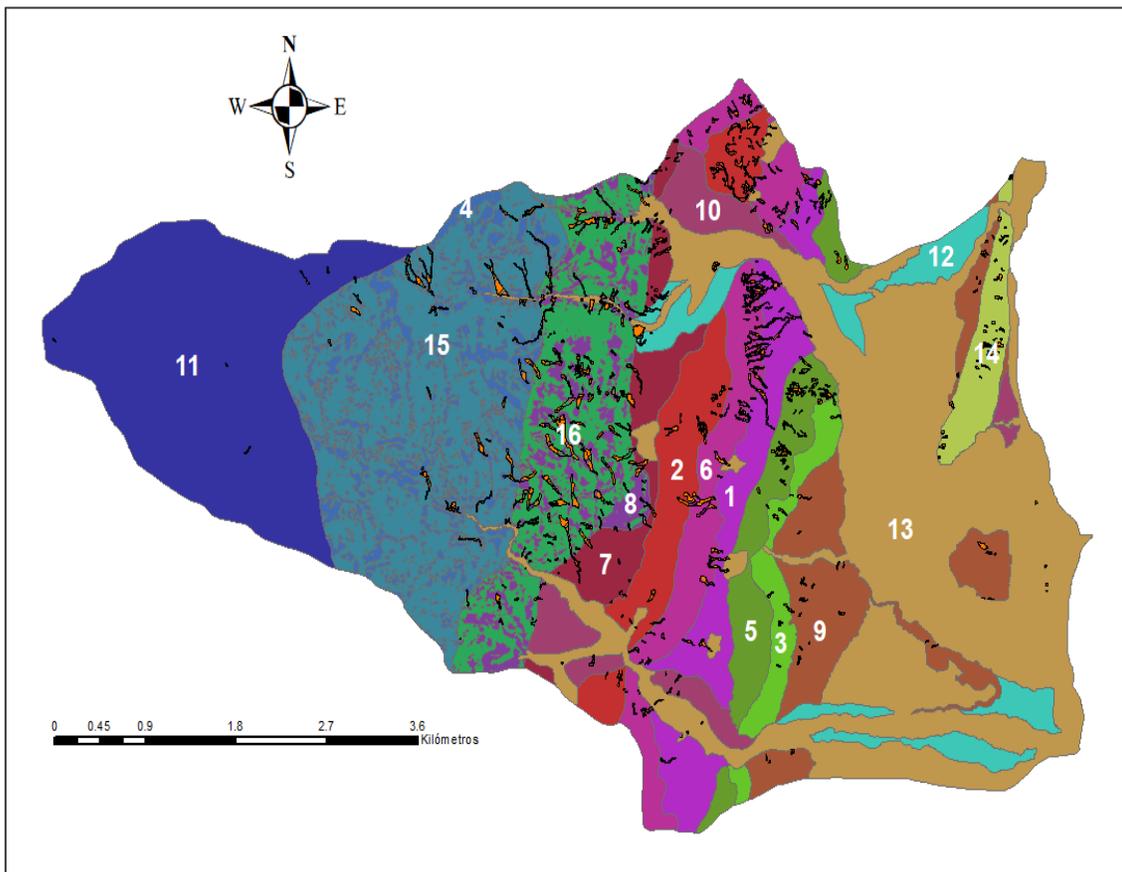


Figura 5-2. Zonificación geotécnica para modelación (Fuente: elaboración propia), junto a deslizamientos inventariados (SGC, 2017)

Debido a la sensibilidad que tiene cada uno de los parámetros de entrada al programa TRIGRS, se realizaron análisis en los que se tuvo en cuenta la respuesta del programa a lo largo del tiempo simulado, donde se observó el cambio en la presión de poros, factor de seguridad y la variación del nivel freático en cada zona con el cambio de cada uno de los parámetros. Además, con el fin de entender y explorar los posibles mecanismos de saturación del suelo, se realizaron unas corridas basadas en el modelo numérico HYDRUS-1D (ŠIMŮNEK, y otros, 2013), las

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

cuales servirán de soporte para la definición de condiciones iniciales y de los distintos escenarios a simular en TRIGRS. A partir de estos análisis y de definir las condiciones iniciales críticas de la cuenca, se logró reproducir una condición similar tanto en puntos de ocurrencia como en volúmenes de deslizamiento a lo registrado en el evento del 31 de marzo de 2017, reportado por el Servicio Geológico Colombiano.

Una vez definidas las condiciones que permitieron reproducir el evento del 31 de marzo, se tomaron 19 eventos de lluvia acumulada de cuatro días (basado en los análisis de las series de 10 minutos de lluvia registradas en la estación Acueducto de Mocoa) que excedían o estaban por debajo de la lluvia acumulada del evento para analizar la generación de deslizamientos en la cuenca. Finalmente, dicha evolución temporal de los volúmenes de deslizamiento fue uno de los suministros importantes para el componente de modelación hidrodinámica que está en capacidad de transitar la mezcla de suelo y agua desde su punto de origen a los cauces principales de las quebradas.

5.2 Consideraciones, suposiciones y restricciones

TRIGRS ha sido aplicado en diferentes áreas geográficas incluyendo Estados Unidos e Italia, donde los modelos se han calibrado con deslizamientos históricos en cuencas con comportamiento similar al del área de estudio, obteniendo buenos resultados. La principal ventaja de este tipo de modelos analíticos distribuidos es la gran eficiencia computacional sobre modelos numéricos distribuidos

De acuerdo con las experiencias recolectadas por distintos autores, en donde se ha empleado el modelo TRIGRS para modelar la estabilidad de cuencas susceptibles a deslizamientos superficiales detonados por lluvia, las principales limitaciones/recomendaciones para la aplicación del modelo se pueden sintetizar como:

- Las soluciones del modelo son válidas solo cuando la infiltración es en sentido vertical (vertical 1D).
- El modelo no saturado de Gardner es usualmente considerado apropiado para suelos granulares. Sin embargo, existen artículos en la literatura, donde se evidencia que el programa ha obtenido buenos resultados en suelos finos.
- Para estimar los parámetros del modelo de Gardner, en ausencia de datos de campo/laboratorio, habría que recurrir a "pedotransfer functions". Existen programas libres que permiten estimar los parámetros de la curva de retención basado en datos de granulometría y densidad del suelo, si no hay datos de la curva de retención. Por ejemplo, el programa Rosetta del USDA (de dominio público) permite estimar las propiedades hidráulicas de la zona no saturada con base en datos de textura del suelo (% de arena, limo y arcilla) y densidad aparente.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

- El USGS afirma que el modelo es también sensible a las propiedades físicas de las unidades geológicas, por lo cual, en caso de falta de información, habrá que recurrir a datos tomados de referencias bibliográficas.
- Los resultados del modelo son particularmente sensibles a las condiciones iniciales: profundidad de la tabla de agua y tasa de infiltración de base.
- El modelo es distribuido, pero 1D, es decir opera por celdas/columnas y no hay interacción entre celdas/columnas adyacentes. La mayoría de deslizamientos ocurren en áreas más grandes de celdas individuales, es decir en la realidad se tiene interacción entre columnas adyacentes.

A pesar de las diferentes limitaciones mencionadas anteriormente, el programa cuenta con los modelos necesarios para poder describir los cambios importantes en la presión de poros, teniendo efecto en la estabilidad de las laderas y lográndose acoplar a un sistema de información geográfica para que sea compatible con los modelos hidráulicos usados para el presente estudio. Además de lo anterior, se encuentra soportado ya por varios estudios donde se ha implementado el programa con éxito.

Durante la corrida de escenarios de lluvia de varios días de duración se puede presentar que cuando en un intervalo determinado una celda alcanza un factor de seguridad menor o igual a 1, es decir, el talud falló, dependiendo de los valores subsecuentes de lluvia pueden presentarse casos en donde la misma celda registre factores de seguridad mayores a 1 a medida que avanza el tiempo, lo que indicaría que nuevamente es estable. En caso de querer llevar a cabo dicho análisis, el programa debería estar en la capacidad de modificar el DEM quitándole la zona que ya había fallado previamente. A la fecha, el modelo TRIGRS no ofrece la posibilidad de actualizar dinámicamente el DEM a medida que van fallando las celdas y esto constituye una limitación en la estimación de volúmenes durante eventos de lluvia de varios días de duración donde pueden presentarse períodos intermedios con baja o nula precipitación.

Dentro de las restricciones del modelo conceptual planteado en este proyecto, se cuenta con la imposibilidad de modelar la caída de bloques y su transporte en el cauce, proceso que ocurre en la parte alta de las cuencas de las quebradas Taruca, Taruquita y Sangoyaco.

5.3 Resultados y análisis

Para realizar la simulación del evento ocurrido el día 31 de marzo de 2017 se tomaron cuatro días de lluvia antecedente, con base en el análisis de las series históricas de 10 minutos de lluvia, donde se concluye que los períodos acumulados de lluvia durante cuatro días son estadísticamente representativos del tipo de lluvia que

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

detonó el flujo de detritos ocurrido el 31 de marzo de 2017. Para llevar a cabo la simulación, se realizó un análisis con la entrada de lluvia acumulada cada 6 horas durante los 4 días, obteniendo 16 resultados donde se muestra la evolución de los deslizamientos en cada uno de los periodos. El volumen deslizado en un instante se calculó al multiplicar el área de las celdas con factores de seguridad menores o iguales a 1.0 por la profundidad de la columna donde se registra ese factor de seguridad de falla, información que reporta en los archivos raster de salida el programa TRIGRS. Debido a la limitación del programa mencionada anteriormente, donde el programa es capaz de incrementar el factor de seguridad incluso en zonas ya falladas en intervalos anteriores, se tomó como volumen deslizado total en la cuenca el periodo en el que se acumuló una mayor cantidad de volumen considerado como deslizado, es decir, en las celdas con factores de seguridad menores o iguales a 1. Como resultado final, se obtuvo en la simulación un valor deslizado de 738,095 m³, el cual corresponde al valor más alto, que ocurrió en el penúltimo periodo del análisis realizado, es decir a las 7:00 pm del 31 de marzo. En la Figura 5-3 se puede observar el volumen deslizado en cada periodo de tiempo analizado y en la Figura 5-4 se pueden observar zonificados los factores de seguridad para el periodo donde se obtuvo el mayor volumen deslizado, donde en rojo se encuentran demarcados las zonas consideradas como deslizadas..

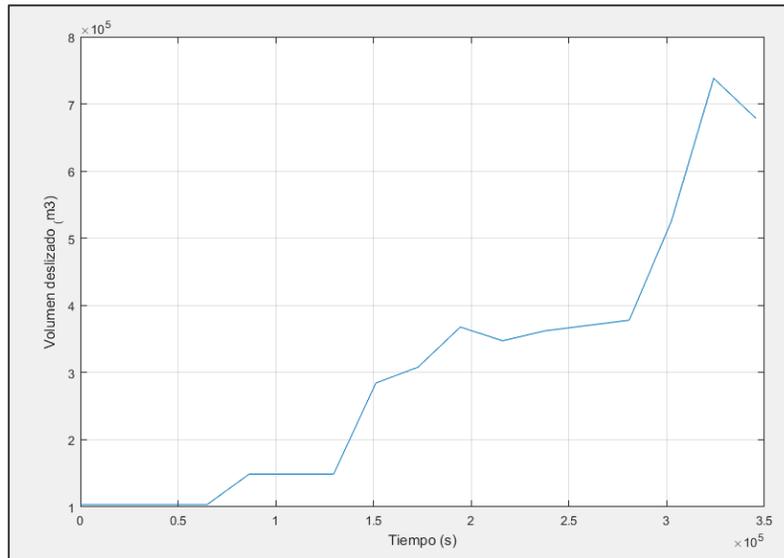


Figura 5-3. Volumen total deslizado a lo largo de cuatro días de lluvia discretizados en periodos de 6 horas en toda la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia.

Una vez realizado el análisis de los posibles mecanismos de saturación en HYDRUS-1D (para identificar la condición más crítica de grado de saturación inicial de la cuenca) y la sensibilidad de cada uno de los parámetros de entrada en TRIGRS, se definieron dos condiciones iniciales donde se simularon los 19 escenarios de lluvia seleccionados: la primera, en el cual el nivel freático se encuentra a la máxima profundidad posible, es decir, a la

misma profundidad del suelo (condición inicial seca); la segunda donde el nivel freático se encuentra al 45% de la profundidad del suelo (condición parcialmente saturada), que fue la condición que mejor permitió reproducir los deslizamientos reportados tras el evento del 31 de marzo. Según los ejercicios de sensibilidad realizados, la segunda condición es considerada como crítica en cuanto a generación de volumen sólido, debido a que, bajo esta condición del nivel freático, se aumenta la susceptibilidad de los taludes a experimentar deslizamientos y se obtienen volúmenes cercanos a los reportados por el SGC (2017).

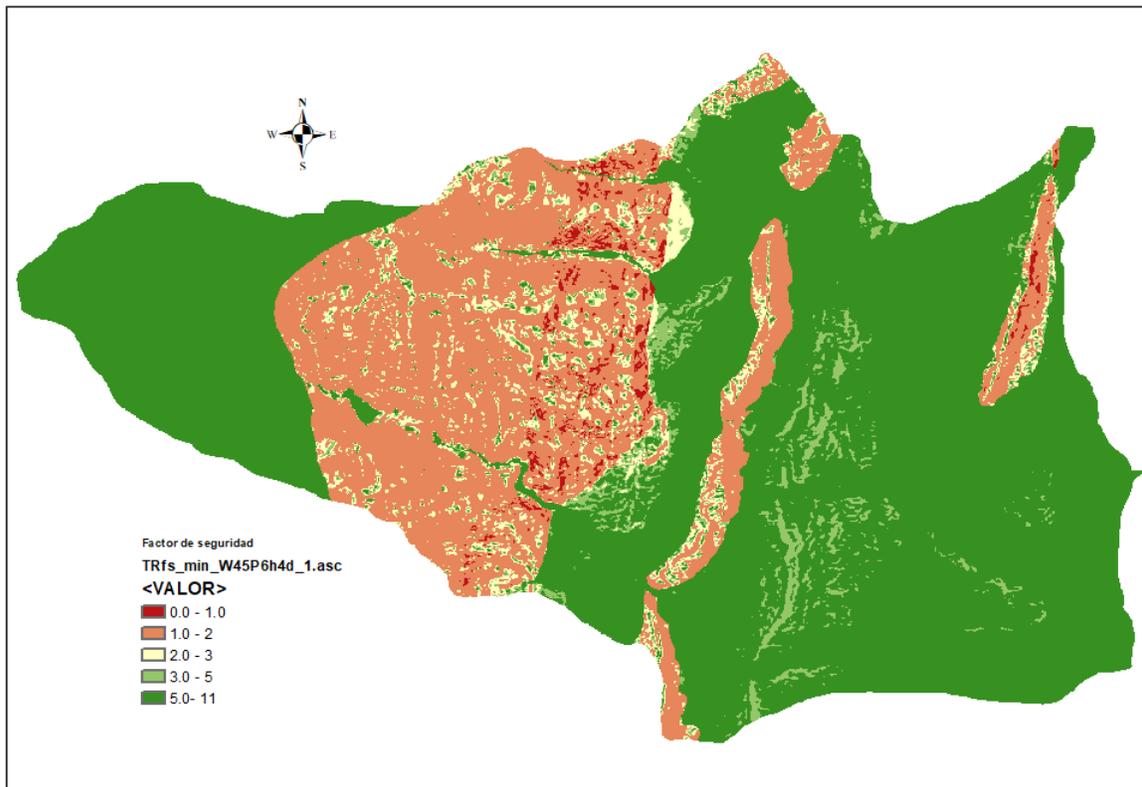


Figura 5-4. Factores de seguridad para el evento ocurrido en Mocoa a las 7:00 pm del día 31 de marzo de 2017. Fuente: elaboración propia.

A partir de la simulación de los escenarios de lluvia se observa que la condición inicial seca de la cuenca (nivel freático en la base de la columna de suelo) produce volúmenes bajos de material deslizado cercanos a los 50,000 m³, independientemente de tener eventos de lluvia mayores a los registrados el día del evento del 31 de marzo. La condición crítica de análisis resulta ser la condición parcialmente saturada, en donde el nivel freático parte de una altura cercana a la mitad de la altura de cada espesor de suelo. Bajo esta condición se obtienen varias simulaciones con volúmenes similares a los estimados en campo por el SGC (2017). Hay algunos eventos simulados de lluvia que pueden producir (numéricamente) volúmenes deslizados en la cuenca superiores a un millón de metros

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

cúbicos, alcanzando volúmenes cercanos a tres millones de metros cúbicos. La mayoría de estos eventos de lluvia que detonan volúmenes mayores de deslizamientos son mayores al registrado el 31 de marzo, aunque hay eventos inferiores (la serie 18 con un total de 162 mm de lluvia acumulada en cuatro días) que también están en la capacidad de generar mayores volúmenes de material deslizado a los registrados el día del evento. Este evento de lluvia de menor cantidad acumulada de lluvia a la registrada el 31 de marzo (escenario 18 en la Figura 5-6) tiene la particularidad de ser un evento en donde se registró precipitación de forma continua durante los cuatro días, es decir no hubo períodos sin lluvia en las 96 horas analizadas. El evento del 31 de agosto (escenario 20 de la Figura 5-6) bajo la condición inicial parcialmente saturada de la cuenca, produjo un volumen simulado de deslizamiento cercano a los 469,000 m³, que equivale al 63% del volumen deslizado en el evento del 31 de marzo. La cuenca reaccionó a ese evento de lluvia del 31 de agosto con una crecida considerable de los niveles del agua en las quebradas, así como en la turbidez, semejándose a un flujo viscoso y no a un flujo de detritos como el observado el 31 de marzo. De esta forma la herramienta TRIGRS muestra su flexibilidad para capturar la respuesta geotécnica de la cuenca ante diferentes condiciones iniciales y eventos de lluvia de diverso volumen y distribución temporal.

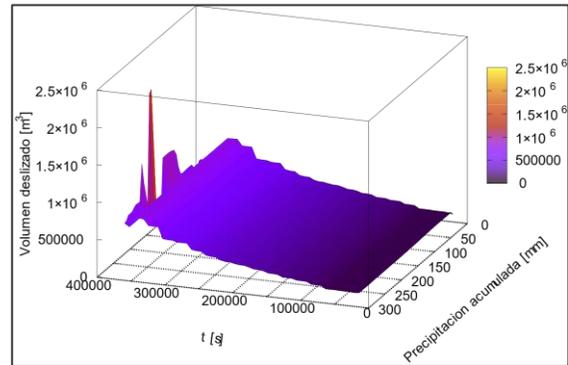
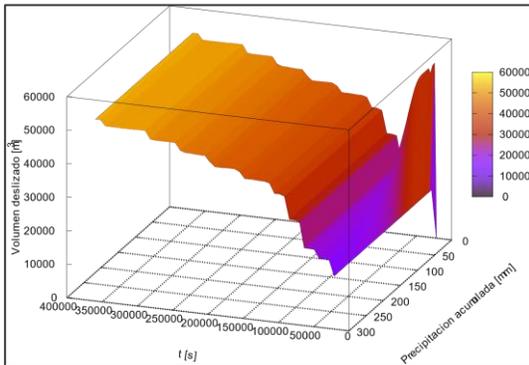
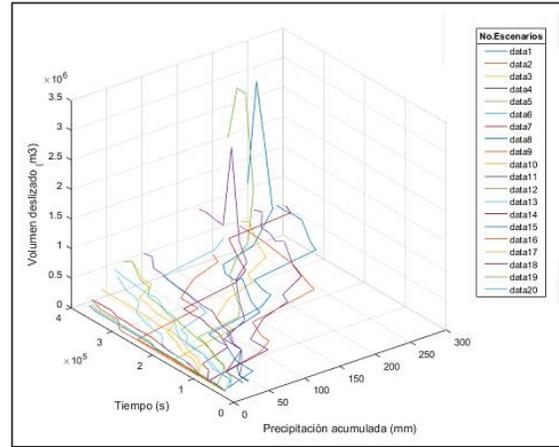
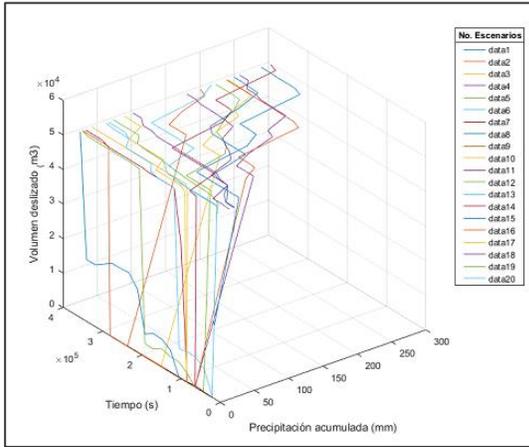


Figura 5-5. Volumen deslizado y precipitación acumulada en el tiempo para condición inicial de nivel freático a 100% de profundidad. Fuente: elaboración propia.

