



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

**INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO
IDIGER**

**SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y EFECTOS DEL CAMBIO
CLIMÁTICO
GRUPO DE TRABAJO TEMÁTICO
AVENIDAS TORRENCIALES
BOGOTÁ, COLOMBIA**

**PROYECTO ACTUALIZACIÓN COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA
REVISIÓN ORDINARIA Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO
TERRITORIAL**

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

ESTUDIOS BÁSICOS

**“AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN PERSPECTIVA DE CAMBIO
CLIMÁTICO”**

VOLUMEN 3

ORIGINAL

Bogotá D. C., 10 de julio de 2017

Diagonal 47 No. 77A - 09 Interior 11
Conmutador: 4292801 Fax:4292833
www.idiger.gov.co

Código Postal: 111071



Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Proyecto actualización de componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del Plan de Ordenamiento Territorial

Documento Técnico de Soporte

MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN PERSPECTIVA DE CAMBIO CLIMÁTICO ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN ESCALA 1:5000 Y RURAL ESCALA 1:25000

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDIGER

Diagonal 47 No. 77 B-09 Interior 11
www.idiger.gov.co
Bogotá - Colombia

Director: Ing. Richard Vargas.
Responsable Área: Ing. Diana Arévalo S. Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos de Cambio Climático
Coordinación: María Alexandra Bejarano – César F. Peña P.
Responsable Grupo: Miguel Ángel Vanegas Ramos

Elaborado por:
Grupo de Trabajo Temático
Avenidas Torrenciales

ORIGINAL

10 de julio de 2017





ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

RESUMEN

En el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C. – POT, se presenta el documento técnico de soporte – DTS donde se muestra la metodología usada por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER para la elaboración de un nuevo mapa no incluido en el Decreto 190 de 2004 de amenaza por avenidas torrenciales para la zona urbana, de expansión y rural del Distrito Capital, en cumplimiento de lo establecido para los estudios básicos del Decreto Nacional 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015). El proceso de actualización consistió en el desarrollo de los modelos hidrológicos para el cálculo de los hidrogramas de entrada de los modelos hidráulicos, así como el contraste del mapa de procesos morfodinámicos asociados a avenidas torrenciales que permitieron las estimaciones de la concentración de volumen en los hidrogramas de entrada y finalmente el modelo hidráulico con el cual se realizó la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453495



CO-SA-CER366134

Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.

TABLA DE Contenido

0	INTRODUCCIÓN.....	13
1	OBJETIVOS	14
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	15
3	CONTEXTO DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	16
4	ÁREA DE ESTUDIO.....	17
5	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE	20
5.1	INFORMACIÓN GENERADA POR UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN EN CONVENIO CON CORANTIOQUIA, ALCALDÍA DE MEDELLÍN, MUNICIPIO DE ENVIGADO Y EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.....	20
5.2	INFORMACIÓN GENERADA POR EVALUACIÓN CORNARE EN CONVENIO CON LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA.....	25
5.3	INFORMACIÓN GENERADA POR EL INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA – IDEAM.....	27
5.4	INFORMACIÓN GENERADA POR LA CAR	27
5.5	INFORMACIÓN GENERADA POR LA EAB	27
5.6	INFORMACIÓN GENERADA POR LA SDA	28
5.7	FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) HOY INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER).	28
5.8	INFORMACIÓN GENERADA POR EL GRUPO DE ESTUDIOS SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS – DPAE EN EL AÑO 2007.	28
5.9	CONCEPTOS TÉCNICOS EMITIDOS PARA EL PROGRAMA DE REASENTAMIENTO - AVENIDAS TORRENCIALES (2013-2015) POR EL INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER)	29
5.10	INFORMACIÓN GENERADA POR OTRAS ENTIDADES.....	31
6	METODOLOGÍA.....	31
6.1	ESTADO DEL ARTE	31
6.1.1	INFORMACIÓN GENERADA PARA INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES VOLUME 2, NO 2, 2011 POR KOSHAK.N, DAWOD.G 2011	31
6.1.2	INFORMACIÓN GENERADA PARA EL ARABIAN JOURNAL OF GEOSCIENCE (2014), POR S. BAJABAA, M. MASOUD, N. AL-AMRI (2013)	32
6.1.3	INFORMACIÓN GENERADA PARA EL OPEN JOURNAL OF MODERN HYDROLOGY, 2016, 6, 79-100, POR YAHYA FARHAN, OMAR ANABA (2016)	32
6.2	ESQUEMA METODOLÓGICO	33
7	INSUMOS.....	36
7.1	CARTOGRAFÍA BASE	36
7.1.1	SISTEMAS DE COORDENADAS	36
7.1.2	ESCALA	36
7.1.3	GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP	36
7.1.4	MODELO DIGITAL DEL TERRENO	37
7.2	GEOLOGÍA.....	38
7.3	GEOMORFOLOGÍA	38



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

7.4	INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS	38
8	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	39
8.1	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	39
8.1.1	Cuencas Hidrográficas	41
8.1.2	Morfometría	51
8.1.2.1	Pendiente	51
8.1.2.2	Orden de corriente	53
8.1.2.3	Longitud de Flujo	54
8.1.3	Susceptibilidad a un evento torrencial	55
8.1.4	Modelo Lluvia – Escorrentia	59
8.2	ANÁLISIS DE SEDIMENTOS	64
8.3	ANÁLISIS HIDRÁULICO	68
8.3.1	Modelo Digital de terreno I	68
8.3.2	Escenario de modelación	¡Error! Marcador no definido.
8.3.3	Resultados de Modelación	70
8.4	ANÁLISIS DE AMENAZA	71
8.4.1	Resultados de Amenaza	71
9	ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	73
10	ZONIFICACIÓN Y MAPA DE RIESGO	80
11	ZONIFICACIÓN Y MAPA DE SUELOS DE PROTECCIÓN	80
12	DEFINICIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS POR AVENIDAS TORRENCIALES	81
13	BIBLIOGRAFÍA	87
14	ANEXOS	88
14.1	TABLA INFORMACIÓN DISPONIBLE	88
14.2	INVENTARIO DE CUENCAS	88
14.3	PRIORIZACIÓN DE CUENCAS	88
14.4	ESTACIONES IDF	88



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Área de Estudio Inicial	18
Figura 4-2: Área de Estudio Final	19
Figura 6-1: Esquema metodológico	35
Figura 7.1. Modelo Digital del Terreno	37
Figura 8-1: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 12 m Proyectado	40
Figura 8-2: Buffer de 10 kilómetros del perímetro del distrito capital	40
Figura 8-3: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 12 m Proyectado extraído con buffer de 10 kilómetros del perímetro del distrito capital.....	40
Figura 8-4: Sistema Hídrico Proyectado	41
Figura 8-5: Sistema Hídrico Línea Proyectado extraído con buffer de 10 kilómetros del perímetro del distrito capital	41
Figura 8-6: Corrección DEM mediante red de drenaje 1	42
Figura 8-7: Corrección DEM mediante red de drenaje 2	42
Figura 8-8: Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido	43
Figura 8-9: Dirección de Flujo	43
Figura 8-10: Acumulación de Flujo	44
Figura 8-11: Red de Drenaje Generada Tipo Raster	44
Figura 8-12: Red de Drenaje Generada Tipo Raster Vinculada	44
Figura 8-13: Cuencas hidrográficas Tipo Raster	44
Figura 8-14: Cuencas hidrográficas Tipo Polígono	44
Figura 8-15: Red de Drenaje Generada Tipo Línea	44
Figura 8-16: Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.....	45
Figura 8-17: Puntos de cierre de cuencas Rurales en limite urbano.....	46
Figura 8-18: Puntos de cierre de cuencas Rurales en limite urbano.....	46
Figura 8-19: Vinculación Puntos de Cierre Con Acumulación de Flujo	47
Figura 8-20: Cuencas tipo Raster	47
Figura 8-21: Cuencas tipo Polígono	47
Figura 8-22: Cuencas tipo Polígono Nombres de Corriente Principal	47
Figura 8-23: Cuencas tipo Polígono Nombres de Corriente Principal Perímetro Urbano	48
Figura 8-24: Cuencas hidrográficas Seleccionadas	49
Figura 8-25: Cuenca Río Fucha.....	50
Figura 8-26: Río Fucha Cuencas Modelaciones	50
Figura 8-27: Río Fucha Drenaje Modelaciones	51
Figura 8-28: Río Fucha Orden Drenaje Modelaciones	51
Figura 8-29: Raster de Pendientes	52
Figura 8-30: Raster de Orden de la Corriente	53
Figura 8-31: Raster de Longitud de Flujo	54
Figura 8-32: Tiempo de concentración (minutos) Cuencas hidrográficas Seleccionadas.....	55
Figura 8-33: Tiempo al pico (horas) Cuencas hidrográficas Seleccionadas	56
Figura 8-34: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo de concentración (IACTC) cuencas hidrográficas seleccionadas	57
Figura 8-35: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo al pico (IACTP) cuencas hidrográficas seleccionadas	58
Figura 8-36: Distancia centroide cuencas hidrográficas seleccionadas a estaciones con IDF estudio de tormentas EAB	59
Figura 8-37: Precipitación Media Anual	60
Figura 8-38: Precipitación Media Anual cuencas hidrográficas seleccionadas	60
Figura 8-39: Precipitación máxima en 24 horas	61
Figura 8-40: Precipitación máxima en 24 horas cuencas hidrográficas seleccionadas	61
Figura 8-41: Número de días de precipitación medio anual	61



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 8-42: Número de días de precipitación medio anual cuencas hidrográficas seleccionadas	61
Figura 8-43: Numero de curva	62
Figura 8-44: Numero de curva cuencas hidrográficas seleccionadas	62
Figura 8-45: Caudal Pico cuencas hidrográficas seleccionadas	63
Figura 8-46: Concentración media procesos en volumen	64
Figura 8-47: Concentración media procesos en volumen, cuencas hidrográficas seleccionadas	66
Figura 8-48: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 5 m a partir del modelo de elevación digital de 12 m y 1 m	68
Figura 8-49: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 5 m a partir del modelo de elevación digital de 12 m y 1 m con corrección red de drenaje	68
Figura 8-50: Buffer de 100 m corriente a modelar	69
Figura 8-51: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 5 m a partir del modelo de elevación digital de 12 m y 1 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar	69
Figura 8-52: Resultados modelación vectores de velocidad	70
Figura 8-53: Resultados modelación máxima profundidad de flujo	70
Figura 8-54: Zonificación de amenaza	72



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453495



CO-SA-CER366134

Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1: Conceptos técnicos emitidos para el programa de reasentamiento	30
Tabla 5-2: Total Viviendas/Familias recomendadas por el programa	30
Tabla 8-1: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo de concentración (IACTC)	57
Tabla 8-2: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo al pico (IACPT)	58
Tabla 8-3: Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)	65
Tabla 8-4: Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)	67
Tabla 8-5: Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)	71
Tabla 9-1: Área de amenaza en del perímetro distrital.....	73
Tabla 9-2: Área de amenaza en suelo Urbano	73
Tabla 9-3: Área de amenaza en suelo Expansión	74
Tabla 9-4: Área de amenaza en suelo Rural	74
Tabla 9-5: Área de amenaza alta por localidad	74
Tabla 9-6: Área de amenaza media por localidad	75
Tabla 9-7: Área de amenaza baja por localidad	76
Tabla 9-8: Área de amenaza alta suelo urbano por localidad	76
Tabla 9-9: Área de amenaza media suelo urbano por localidad	77
Tabla 9-10: Área de amenaza baja suelo urbano por localidad	77
Tabla 9-11: Área de amenaza alta suelo expansión por localidad	78
Tabla 9-12: Área de amenaza media suelo expansión por localidad	78
Tabla 9-13: Área de amenaza baja suelo expansión por localidad	78
Tabla 9-14: Área de amenaza alta suelo rural por localidad	79
Tabla 9-15: Área de amenaza media suelo rural por localidad	79
Tabla 9-16: Área de amenaza baja suelo rural por localidad	80
Tabla 11-1: Área de amenaza alta suelo urbano y ZMPA	80
Tabla 12-1: Área de amenaza alta por cuenca	84
Tabla 12-2: Área de amenaza media por cuenca	85
Tabla 12-3: Área de amenaza baja por cuenca	85



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453495



CO-SA-CER366134

Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

GLOSARIO DE TÉRMINOS

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CAR Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CORANTIOQUIA Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
CORNARE Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare
CT: Concepto Técnico
CDI: Centro de Documentación e Información del IDIGER
DTS: Documento técnico de soporte
DI: Diagnóstico Técnico
DPAE: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (ahora IDIGER)
EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
FONDIGER: Fondo Distrital para la Gestión de Riesgo y Cambio Climático
FOPAE: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (ahora IDIGER y FONDIGER)
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDIGER: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDU: Instituto de Desarrollo Urbano
NUSE: Número Único de Seguridad y Emergencias 123
OPES: Oficina de Prevención y Atención de Emergencias (ahora IDIGER)
PDPAE: Plan Distrital de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá
PDGR-CC: Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
POT: Plan de Ordenamiento Territorial
SDA: Secretaría Distrital de Ambiente
SDP: Secretaría Distrital de Planeación (antes DAPD)
SDPAE: Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá
SDGR-CC: Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
SGC: Servicio Geológico Colombiano (antiguo INGEOMINAS)
SIG: Sistemas de Información Geográfica
SIRE: Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático
UAECD: Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital
UNGRD: Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastre
UPES: Unidad para la Prevención y Atención de Emergencias (ahora IDIGER)
UPZ: Unidades de Planeamiento Zonal