Figura 5-6. Volumen deslizado y precipitación acumulada en el tiempo para condición inicial de nivel freático a 45% de profundidad. Fuente: elaboración propia.

Las series modeladas de lluvias de cuatro días de duración permitieron obtener distintas respuestas de la cuenca en términos de estabilidad de taludes y se generaron distintas cantidades de volúmenes deslizados para estos eventos. Vale la pena destacar que dentro de las series seleccionadas de cuatro días de lluvia se obtuvieron registros en donde la lluvia se distribuye de forma homogénea en el período, como otros eventos en donde la lluvia se concentra en pulsos marcados separados por intervalos de varias horas sin lluvia. Esta variación temporal de la lluvia en el período crítico de cuatro días de lluvia antecedente, tiene un efecto importante en la cantidad de volumen deslizado en la cuenca. En la Figura 5-5 y Figura 5-6 se observa el volumen deslizado y precipitación acumulada en el transcurso de los 4 días analizados, para el escenario con condición inicial de nivel freático a máxima profundidad y nivel freático a 45% de profundidad, respectivamente.

Los resultados obtenidos de variación del volumen deslizado en el tiempo y en función de la lluvia antecedente de 4 días, son un insumo fundamental para el modelo hidráulico de tránsito, con el fin de acoplar el modelo geológico-

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

geotécnico-hidráulico para generar distintos escenarios probables y definir los niveles umbrales del sistema de alerta temprana.

5.4 Conclusiones y recomendaciones

El modelo TRIGRS demuestra su utilidad para ser acoplado con los modelos hidrodinámicos, al permitir generar a lo largo de un evento de lluvia la descripción de la evolución espacial de los factores de seguridad en todos los puntos de la cuenca, así como la profundidad del material que se puede deslizar en un instante determinado. El acople geotécnico-hidráulico consiste en correr primero el modelo de estabilidad espacial de taludes TRIGRS con la lluvia reportada de estaciones existentes en la zona o generada de escenarios probabilistas a partir de pronósticos de orden meteorológico. El modelo puede generar los archivos tipo raster de resultados de factores de seguridad y profundidad del factor de seguridad mínimo en el intervalo de tiempo que se requiera. La información generada de la distribución espacial y temporal de la evolución de los factores de seguridad y la profundidad en cada columna de suelo en donde se registra ese valor mínimo del factor de seguridad son procesados en un sistema de información geográfica para definir las condiciones iniciales de volumen deslizado de material (caudal sólido) en los modelos hidrodinámicos.

En términos generales los modelos hidrodinámicos pueden tomar la información del volumen deslizado en cada celda para definir una proporción diferente de fracción sólida y líquida y permitir que ese material fluya hacia aguas abajo. De esa forma se tiene un volumen mayor al generado exclusivamente por los modelos hidrológicos y al tener propiedades de densidad y fricción diferentes al flujo de agua limpia, el modelo hidráulico podrá generar mayores velocidades y niveles en el tránsito de la creciente, así como la erosión de las bancas y del cauce en los modelos que así lo permitan (R.AVA.FLOW).

6 HIDRÁULICA

6.1 Metodología aplicada

El componente hidráulico tuvo como principal objetivo la representación del evento de flujo de detritos del 31/03/17, como así también la simulación de diferentes escenarios posibles, teniendo en cuenta los resultados de las modelaciones del equipo de geotecnia e hidrología. Se considera el fenómeno de flujo de material desagradado como una integración de procesos físicos relacionados con la hidrología, geotecnia y la dinámica de fluidos. La Figura 6-1 muestra el proceso conceptual de la formación de una avalancha de lodo. De forma general, este fenómeno inicia con un proceso hidrológico de precipitación, en donde, a partir de este, existe un flujo base inicial y una escorrentía superficial. En función del tiempo y la intensidad de la precipitación el suelo se va saturando e

incrementa la presión de poros, se incrementa la inestabilidad del terreno, y se provoca el inicio de movimiento de masas de suelo. Finalmente, se forma un flujo de material desagregado el cual transita por medio de laderas y cauces naturales provocando procesos de erosión, arrastre y depósito en las zonas de menor pendiente.

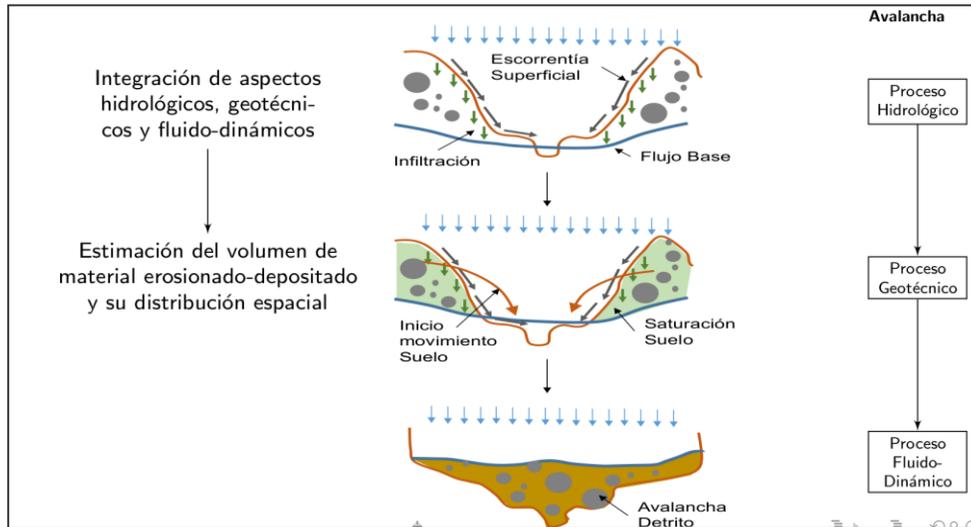


Figura 6-1. Formación de un flujo desagregado. Fuente: elaboración propia.

Dada la complejidad del evento y los diversos procesos físicos asociados a este, se realizó la simulación fluido dinámica con cuatro herramientas de modelación numérica, con el fin de comparar los resultados arrojados por cada una de estas, teniendo en cuenta las limitaciones y ventajas de dichos programas de simulación. Los programas que se emplearon para la simulación del evento fueron:

- FLO2D
- R.AVAFLOW
- RAMMS
- OPEN TELEMAC
-

6.1.1 Información base

Para la modelación tanto del evento del 31 de marzo de 2017, como para los escenarios de posibles eventos futuros, se emplearon como entrada a los modelos numéricos de flujo, los resultados de los componentes, hidrológico y geotécnico. Esta integración fue posible hacerla a partir del cálculo de la evolución del factor de seguridad asociado a los suelos en toda la cuenca y la profundidad de material que se desliza en un tiempo determinado, permitiendo así determinar los diferentes volúmenes de deslizamiento en diferentes escenarios de precipitación estimados por el componente hidrológico.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

La topobatimetría empleada para la construcción de los modelos numéricos se basó en un Modelo de Elevación Digital (DEM) generado para el evento, en el cual se utilizaron varios DEM pre evento, con diferentes resoluciones con el fin de identificar aquel con la mejor representación de la morfología del terreno. Para la representación del evento se empleó el DEM oficial de 5 metros suministrado por el Servicio Geológico Colombiano. Así mismo, se contó con un DEM post evento para las posteriores simulaciones de los escenarios propuestos a partir de los resultados del equipo de geotecnia.

6.1.2 Modelación hidráulica del evento del 31/03/17

La modelación del evento de flujo de detritos del 31 de marzo de 2017 en Mocoa, se realizó integrando los resultados del componente hidrológico y de geotecnia, permitiendo establecer el nivel de precipitación, caudales y volumen deslizado durante el evento. Se realizó la modelación fluido dinámica con los cuatro programas establecidos.

Con los resultados obtenidos por programas se realizó una estimación del error de las alturas de flujo simuladas y las registradas por el SGC, esto con el fin de identificar el grado de representatividad del evento de flujo de detritos simulados con las diferentes plataformas computacionales y las alturas reales observadas. Así mismo, se realizó una comparación de los resultados entre los modelos, lo que permitió establecer que sólo con un programa que permita simular arrastre de material, es posible acercarse al volumen de material depositado estimado por el SGC.

Con los resultados obtenidos se identificaron adicionalmente zonas en donde se presentaban grandes cantidades de masa que no correspondían con lo sucedido en el evento. Es por esto que fue necesario realizar algunas modificaciones al DEM, con el fin de poder tener una mejor representación del flujo de detritos presentado. Esto permitió identificar errores existentes del modelo de elevación digital.

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos por programa, incluyendo tanto ventajas como desventajas, identificando las limitaciones de cada uno en cuanto a tiempos computacionales, capacidad de reproducir cada uno de los procesos físicos y la interacción de diferentes componentes entre sólido y líquido. Esto permitió establecer al modelo R.AVAFLOW como el que mejor representa este tipo de eventos.

6.1.3 Modelación de los escenarios propuestos para generación de zonas de alerta

Luego del ejercicio de representación del evento del 31/03/17 se establecieron 19 escenarios posibles basados en conceptos geotécnicos. Para esto, se tomó como base 19 escenarios diferentes de precipitación en un lapso de

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p>	
	<p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	

tiempo de cuatro días. Se estableció para los primeros 9 escenarios una lluvia igual o mayor a la presentada en el evento del 31/03/17, y para los demás eventos (10 – 19) una lluvia menor o igual al evento presentado.

6.1.4 Estimación de volúmenes de sólido y caudal líquido

Para calcular los volúmenes de sólido deslizados consecuencia de cada escenario de precipitación, y su correspondiente distribución en el tiempo, se realizaron simulaciones previas en dos programas: TRIGRS, desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, que contempla un modelo geotécnico para calcular la estabilidad de un terreno con pendientes en respuesta a la infiltración de la precipitación, y R.AVAFLOW para transitar dichos volúmenes deslizados, teniendo en cuenta un modelo hidráulico y uno de erosión. Los resultados de estas simulaciones previas fueron necesarios poder construir los hidrogramas de sólido y líquido que se ingresarían a FLO-2D, RAMMS y Open Telemac. En la Tabla 6-1 se muestra la magnitud en metros cúbicos de los valores de los volúmenes deslizados

Tabla 6-1. Volumen de deslizamientos para los 19 escenarios de precipitación con suelo parcialmente saturado.

Escenario		Volumen m3
Escenarios Mayores al evento	1	1289456
	2	289550
	3	688319
	4	809954
	5	2182364
	6	508748
	7	696632
	8	761963
	9	618398
Escenarios menores o iguales al evento	10	340601
	11	712340
	12	679394
	13	601517
	14	193262
	15	148892
	16	231308
	17	588818
	18	1137323
	19	149249

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones previas en los software TRIGRS y R.AVAFLOW, permitieron estimar los hidrogramas de agua clara y volúmenes de sólidos que se presentan en la Figura 6-2 y Figura 6-3. Se puede observar que el escenario 1 es en el que se transita mayor cantidad de volumen, en el cual se llegan a mover caudales de más de 10000 m³/s.

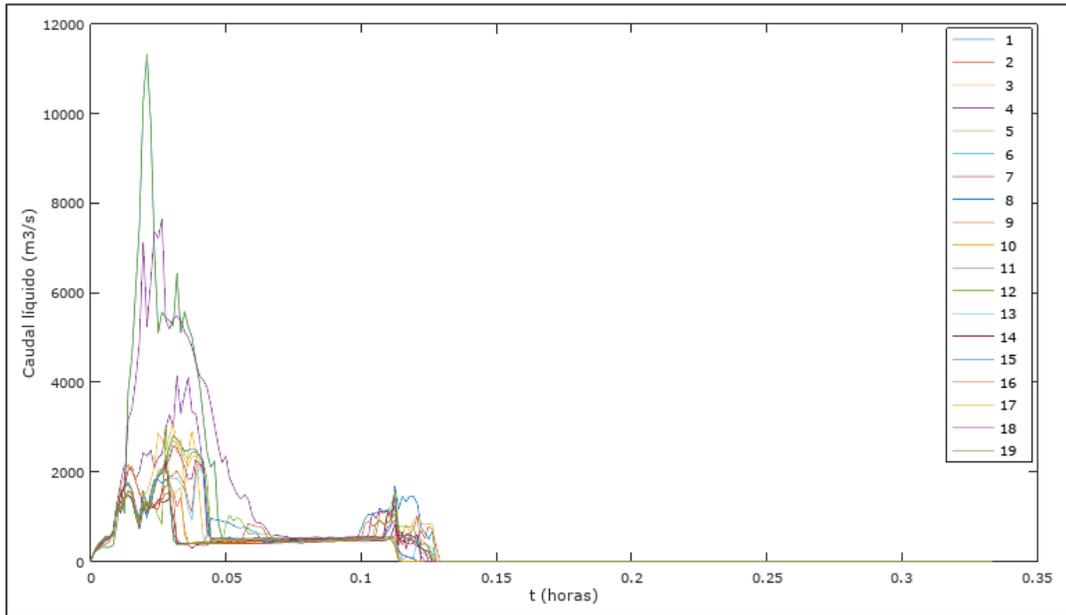


Figura 6-2. Hidrogramas de caudal líquido por cada escenario de precipitación acumulada en la cuenca de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.

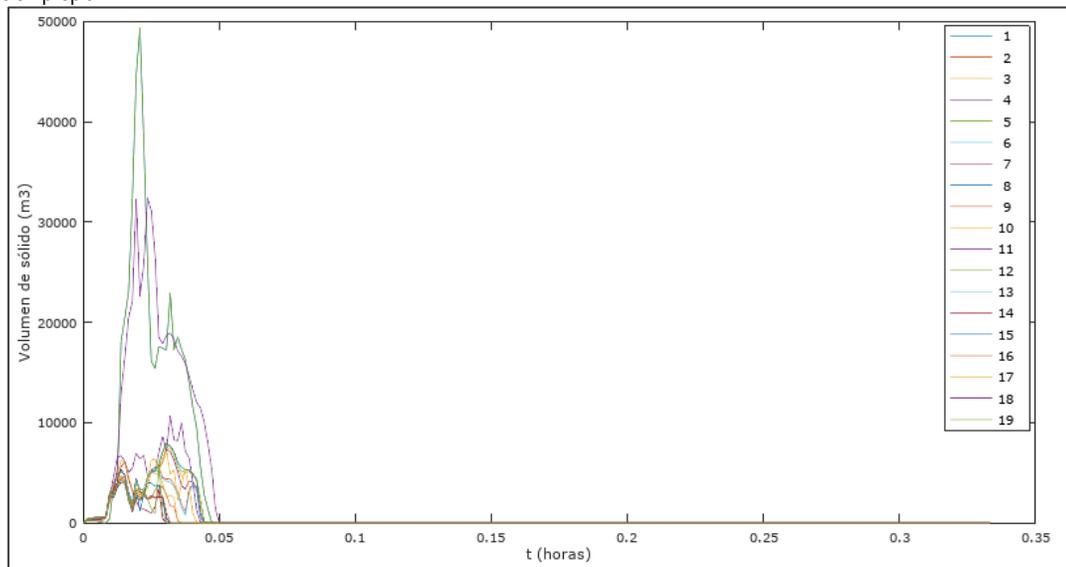


Figura 6-3. Hidrogramas de volúmenes de sólido por cada escenario de precipitación acumulada en la cuenca de la quebrada Taruca. Fuente: elaboración propia.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Una vez establecidos los hidrogramas de sólido y líquido, estos fueron utilizados como fuente para los modelos de FLO2D, RAMMS y Open TELEMAC, realizando el tránsito de los 19 escenarios planteados. Finalmente se obtuvieron los resultados por escenario de altura de la lámina de fluido, velocidad y presión dinámica del flujo, para cada uno de los modelos implementados.

Cabe mencionar que para el caso de Open TELEMAC se realizó la simulación a detalle de la zona urbana de Mocoa, el cual tuvo como particularidad la inclusión de las edificaciones de la ciudad, con el fin de observar el comportamiento del flujo en el momento que llegue al casco urbano. Lo anterior se debe a la capacidad de dicho software de manejar mallas no estructuradas.

6.1.5 Definición de zonas con potencial de afectación.

Para la determinación de las zonas con mayor afectación, se realizó el análisis de los resultados de las simulaciones de los 19 escenarios, y se determinaron los sectores que tuvieron una afectación crítica durante el evento del 31/03/17, al igual que análisis de las zonas en visitas de campo y un análisis del cambio en la morfología del terreno con el levantamiento topográfico.

Con el fin de establecer las zonas con mayor riesgo, se tuvieron en cuenta todos los posibles escenarios transitados, para ello se realizó una envolvente de las manchas de inundación obtenidas para cada uno de los 19 escenarios transitados. Se identificaron los barrios con mayor potencial afectación y las alturas y velocidades de flujo asociadas.

6.1.6 Determinación de sectores críticos

La determinación de las secciones críticas en cada cauce se realizó teniendo en cuenta las edificaciones con la cota más baja y que se encontrara más cerca al cauce, estas zonas se observaron igualmente en la topografía tomada en campo y los resultados de las simulaciones, para el caso de las Quebradas Taruca, Sangoyaco y Río Mulato. Para cada una de estas secciones críticas se generó un perfil topográfico en donde se indica la elevación de las casas más cercanas y el cauce (Ver ejemplo en la Figura 6-4)

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

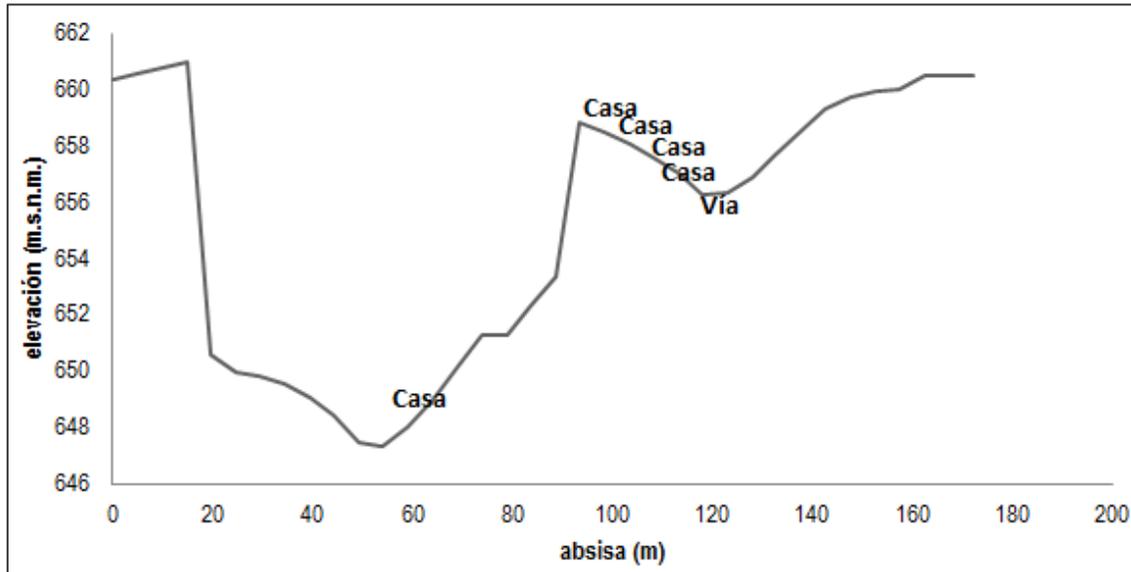


Figura 6-4. Ejemplo de perfil topográfico en donde se indica la elevación de las casas más cercanas y el cauce. Fuente: elaboración propia.

6.1.7 Niveles asociados a alertas, tiempos de viaje y curvas de calibración.

De acuerdo con los resultados de las modelaciones fluido dinámicas y los sectores críticos seleccionados, se generaron diferentes curvas Q-H para estas secciones críticas y los puntos de localización de los sensores instalados por FEDERMAN y el SIATA. Teniendo en cuenta estas curvas de gasto se establecieron los diferentes umbrales de nivel de flujo que permitan emitir una advertencia y alerta de inundación.

Finalmente se calcularon los umbrales de nivel asociados a una altura de flujo y un caudal, para cada uno de los sensores instalados en el área de la cuenca y su curva de calibración correspondiente (Ver ejemplo en la Figura 6-5).