DEFINICIONES

Almacenamiento de la llanura de inundación: Volumen de agua que se puede almacenar en la llanura de inundación. (WMO & UNESCO, 1998)

Avenidas Torrenciales: Las avenidas torrenciales son crecidas repentinas producto de fuertes precipitaciones que causan aumentos rápidos del nivel de agua de los ríos y quebradas de alta pendiente. Estas crecientes pueden ser acompañadas por flujo de detritos de acuerdo a las condiciones de la cuenca. El flujo de detritos se define como un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que

transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce empinado. Adaptado de: (Gemma, 2007) Página 140

Caudal: Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en una unidad de tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Caudal sólido: Caudal de sedimentos en una sección transversal dada de una corriente de agua. (WMO & UNESCO, 1998)

Concentración de sedimentos: Relación entre el peso seco de los materiales sólidos y el peso total de una muestra de agua y sedimentos. (WMO & UNESCO, 1998)

Control de crecidas: Detención y/o derivación del agua durante episodios de crecida con el fin de reducir el caudal o la inundación de las zonas aguas abajo. (WMO & UNESCO, 1998)

Crecida: 1) Elevación, generalmente rápida, del nivel de agua de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor. 2) Flujo relativamente alto medido como nivel o caudal. (WMO & UNESCO, 1998)

Crecida repentina: Crecida de corta duración con un caudal máximo relativamente elevado. (WMO & UNESCO, 1998)

Cuenca: Área que tiene una salida única para su escorrentía superficial. (WMO & UNESCO, 1998)

Curva intensidad-duración-frecuencia: Curva que muestra la relación entre la precipitación en una zona y la frecuencia con la que ocurre para diferentes duraciones. (WMO & UNESCO, 1998)

Detritos: Acumulación de materiales sueltos que se produce por la alteración de las rocas o por materiales de origen antrópico. (WMO & UNESCO, 1998)

Dique lateral: Obra construida para retener el flujo de agua de un río dentro de un tramo determinado de su cauce o para prevenir inundaciones debidas a mareas u ondas. (WMO & UNESCO, 1998)

Escorrentía superficial: Parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo. (WMO & UNESCO, 1998)

Flujo de agua y roca: Flujo de lodo en el que predomina el material de grano grueso. (WMO & UNESCO, 1998)

Flujo hiperconcentrado: Flujo de una mezcla de agua concentrada de sedimentos y detritos de forma tal que la masa fluyente es espesa y viscosa. (WMO & UNESCO, 1998)

Hidrograma: Gráfico que muestra la variación temporal de variables hidrológicas tales como el nivel de agua, el caudal, la velocidad y la carga de sedimentos. (WMO & UNESCO, 1998)

Hietograma: Distribución de la intensidad de lluvia a lo largo del tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Inundación: 1) Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua. 2) Acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas. 3) Encharcamiento controlado para riego. (WMO & UNESCO, 1998)

Inundación pequeña: Inundación de poca importancia causada por lluvias intensas o deshielo (WMO & UNESCO, 1998)

Llanura de inundación: Terreno adyacente a una corriente de agua que se inunda sólo cuando el caudal es mayor que la capacidad máxima del cauce. (WMO & UNESCO, 1998)

Malecón: Muro construido para confinar cursos de agua a fin de prevenir inundaciones. (WMO & UNESCO, 1998)

Mapa de isoyetas: 1) Mapa que representa la distribución temporal o espacial de la precipitación. 2) Gráfico que muestra la intensidad de la precipitación en función del tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Morfología fluvial: Ciencia que estudia la formación de diversas acumulaciones de sedimentos en los lechos, llanuras de inundación y cauces por la acción del agua. (WMO & UNESCO, 1998)

Número de curva: Parámetro empírico que varía entre 0 y 100 que se utiliza para estimar el coeficiente de escorrentía de un episodio de lluvias a partir de la altura de precipitación y las propiedades de drenaje de la cuenca. (WMO & UNESCO, 1998)

Precipitación: 1) Elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo. 2) Cantidad de precipitación caída sobre una unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Protección de elementos situados en zona inundable: Técnicas para reducir los daños por crecidas en zonas con riesgo de inundación. (WMO & UNESCO, 1998)

Sedimento: Material transportado por el agua en suspensión o como arrastre de fondo desde su lugar de origen al de depósito. (WMO & UNESCO, 1998)

Zona inundable: Área que se inunda de forma ocasional. (WMO & UNESCO, 1998)



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Zonificación de la llanura de inundación: Clasificación de la llanura de inundación en zonas para diferentes propósitos. (WMO & UNESCO, 1998)



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.

0 INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Documento Técnico de Soporte – DTS del mapa normativo de amenaza por avenidas torrenciales para las zonas urbanas, de expansión a escala 1:5000 y la zona rural a escala 1:25000, elaborado por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C.

Para la generación del mapa se tienen en cuenta las consideraciones del Decreto Nacional 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015), por lo que el documento se desarrolla en una secuencia que evidencia el cumplimiento de dicha normatividad. Se resalta la consulta, análisis y evaluación de bases de datos e información del IDIGER especialmente la relacionada con instrumentos de gestión del riesgo como Conceptos y Estudios de amenaza y riesgo. la consulta a otras entidades del Distrito como la Secretaría Distrital de Planeación (SDP), la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), entre otras, entidades nacionales como el Servicio Geológico Colombiano y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que permitieron incorporar información conforme al esquema metodológico planteado.

El DTS se divide en capítulos dentro de los que se encuentra un contexto de amenaza por avenidas torrenciales de la ciudad, la consulta de información disponible, el planteamiento de un esquema metodológico soportado en la información existente, la selección de metodologías de evaluación de amenaza, la descripción e implementación del modelo de análisis de amenaza, los insumos utilizados.

Finalmente, se muestran los criterios utilizados para obtener el mapa definitivo de zonificación de las áreas en condición de amenaza baja, media y alta por avenidas torrenciales para los suelos urbanos, de expansión a escala 1:5000 y rural a escala 1:25000

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Generar un mapa de amenaza por avenidas torrenciales para la zona urbana, de expansión y rural de Bogotá Distrito Capital en cumplimiento del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015 o Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio), cuya delimitación y zonificación obtenida servirá como una herramienta para la identificación de condiciones de amenaza potenciales, y para definir medidas de intervención que orienten a establecer los condicionamientos y/o restricciones del uso y la ocupación del territorio que debe tenerse en cuenta en la revisión y actualización del instrumento de planificación territorial Plan de Ordenamiento Territorial – POT.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Generar inventario de información e insumos disponible, donde se defina sus características y se evalúe su pertinencia en la generación del mapa actualizado.
2. Establecer el estado del arte que permita la definición de la metodología para el análisis de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales de acuerdo a las condiciones actuales de los cuerpos de agua e información disponible.
3. Realizar el inventario de cauces que permita priorizar las cuencas susceptibles a la amenaza por avenidas torrenciales.
4. Implementar la metodología seleccionada a los cuerpos de agua de Bogotá Distrito Capital, con el fin delimitar y zonificar las áreas de amenaza por avenidas torrenciales.
5. Definir áreas con condición de amenaza, priorizando zonas ocupadas, de expansión y centros poblados que requieren estudios detallados.

2 ALCANCE Y LIMITACIONES

La información plasmada en este documento, tiene como alcance dar un soporte técnico a las distintas actividades ejecutadas para la generación del plano normativo de Amenaza por Avenidas Torrenciales para los suelos urbano, de expansión y rural de Bogotá D.C.; el esquema metodológico planteado para lograr los objetivos se enmarca y se limita al cumplimiento de lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015) y aunque describe de manera clara cómo se llegó a la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, su uso o réplica en otros municipios o distritos debe verse con especial cuidado, toda vez que su estructuración tuvo en cuenta información e insumos específicos disponibles.

3 CONTEXTO DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

La amenaza por avenidas torrenciales en la ciudad es una problemática que ha sido abordada con el fin de evitar impactos no deseados en los ciudadanos e infraestructura aferente a los cuerpos de agua que puedan presentar esta condición de amenaza. La ubicación geográfica de la ciudad y el efecto que la variabilidad climática produce sobre la intensidad de los eventos extremos de precipitaciones hacen que la problemática de avenidas torrenciales en la ciudad tome relevancia debido a la necesidad de ampliación en suelos con condiciones naturales. Igualmente, los cambios de cobertura de las cuencas de alta montaña generan el incremento de concentración de volúmenes de agua que aumentan los caudales esperados en las corrientes. Por estas razones la ciudad ha incrementado los esfuerzos que permitan realizar el análisis de esta problemática y de esta forma permitir el asentamiento seguro de sus ciudadanos.

Los cerros orientales de la ciudad que presentan alta pendiente tienen condiciones naturales que permiten la generación de avenidas torrenciales, adicionalmente las precipitaciones que se presentan en las dos temporadas de lluvias de la región producen volúmenes de agua suficientes que pueden ocasionar flujos torrenciales, estas condiciones naturales incrementan la susceptibilidad de la ciudad a este tipo de amenaza. Adicionalmente a las condiciones naturales existen condiciones antrópicas de ocupación de cauces y cambios de coberturas de las cuencas que aumentan la susceptibilidad de la ciudad al impacto de este tipo de amenaza.

De acuerdo a lo anterior se han realizado algunas aproximaciones con el fin de estudiar la amenaza presente en la ciudad y conocer el comportamiento de estos fenómenos en algunas zonas donde el impacto de este tipo de amenaza puede ser mayor, como resultado de estos procesos la ciudad ha adquirido un aprendizaje que permite profundizar en el conocimiento de esta amenaza con el fin de hacer frente al reto de generar el primer mapa de amenaza por avenidas torrenciales a nivel del área total de la ciudad lo cual permitirá tomar decisiones sobre los lugares prioritarios para realizar estudios detallados.

El reto es convertir el insumo generado como punto de partida para los estudios detallados que permitan en un futuro actualizar el mapa de amenaza por avenidas torrenciales que garantice el conocimiento de esta amenaza en toda la ciudad y una retroalimentación de experiencias adquiridas que puedan establecer a la ciudad como un referente en el análisis de este tipo de amenaza tanto a nivel nacional como regional.

4 ÁREA DE ESTUDIO

Para la generación del mapa normativo de amenaza por avenidas torrenciales se define el área de estudio conforme lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) y corresponde con todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial. Adicionalmente, se establece que para el desarrollo de los estudios básicos en el área urbana y de expansión se deben trabajar a escalas 1:5000 y para el área rural de debe trabajar a escala 1:25000.

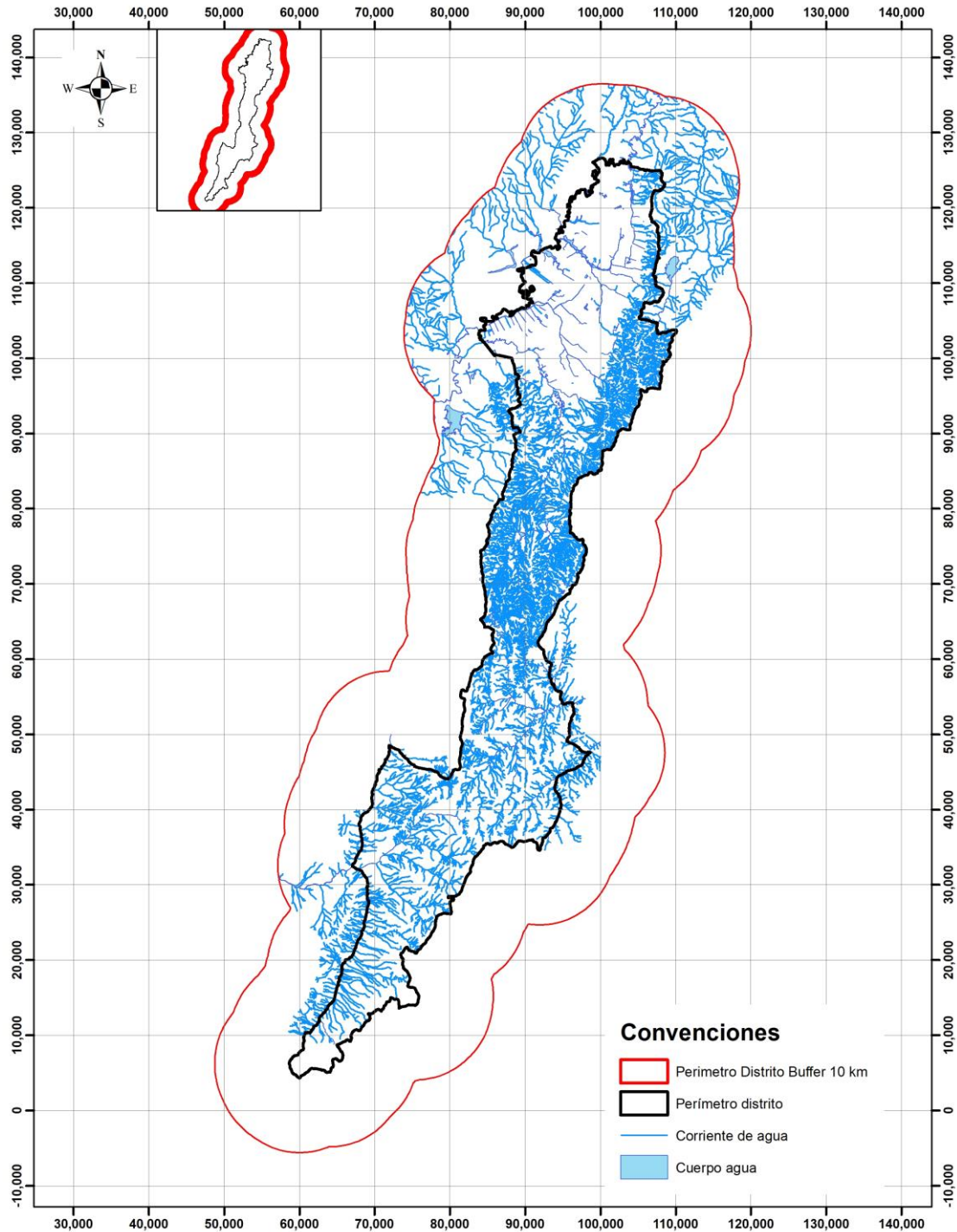
Con el fin de analizar a nivel de cuencas los cauces presentes o con influencia en el distrito el área de estudio inicial comprende un área mayor al área del distrito con el fin de delimitar las cuencas en su totalidad, el área de estudio inicial incluyendo un área aferente mayor al distrito es de 513.731 ha (ver Figura 4-1), posterior a la delimitación de cuencas el área de estudio final comprende los cauces presentes o con influencia en el distrito que por sus condiciones topográficas y naturales puedan tener un comportamiento torrencial; el área total de estudio final es de 157.351 ha. (Ver Figura 4-2)