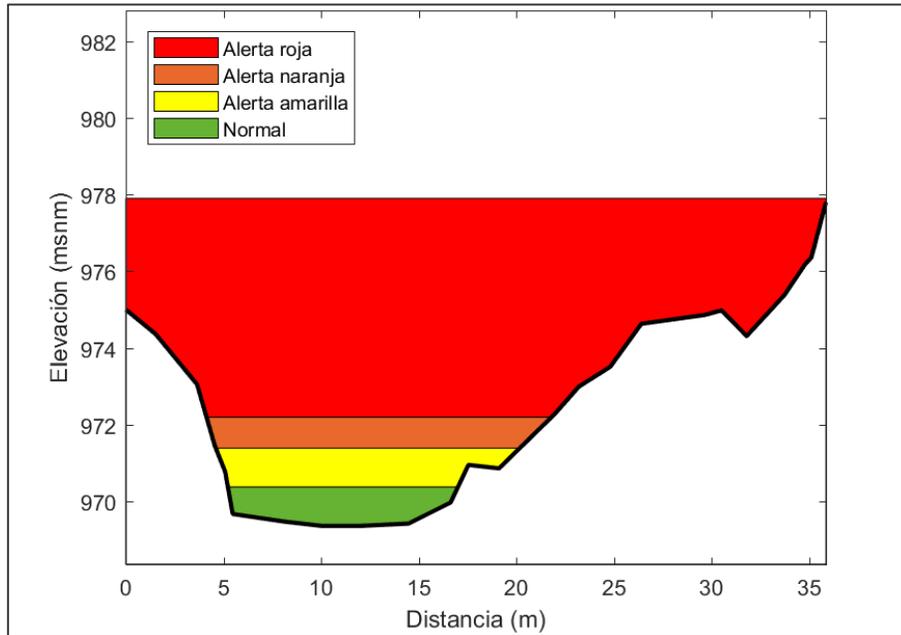


Figura 6-5. Ejemplo de umbrales de nivel asociados a una altura de flujo y un caudal. Fuente: elaboración propia.

6.2 Consideraciones, suposiciones y restricciones

La metodología presentada en el documento corresponde a un ejercicio de modelación numérica y como tal tiene limitaciones asociadas. Una de las consideraciones más importantes a tener en cuenta es la limitación del modelo físico sobre el que están fundamentados los modelos numéricos empleados (FLO-2D, R.AVAFLOW, RAMMS, Open-TELEMAC). Estos modelos se basan en la aproximación de las ecuaciones de las aguas someras, en las cuales se asume que las velocidades verticales son despreciables con respecto a las horizontales. Si se analiza esto para el caso en estudio, considerando las condiciones topográficas, este supuesto podría no ser del todo válido. Adicionalmente, la forma en que se representa la reología del fluido transportado, el cual tiene características muy diferentes al agua, tiene suposiciones fuertes que deben tenerse en cuenta al hacer la simulación. Cabe la aclaración de que modelos numéricos que no tengan esta restricción demandan una capacidad computacional que dificulta o imposibilita su aplicación a esta escala.

Otro limitante importante corresponde al hecho que las ecuaciones mencionadas modelan un solo líquido en movimiento, sin embargo, el fenómeno estudiado es mucho más complejo, el movimiento de flujos hiperconcentrados, representa una dificultad dada la cantidad de fenómenos físicos involucrados, para salvar esta dificultad los modelos numéricos empleados usan diferentes estrategias que consisten en modificaciones de las ecuaciones originales para considerar el material sólido que es transportado, siendo la aproximación de

R.AVAFLOW la más sofisticada, al modelar dos fases (una líquida y una sólida), sin embargo, esta aproximación aún se puede considerar limitada con respecto al fenómeno real.

Una consideración importante tiene que ver con la calibración de los modelos, en este estudio la calibración fue realizada con el evento del 31 de Marzo de 2017, de este evento se contaba con levantamiento detallados de las zonas afectadas con algunos registros de las profundidades y descripción del material depositado, pero esta información corresponde únicamente a un instante temporal del evento y los modelos fueron calibrados para reproducir este instante, pero no se cuenta con información temporal, como puede ser medición de los niveles y o caudales. Por lo que no se puede asegurar con certeza que se haya logrado la reproducción del evento. Otra consideración asociada con la calibración, es que está limitada a la información disponible, siempre en un ejercicio de modelación numérica será deseable la disponibilidad de información redundante, para emplear una porción de los datos para la calibración y los restantes para la validación de los modelos, dado que la información fue limitada y en su mayoría tuvo que ser empleada para calibración.

6.3 Resultados y análisis

Teniendo en cuenta la metodología empleada, se realizó la simulación del evento del 31 de marzo de 2017, obteniendo las manchas de inundación para cada escenario transitado, al igual que las alturas, velocidades y presiones máximas. Posteriormente se obtuvieron los resultados de los 19 escenarios transitados con cada uno de los programas. En la Figura 6-6 se muestran algunos de los resultados de los máximos de altura y velocidad para el primer escenario transitado.

6.3.1 Resultados R.AVAFLOW

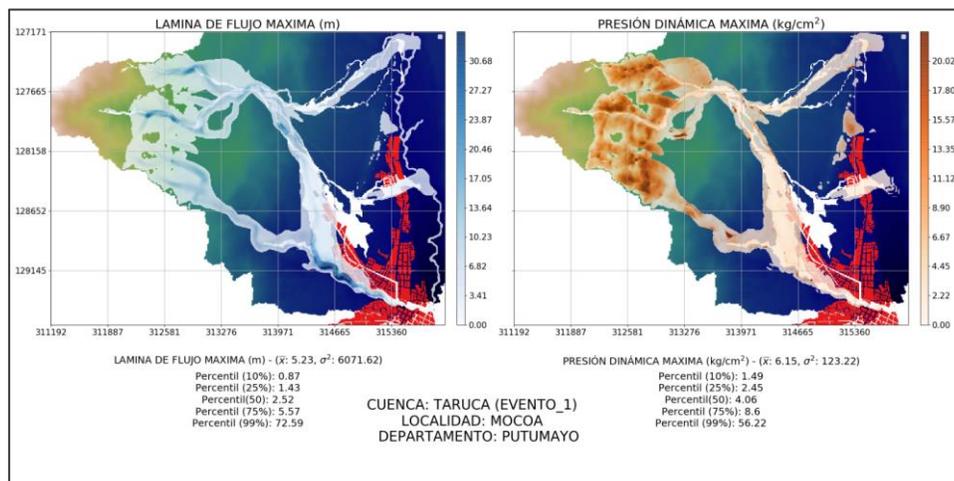


Figura 6-6 Máxima altura de flujo y presión para el escenario 1 R.AVAFLOW. Fuente: Elaboración propia

En general para este escenario el valor de la lámina de flujo máximo varía entre 1m y 30.68 m, con un promedio de 5.23 m. Las zonas con valores superiores a 20 m se encuentran en la convergencia del Sangoyaco y Taruca. Al igual que la presión dinámica máxima simulada durante el escenario, la cual fluctúa entre 0.1 Kg/cm² y 25 Kg/cm², con un promedio de 6,15 Kg/cm². Las concentraciones de presión dinámica con valores más altos se observan en los lugares en donde se forman los deslizamientos con un valor promedio de 17.8 Kg/cm².

6.3.2 Resultados FLO2D

En la Figura 6-7 se presentan los valores de máxima elevación de la superficie libre de fluido y de presión dinámica obtenidos por el software FLO2D, para el escenario 1.

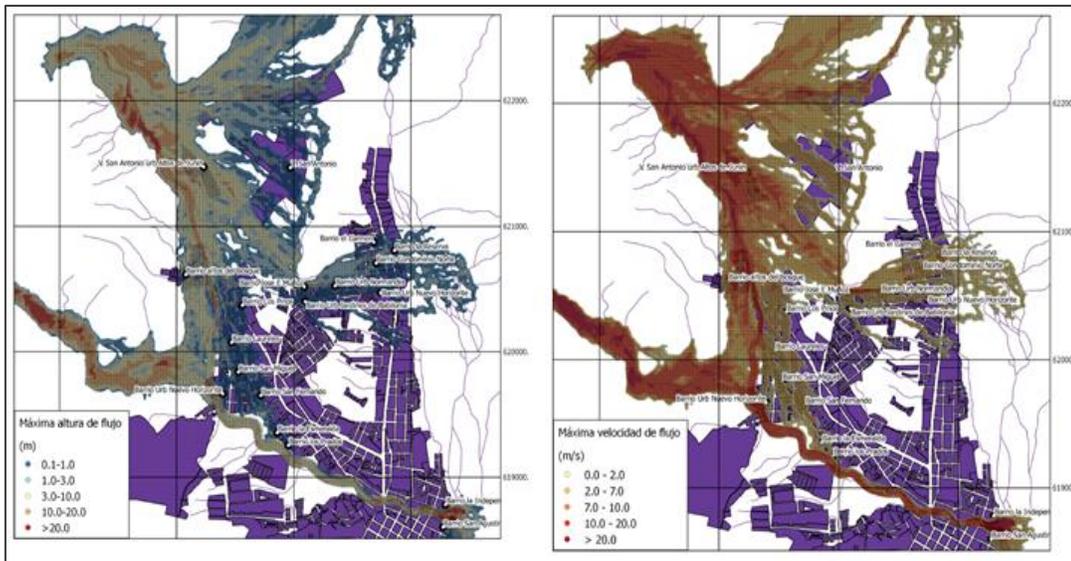


Figura 6-7. Máxima altura de flujo y presión para el escenario 1 FLO2D. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que con este modelo se presentaron alturas hasta de 20 metros de altura y velocidades mayores a 20 m/s. Así mismo se generaron los resultados de los máximos de altura, velocidad y presión para los demás escenarios transitados. Al igual que con los demás software, se tiende a recrear la mancha de inundación del evento del 31/03/17.

6.3.3 Resultados RAMMS

En la Figura 6-8 se presentan los valores de máxima elevación de la superficie libre de fluido y de presión dinámica obtenidos por el software FLO2D, para el escenario 1.

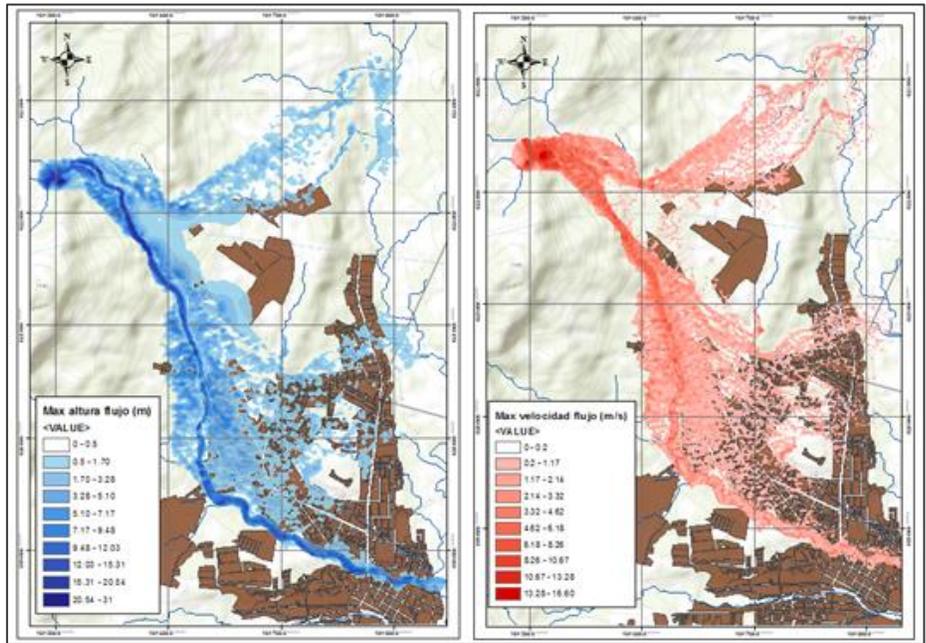


Figura 6-8. Máxima altura de flujo y presión para el escenario 1 RAMMS. Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron alturas de la lámina de flujo hasta de 30 metros y velocidades de hasta 16 m/s, en especial en la parte alta de la quebrada La Taruca, estos resultados solo integran la zona de La Taruca, dado que no se implementó un tránsito por los demás Cauces debido a limitantes del software. Es de notar que al igual que con los demás programas, la mancha de inundación tiende a seguir el mismo trayecto por donde transitó el flujo de detritos del evento del 31/03/17.

6.3.4 Resultados Open TELEMAT

En cuanto a la zona urbana de Mocoa, se analizaron los resultados generados con el software Open TELEMAT, el cual permitía una modelación con mayor detalle dado que tiene a la posibilidad de generar mallas no estructuradas y por ende un mayor refinamiento en zonas críticas. En la Figura 6-9 se muestran los resultados del primer escenario simulado, donde se obtuvieron alturas hasta de 15 metros.

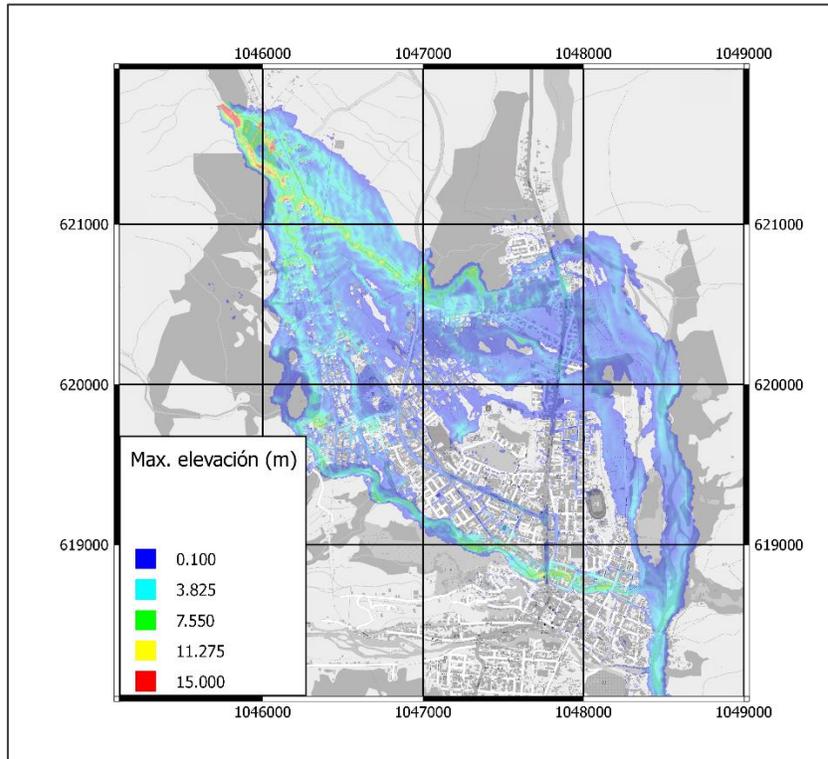


Figura 6-9. Máxima profundidad alcanzada para el escenario 1 Open TELEMAC. Fuente: Elaboración propia.

El uso de una malla no estructurada para esta modelación permitió una representación de la geometría más adecuada, admitiendo por ejemplo emplear elementos lo suficientemente finos en las calles para que el flujo se representara adecuadamente, sin que se requiera el mismo nivel de detalle para todo el dominio.

6.3.5 Umbrales propuestos para la determinación de los niveles de alerta

Con los resultados de las simulaciones se logró identificar los barrios con mayor potencial de afectación, al igual que los sectores más críticos y los posibles sitios de represamiento, al igual que la definición de secciones críticas para monitoreo.

A partir de los escenarios transitados se generaron las curvas Q-H que permitieron establecer los diferentes umbrales de nivel, teniendo en cuenta además las edificaciones con menor cota y que estuvieran más cercanas a los cauces. En la Tabla 6-2 y Tabla 6-3 se muestran los valores de altura y caudal para cada sensor y el nivel de alerta establecido.

	<i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i>	
	Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.	

Tabla 6-2. Umbrales propuestos de altura lámina de agua para cada sensor de nivel instalado

	Amarilla	Naranja	Roja
Sensor A	1.50	2.90	4.20
Sensor B	1.01	2.02	2.85
Sensor C	0.87	1.74	3.05
Sensor D	0.42	0.84	1.48
Sensor E	0.88	1.77	2.47
Sensor F	0.69	1.38	1.94
Sensor G	2.75	3.75	5.1
Sensor H	1.63	2.5	3.38
Sensor I	1.90	3.80	5.45
Sensor J	1.25	2.40	4.30
Sensor K	2.9	4.3	5.75

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6-3. Umbrales propuestos de caudal para cada sensor de nivel instalado

	Amarilla	Naranja	Roja
Sensor A	35.99	161.36	323.6
Sensor B	35.50	172.51	375.1
Sensor C	23.11	100.37	329.30
Sensor D	33.37	122.23	348.64
Sensor E	24.17	109.93	229.33
Sensor F	48.08	155.05	273.72
Sensor G	11.20	60.66	218.44
Sensor H	10.90	70.30	206.9
Sensor I	23.2	131.36	323.6
Sensor J	24.83	68.8	171.1
Sensor K	71.21	112.6	157.83

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, a partir de los umbrales de nivel establecidos se generaron las curvas de calibración de los sensores de nivel instalados, en las cuales se aprecia una altura de lámina de agua asociada a un caudal y una concentración volumétrica.

6.4 Conclusiones y recomendaciones

Con la simulación del evento de flujo de detritos y los demás escenarios transitados se observó que todos los programas implementados permiten estimar el área de afectación del flujo, sin embargo las alturas de flujo tienden a ser menores a las presentadas, así mismo los resultados de las alturas de material depositado se subestima en comparación con lo registrado.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Los programas que no integran los procesos de erosión y depositación mostraron no ser los más adecuados para la simulación de este tipo de eventos, dado que se subestima el cambio morfológico en los cauces de los cuerpos de agua, por lo que no se obtienen los resultados más realistas. Cabe mencionar que el programa R.AVAFLOW es el que mejores resultados generó, dado que permite incluir este cambio de morfología y tiene en cuenta el volumen de sólidos generado por la socavación del suelo.

La calidad de las modelaciones también estará condicionada por la calidad de la información de entrada, en este caso, la entrada de los modelos proviene de otra modelación, la modelación del componente geotécnico, que por sí misma, cuenta con limitaciones. Otro insumo que se identificó como fundamental en el desempeño de los modelos fueron los modelos de elevación digital DEM. Para el proyecto se contó con diferentes opciones tanto para antes como después del evento, también se tuvo acceso a modelos de diferente resolución, el comportamiento de los modelos se vio altamente afectado por el DEM de entrada, siendo requeridas modificaciones a estos para lograr simulaciones satisfactorias. La calidad de los DEM empleados resultó más determinante en la dirección y comportamiento del flujo que inclusive las diferencias en los modelos constitutivos empleados por los diferentes modelos.

Como ya se explicó la sensibilidad de la respuesta de los diferentes modelos a la representación de la topografía, por supuesto se espera que la capacidad de los modelos de reproducir la realidad estará limitada a la fidelidad del DEM (post-evento) empleado con la topografía actual. Los cambios que puedan sufrir los cauces bien sean por causas naturales o por acción antrópica perturbarán la respuesta del cauce.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

7 DIAGNÓSTICO SOCIOTERRITORIAL Y DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LAS MICROCUENCAS OBJETO EN EL MUNICIPIO DE MOCOCA

En el proceso de diseño de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) resulta fundamental aproximarse al conocimiento de la gestión del riesgo en el territorio en el cual se formulara e implementara el SAT, con el objeto de contar con una visión holística de todos los elementos de la gestión del riesgo encaminadas a reducir las pérdidas de vida humanas y la destrucción de propiedades e infraestructuras en términos del conocimiento de la amenaza, la vulnerabilidad, la capacidad de respuesta y las medidas para mitigar, disminuir o gestionar las condiciones generadoras del riesgo, en este caso puntual orientado hacia los fenómenos de avenidas torrenciales generados en las microcuencas objeto.

El área en estudio cuenta con la particularidad de haber padecido un evento natural catastrófico como fue la avenida torrencial del 31 de marzo de 2017 que tuvo como consecuencias en términos generales 316 personas fallecidas, 332 personas heridas y 4.506 familias registradas como damnificadas de acuerdo con el decreto el decreto No. 601 emitido el 6 de abril por el gobierno nacional por “*el cual se declara el Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica en el municipio de Mocoa*”. Dichas consecuencias indican serias deficiencias en la gestión del riesgo municipal que resultaron en la situación catastrófica citadas.

A continuación, se presenta a manera de resumen los lineamientos de gestión del riesgo existentes en el municipio como es el caso del Plan Municipal del Riesgo del Municipio de Mocoa (PMGRD) formulado en el año 2013 por el Comité Municipal de Gestión del Riesgo del Municipio de Mocoa (CMGRD) del cual se citarán sus componentes principales y estructura general del mismo, planes y proyectos.