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático



Convenciones

-  Perímetro Distrito Buffer 10 km
-  Perímetro distrito
-  Corriente de agua
-  Cuerpo agua

Figura 4-1: Área de Estudio Inicial



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

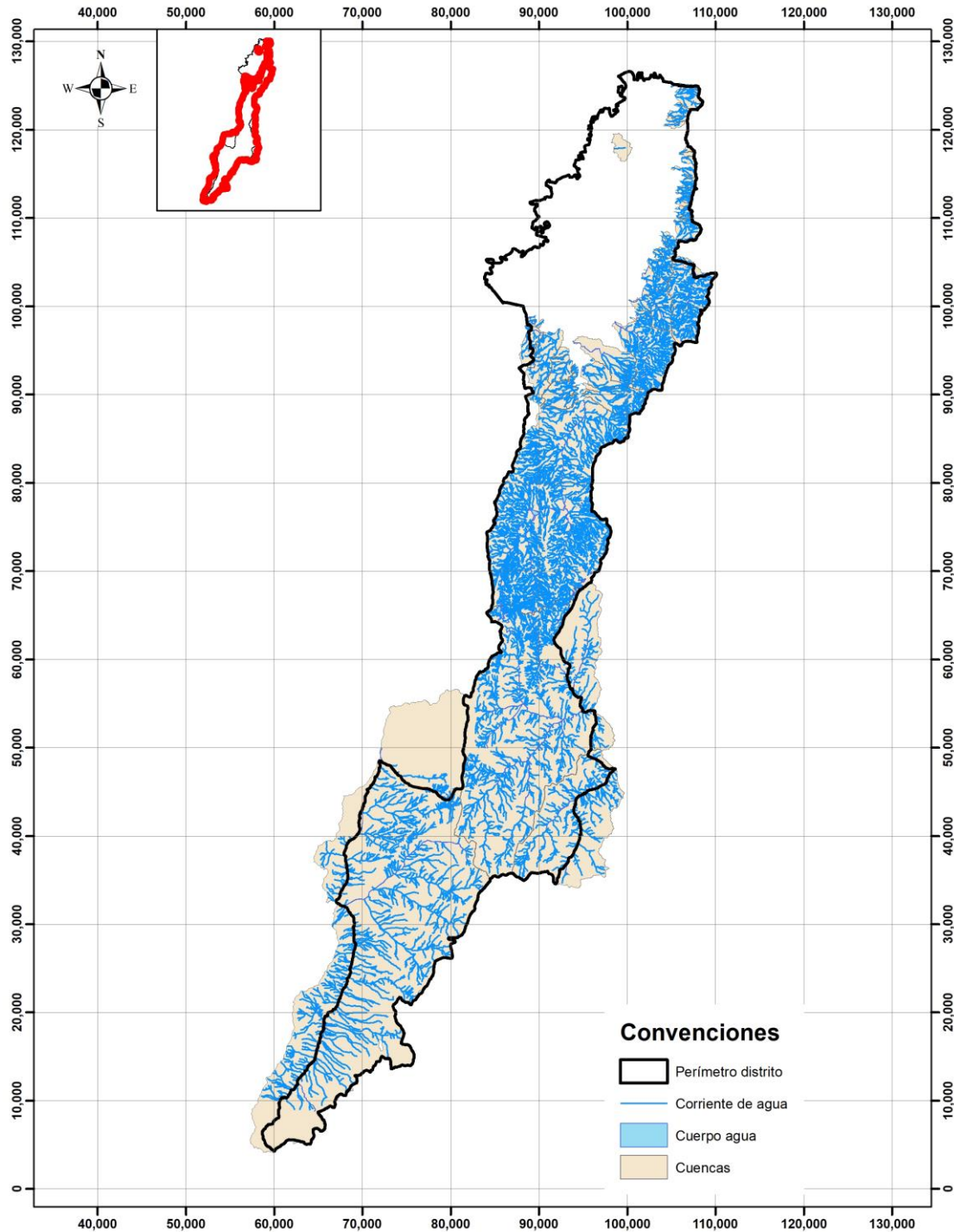


Figura 4-2: Área de Estudio Final

5 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

La recopilación de información disponible se ha realizado, de acuerdo con lo establecido en artículo 6 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), correspondiente a las condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos y detallados, en donde se especifica los parámetros a seguir para el análisis de la información disponible. Para el presente estudio se ha procedido a consultar información técnica relacionada con estudios de amenaza y riesgo, cartografía básica y temática y demás información pertinente que haya sido aprobada y elaborada por autoridades y sectores competentes, además que correspondan al análisis de las áreas de interés ya sea de manera total o parcial, y que cumpla las condiciones técnicas y de detalle establecidas en el mencionado decreto para este tipo de estudio.

5.1 INFORMACIÓN GENERADA POR UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN EN CONVENIO CON CORANTIOQUIA, ALCALDÍA DE MEDELLÍN, MUNICIPIO DE ENVIGADO Y EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Se revisó el respectivo documento titulado: “Zonificación de la Amenaza por Inundaciones y Avenidas Torrenciales en el Valle de Aburrá” publicado en el Julio de 2009 su versión definitiva, donde se realiza una metodología detallada con respecto al fenómeno de avenidas Torrenciales e inundaciones Rápidas, la cuales se denominan muchas veces como “crecientes, avalanchas, crecidas, borrasca o torrentes” las cuales “son una amenaza muy común en cuencas de alta montaña y debido a sus características pueden causar gran des daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas”.

Se enmarca en el documento el término avenida torrencial en un gran número de flujos torrenciales como lo son flujos de lodos y/o escombros, avalanchas, lahares, lavas, flujos hiperconcentrados o súper concentrados, lava torrencial, entre otros (Costa, 1988; Medina, 1991; Coussot y Meunier, 1996; Lavigne y Suba, 2004; Díaz-Onofre, 2008). Estos flujos presentan claras diferencias en cuanto al mecanismo de generación y comportamiento del flujo, así como a la concentración de los sedimentos y densidad del flujo”

De acuerdo al documento, “Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos cuando en un evento de lluvias se superan valores de precipitación pico en pocas horas. Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina (Urrea, 1996, Rendón, 1997; OSSO – La Red, 2003; Castro, 2007). En otros casos puede que no halla desgarres en las vertientes originados por la lluvia, simplemente el material que ya se encontraba en el cauce con mucha anterioridad es arrastrado aguas abajo por la creciente, como lo ocurrido en la quebrada El Barro, Municipio de Bello”.

“Aunque la duración de estos eventos varía entre pocos minutos a varios días, su rápida manifestación y altas velocidades le confieren una alta peligrosidad debido a que no dan tiempo de reacción a las personas que se encuentran en el área de influencia del evento generando así situaciones desastrosas con pérdidas de vidas humanas y destrucción de viviendas, estructuras, cultivos, carreteras, etc. (Vásquez, 1993; Urrea, 1996; Flórez y Suavita, 1997; Smith y Ward, 1998; Castro, 2007).

En la parte superior de las vertientes o zona de montaña, donde las corrientes están encajonadas, la avenida torrencial afecta usualmente un área pequeña a lo largo del cauce, pero una vez la pendiente disminuye en la zona de transición, el área afectada se incrementa debido a que se genera la depositación del material arrastrado formando los llamados conos o abanicos de depositación. Aunque es factible delimitar estos abanicos por las características geomorfológicas de la zona, no es posible definir un rumbo preciso para el flujo torrencial, ya que las obstrucciones y zonas de deposición que se producen durante el evento ocurren con un rumbo inestable e impredecible (Integral, 1990 en Urrea, 1996).

Las avenidas torrenciales modifican la morfología del cauce; incluyendo cambios en el ancho y profundidad del canal, así como de la competencia y el transporte de los sedimentos (Durán et al., 1985), lo cual se traduce en una modificación de su comportamiento y en algunas ocasiones hasta el curso de las corrientes.

Las avenidas constituyen un fenómeno ligado a la dinámica geológica que, desde un punto de vista integrado, permite la renovación del agua subterránea y de nutrientes de los suelos de las áreas inundables (Morisawa, 1985). Según Durán et al. (1985), la crecida y el desbordamiento de un río no suponen en general, desde el punto de vista geológico, ningún acontecimiento fuera de lo normal. Lo que para el hombre constituye un hecho catastrófico, no tiene el mismo sentido dentro de la evolución del relieve, sino que la catástrofe en geología forma parte de la dinámica natural”.

Se caracteriza por lo tanto un flujo torrencial “Hidráulicamente, por contener un alto porcentaje de material sólido (que incrementa considerablemente la viscosidad y densidad del flujo, disminuyendo su velocidad), recorrer cauces de altas rugosidades y al tas pendientes (superior al 1%). Estos flujos presentan un problema hidráulico complejo que no puede ser resuelto adecuadamente con las ecuaciones clásicas de hidráulica fluvial (Rendón, 1997)”.

Una de las razones por las cuales es tan difícil definir los flujos torrenciales de manera precisa es que a lo largo del cauce del río y dependiendo de la pendiente del mismo y del material disponible, una avenida torrencial puede cambiar sus características hidráulicas e hidrológicas y por ende recibir diferentes nombres (Costa, 1988). Además, lo anterior también define el tipo de material que es depositado en las márgenes de los drenajes a medida que el flujo va pasando y cambiando su régimen (Parra, en preparación). “Cuando se presentan avenidas torrenciales las corrientes aumentan la capacidad para transportar sedimentos gruesos donde además se incorporan restos vegetales y lodo con una zona

de influencia amplia de gran potencial destructivo y un área afectada que se ubica paralelamente al flujo principal y otra que corresponde a la zona donde grandes depósitos de flujos de escombros se acumulan”.

Estos eventos son impredecibles y ocurren de manera rápida, en periodos de tiempo muy cortos, con largos periodos de retorno para un mismo lugar y presentan una distribución temporal y espacial errática, razones que contribuyen al gran desconocimiento que hay sobre ellos, lo cual es muy delicado debido a su alto poder destructivo (Durán et al, 1985; Piedrahíta, 1996; Castro, 2007, Parra, en preparación).

En consecuencia, el flujo torrencial puede ser causa inicialmente, con base en estudios realizados en áreas donde han ocurrido fenómenos similares, por la influencia de factores geológicos y geomorfológicos descritos en el numeral 1.2.3 del estudio de la Universidad Nacional. (Parra et al., 1995; Rúa & Marín, 2006; Aristizabal, 2007; Castro, 2007). Además, otros factores tales como usos del suelo, condiciones climatológicas e hidrológicas, así como intervenciones de tipo hidráulico, interactúan entre sí, propiciando las condiciones que favorecen el desarrollo de tal fenómeno. De esta manera, las causas de las avenidas torrenciales son la combinación de factores geológicos y geomorfológicos de la cuenca (forma, pendiente, masa o material disponible) con factores meteorológicos de lluvias de alta intensidad (Castro, 2007), que pueden generar un aumento de escorrentía y activar en laderas de la cuenca, movimientos en masa que caen al cauce.

Todo lo anterior confluye junto con la extensión del valle para determinar la magnitud del evento y por ende su velocidad y poder destructivo.

Dentro de las principales causas generadoras de avenidas torrenciales sobresalen los eventos de precipitación de alta intensidad de carácter local. Desafortunadamente, en el país son pocos los datos obtenidos durante avenidas torrenciales y los registros de lluvia, en las cuencas donde se han registrado los eventos, son de baja calidad o han sido registrados en estaciones demasiado alejadas de las cuencas afectadas por lo cual los datos no indican las condiciones reales en la zona del evento, ya que en su mayoría reportan la lluvia diaria, mas no la intensidad y duración de esta.