Otro aspecto importante en la gestión del riesgo, como conocimiento de los eventos amenazantes, es su zonificación y potencialidad de daño. A partir de lo anterior, se presenta una revisión de las diferentes zonificaciones existentes para amenaza y gestión del riesgo vigentes en el municipio establecidas a través del instrumento de ordenamiento territorial PBOT para las amenazas por inundaciones, avenidas torrenciales y de origen hidrometeorológico, las cuales de acuerdo con la Ley 387 de 1997 y la Ley 1523 de 2012, dicha zonificación y restricción del suelo a través del PBOT es obligante y está protegida como figura de restricción del suelo. Adicionalmente, se evalúa el estado y contenido metodológico y técnico de las zonificaciones. También, se comparan dichas zonificaciones oficiales del ordenamiento territorial con otros estudios y ejercicios de zonificación de amenazas desarrollados por entidades como la autoridad ambiental y la alcaldía municipal.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

7.1 Revisión del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del área urbana y periurbana del municipio de Mocoa

El municipio de Mocoa en la actualidad cuenta con el *Plan Municipal de Gestión del riesgo de desastres del área urbana y periurbana del municipio de Mocoa – Putumayo* formulado en el año 2013 por el Concejo Municipal de Riesgos de Desastres (CMGRD) el cual cuenta como contenidos principales con: la caracterización general de los escenarios de riesgo del municipio, el componente programático del plan hasta el año 2016 y la formulación de programas y acciones (CMGRD de Mocoa, 2013). Es importante tener en cuenta que la zonificación y delimitación de amenazas actual del municipio de Mocoa tanto en el área urbana como rural por eventos naturales en el citado plan de gestión del riesgo en su mayoría son los determinados en el Estudio de Ordenamiento Territorial del año 2000 y su revisión realizada en el año 2006.

Como objetivo general del citado Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) del área urbana del municipio de Mocoa, citado textualmente: “...es evaluar la gestión del riesgo en el área urbana y generar condiciones de seguridad, bienestar y calidad de vida para todos sus habitantes, abordando adecuadamente la gestión del riesgo, desde su conocimiento y reducción, así como desde el manejo de posibles desastres...” incluyendo tanto amenazas de origen natural como antrópico (CMGRD de Mocoa, 2013).

Entre los objetivos específicos de dicho plan es importante citar: 1. La incorporación e implementación de la gestión del riesgo de desastres a través de la planificación del desarrollo y la priorización de los recursos humanos, materiales y financieros y 2. Definir la estructura interinstitucional para la preparación, alerta, respuesta y recuperación oportuna y efectiva de emergencia y/o desastre.

7.1.1 Estructura del Concejo municipal de gestión del riesgo y componente programático del plan municipal de gestión del riesgo del municipio de Mocoa

A continuación, se presenta la estructura municipal de participantes del Concejo Municipal de Gestión del Riesgo (CMGRD) sumado al objeto y el contenido programático del plan municipal de gestión del riesgo, el cual cuenta además de los diferentes programas citados a continuación un organigrama, actividades asignadas y presupuestos para su financiación. El componente programático esta formulado para una ejecución de tres años (2012-2015) y un presupuesto aproximado de veinte mil millones de pesos de los cuales no existe información clara de su inversión o cumplimiento a la fecha.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

De acuerdo con el PMGRD del 2013 el CMGRD está conformado por los siguientes actores: alcalde municipal, Secretario de salud municipal, Secretario de obras e infraestructura municipal, secretario de gobierno, secretario de planeación y obras públicas, Gerente de la empresa de servicios públicos municipal, Director de Corpoamazonia como autoridad ambiental, director seccional de la defensa civil, presidente de la cruz roja colombiana, comandante de cuerpo de bomberos voluntarios, comandante policía y ejército y el coordinador municipal de gestión del riesgo (PMGRD, 2013).

7.2 Articulación del PMGRD con el plan de desarrollo municipal 2016 – 2019 del municipio de Mocoa

De acuerdo con el plan de desarrollo municipal del municipio de Mocoa para el periodo 2016 – 2019 en cuanto a la gestión del riesgo y la ejecución de programas relacionados. Adicionalmente en dicho plan de desarrollo se hace un diagnóstico del estado actual de acciones en cuanto a la gestión del riesgo municipal.

Entre las diversas acciones y su diagnóstico el citado plan de desarrollo es explícito en citar que el PMGRD desde su formulación no ha sido socializado con la comunidad del municipio y con los actores principales, adicionalmente, se asegura que los recursos para la ejecución del PMGRD no se gestionaron por parte de las autoridades locales en el periodo anterior (2012 -2015).

Entre los objetivos y acciones del plan de desarrollo del municipio para la vigencia 2016 – 2019, se plantea complementar y revisar los estudios de amenazas que cumplan los requisitos de acuerdo con la ley 1388 de 1997, 1523 de 2012 de gestión del riesgo y el decreto 1807 de 2014. En la pasada vigencia la alcaldía municipal desarrollo actividades encaminadas al conocimiento del riesgo mediante estudios de sectores críticos en los barrios Libertador, Villa Rosa I y II, San Joaquín y Palmeras desarrollados por el Servicio Geológico Nacional (2015) e informes técnicos adelantados por Corpoamazonia en las veredas Taruca y barrios Libertador, Pablo VI y San Joaquín (Alcaldía de Mocoa, 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, sumado a la expiración de la vigencia del PBOT del municipio de Mocoa vigente sin reformular y el evento catastrófico de avenida torrencial del 31 de marzo de 2017 en la actualidad se desarrolla la formulación del PBOT del municipio de acuerdo con los lineamientos del gobierno nacional a través del ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y acompañados del Departamento Nacional de Planeación.

Como resultado de los estudios desarrollados por el Servicio Geológico Nacional (2015 – 2016) en barrios ubicados en zonas críticas en condición de amenaza geológica y fluviotorrencial y de manera previa al evento de avenida torrencial del 31 de marzo de 2017, el plan de desarrollo pretendía gestionar la reubicación de 291 edificaciones,

	<p>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

87 ubicadas en el barrio libertador, 140 en los sectores Villa Rosa 1 y 2, 55 del barrio Cinco de Enero y 9 del Barrio La colina. Los procesos de reubicación se adelantaron previamente en el anterior periodo de vigencia de la administración municipal con la reubicación de 35 hogares, 158 hogares de la vereda Nueva Esperanza y 96 hogares de la Vereda 15 de mayo, mediante apoyo de la gobernación del Putumayo y la ACNUR (Alcaldía de Mocoa, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior planteado en el plan de desarrollo municipal vigencia 2016 – 2019, debido a la situación de calamidad que evidencia a la fecha el municipio por el evento catastrófico de avenida torrencial del 31 de marzo de 2017, muchos alcances y acciones del citado plan de desarrollo han sido modificados o perjudicados debido a las acciones a desarrollar por parte del municipio y demás entidades del orden nacional para la recuperación de los efectos en el desarrollo del municipio a raíz del acontecimiento de dicho evento catastrófico.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

8 DIAGNOSTICO DE LOS ELEMENTOS DEL SAT ACTUALES

Actualmente en las zonas en condición de amenazas por avenida torrencial en el municipio de Mocoa generadas en las microcuencas de los ríos Mulato, Sangoyaco y quebradas Taruca y Taruquita, cuentan con dos iniciativas relativas a los sistemas de alerta temprana desarrolladas posteriormente al evento catastrófico de avenida torrencial del 31 de marzo de 2017. La primera se desarrolló en la etapa de atención a la emergencia y estabilización de las condiciones desarrollada en convenio entre la UNGRD y el Sistema de Alerta Temprana del Área Metropolitana del Valle de Aburra, conocido por sus siglas como SIATA – AMVA con el objeto de instalar equipos de monitoreo hidrometeorológico en las microcuencas en las cuales se generó el citado evento en jurisdicción del municipio de Mocoa con el objeto de monitorear condiciones hidrometeorológicas en la cuenca y los niveles de los flujos de los ríos Sangoyaco y Mulato (SIATA – AMVA, 2017), la segunda iniciativa se desarrolla actualmente por parte de la UNGRD – SGRD mediante el contrato que se ejecuta por parte del contratista Federman Comunicaciones con el objeto de suministrar equipos de monitoreo, sistemas de control y comunicación de las alertas en el marco del SAT por avenida torrencial en fase de diseño del municipio de Mocoa (Federman comunicaciones, 2017). A continuación, se detallan diversos aspectos técnicos y operativos de estas iniciativas.

8.1 Elementos de monitoreo hidro - meteorológico en el marco del SAT para avenida torrencial desarrollados por SIATA - AMVA

Estas acciones se desarrollaron con el objeto de monitorear las condiciones de las corrientes de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas Taruca y Taruquita a través de la instalación de los equipos de monitoreo hidro – meteorológico discriminadas en dos estaciones pluviométricas, una estación meteorológica y dos estaciones de nivel de flujo instalados en los cauces.

El diseño y la instalación de dichos equipos se desarrolló en la fase de atención de la emergencia generada por el evento catastrófico de avenida torrencial del 31 de marzo de 2017, exactamente entre las fechas 11 al 14 de abril de 2017 (SIATA – AMVA, 2017) razón por la cual la función específica de su instalación inicialmente fue monitorear las condiciones hidrometeorológicas de las cuencas en estudio para prevenir y mitigar posibles efectos negativos debido a la generación de eventos de avenida torrencial, inundaciones o movimientos en masa de las microcuencas objeto en el municipio de Mocoa transcurrido poco tiempo después de la ocurrencia del citado evento catastrófico con el objeto de que las autoridades locales y nacionales contaran con información que les permitiera monitorear condiciones amenazantes, comunicar la respuesta y activar los protocolos de emergencia en las fases de atención y estabilización de la emergencia.

	<p align="center"><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

8.1.1 Características generales de los equipos instalados en el marco del SAT para avenida torrencial por parte del SIATA – AMVA

A continuación, se presentará una breve descripción de las características y ubicación de los citados equipos instalados y en operación por parte del SIATA – AMVA.

8.1.1.1 Estaciones pluviométricas

Las estaciones pluviométricas se instalaron en las partes altas de las microcuencas de la quebrada Taruca y río Mulato con el objeto de monitorear la evolución e intensidad de las precipitaciones en el tiempo y a partir de dicha información sumado al análisis de información topo batimétrica, hidro - meteorológica e hidráulica determinar umbrales de precipitación que pueden generar condiciones de amenaza como es el caso de inundaciones, avenidas torrenciales o movimientos en masa. En la transmisión o comunicación de datos en tiempo real, la estación vereda San Antonio cuenta con transmisión de datos a través de la banda de radio de onda corta, por su parte la estación vereda Mulato transmite sus datos mediante la red de telefonía celular – Banda GSM del operador Claro únicamente, por lo cual existe una dependencia de la prestación y continuidad del servicio del citado operador.

8.1.1.2 Estación meteorológica

Esta es una estación meteorológica del tipo compacta completa con sensores como: pluviómetro, termómetros, velocímetros de viento, higrómetro, piranómetro (sensor de nivel de radiación). Se encuentra ubicada en el edificio principal de la policía municipal, en la dirección carrera 9 entre la calle 7 y la calle 8. En el techo de dicha edificación a una altura superior a 10 metros desde el suelo. Su fuente de energía actual se desarrolla mediante el servicio público de energía, no cuenta con fuentes de energía alternativas o de respaldo. Dicha estación cuenta con un datalogger para el almacenamiento de la información medida en tiempo real y la transmitida por la estación pluviométrica San Antonio y se comunica en tiempo real con los servidores de almacenamiento y análisis de la información mediante la red de telefonía celular – Banda GSM del operador Claro únicamente, por lo cual existe una dependencia de la prestación y continuidad del servicio del citado operador (SIATA – AMVA, 2017).

8.1.1.3 Sensores de niveles de flujo en las corrientes

Estos permiten monitorear en tiempo real los niveles de la lámina de agua transportados por la corriente a escala temporal de subminutos, almacenarse y transmitirse en tiempo real. La fuente de energía de estos sensores es mediante el servicio público de energía y no cuenta con fuentes de energía secundarias o de respaldo, su

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

comunicación se realiza mediante la red de telefonía celular – Banda GSM del operador Claro únicamente, por lo cual existe una dependencia de la prestación y continuidad del servicio del citado operador (SIATA – AMVA, 2017).

El sensor sobre el río Sangoyaco se encuentra ubicado en la parte baja de la cuenca a aproximadamente a 1 kilómetro de su desembocadura en el río Mocoa, en el puente ubicado sobre la vía entre las calles 10 y 11A, aprovechando las facilidades de instalación y sección transversal uniforme del cauce en este sector. Por su parte, el otro sensor de nivel se encuentra ubicado en la parte baja de la cuenca del río Mulato a menos de 1 kilómetro de su desembocadura en el río Mocoa, en el puente sobre la vía de la carrera 3 con calle 7, dicho puente presenta facilidades para la instalación y mantenimiento del sensor debido a ubicarse en un sitio de fácil acceso, seguro y contar con secciones transversales definidas y fijas que facilitan su funcionamiento.

8.1.2 Consideraciones, fortalezas y limitaciones del equipamiento y funcionamiento actual de los equipos de monitoreo instalados por el SIATA – AMVA

Teniendo en cuenta que el diseño, instalación y funcionamiento de dichos equipos se desarrolló en fase de la atención de la emergencia causada por el evento de avenida torrencial del 31 de marzo de 2017, a escasos 10 días de la fase de atención desarrollada por el sistema de emergencia municipal y nacional, por lo que su objeto es contar con elementos e información para el monitoreo hidro – meteorológico que permitan en la fase de atención y estabilización de la emergencia, prevenir la ocurrencia de eventos secundarios similares de menor, mayor o igual magnitud, disminuyendo los daños generados y en caso de presentarse activar protocolos de respuesta y emergencia en las zonas en condición de amenaza.

Al considerar las características, funcionamiento y operatividad de estos equipos en el marco de un SAT integral para avenida torrencial en el municipio de Mocoa, resulta necesario desarrollar ciertas acciones para mejorar el funcionamiento de dichos equipos de monitoreo y sistemas de gestión, almacenamiento y publicación de la información, que a continuación se especifican.

- Para la instalación y ubicación de las estaciones pluviométricas, meteorológicas y sensores de nivel, no existe o no se presenta en la documentación que sustenta el diseño del sistema, bajo qué criterios hidrológicos, meteorológicos, hidráulicos, geotécnicos, entre otros se definieron las características técnicas de los equipos y su ubicación espacial en las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco. Estos aspectos son fundamentales tenerlos en cuenta para un SAT de avenidas torrenciales debido a que mientras sea más óptimo y preciso el monitoreo de las variables en términos de su ubicación y

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

características de los equipos, la precisión y fiabilidad de la emisión de las alertas será mayor, así como la capacidad de respuesta de la población expuesta, situación que es crítica en el marco de un SAT de avenida torrencial debido a los cortos tiempos de materialización y ocurrencia de los eventos.

- Las fuentes de alimentación de energía para el funcionamiento de la mayoría de los equipos instalados se desarrollan mediante el servicio público de energía y no cuentan con fuentes de energía secundarias o alternativas, como es el caso de baterías, paneles solares, ups que le permitan garantizar su funcionamiento en caso de fallas en la continuidad del servicio eléctrico. Esta situación es crítica debido a que resulta fundamental en el diseño de un SAT para avenidas torrenciales que cuente con resiliencia y robustez en el funcionamiento de los equipos de monitoreo debido al poco tiempo de respuesta para actuar y minimizar los daños que brindan este tipo de eventos. Esta observación se justifica en las consecuencias del evento de avenida torrencial ocurrido el 31 de marzo de 2017, en donde el fluido eléctrico en el municipio fallo antes, durante y después del evento de avenida torrencial.
- En cuanto al sistema de comunicación y transferencia de datos registrados por los equipos a las plataformas o servidores de almacenamiento de la información se realiza mediante la red telefónica celular mediante la banda GSM a través del operador Claro, dicha condición hace vulnerable al sistema debido a que la transmisión de datos registrados por los equipos en campo depende de una red de comunicación prestada por un tercero, adicionalmente la transferencia de datos depende de la cobertura, calidad y continuidad de su sistema. También, estas redes de telefonía celular en caso de fallas o cortes en el servicio público de energía su servicio se interrumpe o se limita en términos de capacidad de transmisión de datos y cobertura del servicio. Esta situación hace vulnerable al SAT en términos de la comunicación de datos en tiempo real o cuasi – real, condición crítica debido a los tiempos y magnitud de la ocurrencia de un evento de avenida torrencial.
- La ubicación de los sensores de nivel de flujo en las corrientes, se encuentran ubicados en la parte baja de la cuenca a pocos metros de la desembocadura de los ríos, en un tramo de la cuenca en donde los flujos de agua y detritos transportados ya han transitado por múltiples zonas que generan condición de amenaza en la parte alta, media y baja de la cuenca. Por lo cual su función como elemento del sistema que permita emitir de manera efectiva niveles de alerta a través de los umbrales obtenidos mediante modelos acoplados, no será efectivo en el caso de eventos de avenida torrencial en los cuales por su origen y desencadenamiento en el cual se suman tiempos de concentración bajos, movimientos en masa

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

en la parte alta y media de la cuenca, posibilidad de represamientos o resuspensión de detritos del cauce, su funcionamiento óptimo se proyecta en la parte alta y media de las cuencas, en donde se puedan registrar los cambios en la altura de la lámina de agua, los regímenes de flujo, sus tasas de cambio entre otros aspectos. Por lo cual, las ubicaciones de estos sensores de nivel en el marco del SAT en su ubicación actual servirán como herramienta de monitoreo para el seguimiento del recurso hídrico y fuente de información de la corriente que permitan optimizar los procesos de calibración y validación de modelos hidrológicos, meteorológicos e hidráulicos desarrollados en el marco del SAT o de la gestión del recurso hídrico.

- La operación y control de los elementos del sistema en la actualidad durante la fase de atención, estabilización y recuperación del evento de avenida torrencial ocurrido el 31 de marzo de 2017 se realiza en su totalidad por el SIATA – AMVA, situación que limita la articulación y robustecimiento del SAT sumado a que al no participar en su operación, las autoridades locales encargadas de la gestión del riesgo no cuentan con la iniciativa y capacidad de apropiarse de dichos elementos del SAT en fase de construcción y mediante esta articulación garantizar su sostenibilidad en el futuro posterior a la fase de atención de emergencia del evento de avenida torrencial ocurrida el 31 de marzo de 2017.

8.2 Elementos del SAT actual por avenida torrencial implementados a través de la ejecución del contrato celebrado con la empresa Federman Comunicaciones S.A.S.

En el marco del decreto de calamidad pública y situación de desastre en el municipio de Mocoa a raíz del evento de avenida torrencial ocurrido el 31 de marzo de 2017, se suscribió el contrato de suministro con la empresa Federman Comunicaciones, cuyo objeto literal de acuerdo con el contrato es: *“Suministro del sistema de alerta temprana por avenida torrencial y crecientes súbitas generadas por precipitaciones en la microcuenca de los ríos Mulato, Mocoa, Sangoyaco, Quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa – Putumayo”* (Contrato No. 9677 – PPAL001 – 289 – 2017), mediante el cual se adquirieron, instalaron y se encuentran en funcionamiento equipos tecnológicos para instrumentar diversos componentes del SAT en las microcuencas. En el caso de equipos de monitoreo de condiciones hidráulicas, se encuentran sensores de nivel telemétricos para el monitoreo de niveles en la corriente, sumado a equipos de monitoreo de condiciones hidro - meteorológicas como pluviómetros y estaciones meteorológicas multiparametricas compactas. En el caso de la comunicación de las alertas, los equipos constan de sistemas de sirenas y equipos de comunicación local como es el caso de radioteléfonos. También, se contempló el sistema de comunicación de datos entre dichos equipos mediante hardware y software que permiten el almacenamiento y gestión de datos monitoreados en tiempo real y a través de medios remotos.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Adicionalmente, se desarrolló una plataforma web para la gestión de datos generados por los sensores y almacenados en servidores, mediante el cual se almacenan, monitorean y a través de un software es posible la generación de alertas. Dichos equipamientos a la fecha (noviembre 2017) se encuentran en fase de instalación y pruebas preliminares los cuales se integrarán al presente diseño del SAT objeto del presente proyecto.

El objetivo de la implementación de sirenas en los sectores de amenaza urbanos y peri urbanos, sensores de nivel en las corrientes susceptibles a presentarse avenidas torrenciales, pluviómetros y estaciones hidro-meteorológicas y equipos de transmisión de datos, monitoreo y almacenamiento es contar con elementos físicos en operación, los cuales puedan integrarse a un SAT junto con los elementos de conocimiento del riesgo, monitoreo, pronóstico, emisión de alertas, comunicación y capacidad de respuesta, para los fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales en las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa. A continuación, se describen las características de dichos equipos suministrados en el marco del citado contrato, puntualmente para las cuencas en estudio debido a que el alcance de dicho contrato abarca una mayor extensión en términos hidrográficos.

8.2.1 Sistema de comunicación de alertas mediante sirenas y equipos de radioteléfono

El sistema adquirido e instalado cuenta con doce unidades de sirenas, las cuales constan de las siguientes partes: set de bocinas de 8 unidades, poste de 12 metros de alto, sistema eléctrico de alimentación mediante paneles solares y de comunicación vía radio para activación remota (Federman comunicaciones, 2017), para más detalles de las especificaciones técnicas de dichos equipos se recomienda revisar la minuta del citado contrato.