Dentro de los pocos registros de precipitaciones para avenidas torrenciales con los que se cuentan en el Valle de Aburrá, sobresale el del evento de la Quebrada La Llorona en el Municipio de La Estrella, donde Cadavid, (2001) reporta que el día del evento se registraron 62 mm en una estación a 1.5 km de la cuenca afectada. Por su parte, González y Hermelin, (2004) reportan registros de 91 mm en estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca afectada”.

Las cuencas que presentan determinados indicadores con respecto a su morfometría presentan más susceptibilidad al evento de avenida torrencial, por lo tanto, de acorde con el estudio, “Las cuencas torrenciales son entonces aquellas que tienen la capacidad de generar eventos de caudales muy grandes producidos en pocas horas durante los periodos invernales. Durante estos eventos de gran caudal, flujo no uniforme y alta velocidad, la cuenca adquiere una amplia capacidad de arrastre de materiales

heterogéneos de gran magnitud, los cuales provienen usualmente de movimientos en masa generados en las márgenes del cauce, que van aumentando gradualmente su poder destructivo al incrementar la cantidad y tamaño del material disponible que puede incluir árboles, sedimentos gruesos, bloques de roca, entre otros.

De esta manera, las masas removidas se convierten en flujos de suelo y roca, donde el material sólido puede constituir hasta el 80% del peso total de la mezcla, que caen pendiente abajo hasta encontrar los cauces donde unidos a otros, aumentan el caudal de la corriente y se convierten en una avenida torrencial (Rendón, 1997; Castro, 2007).

Varios autores han intentado establecer unos indicadores claros que permitan identificar cuales cuencas presentan una mayor susceptibilidad ante este tipo de amenaza socio natural, o incluso de establecer parámetros físicos con unos rangos para los cuales exista la posibilidad o no de ocurrencia del fenómeno (Rico & Benito, 2002), pero dada la esporadicidad de estos fenómenos es muy difícil establecer unos rangos fijos y determinar cuáles factores son o no los necesarios como desencadenantes, ya que estos varían para cada cuenca. Vásquez (1993), mediante el estudio del desastre generado por una avenida torrencial del río Tapartó de 1993, define las características básicas de las cuencas torrenciales, las cuales son en su mayoría cuencas “jóvenes” o en evolución.

Estas características son:

1. Cuencas relativamente pequeñas en las cuales los eventos de lluvia pueden cubrir completamente toda al área de captación;
2. Cuencas situadas en regiones montañosas fuertemente escarpadas;
3. Pendientes escarpadas del lecho o canal del río principal y de sus afluentes;
4. Gran capacidad del río para socavar y profundizar su propio lecho;
5. Alta capacidad de transporte de rocas y materiales;
6. Presencia de valles estrechos en forma de “V” con laderas muy pendientes, propio de drenajes jóvenes; y
7. Gran variabilidad entre los caudales máximos y mínimos, hasta el punto de que una creciente puede presentar un caudal 100 veces mayor al caudal medio de la corriente.

Dentro de las características antes mencionadas, Riedl y Zachar (1984) destacan el tamaño de la cuenca, afirmando que estos eventos sólo se presentan en cuencas pequeñas, de entre 0,3 y 150 km², para que ésta pueda ser afectada por una sola lluvia al mismo tiempo, puesto que para áreas más grandes la probabilidad es muy baja de que sean cubiertas en su totalidad por un solo aguacero.

Por su parte González y Hermelin (2004), amplían este rango hasta 300 km². Varios autores afirman que la forma de la cuenca también es un factor importante, siendo las cuencas circulares las más propensas a presentar avenidas torrenciales (Chorley, et al., 1984; González y Hermelin, 2004). Estos mismos autores sostienen, que una red densa de drenaje o altamente desarrollada, contribuye significativamente a la reducción del tiempo de concentración favoreciendo la generación de avenidas torrenciales”.

De acuerdo a la terminología y elementos conceptuales básicos anteriormente mencionados se desarrolla la metodología que se trabaja con los siguientes lineamientos:

A. Recopilación de información secundaria: la búsqueda se enfocó en los centros de documentación del Área Metropolitana, Biblioteca de Planeación de los municipios del Valle de Aburrá, Aula Ambiental (antes Instituto Mi Río), Universidad Nacional, Universidad EAFIT, planotecas, entre otros.

1. Recopilación de estudios existentes: tales estudios incluyen tesis de grado, POMI, PIOM, POMCA, PBOT además de estudios puntuales relativos a una microcuenca en particular.
2. Revisión de estudios hidráulicos e hidrológicos para las quebradas con mayores registros de eventos o para aquellas que posean tal información.
3. Estudios anteriores relacionados concretamente al tema de inundaciones y avenidas torrenciales en el Área Metropolitana incluyendo estudios en zonas de inundación que especifiquen puntos críticos.
4. Revisión de toda la información cartográfica, en papel o medio magnético, como curvas de nivel, hidrografía, geología de las unidades superficiales, entre otros.

B. Análisis geomorfológico por sensores remotos: a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas de múltiples años y de imágenes de satélite multispectrales de diferentes escalas, de los años 1986 y 2000.

C. SIG para validación: Elaboración de un mapa de susceptibilidad a la inundación utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicando lógica difusa.

D. Elaboración para cada municipio de un mapa preliminar de amenaza basado en información secundaria y análisis geomorfológico preliminar.

E. Visitas a campo que permitan verificar, complementar y modificar los datos preexistentes y realizar en cada zona un análisis de susceptibilidad a inundaciones y avenidas torrenciales.

F. Determinación de amenaza por inundación y avenidas torrenciales

1. En esta etapa se relaciona la información secundaria recopilada con el análisis geomorfológico y el trabajo de campo para generar mapas que incluyen las manchas por inundaciones rápidas y lentas y avenidas torrenciales, así como la ubicación de puntos críticos. Estos mapas incluyen: un mapa de amenaza por inundación escala 1:10.000 para el Valle de Aburrá, (1:5000 para Medellín) y un mapa de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:10.000 para el Valle de Aburrá (1:5000 para Medellín).

G. Verificación de resultados: luego de producir el mapa de amenazas se realizará una verificación de los resultados en tres fases:

1. Comparándolos con los mapas de los POT.
2. Realizando reuniones con funcionarios expertos de cada municipio para que analicen los mapas resultantes y den sus observaciones.
3. Visitas de campo opcionales que permitieran verificar los límites de algunos polígonos.

5.2 INFORMACIÓN GENERADA POR EVALUACIÓN CORNARE EN CONVENIO CON LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA.

Se revisó el documento titulado Zonificación de riesgo por Movimientos en Masa, Inundación y Avenidas Torrenciales. Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos. Publicado en el año 2012.