La ubicación de estas unidades de sirenas se efectuó de acuerdo con el criterio técnico por parte del ejecutor del contrato, Federman comunicaciones y el comité municipal de gestión del riesgo de desastres, teniendo en cuenta criterios como ubicación en zonas de amenaza o afectación tanto en el área urbana del municipio como en zonas rurales, cobertura de acuerdo con la potencia de emisión de sonido de cada unidad, facilidad de instalación en términos de la propiedad del suelo, resistencia de la cimentación, seguridad del equipamiento frente a daños o vandalismos, facilidad y capacidad de comunicación de datos y resiliencia frente a los eventos generadores de riesgo frente a los que puede estar expuesto (Federman comunicaciones, 2017).

En las zonas de amenaza por avenida torrencial en las microcuencas objeto se ubican en total once unidades de sirenas para la comunicación de la alarma en su mayoría ubicadas en la zona urbana del municipio de Mocoa, en

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

los barrios o sectores conocidos como: 17 de Julio, Miraflores, Independencia, San Agustín, José Homero, Reserva, Carmen, 1 de enero, Villa Caimaron, San Fernando y Prados.

Los equipos de sirenas se operan y activan de manera remota a través de la intercomunicación desde el centro de operaciones de activación ubicado actualmente en el casco urbano en la estación de policía municipal mediante el equipo radio base. Los sistemas de bocinas funcionan tanto para la emisión de diferentes tipos de alarmas como para el perifoneo mediante el cual se pueden brindar mensajes a la comunidad de diversa índole. Estas unidades de sirenas cuentan con una potencia de 120 vatios y 102 dBc a 30 mts (Federman Comunicaciones, 2017). Estos sistemas cuentan con fuente de alimentación de energía sistemas de baterías fotovoltaicas las cuales se cargan a través de energía solar con paneles ubicación en el poste de instalación, permitiéndole una autonomía de uso de la unidad por tres horas continuas de funcionamiento.

En cuanto a los equipos de radio portátil digital mediante los cuales es posible tener comunicación a través de las señales de radio de onda corta con cobertura a lo largo del municipio entre los diferentes equipos con que se cuenten siendo una forma de comunicación resiliente debido a que no se depende de redes públicas de celulares, energía o cableado de telefonía debido a que dicho sistema cuenta con baterías para su operación y sistemas para carga fijos del equipo a través de paneles solares.

Como alcance del contrato se contemplaron 20 unidades portátiles y una estación radio base de control la cual se encuentra ubicada actualmente en la estación de policía del casco urbano municipal, los cuales, entre sus especificaciones técnicas, es importante citar el GPS interno, funciones de hombre caído, compatibilidad con redes análogas, entre otros. Los equipos de radiocomunicación existentes como parte del equipamiento del SAT en construcción, la función de estos equipos es tanto la de contar con un medio de comunicación resiliente con las comunidades en condición de amenaza para la comunicación de alertas, como la obtener información de la comunidad respecto a condiciones o variables observables que pueden indicar la ocurrencia de un evento amenazante, en el caso de avenidas torrenciales, situaciones como deslizamientos en la cuenca, taponamiento de los cauces, aumento o disminución súbita de flujos de las corrientes, tormentas o precipitaciones de alta intensidad, entre otros, especialmente en las zonas altas de las cuencas en estudio, donde al ser zonas rurales y de difícil comunicación podrían implementarse dichos equipos para tener comunicación directa tanto para el monitoreo comunitario como para la comunicación de alertas.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p>	
<p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>		

A la fecha dichos equipos se encuentran distribuidos entre las autoridades locales de la gestión del riesgo y del sistema de respuesta a emergencias (bomberos, defensa civil, cruz roja, funcionarios de la alcaldía) y vigías voluntarios de la comunidad los cuales se les reporta y consulta permanentemente sobre las condiciones hidroclimatológicas y regímenes de flujo en las corrientes objeto.

8.2.2 Sensores de nivel de flujos en las corrientes del componente de monitoreo del SAT

Los sensores de nivel para el monitoreo de las corrientes hídricas generadoras de amenazas se encuentran instalados, operando y en proceso de ajuste, en total son ocho equipos entre sus características principales se encuentran un sensor ultrasónico que permite medir la altura de la lámina de agua, su rango de nivel esta entre 0,5 a 6 metros sumado a un sensor de temperatura. La transmisión de sus datos en tiempo real se realiza vía radio UHF, adicionalmente los equipos cuentan con data logger para el almacenamiento de datos autónomo. Su fuente de energía es fotovoltaica, la cual cuenta con panel solar y batería que brinda una autonomía de 72 horas en caso de falla en el suministro.

En cuanto la ubicación espacial de estos sensores, su instalación en las corrientes se desarrolló de acuerdo con criterios de la empresa Federman comunicaciones, como es el caso de que parte de estos se ubicaran en la parte más alta de la cuenca, fácil acceso para su control y mantenimiento, facilidad en sus comunicaciones, lugares seguros para su emplazamiento, secciones del cauce uniformes que permitieran un monitoreo constante de la lámina de agua. Teniendo en cuenta estos aspectos se instalaron los sensores de nivel con la siguiente distribución en la quebrada Taruquita en su parte alta, como principal afluente de la quebrada Taruca, en esta se instaló un sensor en su parte alta y metros aguas abajo de la confluencia de la quebrada Taruca en la Taruquita, en su cuenca media en esta misma quebrada se encuentra un sensor en el sector la piscina en zona rural de la vereda San Antonio. En el caso del río Sangoyaco se instaló un sensor en su parte alta posterior a la zona de alta pendiente de la corriente, aguas abajo de este sector y antes del área urbana se instaló otro sector en el sector llamado Garganta. Finalmente, en el río Mulato el sensor aguas arriba se ubica en inmediaciones de la bocatoma del acueducto municipal Las Palmas y aguas abajo en las ruinas del antiguo puente Chantoyaco a aproximadamente 4 kilómetros del área urbana. En la **Figura 8-1**, se presenta a manera de esquema extraído de Google Earth (2017) la ubicación espacial aproximada de los sensores en las microcuencas objeto.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

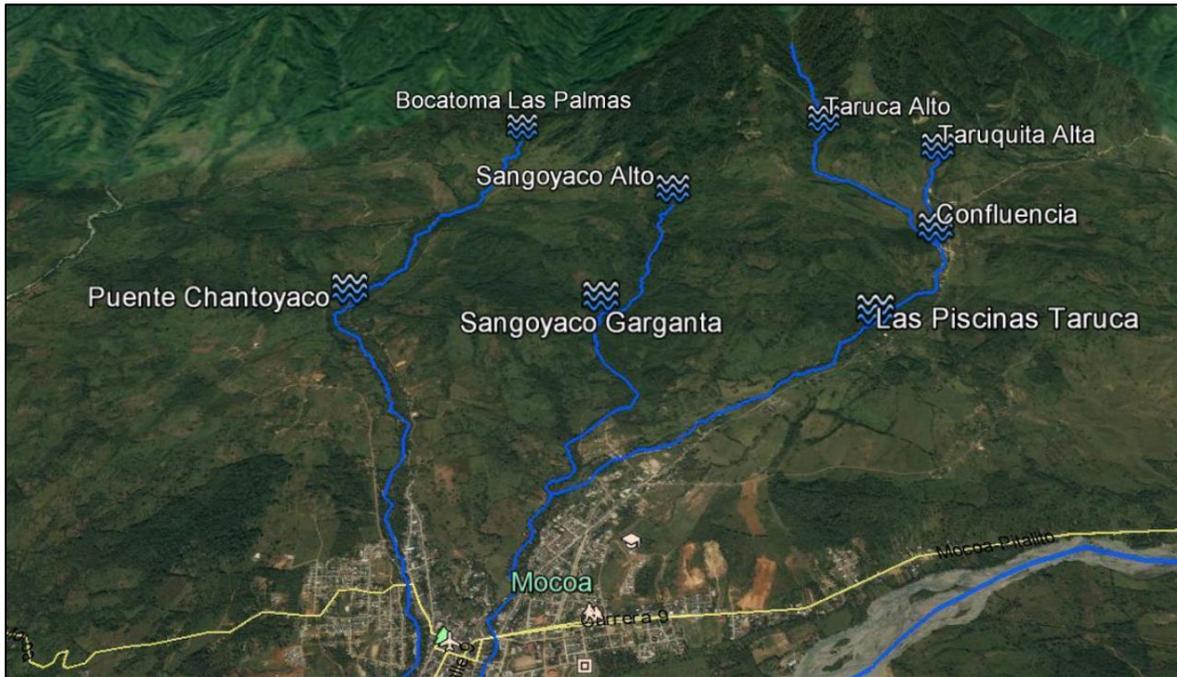


Figura 8-1. Esquema grafico de la ubicación espacial de los sensores de nivel instalados en los ríos Sangoyaco y Mulato y las quebradas Taruca y Taruquita extraído de Google Earth (2017). Fuente: Federman Comunicaciones (2017)

8.2.3 Estaciones hidro - meteorológicas multiparametricas compactas

En el marco del citado contrato se suministraron cuatro estaciones hidro-meteorológicas compactas multiparametricas las cuales cuentan con los sensores que cuentan con la capacidad de medir las siguientes variables: Pluviómetro la cual mide la intensidad de la precipitación en el tiempo, barómetro que mide la presión atmosférica, termómetro que mide la temperatura ambiente en el tiempo, anemómetro y veleta que miden la velocidad y dirección del viento e higrómetro que mide la humedad relativa. La transmisión de datos la realizan mediante radio UHF y su fuente de energía es mediante energía fotovoltaica obtenida a través de paneles solares y baterías que le dan una autonomía de 72 horas de respaldo (Federman comunicaciones, 2017).

Las estaciones se ubicaron a partir de los criterios técnicos utilizados por Federman Comunicaciones (2017) como es el caso de cobertura espacial, seguridad y fácil acceso, ubicación en partes altas de las microcuencas a partir de dichos criterios se ubicaron estas en la microcuenca de la quebrada Taruca y Taruquita, las estaciones Campucana ubicada en el costado oriental de la microcuenca de la quebrada Taruquita, la estación Taruca ubicada a aproximadamente un kilómetro aguas arriba de la confluencia de las quebradas Taruca y Taruquita, la estación cristalina ubicada en la parte alta de la microcuenca del río Sangoyaco en inmediaciones de la divisoria de aguas

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

de las microcuencas de los ríos Sangoyaco y Mulato. Finalmente, en la parte alta de la microcuenca del río Mulato, en inmediaciones de la bocatoma del sistema de acueducto del área urbana (Federman Comunicaciones, 2017).

8.2.4 Sistema de telemetría y comunicación integrado del equipamiento del SAT

Este sistema de monitoreo actual del SAT cuenta con elementos adicionales de transmisión de datos vía radio y un centro de monitoreo mediante el cual se recibe y almacena la información registrada por los sensores de nivel y las estaciones hidro-meteorológicas, como es el caso de diversos equipos repetidores de las señales enviadas por los sensores y también mediante el cual se activan los sistemas de sirenas. Este centro de monitoreo y control se encuentra ubicado actualmente en la estación de policía del casco urbano del municipio, mediante la cual se reciben los datos de los sensores, se almacenan y gestionan los datos en servidores para después procesarse mediante software especializado. Adicionalmente, este centro de monitoreo cuenta con la radio base del sistema de radioteléfonos y el equipo para la operación y activación de las sirenas para comunicar la ocurrencia del evento. Los equipos de monitoreo, tanto las estaciones meteorológicas como los sensores de nivel transmiten los datos en tiempo real vía radio y se transmiten a través de repetidores, finalmente dicha información es capturada, procesada y almacenada como datos alfanuméricos en el servidor, a partir del software diseñado para la gestión de la información se visualiza la información, se procesa e interpreta para los tomadores de decisión involucrados en el sistema y los usuarios generales, como puede ser a través de plataformas web.

8.2.5 Consideraciones, fortalezas y limitaciones del equipamiento y funcionamiento actual de los equipos de monitoreo instalados en el marco del contrato con Federman Comunicaciones S.A.S.

Como principal consideración respecto a la fase de diseño de equipamiento del SAT resulta importante tener en cuenta que la cantidad, ubicación y demás consideraciones para la instalación del equipamiento instalado por Federman Comunicaciones S.A.S. se desarrolló previamente a los estudios meteorológicos, geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos que se efectúan en el marco del presente proyecto, los cuales tienen por objeto el pronosticar, formular umbrales de variables y determinar zonas de amenaza, por lo cual los criterios de instalación del equipamiento obedecen principalmente a criterios propios del equipo técnico de la empresa Federman comunicaciones, como es el caso cobertura en la distribución espacial en las microcuencas objeto y zonas de amenaza, seguridad y estabilidad en los sitios en los cuales se instalaron, facilidad en la comunicación de datos entre los equipos y el servidor que procesa los datos, entre otros.

Resulta importante tener en cuenta que como productos del presente diseño de SAT, se pretende complementar el equipamiento de monitoreo y comunicación del SAT de acuerdo con los resultados de la modelación

 <p>NGRD Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres</p>	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	 <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Bogotá</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

meteorológica, geomorfológica, hidrológica e hidráulica de los eventos de avenida torrencial y la delimitación de las zonas de amenaza de acuerdo con la magnitud y frecuencia de los eventos, a partir de los cuales se complementarán los equipos de monitoreo existentes con equipamiento adicional y se contara con los pronósticos, umbrales y reglas de operación de las variables hidrometeorológicas y geomorfológicas para la emisión de alertas frente a la materialización del evento de avenida torrencial o inundación.

Al considerar las características, funcionamiento y operatividad de estos equipos en el marco de un SAT integral para avenida torrencial en el municipio de Mocoa, resulta necesario desarrollar ciertas acciones para mejorar el funcionamiento de dichos equipos de monitoreo y sistemas de gestión, almacenamiento y publicación de la información, que a continuación se especifican.

- Respecto a los sensores de nivel instalados en las diferentes corrientes objeto resulta fundamental en una etapa posterior a los resultados obtenidos de la modelación integrada de los eventos de avenida torrencial e inundación revisar la ubicación actual de los sensores instalados a la fecha con el objeto de optimizar el funcionamiento de la red de monitoreo de acuerdo con criterios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos como es el caso de secciones y umbrales de detección, tiempos de respuesta hidrológica de la cuenca, estabilidad en términos geomorfológicos en la ubicación de los sensores, entre otros.
- Respecto a las estaciones hidro-meteorológicas instaladas las cuales tienen como objeto monitorear y pronosticar la posible ocurrencia de eventos de avenida torrencial, inundaciones y movimientos en masa en la cuenca a través de parámetros hidro-meteorológicos, resulta fundamental revisar la ubicación de las estaciones actuales frente a los resultados de los modelos meteorológicos e hidrológicos y sus umbrales con el objeto que se obtengan umbrales de variables precisos que permitan generar en el menor tiempo posible las alertas en el caso de la materialización o indicios de un evento de avenida torrencial o inundación generador de amenaza.
- En cuanto a los umbrales de las variables monitoreadas hidro – meteorológicas como es el caso de la precipitación, humedad relativa, régimen del viento, temperatura sumado a la información meteorológica monitoreada a escala regional resulta fundamental complementar el software existente para la gestión, visualización y emisión de alertas que se añadan scripts de programación para integrar dichos umbrales y robustecer los procesos de emisión de alertas del SAT.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

- Respecto al equipamiento de comunicación de alertas como es el caso de las unidades de sirenas instalados en una fase posterior a la determinación de las zonas de amenaza y su grado de afectación, se propone revisar la ubicación y el funcionamiento de las unidades de sirenas, teniendo en cuenta principalmente su ubicación en las zonas de amenaza, brindado una mayor prioridad a las zonas ubicadas en amenaza alta. Adicionalmente, se considera fundamental desarrollar análisis de la potencia de cobertura y calidad del sonido emitidas por estas sirenas mediante profesionales y equipos especializados con el objeto de evaluar el funcionamiento y la eficacia del sistema de comunicación y si es necesario reubicar dichos equipos, aumentar su cobertura a través de la instalación de nuevos equipos de sirenas, optimizar sus recursos, entre otros, aspectos.
- Respecto a la ubicación del centro de monitoreo y control del SAT ubicado actualmente en las instalaciones del comando de la policía municipal resulta fundamental que el CMGRD evalué la pertinencia de la ubicación de dicho centro de monitoreo y control en dicho sitio a partir de criterios como, autonomía en el ingreso de personal 24 horas y decisiones respecto a la operación del centro, acceso y continuidad a servicios públicos y de comunicaciones (internet, telefonía, energía), recursos computacionales independientes, facilidad de comunicación con las autoridades locales de gestión del riesgo o de respuesta de emergencia mediante medios resilientes, entre otros aspectos.

8.2.6 Equipos de comunicación para la comunidad suministrados por el CMGRD – UNGRD

En el mes de octubre de 2017 previo al desarrollo de la actividad del *sexto simulacro nacional de evacuación* organizado por la UNGRD y desarrollado el 25 de octubre de 2017, se suministraron a los líderes comunitarios de los diferentes barrios y sectores del municipio de Mocoa, los cuales cuentan con su asociación y personería jurídica. Además, en los cuales el CMGRD y el equipo técnico de la UNGRD que atiende la fase de emergencia han desarrollado procesos de socialización, conocimiento del riesgo, funcionamiento del SAT y capacitación para aumentar las capacidades de respuesta de la población. A dichos líderes comunitarios se les suministraron en total 50 megáfonos, los cuales resultan fundamentales en las etapas de comunicación de la alerta en caso de materialización del evento de avenida torrencial. También, dichos megáfonos pueden utilizarse para promover el conocimiento del riesgo en las comunidades a través de mensajes directos a la población sumada a la capacidad de respuesta mediante el desarrollo de actividades como ejercicios de evacuación comunitaria o en instituciones, entre otros.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Adicionalmente, a los líderes comunitarios se les suministro chalecos reflectivos con el objeto de que cuenten con indumentaria representativa en la comunidad y en el caso de la ocurrencia del evento estos puedan ser identificados por las comunidades locales.

Resulta fundamental articular la entrega de dichos equipos con la adecuada capacitación y protocolos para su uso por parte de los líderes comunitarios o personal encargado de su uso en la gestión del riesgo a escala de la comunidad en el municipio de Mocoa, con el objeto de que dicha persona encargada de su uso conozca que protocolos y acciones debe tomar frente a la emisión de alertas por eventos amenazantes de acuerdo con su rango, su papel en el marco de la gestión del riesgo municipal y comunitario, actividades programadas por el CMGRD y el comité comunitario para impartir conocimientos del riesgo, capacidad de respuesta, funcionamiento y protocolos del SAT, entre otros.

9 COMUNICACIÓN, DISEMINACIÓN Y CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

Como componentes del diseño de un sistema de alerta temprana, es posible identificar diversos elementos de acuerdo con diferentes enfoques metodológicos adoptados en diferentes latitudes dependiendo de las características de la población expuesta o las particularidades de los eventos naturales generadores de la amenaza. A partir de lo anterior, se adoptan los componentes generales propuestos por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, conocida por sus siglas en inglés como UNISDR, como marco general de componentes en la implementación del SAT para el municipio de Mocoa, los cuales se citan a continuación (CIIFEN, 2017).

- a. **Monitoreo y pronóstico:** consiste en el monitoreo de variables hidrometeorológicas, geológicas y geomorfológicas como principales fenómenos que contribuyen a la generación de eventos de inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales, mediante el monitoreo y análisis de dichas variables es posible anticiparse o pronosticar la ocurrencia de eventos potencialmente amenazantes para posteriormente comunicar una condición de alerta a la población expuesta y proceder al desarrollo de las acciones de respuesta.
- b. **Conocimiento del riesgo:** este componente se basa en el conocimiento tanto de la amenaza como de la vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales generadores de condición de riesgo a los cuales está expuesta la población, en términos de amenaza basándose en determinar su daño potencial de acuerdo

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

a características o variables (altura de la lámina de agua, velocidad de flujo, tipo de flujo, movimientos en masa) y probabilidad de ocurrencia de eventos en el tiempo y magnitud del mismo (periodo de retorno o recurrencia en el tiempo) mediante la caracterización y espacialización de las zonas de amenaza. En cuanto a la vulnerabilidad se refiere al grado de fragilidad de un territorio ante un fenómeno natural adverso, considerando sus aspectos biofísicos y socioeconómicos, por lo que depende de indicadores físicos, sociales, económicos, demográficos entre otros. En el caso de la vulnerabilidad física o elementos expuestos hace referencia a los elementos expuestos localizados en las zonas en condición de amenaza que en menor o mayor grado de acuerdo a sus características intrínsecas son susceptibles de afectarse en el caso de materializarse un evento natural generador de amenaza.

- c. **Comunicación y diseminación:** mediante el cual se busca hallar los medios más eficientes de comunicación y difusión de alertas, mediante mensajes claro que ofrezcan información útil, emitidos por las instituciones encargadas de la operación del SAT y articulados con los sistemas de atención de emergencias.
- d. **Capacidad de respuesta:** su objeto es fortalecer la capacidad de la comunidad o población expuesta para actuar frente a una alerta de amenaza de manera adecuada, lo cual es posible lograrlo mediante una adecuada capacitación sobre los riesgos de amenazas naturales, el monitoreo y los medios de comunicación y tipos de alerta sumado a acciones como las evacuaciones, simulacros, acciones de reducción del riesgo que contribuyan a reducir la vulnerabilidad a la cual está expuesta la población sumado a las capacidades de actuar frente a la materialización de un evento amenazante.

A continuación, se presentan los componentes de diseño del SAT en cuanto al monitoreo y pronóstico o predicción, la comunicación y diseminación y la capacidad de respuesta para el SAT por avenidas torrenciales y crecientes súbitas de las microcuencas de los ríos Sangoyaco y Mulato y las quebradas Taruca y Taruquita en el municipio de Mocoa.

9.1 Comunicación y diseminación de las alertas

La función de las alertas es que estas alcancen a informar respecto a la ocurrencia de un evento amenazante a la mayor cantidad de personas en condición de amenaza mediante mensajes simples que brinden información útil a la comunidad que le permitan tomar las decisiones correctas en el momento de la ocurrencia de las amenazas y contribuyan a salvar sus vidas y bienes. Es necesario el uso de múltiples canales de comunicación para asegurar

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

que la mayor cantidad de personas sea alertada y adicionalmente, ante la falla de un canal de comunicación, contar con otros medios para garantizar la efectiva comunicación (Hall, 2007).

Por lo cual no solo la adquisición de la información, procesamiento y pronóstico de las variables que desencadenan el evento de avenida torrencial es crucial para asegurar el éxito del sistema de alerta temprana, la acción realmente importante es la comunicación de la alerta a aquella población que pueda ser afectada por el evento. La alerta perfecta es la que permite de manera efectiva salvar vidas y actuar mediante acciones rápidamente antes de la ocurrencia del evento de avenida torrencial.

9.1.1.1 Estructura organizacional del componente de comunicación de la alerta del SAT para avenidas torrenciales y crecientes súbitas en el municipio de Mocoa

A partir de las responsabilidades y acciones citadas anteriormente respecto al componente de comunicación de la alerta en el SAT en diseño. En la Figura 9-1, se presenta a manera de esquema conceptual la estructura organizacional del componente de comunicación de la alerta del SAT para avenidas torrenciales del municipio de Mocoa.

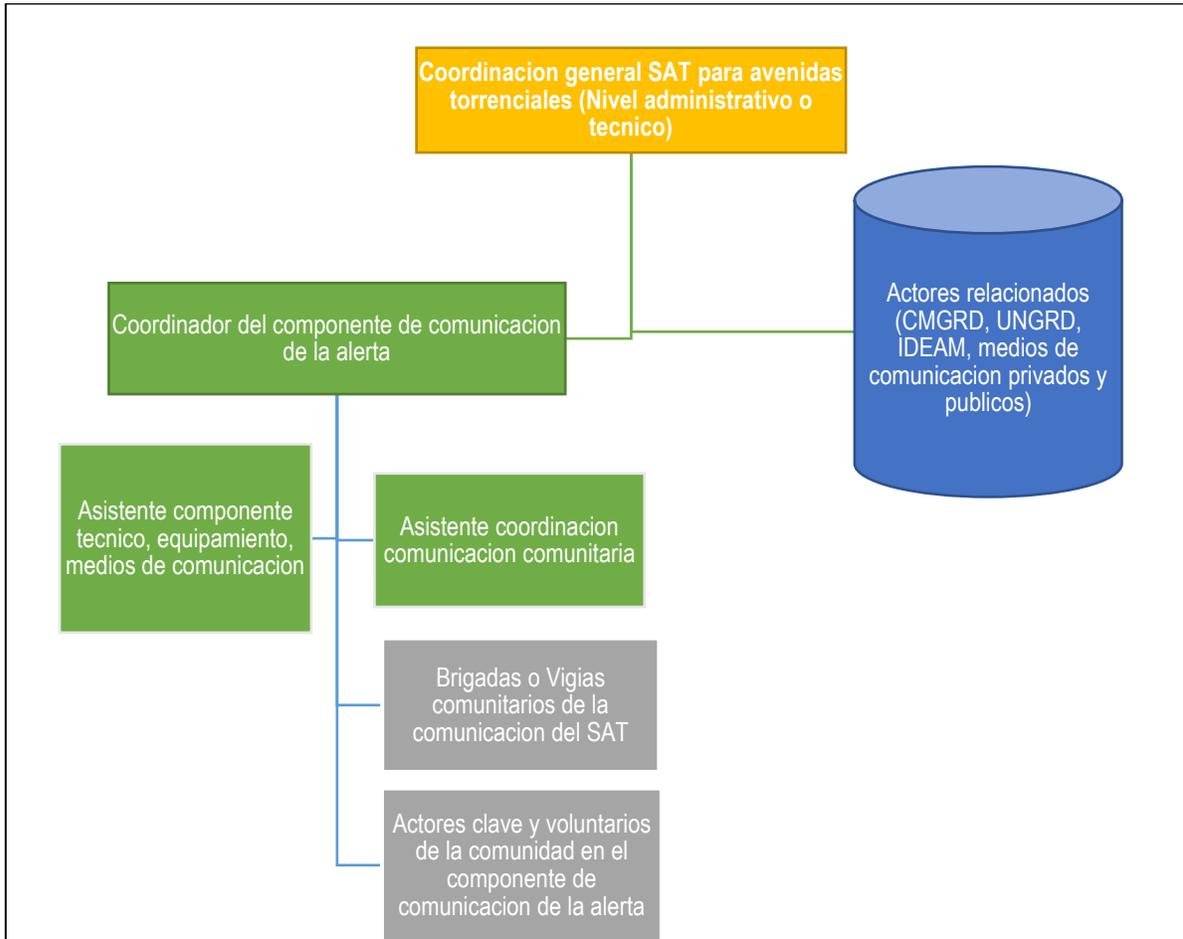


Figura 9-1. Diagrama de estructura organizacional del componente de comunicación de la alerta en el SAT por avenida torrencial. Fuente elaboración propia.

9.1.2 Propuesta de medios de comunicación y diseminación de la alerta en el marco del SAT por avenida torrencial

A continuación, se desarrollará una propuesta de medios de comunicación y diseminación, equipamiento para la comunicación de la alerta y actividades relativas con el objeto de complementar las funciones de los equipos existentes actualmente para la comunicación de la alerta, en las zonas de amenaza por avenida torrencial y crecientes súbitas en las microcuencas objeto del municipio de Mocoa.

9.1.2.1 Programa de vigías o brigadas comunitarias del SAT

El objeto principal de este programa en el marco de la comunicación de la alerta es el de garantizar la efectiva comunicación y diseminación de esta frente a la ocurrencia de eventos de avenida torrencial generadores de

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

condición de amenaza en las microcuencas mediante la vinculación de personal de la comunidad capacitado y dotado de herramientas para que desempeñen su labor como vigías de la comunicación de la alerta con lo cual se mejoraran las condiciones de resiliencia del equipamiento de sirenas existentes en caso de falla de estos equipos como fuente de comunicación y diseminación primaria. Adicionalmente, otro objetivo de la formación de dichos vigías o brigadistas es que estos sirvan como medio de comunicación directa de la alerta emitida a los grupos poblacionales o personas con mayor grado de vulnerabilidad debido a que no cuentan con las condiciones físicas o cognitivas para percibir la alerta mediante medios comunes, como es el caso de las personas con discapacidad física o deficiencias en su funcionamiento sumado a discapacidades o limitaciones cognitivas por su edad (adultos mayores y primera infancia) para lo cual será necesario el desarrollo de acciones previas como la localización de dichas personas, los mensajes a transmitir, procesos pedagógicos diferenciados para dichos grupos poblacionales y para la atención especial requerida por el vigía, entre otros aspectos.

Este personal ubicado en las diferentes comunidades en condición de amenaza con capacitación y capacidades necesarias suministradas en gestión del riesgo y atención de desastres tendrá como primera medida la función de verificar la correcta comunicación de la alerta. También, tendrá la responsabilidad de comunicar la alerta en caso de fallas del equipamiento existente como es el sistema de sirenas en diferentes sectores y como tercera función, deberá comunicar a la alerta a los miembros de la comunidad con mayor grado de vulnerabilidad.

Otras actividades complementarias deben ser las de propender mediante diversas acciones a la capacitación y entendimiento de las alertas en su comunidad, deberá vigilar el equipamiento de comunicación existente, participar activamente en los procesos de decisión, consulta, participación a los que sean convocados en el marco de la organización técnica, operativa y administrativa del SAT.

También, los vigías o brigadistas comunitarios asignados a las funciones del componente de comunicación y diseminación de las alertas tendrán a su cargo las labores permanentes del monitoreo de la población en condición de amenaza, como es el caso de censos, bases de datos respecto a nombres, números telefónicos fijos y celulares, correos electrónicos entre otros para la comunicación indirecta mediante estos medios, será encargado de difundir mensajes informativos respecto a la comunicación de la alerta y en el caso del asentamiento de personas nuevas en la comunidad encargarse de comunicar su presencia al personal de mayor cargo en el componente de comunicación del SAT, para desarrollar los componentes de capacitación respectivos sobre la comunicación de la alerta y en temas generales del riesgo.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

El personal de vigías comunitarios o brigadas comunitarias del SAT debe integrarse al equipo técnico del componente y en general del SAT, valorando sus funciones en la comunidad y brindándole las mejores condiciones posibles para garantizar sus funciones y permanencia en el tiempo. Adicionalmente, se considera fundamental desarrollar un plan de capacitación respecto a temáticas de la gestión del riesgo específico para la capacitación de dichos vigías o brigadistas en temas como lo son: el conocimiento del riesgo, componentes del SAT, planes de emergencia, primeros auxilios, manejo de equipos a utilizar en la comunicación, liderazgo y comunicación hacia la comunidad, entre otros aspectos.

Con el objeto de garantizar la credibilidad del mensaje de alerta y que sea recibido por la población, es necesario desarrollar en la comunidad un proceso de concientización y reconocimiento de la persona encargada de la comunicación de la alerta, razón por la cual debe ser una persona reconocida en la comunidad, con óptimas capacidades físicas y mentales, asumiendo responsabilidades frente a su función y es necesario desarrollar procesos de capacitación en cuanto a gestión del riesgo y en caso de ser posible obtener remuneración, apoyos económicos o facilidades en términos de acceso a ayudas por parte de las administraciones locales o gobiernos por el cumplimiento de su función en el marco del SAT. También, es importante para facilitar su labor, dotarlo de equipos como megáfonos, uniformes, radios de comunicación, con el objeto de que la persona se le facilite el desarrollo de la comunicación de la alerta y cuente con el apoyo del coordinador municipal o encargado de los procesos de administración del SAT, gestión del riesgo o prevención de desastres.

- Aproximación a la cantidad y ubicación de los vigías o brigadas comunitarios del SAT para la comunicación de alertas

Teniendo en cuenta la caracterización de los eventos de avenidas torrenciales desarrolladas en el marco del presente proyecto en las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa, puntualmente en la zona urbana y peri – urbana. A través de sus resultados se propone la sectorización en unidades espaciales o comunitarias teniendo en cuenta criterios como la magnitud y características del evento amenazante a partir de insumos de dicha caracterización como las alturas de la lámina de agua, las velocidades de flujo y las presiones generadas, los cuales determinan el potencial dañino del evento y las posibles consecuencias en la población expuesta, razón por la cual dicha sectorización se plantea teniendo en cuenta las características del evento y minimizando la exposición de la población vulnerable en términos de capacidad de respuesta.

	<i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i>	
	Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.	

También, en dicha sectorización en términos de su magnitud espacial se tiene en cuenta la extensión (tratando de que no sea mayor a 5 cuadras lineales) para garantizar un correcto desarrollo en el componente de la comunicación por parte de las brigadas o vigías asociado a su desplazamiento y coordinación en la comunicación de la respuesta o capacidad de respuesta. Adicionalmente, se trató de articular o zonificar las áreas en condición de amenaza con la zonificación barrial y comunitaria existente en el área urbana del municipio.

Teniendo en cuenta lo anterior, en total se proponen 37 de estas brigadas o vigías en las zonas de amenaza del área urbana del municipio de Mocoa, los cuales, dependiendo de su ubicación espacial, extensión de la comunidad asignada, los cuales deben contar como mínimo por unidad comunitaria con la dotación de los equipos e insumos anteriormente citados. Adicionalmente, resulta importante que como mínimo dichas estructuras organizacionales de vigías o brigadas deben contar como mínimo con dos personas como miembros activos, sin embargo, dependiendo de las particularidades de la población expuesta, características de la vulnerabilidad y severidad del evento amenazante, la cantidad de personal mínimo de los vigías o brigadas comunitarias en cada unidad de gestión del riesgo puede ser mayor para lo cual debe hacerse un análisis de las particularidades y necesidades de la comunidad en torno a la comunicación de la alerta.

El nombre de acuerdo con los barrios o sectores zonificados y el equipamiento respectivo se especifica en la Tabla 9-1.

Tabla 9-1. Unidades de gestión del riesgo comunitario en el municipio de Mocoa y equipamiento de las brigadas o vigías comunitarios del SAT para la comunicación de la alerta

Id unidad de gestión del riesgo comunitario	Nombre unidad de gestión del riesgo comunitario	Microcuencas en la cual se ubica o mediante la cual se encuentra amenazada	Características de la amenaza por avenida torrencial o creciente súbita en dichos sectores
1	Barrio La Esmeralda - San Fernando	Río Sangoyaco	Flujos superiores a 2 metros
2	Barrio La Esmeralda 2	Río Sangoyaco	Flujos entre 1 y 2 metros
3	Barrio Los Prados Huasipanga	Río Sangoyaco	Rodeado por flujos entre 1,5 y 2 metros en calles
4	Barrio Obrero segunda etapa	Río Sangoyaco	Rodeado por flujos 1,5 metros en calles principales
5	Barrio Obrero primera etapa norte	Río Sangoyaco	Rodeado por flujos entre 0,5 y 1,5 metros en calles principales

	<i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i>	
	Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.	

Id unidad de gestión del riesgo comunitario	Nombre unidad de gestión del riesgo comunitario	Microcuencas en la cual se ubica o mediante la cual se encuentra amenazada	Características de la amenaza por avenida torrencial o creciente súbita en dichos sectores
6	Barrio Las Vegas - El progreso	Río Sangoyaco	Flujos superiores a 2 metros y rodeado por flujos calles principales entre 0,5 y 1,5 metros
7	Barrio El Progreso oriental	Río Sangoyaco	Rodeado por flujos calles principales y desbordes corrientes entre 1,5 y 3 metros
8	Barrios Los Pinos - Altos de la Colina	Quebrada Taruca	Flujos entre 0,5 y 1,5 metros
9	Barrios Obrero 1 sur - Villa Col - Daniela	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 1 y 3 metros
10	Barrio Los Pinos - Cost oriental	Quebrada Taruca	Flujos entre 0,5 y 1 metros y por calles principales 1 metro
11	Barrio La Esmeralda - Entre calles	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 1 y 3 metros
12	Barrio Obrero, Esmeralda, Corpoamazonía	Río Sangoyaco	Flujos por avenida principal 1 metro
13	Caimaron - Ciud.Solar- Qta.Paredes	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 1 y 2 metros
14	Barrio Urb 1 de Enero	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 0.5 y 1 metro
15	Barrio Urb Villa Sofía	Quebrada Taruca	Flujos entre 0,5 y 1 metros
16	Barrio Urb Jardines de Babilonia	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos entre 0,5 y 2 metros
17	Barrio Urb La Unión	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos entre 0,5 y 1 metros
18	Barrio Villa del Norte	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos entre 0,5 y 2 metros
19	Barrio Condominio del Norte	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos entre 0,5 y 3 metros
20	Barrio Los Chiparos	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos 0,5 metros
21	Barrio El Carmen	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos 0,5 metros
22	Barrio La Reserva - Villa del Norte	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos entre 0,5 y 2 metros
23	Zona rural - Vereda San Antonio	Quebrada Taruca	Flujos entre 1 y 3 metros
24	Barrio San Francisco - MADCIN	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 0,5 y 1 metros
25	Barrio El Dorado - San Francisco	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 0,5 y 1 metros

	<i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i>	
	Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.	

Id unidad de gestión del riesgo comunitario	Nombre unidad de gestión del riesgo comunitario	Microcuencas en la cual se ubica o mediante la cual se encuentra amenazada	Características de la amenaza por avenida torrencial o creciente súbita en dichos sectores
26	Barrio Olímpico - Ciudad Jardín	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 0,5 y 1 metros
27	Barrio Bolívar - Colegio	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 1 y 3 metros
28	Barrio La Independia - Los Álamos	Río Sangoyaco	Flujos por calles principales e internas entre 1 y 3 metros
29	Barrio San Agustín - Naranjito	Río Mulato – río Mocoa	Rodeado por flujos entre 0,5 y 1,5 metros en calles principales
30	Barrio Miraflores - 17 Julio	Río Mulato	Flujos por calles principales entre 0,5 y 1,5 y desbordes ríos superiores a 2 metros
31	Barrio Villa Rosa Vía	Río Mulato	Desbordes ríos superiores a 2 metros
32	Barrio Las Acacias - Ver. Villanueva	Río Mulato	Desbordes ríos superiores a 2 metros
33	Barrio José Homero - Pablo VI	Río Mulato	Flujos por calles principales entre 0,5 y 1,5 y desbordes ríos superiores a 2 metros
34	Barrio La Floresta	Río Mulato	Flujos por calles principales entre 0,5 y 1,5 y desbordes ríos superiores a 2 metros
35	Vereda Los Guadales	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos por calles principales 0,5 metros
36	Barrio J.E. Gaitán	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos por calles principales e internas entre 0,5 y 2 metros
37	Barrio villa del Norte	Quebrada Taruca - San Antonio	Flujos por calles principales e internas entre 0,5 y 2 metros

Fuente: elaboración propia.

9.1.2.2 Propuesta del fortalecimiento del sistema de comunicación a través de unidades de sirenas

A partir de los resultados de la caracterización de los eventos amenazantes de avenida torrencial en las microcuencas como producto del componente de análisis de las condiciones de amenaza, teniendo en cuenta variables de los eventos de avenida torrencial que determinan su potencial de generar impactos negativos, como es el caso de la altura de la lámina de agua, velocidad de flujos y esfuerzos generados por los flujos de sólidos suspendidos, se propone el fortalecimiento del sistema de comunicación existente a través de la instalación de nuevas unidades de sirenas en zonas amenazadas en las cuales se considera que la cobertura de las existentes no es la suficiente y es posible que se presenten problemas en la diseminación y comunicación de las alertas a través de mensajes de alarma sonoros transmitidos por dichos equipos. Es importante tener en cuenta que dicha

	<i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i>	
	Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.	

propuesta requiere ser validada a través de los resultados de la evaluación del funcionamiento y cobertura obtenidos mediante el desarrollo de estudios técnicos específicos con equipos como sonómetros u otro tipo de medios sumado a criterios de evaluación en campo que garanticen la correcta operación y sostenibilidad del equipo instalado.

En términos de la ubicación de dichos equipos se recomienda la instalación de los mismos con características técnicas similares a las de los equipos existentes instalados a través del contrato con Federman Comunicaciones. Los criterios para la instalación de estos son su ubicación en zonas críticas en términos de amenazas que requieren de fortalecer y garantizar la efectiva comunicación de la alerta a través de alarmas, la determinación de dichas zonas críticas de amenazas se evaluó a partir de los resultados de la caracterización del evento de avenida torrencial en el marco del presente proyecto y sus distancias frente a las estaciones de unidades de sirenas existentes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone implementar 15 nuevas estaciones de sirenas en el área urbana y periurbana del municipio de Mocoa para el fortalecimiento del SAT. En la **Tabla 9-2**, se presentan los sitios seleccionados para la instalación de nuevos equipos de unidades de sirenas en el área urbana y periurbana del municipio de Mocoa de acuerdo con el barrio en el cual se proyectan como referente geográfico, es importante aclarar que no se presentan las coordenadas o sitio exacto de su instalación debido a que dicha ubicación de instalación depende directamente de condiciones como seguridad, resistencia, comunicación, acceso, fuente de energía, entre otros que finalmente determinan la ubicación exacta final de dichas unidades de sirenas propuestas.

Tabla 9-2. Estaciones de sirenas propuestas para el fortalecimiento del componente de comunicación del SAT por avenida torrencial y crecientes súbitas del municipio de Mocoa

Id estación de sirena propuesta	Ubicación por barrio en donde se proyecta la instalación de las unidades de sirenas	Nombre unidad comunitaria de gestión del riesgo en jurisdicción	Microcuencas en la cual se ubica o mediante la cual se encuentra amenazada
1	BARRIO OLÍMPICO	Barrio Bolívar - Colegio	RIO SANGOYACO
2	VEREDA VILLA NUEVA	Barrio Las Acacias - Ver. Villanueva	RIO MULATO
3	BARRIO LAS AMÉRICAS	Barrio José Homero - Pablo VI	RIO MULATO
4	BARRIO LA ESMERALDA	Barrio La Esmeralda - Entre calles	RIO SANGOYACO
5	BARRIO LOS PINOS	Barrios Los Pinos - Altos de la Colina	RIO SANGOYACO
6	BARRIO OBRERO ETAPA 1	Barrios Obrero 1 sur - Villa Col - Daniela	RIO SANGOYACO
7	BARRIO JARDINES DE BABILONIA	Barrio Urb Jardines de Babilonia	QUEB. TARUCA - SAN ANTONIO

	<i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i>	
	Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.	

8	BARRIO VILLA DEL NORTE	Barrio La Reserva - Villa del Norte	QUEB. TARUCA - SAN ANTONIO
9	BARRIO SAN FERNANDO	Barrio La Esmeralda - San Fernando	RIO SANGOYACO
10	VER. SAN ANTONIO JUNÍN	Zona rural - Vereda San Antonio	QUEB. TARUCA - SAN ANTONIO
11	BARRIO J.E. GAITÁN	Barrio J.E. Gaitán	QUEB. TARUCA - SAN ANTONIO
12	BARRIO EL PROGRESO	Barrio Las Vegas - El progreso	RIO SANGOYACO
13	BARRIO MODELO	Barrio San Agustín - Naranjito	RIO SANGOYACO
14	BARRIO OBRERO II ETAPA	Barrio Obrero, Esmeralda, Corpoamazonía	RIO SANGOYACO
15	VEREDA LOS GUADUALES	Vereda Los Guaduales	QUEB. TARUCA - SAN ANTONIO

Fuente: elaboración propia.

Como criterio importante que indique la posible modificación de la ubicación de las unidades de sirenas propuestas, la brindaran los análisis y evaluaciones del desempeño y cobertura dichas unidades existentes en términos de intensidad del sonido y capacidad para ser escuchadas por la población expuesta en las diferentes unidades comunitarias de gestión del riesgo propuestas anteriormente. Dicho análisis y evaluación del desempeño se propone que se realice mediante equipos especializados como es el caso de sonómetros.

9.2 Capacidad de respuesta

El éxito de un SAT depende significativamente en que la comunicación de la información de la alerta conduzca a la población expuesta a tomar la acción apropiada frente a la magnitud del evento amenazante, condición que se reflejara en los resultados posteriores a la ocurrencia de dicho evento, en caso de una adecuada respuesta los resultados serán una disminución de las pérdidas humanas y los daños físicos. Por lo cual, si la población expuesta no cuenta con la información necesaria sobre cómo responder frente a una avenida torrencial y a una comunicación de una alerta, el SAT no cumplirá con sus objetivos de reducir los impactos frente a la ocurrencia de un evento generador de amenazas.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta esencial que las comunidades expuestas en condición de amenaza comprendan sus riesgos, crean y se apropien del SAT y aprendan cómo reaccionar frente a los eventos, en estos aspectos la educación y los programas pedagógicos juegan un papel protagónico. También, en el marco de los planes de respuesta y evacuación, estos deben tener por objeto informar a la comunidad sobre cuál es la mejor manera de salvar y resguardar sus vidas, las mejores alternativas de evacuación y como evitar o reducir las pérdidas y daños en sus bienes físicos, por lo cual la población debe recibir preparación sobre:

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

- Conceptos generales del riesgo (amenaza, vulnerabilidad, probabilidad de ocurrencia, emergencia, acciones de prevención y mitigación).
- Cómo actuar ante las alertas y la manera de evacuar para prevenir las pérdidas humanas y físicas.
- Entrenamiento y simulacros frente a la ocurrencia de un evento de avenida torrencial.

Las preguntas comunes que se deben responder mediante la ejecución del componente de respuesta a emergencias en el marco de un SAT son:

- ¿Cómo debe reaccionar la población ante las alertas?
- ¿Cómo involucrar a la gente en el SAT y concientizarla sobre su importancia?
- ¿Las estrategias de respuesta son las adecuadas y son efectivas?
- ¿Conoce la población como actuar en caso de evacuación?

9.2.1 Componente pedagógico para aumentar y mejorar la capacidad de respuesta frente a eventos de avenida torrencial en el marco del SAT

La mejor forma de concientizar y aumentar la percepción de los riesgos a los cuales está expuesta la población se desarrolla mediante procesos pedagógicos en los cuales su objeto principal sea brindar conocimientos respecto a cómo actuar frente a la ocurrencia de un evento amenazante y a la emisión de una alerta, este propósito es posible lograrlo mediante la formulación y ejecución de programas de educación y capacitación respecto a dichos temas. Razón por la cual las temáticas para educar a la población expuesta con el objeto de aumentar su capacidad de respuesta deben enfocarse en temas como el significado de las alertas, las acciones a emprender para reducir las pérdidas y daños a través de evacuaciones, entre otros.

Casos como los reportados por Wisner (2002), Ribot (2009) e INDECI (2015) han demostrado que el potencial de las personas para responder de manera adecuada aumenta significativamente si se les informa sobre su riesgo personal al habitar o desarrollarse en zonas en condición de amenaza y se les indica cuales pueden ser sus pérdidas o afectaciones, si no actúan de manera eficaz frente a un evento amenazante, situación que aumenta su conciencia y percepción respecto a su condición de riesgo. Teniendo en cuenta lo anterior, a partir del conocimiento del riesgo en el cual habita o se desarrolla, la población asimila y trata de comprender de mejor manera la información respecto a las acciones de respuesta que deben implementar frente a un evento amenazante y salvar sus vidas, la de sus seres queridos y prevenir pérdidas de bienes físicos.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

La educación y capacitación de la población expuesta respecto a los temas de capacidad de respuesta frente a una emergencia o evento amenazante deben tratar de cubrir todos los espectros sociales y etarios de la población, es decir, desde la edad escolar desarrollar dichas campañas educativas, con el objeto de que la población expuesta desde edades tempranas, crezcan con una conciencia y percepción frente al riesgo, lo cual facilitara su comprensión y capacidad de respuesta a través del tiempo.

En el caso de la población adulta, resulta necesario actuar mediante diversos medios y espacios, desde talleres dirigidos a la comunidad directamente, la publicación de cartillas, posters y documentos que expliquen claramente los aspectos relacionados con el riesgo, las alertas y cómo actuar frente a un evento amenazante sumado al uso de medios de comunicación masivos como la radio, la televisión y la prensa escrita tanto para capacitar como para mantener o incrementar la percepción respecto a su condición de riesgo, las alertas y la capacidad de respuesta. A continuación, se resumen algunos lineamientos para tener en cuenta en el componente de educación y capacitación de la capacidad de respuesta del SAT.

- Difusión de información sencilla sobre amenazas, vulnerabilidades y riesgos y la forma de reducir el impacto de un desastre de avenida torrencial, similar al experimentado por la población el 31 de marzo de 2017 en el municipio de Mocoa. Esta información con fines educativos debe exponerse, tanto en las comunidades vulnerables como entre los encargados de la gestión del riesgo local y atención a emergencias en el municipio de Mocoa mediante diversos medios, se recomienda utilizar la mayor cantidad de medios posibles para informar a toda la población, debido a que si esta se limita a talleres o reuniones informativas, es posible que gran parte de la población no tendría acceso a dicha capacitación, por lo cual se recomiendan la edición y publicación de cartillas y manuales con lenguaje simple y mensajes de radio y televisión.
- Incorporación campañas de concientización y educación en los planes escolares y académicos de educación, desde la enseñanza primaria hasta la profesional en el municipio de Mocoa. Como es el caso de formulación de proyectos a través de herramientas como los Proyectos Ambientales Educativos (PRAES) en coordinación con la autoridad ambiental, los planes escolares de gestión del riesgo y planes institucionales, en los cuales se incluyan de manera articulada y coordinada con el componente técnico y administrativo del SAT, contenidos temáticos pedagógicos para ser impartidos en dichos espacios educativos.
- Uso de los medios masivos y populares para incrementar la concientización y percepción pública respecto a los eventos amenazantes y sus capacidades de respuesta. En el caso del municipio de Mocoa, se

	<p align="center"><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

recomienda desarrollar acciones a través de las emisoras de radio populares, televisión local, boletines y medios impresos entre otros.

- Adaptación de las campañas educativas y de concientización a las necesidades concretas de cada grupo poblacional o etario, debido a que en el municipio de Mocoa existen grupos étnicos como comunidades indígenas y afro descendientes.
- Evaluación de las estrategias y programas educativos respecto a la capacidad de respuesta en el marco del SAT periódicamente y su actualización desarrollada a partir de comités con la participación de múltiples actores, entre los que se destacan el CMGRD, las entidades participantes en el sistema de atención a emergencias, representantes de la comunidad, entre otros.

9.2.2 Sistema de evacuación para eventos de avenida torrencial y crecientes súbitas articulado con el SAT
 Como sistema de evacuación se entiende como los elementos y acciones que permiten la evacuación de la población expuesta frente a una alerta comunicada que requiera de la acción de evacuar las zonas en condición de amenaza por avenida torrencial o crecientes súbitas, entre los diversos componentes de los sistemas de evacuación se destacan: las rutas de evacuación, zonas seguras y/o puntos de encuentro. El principal objeto de los sistemas de evacuación es frente a una alerta, evacuar a la población expuesta a través de rutas de evacuación hasta una zona segura a tiempo mediante lo cual se resguarda la vida y se minimizan las pérdidas e impactos en la población.

Teniendo en cuenta el resultado exitoso del simulacro efectuado el 25 de octubre de 2017 en el marco del SAT en el municipio de Mocoa, se recomienda continuar con dichas acciones periódicas de evacuación, conservando su estructura organizacional, capacitación y suministro de información a la población para que responda antes las alertas comunicadas por el SAT. Sin embargo, resulta fundamental revisar y corregir aspectos clave como las rutas de evacuación y los sitios de encuentro de acuerdo con las realidades y caracterización de los eventos por avenida torrencial y crecientes súbitas desarrolladas en el marco del presente proyecto. Adicionalmente, se debe tratar de articular este componente de la capacidad de respuesta con el componente de comunicación de la alerta y las acciones propuestas en el marco del presente diseño del SAT, como es el caso de la articulación de acciones con las brigadas o vigías comunitarios, la vinculación de la acción de evacuación de acuerdo con los niveles de alerta, entre otros.

Teniendo en cuenta lo anterior y los niveles de alerta establecidos en el marco del SAT, los cuales se ajustan a los protocolos nacionales de comunicación de alertas del IDEAM y la UNGRD, se debe realizar la evacuación frente a

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

una alerta roja como nivel más crítico, la cual puede presentarse de manera súbita debido a las características de los eventos de avenida torrencial o a través de las fases previas de aumento de alerta partiendo de los niveles de alerta amarilla y naranja. Por lo cual esta alerta roja en la cual debe evacuarse está vinculada a características del fenómeno que pueden generar daños y pérdidas en la población inminentes como es el caso de que los niveles de los ríos o quebradas, alcanzan alturas críticas que generen desbordamientos, en el caso de avenidas torrenciales o crecientes súbitas, cuando variables como la intensidad de precipitaciones, la existencia de represamientos, el transporte de sólidos en la corriente o deslizamientos en la cuenca indican la materialización de una avenida torrencial y respuesta inminente.

9.2.2.1 Alcance geográfico y delimitación de las áreas de evacuación

A partir de la zonificación de amenazas para los eventos de avenida torrencial y crecientes súbitas en las microcuencas objeto en el municipio de Mocoa se procede como primera medida en la definición del sistema de evacuación las áreas de evacuación que indica las áreas que por su condición de amenaza deben ser evacuadas a través de las rutas de evacuación hasta las zonas seguras o puntos de encuentro definidos. Las zonas de amenaza que es necesario evacuar deben dividirse en subáreas con el objeto de calcular sus cargas de ocupación y dimensiones de las vías de evacuación sumado a las zonas seguras o puntos de encuentro con el objeto de garantizar que todas las personas puedan desplazarse hasta la zona segura o punto de encuentro. Como criterio de diseño es importante minimizar las distancias a recorrer y sus pendientes, las cuales deben minimizarse como es el caso de una distancia no mayor a 1000 metros a recorrer la población hasta la zona segura y pendientes no mayores al 12% del terreno (Franco *et al.*, 2015).

- Recomendaciones para la ubicación de puntos de encuentro o zonas seguras

Con el objeto de garantizar un espacio adecuado en el cual se ubican los puntos de encuentro o zonas seguras es necesario tener en cuenta ciertos aspectos mínimos para garantizar la protección y gestión de las personas que participan de la evacuación. A continuación, se citan algunos aspectos para tener en cuenta:

- ✓ Ubicarse en zonas públicas de propiedad de la administración municipal o áreas verdes, para garantizar el libre acceso, facilitar el mantenimiento. En caso de requerirse la ubicación en zonas privadas, debe asegurarse el libre acceso al momento de la evacuación, simulacros o acciones las 24 horas del día, los 365 días del año, debido a que la evacuación puede producirse en cualquier momento.

	<p align="center">Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p align="center">Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

- ✓ Cumplir con características como facilidad para albergar a la población potencial evacuada, acceso visible y fácil para las personas con una mayor condición de vulnerabilidad (discapacitados, adultos mayores, infantes, mujeres lactantes, entre otros).
- ✓ Cuenta con conexión a la red eléctrica e iluminación pública deseablemente.
- ✓ Evitar ubicarse en áreas expuestas a otras amenazas como movimientos en masa o cerca a cursos de agua.
- ✓ Colindar o hacer parte de edificios o construcciones en mal estado que puedan colapsar o fallar.

9.2.2.2 Propuesta preliminar de rutas de evacuación y zonas seguras para el área urbana del municipio de Mocoa de acuerdo con los resultados de la caracterización de la amenaza por avenida torrencial y crecientes súbitas

A continuación, se plantean algunos lineamientos e insumos técnicos para tener en cuenta en la formulación de estrategias y rutas de evacuación, acciones de respuesta, zonas seguras y particularidades de acuerdo con las características del evento amenazante en las microcuencas objeto del municipio de Mocoa. Este último aspecto es el considerado más importante debido a las características de los eventos de avenida torrencial y su severidad en las microcuencas del municipio de Mocoa, en términos de la complejidad de factores que pueden desencadenar dichos eventos, como es el caso de movimientos en masa, intensidad en las precipitaciones, características morfológicas de las cuencas, posibilidad de represamientos en los cauces de las microcuencas objeto, como los más importantes. Dichas condiciones brindan como resultado eventos de la magnitud y severidad del ocurrido el 31 de marzo de 2017, el cual se caracterizó por su rápido desencadenamiento y duración, capacidad destructiva y complejidad en los fenómenos que lo desataron.

También, es importante tener en cuenta la vulnerabilidad y nivel de exposición con que cuenta la población debido a el desarrollo y asentamiento histórico en zonas en condición de amenaza por los efectos de avenida torrencial en el municipio de Mocoa genera un grado de complejidad respecto a la evacuación debido a que las zonas en condición de amenaza en el área urbana y peri urbana son extensas y dificultan el planteamiento de acciones de respuesta efectivas que minimicen la exposición de la población mediante dichas acciones como es el caso de los procesos de evacuación, zonas seguras, tiempos de respuesta, entre otros.

A partir de lo anterior a continuación se plantean los siguientes aspectos claves para la definición de las acciones de evacuación y respuesta en el área urbana y peri urbana del municipio de Mocoa frente a los eventos de avenida torrencial y crecientes súbitas en las microcuencas objeto.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

- Cortos tiempos de materialización y duración de los eventos amenazantes por avenida torrencial

De acuerdo con la caracterización de los eventos de avenida torrencial y creciente súbita desarrollados en el marco del presente proyecto, las condiciones ambientales que pueden generar un evento amenazantes son múltiples sumado a los cortos tiempos de materialización de un evento que pueden ser menores a una hora, sin embargo es posible pronosticar o generar alertas de acuerdo con el monitoreo de ciertas variables como es el caso de las condiciones hidrometeorológicas, los regímenes de flujo, intensidad de precipitaciones en las microcuencas, saturación del suelo y movimientos en masa, entre otros.

Sin embargo, debido a que es necesario tener una postura conservadora frente a la materialización y duración de los eventos, una condición probable es que el evento pueda materializarse en menos de una hora, similar a las condiciones evidenciadas en el evento catastrófico por avenida torrencial del 31 de marzo de 2017. Razón por la cual para la planificación de acciones de evacuación se tiene en cuenta estos tiempos cortos que pueden resultar en la comunicación de una alerta roja que significa una evacuación inmediata de manera súbita, sin pasar por los escenarios previos de alerta amarilla o naranja.

Teniendo en cuenta lo anterior, los tiempos de desencadenamiento y duración del evento implican que las acciones de respuesta y evacuación para evitar exponer a la población deben desarrollarse en menos de media hora, intervalo de tiempo demasiado corto para la respuesta y procesos de evacuación.

- Amplias zonas en condición de amenaza

Los resultados de la caracterización del evento de avenida torrencial desarrollados en el presente proyecto sumado a la reconstrucción del evento del 31 de marzo desarrollado por la autoridad ambiental en jurisdicción Corpoamazonia muestran amplias zonas del área urbana y peri urbana expuesta a algún tipo de amenaza teniendo en cuenta variables que determinan el potencial dañino del evento, como es el caso de la altura de la lámina de agua, la velocidad de flujo, el contenido de detritos, entre otros.

Dichas características de los eventos de avenida torrencial en términos de magnitud y extensión dificultan los procesos de evacuación debido a que complica la ubicación de puntos de encuentro o zonas seguras y rutas de evacuación, debido a que al contar con amplias zonas o sectores del municipio en algún grado de condición de amenaza y en caso de evacuación tener que desarrollar grandes desplazamientos a las zonas seguras, se incurre en exponer a la población a condiciones amenazantes más severas sumado a los cortos tiempos de materialización

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

y duración (menores a media hora) por lo cual para dichos eventos en las zonas en condición de amenaza del municipio de Mocoa se recomiendan desplazamientos en la evacuación no superiores a 500 metros en caso de ser posible.

- Múltiples escenarios de condiciones de amenaza para las avenidas torrenciales y crecientes súbitas

Teniendo en cuenta la caracterización de los eventos de avenida torrencial en el marco del presente proyecto sumado a la identificación del evento del 31 de marzo de 2017, dichos análisis demuestran que los casos o combinaciones de eventos que generan una condición de amenaza en el área urbana y peri urbana del municipio de Mocoa son diversos, es decir, un área vulnerable o expuesta es posible que los flujos fluvio torrenciales producidos en las microcuencas provengan en diferentes sectores o direcciones, o que debido a alguna combinación de eventos ambientales la amenaza aumente o disminuya en un mismo sector, por ejemplo: bajo ciertas condiciones de amenaza una calle se inunda 0,5 metros y bajo otras condiciones de amenaza puede inundarse 2 metros, condición que depende de las características y probabilidades de ocurrencia del evento.

Estas condiciones de probabilidades de los escenarios de amenaza complican el proceso de respuesta o evacuación debido a que se complica la identificación o postulación de rutas de evacuación, puntos seguros, zonas vulnerables, entre otros, por lo cual es necesario plantear las acciones de respuesta de manera conservadora y segura evitando exponer a la población frente a un evento amenazante, sin tener certeza si las rutas de evacuación, puntos de encuentro o zonas seguras, pueden bajo ciertas condiciones de ocurrencia ser inseguras o al contrario exponer a la población expuesta.

Teniendo en cuenta los aspectos claves citados a continuación se especifican los criterios mediante los cuales se plantean preliminarmente las acciones de respuesta, rutas de evacuación y zonas seguras para el área urbana y peri – urbana del municipio de Mocoa:

- Micro zonificación de las zonas a evacuar de acuerdo con los criterios de unidades comunitarias de gestión del riesgo

Debido a la severidad de las condiciones de amenaza sumado en términos espaciales y los cortos tiempos de respuesta frente a las avenidas torrenciales y crecientes súbitas sumado a la zonificación y estructura de unidades comunitarias de gestión del riesgo propuestas en el marco del componente de comunicación del presente diseño del SAT junto con su componente organizativo como las brigadas o vigías comunitarias se propone los procesos de respuesta y evacuación a escala de dichas unidades comunitarias, lo cual garantizara cortos tiempos de

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

desplazamiento y recepción, la recepción efectiva de las alertas, el soporte permanente de los vigías o brigadas comunitarias, minimizar la exposición de la población al desarrollar proceso de evacuación en su territorio común y conocido por la comunidad. Resulta importante tener en cuenta que dichas unidades comunitarias en términos de extensión se postularon con distancias de desplazamiento lineales no mayores a seis cuadras, lo cual es aproximadamente 500 metros, condición que contribuye a minimizar los desplazamientos y tiempos críticos de respuesta frente a la evacuación.

- Zonas seguras o puntos de encuentro comunitarios

Aparte de la propuesta de las edificaciones para definir lugares para la evacuación vertical, se propone la identificación de zonas seguras o puntos de encuentro en las unidades comunitarias que de acuerdo con la condición de amenaza permitan la evacuación hacia zonas seguras o puntos de encuentro públicos como parques, escuelas, infraestructura pública como centros comunitarios, espacios deportivos, entre otros. También, la simple especificación de cotas o lugares a partir de los cuales la población expuesta evacuada se garantice que se encuentra en una zona o sector no amenazado por avenidas torrenciales o flujos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la propuesta de rutas de evacuación y zonas seguras se identifican espacios públicos de las unidades comunitarias en los cuales es posible establecer puntos de encuentros o zonas seguras, a partir de la información de infraestructura pública existente en el municipio. Es importante tener en cuenta que en el caso de establecer dichos puntos de encuentro o zonas seguras es necesario evaluarlas con criterios de decisión detallados como las facilidades, ventajas, seguridad, entre otros.

- Propuesta de acciones de respuesta, rutas de evacuación y zonas seguras en las unidades comunitarias

A partir de los criterios anteriormente planteados para proponer las acciones de respuesta, rutas de evacuación y zonas seguras en las unidades comunitarias de gestión del riesgo propuestas en el marco del presente diseño del SAT, a continuación se detallan las características de esta propuesta para cada unidad comunitaria a partir de la espacialización esquemática de la unidad comunitaria, sus condiciones de amenaza de acuerdo con las alturas de la lámina de agua estimadas en la caracterización del evento del presente proyecto, la identificación de posibles edificaciones que por su altura permitirían la evacuación vertical y la identificación de espacios e infraestructura pública para en caso de que sea posible establecer puntos de encuentro o zonas seguras en el proceso de evacuación.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

En la **Figura 9-2**, se presenta a manera de esquema la extensión y ubicación de las unidades comunitarias con código: 1, 2, 10, 12 y 3 sumado a las edificaciones identificadas con dos o más pisos y los predios públicos. Respecto a la unidad 1. Barrio La Esmeralda – San Fernando, presenta condiciones críticas de amenaza en su sector nor – occidental, con posibilidad de flujos entre 1 y 2 metros, transporte de flujos por las calles internas y desborde de una corriente que transita por el medio de los barrios, las acciones de evacuación en esta unidad deben enfocarse en evacuar las edificaciones de los sectores con láminas de agua más altos hacia edificaciones con 2 o más pisos sumado a evitar salir de la unidad debido a los flujos de más de 1 metros que transitan por las calles que rodean la unidad comunitaria. En cuanto a las unidades 2. Barrio La Esmeralda 2 y 3. Barrio Los Prados Huasipanga y 12. Barrio Obrero, Corpoamazonia, las condiciones de amenaza para las unidades 2 y 3, son críticas en el costado occidental de dichas unidades que limita con el cauce del río Sangoyaco, en los sectores o edificaciones cercana al cauce, se recomienda evacuar las edificaciones hacia sectores centrales u orientales de las unidades. Adicionalmente, estas unidades presentan flujos transportados por las calles que lo rodean con alturas entre 1 y 1,5 metros por lo cual se recomienda permanecer en las edificaciones frente a una alerta y para mayor seguridad albergarse en edificaciones con 2 o más pisos.

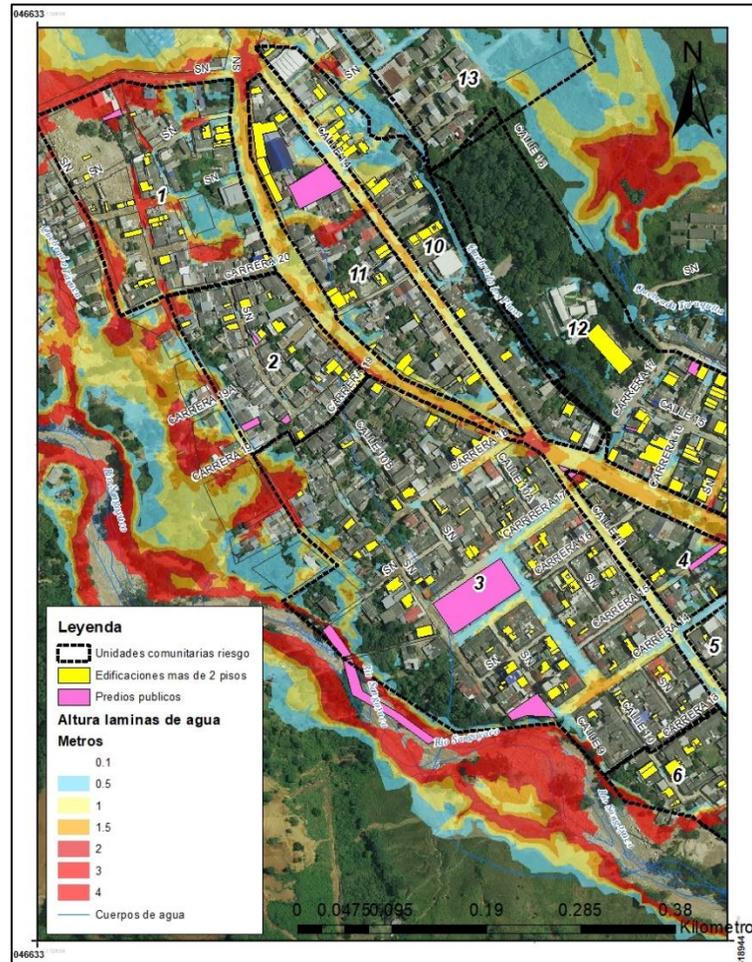


Figura 9-2. Ubicación de las unidades comunitarias, edificaciones con 2 pisos o más y predios públicos en las actividades de evacuación sector nor – occidental del área urbana. Fuente: elaboración propia.

9.2.3 Fortalecimiento institucional a través de acciones de seguimiento, evaluación y sostenibilidad del componente de respuesta en el marco del SAT

La eficacia en la capacidad de respuesta de la población frente a la comunicación de alertas y emergencias tanto en los simulacros como en los fenómenos reales debe ser estudiada y evaluada para corregir los posibles fallos en aspectos como la comunicación de la alerta, la capacidad de respuesta o el desarrollo de la evacuación. A través de estas evaluaciones, permitirán medir la ejecución, identificar y corregir las carencias y captar las mejores prácticas.

También, la evaluación desarrollada de manera objetiva a ciertos grupos poblaciones es valiosa, como es el caso de las entrevistas o encuestas a la población expuesta o entidades relacionadas, pueden aportar información

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

significativa, sobre cómo se han desarrollado aspectos como la comunicación de la alerta, la capacidad de respuesta, la actuación de entidades, equipos y logística de la respuesta o evacuación, entre otros aspectos. A continuación, se describen aspectos que deben tenerse en cuenta para la evaluación, mejora y desarrollo del componente de capacidad de respuesta en el marco del SAT.

- Se debe evaluar continuamente la capacidad de la comunidad para responder de forma eficaz a las alertas tempranas mediante ejercicios masivos de simulacros de evacuación u objetivos a sectores de la población o actores involucrados.
- Incorporación de las lecciones aprendidas de simulacros para implementar futuras estrategias para el desarrollo de capacidades.
- Desarrollo y aplicación de programas educativos con el objeto de corregir y mejorar los aspectos con deficiencias o por corregir de acuerdo con los resultados de la evaluación.

En cuanto al seguimiento y evaluación de la capacidad de respuesta frente a emergencias para eventos de avenida torrencial debido a la criticidad de dichos eventos en términos de capacidad destructiva que se traduce en impactos a la población local, como fue el caso del evento catastrófico del 31 de marzo de 2017 en el municipio de Mocoa, se recomienda incorporar en el plan de respuesta a emergencias municipal un componente de evaluación a desarrollar periódicamente en cuanto a los temas concernientes a la capacidad de respuesta frente a eventos de avenida torrencial y en términos generales frente a la operatividad del SAT. Adicionalmente, se recomienda el desarrollo de evaluaciones por parte de entidades que no estén directamente relacionadas con la planificación, administración y aspectos operativos del SAT, como es el caso del CMGRD o la entidad coordinadora del SAT sumado a entidades relacionadas o adscritas indirectamente a escala regional como es el caso del CDGRD del Putumayo y a escala nacional como la UNGRD.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

10 CONCLUSIONES

Hidrológicamente la cuenca delimitada para Mocoa es considerada una cuenca no instrumentada, lo cual obliga al modelador a crear un marco hipotético del comportamiento hidrológico que va desde la selección de cuencas cercanas con posibilidad de comportamiento análogo, la elección de un modelo hidrológico, la parametrización del mismo y la delimitación del alcance del modelo. En este orden de ideas la exploración del comportamiento hidrológico se basó en el estudio de cuencas vecinas, seleccionando la cuenca Piedra Lisa II. Sin embargo, en la medida en la que se vayan teniendo datos de las estaciones hidrometeorológicas del SAT, los umbrales pueden ser actualizados como parte de las actividades del mantenimiento y operación del SAT.

El comportamiento de los modelos se vio altamente afectado por el DEM de entrada lo que llevó a que la calidad de los DEM empleados fuera más determinante en la dirección y comportamiento del flujo que inclusive las diferencias en los modelos constitutivos empleados por los diferentes modelos.

Como ya se explicó en el capítulo 6 la sensibilidad de la respuesta de los diferentes modelos a la representación de la topografía, la capacidad de los modelos de reproducir la realidad estará limitada a la fidelidad del DEM empleado con la topografía actual. Los cambios que puedan sufrir los cauces bien sean por causas naturales o por acción antrópica perturbarán la respuesta del cauce. Por lo anterior, los umbrales determinados para el SAT actual corresponden a las condiciones actuales del territorio, pero en la medida en que se vayan haciendo modificaciones, especialmente en el caso de construcción de medidas de reducción, se tendrán que recalibrar los umbrales.

Es muy importante resaltar la importancia de una cuidadosa gestión, mantenimiento y actualización del SAT en la medida en la que se hagan cambios en los cauces, porque la presencia de un sistema de alerta puede inducir una sensación de seguridad, que es justificada solo si se garantiza una adecuada y continua operación del sistema dadas las condiciones para las cuales se diseñó.

Con relación a los sensores de nivel, se puede decir que los resultados de los niveles de alerta del sensor del río Sangoyaco en la parte baja deben ser tomados con mayor precaución debido a que el modelo de elevación digital usado para análisis no refleja en su totalidad el detalle de la geometría en planta del cauce en el tramo que está ubicado.

<p>NGRD Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres</p>	<p>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	<p>Pontificia Universidad JAVERIANA Bogotá</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

A la fecha de generación del presente documento, la sección del río Sangoyaco parte alta no tenía instalado sensor, por lo tanto, se levantó la sección de acuerdo con la ubicación entregada por Federman y se propusieron concordantemente niveles umbrales. Sin embargo, una vez se instale el sensor, se deben recalcular los niveles umbrales que reflejen la geometría específica del cauce donde se emplace la instrumentación.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

11 BIBLIOGRAFÍA

AGUAS DE MOCOA (2009), Mocoa Putumayo. Plan de saneamiento y manejo de vertimientos, 2009.

AGUAS DE MOCOA (2012). Plan Maestro De Acueducto y Alcantarillado Municipio de Mocoa, departamento del Putumayo 2012.

AGUAS MOCOA S.A. ESP. (2014). Plan Maestro de Alcantarillado del Municipio de Mocoa.

ALCALDÍA DE MOCOA (2012), Mocoa Putumayo. Plan de desarrollo municipal: “Si Hay Futuro Para Mocoa” 2012 – 2015.

ALCALDÍA DE MOCOA (2008). Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Mocoa. Mocoa: Secretaría de Planeación.

ALCALDÍA DE MOCOA (2000), Mocoa Putumayo. Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), 2000.

ALCALDÍA DE MOCOA (2011), Mocoa Putumayo. Plan único municipal (PIU). 2011.

ALCALDÍA DE MOCOA (2013), Mocoa Putumayo. Secretaría de Planeación MADR. Entregable 2. Descripción de las actividades con importancia económica de la región 2013.

ALCALDÍA DE MOCOA. (2008). Acuerdo No 028 del 22 de diciembre de 2008. (2008th ed.). San Miguel Agreda de Mocoa.

ALCALDÍA DE MOCOA. (2016). Plan de Desarrollo Municipal de Mocoa 2016-2019. Mocoa.

ALCALDÍA DE MOCOA (2016). Contrato de consultoría 1110 de 2015 “Ejecución del proyecto denominado apoyo a la mitigación de riesgos mediante la realización de estudios de amenaza de inundación con referencia a una máxima avenida de las quebradas Taruca y Conejo en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo”. Mocoa – Putumayo.

	<p>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

ARATTANO M., MARCHI M., (2008). Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning. *Sensors*, 8, 2436-2452.

BAUM R.L., GODT J.W., (2010). Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides* 7:259–272, DOI 10.1007/s10346-009-0177-0.

BAUM, R., GODT, J., & SAVAGE, W. (2010). Estimating the timing and location of shallow rainfall-induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration. *J. Geophys. Res.*, 115, F03013.

CÁMARA DE COMERCIO DEL PUTUMAYO (2014). Concepto sobre la situación económica de las respectivas zonas del departamento del Putumayo. <http://ccputumayo.org.co/site/wp-content/uploads/2015/02/CONCEPTO-ECONOMICO-PUTUMAYO-2014.pdf>.

CONCEJO MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DEL MUNICIPIO DE MOCOA (CMGRD) (2013). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres Urbano y Periurbano. Municipio de Mocoa. Departamento del Putumayo, Colombia. Junio 2013.

CORPOAMAZONIA (2011). Caracterización ambiental plan departamental de agua departamento de Putumayo. HYPERLINK "http://www.corpoamazonia.gov.co/files/documento_putumayo.pdf" http://www.corpoamazonia.gov.co/files/documento_putumayo.pdf.

CORPOAMAZONIA, (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 departamento del putumayo. 145 pp.

CORPOAMAZONIA, INVIAS, & BID. (2015). Monitoreo de la Reserva Forestal Protectora de la Cuenca Alta del Río Mocoa - Construcción de la Variante San Francisco - Mocoa.

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SUR DE LA AMAZONIA (CORPOAMAZONÍA). Determinantes y Condicionantes para la Ordenación Ambiental del departamento de Putumayo. Mocoa, diciembre de 2011. [En línea] Disponible en<: http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/Determinantes/Putumayo_2.0b.pdf> Pág. 28.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SUR DE LA AMAZONIA (CORPOAMAZONÍA). Agenda Ambiental. Departamento de Putumayo [En línea] en: http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/agendas/03_DMarco_Agenda_Putumayo.pdf.

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SUR DE LA AMAZONÍA – CORPOAMAZONIA (2009). Documento de Seguimiento y Evaluación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Mocoa Departamento del Putumayo. Putumayo, Colombia. [en línea]. [Disponible en Internet: HYPERLINK "http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POT/Exp_Municipal_Mocoa.pdf" http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POT/Exp_Municipal_Mocoa.pdf.

DANE. (2016). ESTUDIOS POSTCENSALES No. 7. Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020, 7, 300. Retrieved from http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, (DANE) (2009). Metodología de déficit de vivienda. Colección documentos. Número 79. 2009 ISSN 0120 – 7423 . DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, (DANE) Metodología de necesidades básicas insatisfechas. Colección de documentos.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (DANE) (2005). Censo General 2005: Manual Técnico [En Línea]. [Disponible en: <<http://www.dane.gov.co/censo/files/ManualTecnico.pdf>>. 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (DANE) (2005). Series y estimaciones de población 1985-2020. [En línea. Disponible en <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/series-de-poblacion>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DEL PLANEACION (2015). Situación actual y perspectiva para el Putumayo. Pág. 62.

DOMÍNGUEZ C., E. A. (2010). Cálculo de parámetros morfométricos.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

FEDERMAN, (2017). Carta de respuesta a la solicitud de información sobre las estaciones de monitoreo a instalar para el SAT de Mocoa, solicitada por la PUJ en el marco del contrato 9677-PPAL001-447-2017 celebrado entre la UNGRD y PUJ. Popayán, noviembre de 2017.

GOBERNACIÓN DE PUTUMAYO (2012), Plan de desarrollo 2012- 2015.

GUZMÁN, C.M., BARRERA, J.A., 2014. Metodología para la microzonificación de riesgos frente a amenazas naturales: Caso de estudio de deslizamientos e inundaciones Caracterización del movimiento en masa tipo flujo del 31 de marzo de 2017 en Mocoa – Putumayo. municipio de Mocoa – Putumayo. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. D.

HOSPITAL JOSÉ MARÍA HERNÁNDEZ. (2015). Hospital José María Hernández - Espacio Físico.

IDEAM. (2014). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. (N. Martínez & U. Murcia, Eds.). Bogotá. Retrieved from HYPERLINK http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762

IGAC. (2014). Estudio General de suelos y zonificación de tierras Departamento del Putumayo. Escala 1:100.000. Putumayo: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGAC (2014). SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SOBRE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Mapa Municipal de Conflicto de Uso de la Tierra. Escala 1:500 000. Disponible en: <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_metadato.aspx?id=170335> 2003.

IGAC. (2016). Ortofotomosaico Mocoa 1:2.000. Mocoa.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (2014). (IDEAM) Estudio Nacional del Agua. [En Línea]. Disponible en: https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20111129_ENA_2001.pdf.

	<p><i>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</i></p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

INSTITUTO SINCHI, CDA, CORPOAMAZONIA, CORMACARENA, & Ministerio de Ambiente, V. y D. T.-M. (2015). SIAT-AC. Retrieved from HYPERLINK "<http://siatac.co/web/guest/participantes/involucrados>" <http://siatac.co/web/guest/participantes/involucrados>.

LEE, T., & JEONG, C. (2014). Nonparametric statistical temporal downscaling of daily precipitation to hourly precipitation and implications for climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 510, 182–196. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.027>

MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2014). Síntesis Estadística del departamento del Putumayo. http://www.mineduccion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-212352_putumayo.pdf.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (MEN) (2016). Estadísticas sectoriales. [En línea] . Disponible en < HYPERLINK "<http://www.mineduccion.gov.co>" <http://www.mineduccion.gov.co>>.

NOAA. (2010). Flash flood early warning system reference guide. Retrieved from http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg/FF_EWS.pdf

PNUD (2016). Perfil Productivo del municipio de Mocoa. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. ISBN: 978-958-8902-02-9. 85 pp.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD (2011). Informe de desarrollo Humano. 2011.

ROGELIS, M. C. (2007). Sistema de alerta temprana de inundaciones de la quebrada limas localidad ciudad bolívar (Vol. 1).

SEILLER, G., & ANCTIL, F. (2016). How do potential evapotranspiration formulas influence hydrological projections? *Hydrological Sciences Journal*, 61(12), 2249–2266. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1100302>

SGC (2017). Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa de las subcuencas de las quebradas Taruca, Taruquita, San Antonio, El Carmen y los ríos Mulato y Sangoyaco del municipio de Mocoa – Putumayo. Putumayo: Servicio Geológico Colombiano. En ajuste.

	<p>Consultoría de los estudios de diseño del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales y crecientes súbitas generadas por precipitaciones de la microcuenca de los ríos Mulato, Sangoyaco, quebradas Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa.</p> <p>Documento – Informe general del ejercicio con las consideraciones supuestas y restricciones de los resultados generados.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

SGC. (2017). Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa de las subcuencas de las quebradas Taruca, Taruquita, San Antonio, El Carmen y los ríos Mulato y Sangoyaco del municipio de Mocoa – Putumayo. Putumayo: Servicio Geológico Colombiano.

ŠIMŮNEK, J., Š., M., S., H., S., M., V. G., & TH., M. (2013). The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 4.17.

ŠIMŮNEK, J., ŠEJNA, M., SAITO, H., SAKAI, M., VAN GENUCHTEN, M. TH. (2013). The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 4.17. June 2013.

ŠIMŮNEK, J. (2015). Estimating groundwater recharge using HYDRUS-1D, *Engineering Geology and Hydrogeology*, 29, 25-36, ISSN 0204-7934.

UNIDAD DE ATENCIÓN Y REPARACIÓN INTEGRAL A LA POBLACIÓN VÍCTIMA -UARIV (2014) -, reporte a 01 de marzo de 2014 [En línea] [Disponible en: <<http://rni.unidadvictimas.gov.co>>-].