De acuerdo al documento, “El mapa de amenaza por avenida torrencial muestra tres niveles de amenaza que responden de cierta manera a la geomorfología predominante en la región. El primer nivel muestra zonas con amenaza alta y se encuentran principalmente hacia el sur representadas por las cuencas de las quebradas La Miel y La Hondita, así como por las demás cuencas tributarias en esta zona al río Buey, las cuales cuentan con un gradiente alto y geoforma encañonada gozando con la posibilidad de aumentar rápidamente la lámina de agua que baja por la cuenca. También se incluye dentro de este nivel la cuenca alta de la quebrada La Agudelo en el escarpe Normandía, la cual en varias ocasiones ha mostrado un comportamiento torrencial.

El nivel de amenaza medio es una franja alargada que abarca la cuenca del río Pantanillo, principal afluente del río Negro, así como las quebradas Las Palmas, Espíritu Santo y Fizebad, las cuales vienen desde la superficie de erosión de Santa Elena y surten el Embalse de La Fe. Por último, se tiene las zonas de menor amenaza que se encuentran en partes relativamente más planas donde el relieve dominante son las superficies de erosión y las quebradas cuentan con valles mucho más amplios, siendo las corrientes un poco más sinuosas, el mejor representante de esta zona es el valle medio del río negro en el sector de Don Diego”.

En el documento se presentan dos tipos de zonificaciones: por vulnerabilidad y por riesgo. De acuerdo a la vulnerabilidad, se tuvieron en cuenta 6 elementos a ser evaluados, Vulnerabilidad Física, Vulnerabilidad Económica, Vulnerabilidad Social, Vulnerabilidad Ambiental, Vulnerabilidad Institucional y por último Vulnerabilidad Política, donde se establecieron unos pesos para cada variable donde se definía si la variable se encontraba de vulnerabilidad baja a Alta.

En el municipio de El Retiro hay un monopolio de vulnerabilidad muy bajo, que permite vislumbrar que es un municipio con una estabilidad categórica frente a cualquier riesgo que pueda generar catástrofes. La evaluación que se hizo en esta zona permitió arrojar un resultado definitivo ante el riesgo y sus dimensiones en este municipio.

Es importante aclarar que más del 95% del territorio del municipio de El Retiro presenta un grado de vulnerabilidad muy bajo, y justo el casco urbano representa el otro 5% de territorio que define un riesgo de vulnerabilidad baja. Hay una zona al norte del territorio municipal que representa el embalse de La Fe, tiene un tratamiento especial y que para asuntos de estudios de vulnerabilidad y riesgos no aplicaría su análisis, pero más sin embargo es importante tener en cuenta las variables sociales, ambientales y económicas que circundan este territorio.

Basado en los modelos de planeación nacional, El Retiro está dividido en 5 núcleos zonales incluyendo zona urbana, y teniendo en cuenta dentro de la valoración estudiada que 1 es muy baja y 5 es muy alta, se tiene que este municipio refleja un índice de vulnerabilidad física baja con un promedio de 2.2, que nos da a entender que hay un buen índice sostenible del espacio físico.

En la vulnerabilidad económica nos encontramos con un índice medio o moderado con promedio de 3.0, lo que representa que las condiciones de sostenimiento financiero y fiscal son aceptables, teniendo en cuenta su cercanía con la capital del departamento y la condición y el uso del suelo de este municipio, esto le ayuda a una estabilidad institucional, social y política que corrobora la muy baja vulnerabilidad en todo el territorio.

En la vulnerabilidad social, que representa un promedio de 3.4, se puede deducir que está en la misma condición de la económica, con una pequeña proporción de estar en alta, debido a la ubicación geográfica y su relación directa con la ciudad de Medellín, puede generar una vulnerabilidad social baja, ya que crea una relación cultural con la metrópoli que le es provechoso para mejorar las condiciones de legitimidad y creatividad frente a los municipios vecinos.

En la vulnerabilidad ambiental hay un promedio de 3.4, que nos da un índice de vulnerabilidad media por razones de ser un municipio entre rural y urbano, y le da el valor del embalse de la fe, que siendo un embalse tiene un tratamiento ambiental especial, por ende, es una fortaleza circunstancial que ayuda a que el riesgo sea menor.

En la vulnerabilidad institucional da un promedio de 2.0, que da un resultado de vulnerabilidad baja, debido a la capacidad financiera y a la diversidad de instituciones que hacen parte del municipio y que ayudan a fortalecer la democracia interna. Esto contribuye a que la variable económica, social y política tenga menos riesgos de ser afectado por alguna situación voluble a estas circunstancias.

En la vulnerabilidad política da un resultado de 1.0 en el promedio, arrojando un riesgo muy bajo de ser afectado. Teniendo en cuenta la dinámica que se hizo para este componente, se deduce que la vulnerabilidad política es la sumatoria de la vulnerabilidad institucional y económica, ya que se tomó como fuente la distribución de la riqueza para poder medir la capacidad administrativa del municipio, por ende, su vulnerabilidad política.

Con respecto a Riesgo, se evaluaron 3 amenazas físicas como lo son: Movimientos en Masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales, a las que se le dieron en una escala cualitativa de Riesgo muy bajo a Riesgo Muy Alto.

5.3 INFORMACIÓN GENERADA POR EL INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA – IDEAM

Se revisó el documento titulado: *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del río Tunjuelo* publicado en el año 2007, donde se hace una recopilación de las características generales que se presentan en la cuenca del río referido, se describen las variables climatológicas, así como su distribución espacio-temporal. Se muestra el análisis de las magnitudes descritas y de los indicadores climatológicos para la cuenca. Se describen los eventos de inundación registrados en el año 2002 y su conexión con la situación climática para la zona tropical en el momento de ocurrencia. En el numeral 6 se hace la clasificación climática de la cuenca de acuerdo con la escala de Thornthwaite. Concluye con las características climáticas de la cuenca estudiada y las recomendaciones para contar con información de mejor calidad.

El documento menciona en el numeral 5 que los eventos de avenidas torrenciales son frecuentes en los cuerpos de agua ubicados en los cerros orientales en la zona centro y norte de la ciudad, siendo los de mayor impacto: San Cristóbal, Fucha, San Francisco, Arzobispo y quebradas La Vieja, Las Delicias, Chicó, Rosales y Contador

5.4 INFORMACIÓN GENERADA POR LA CAR

La Corporación Autónoma Regional – CAR, no presenta información directa relacionada con los eventos de avenidas torrenciales. Sin embargo y luego de la búsqueda correspondiente se encontró el documento de ajuste al POT del municipio de Chía, cuya aprobación definitiva se logró en julio de 2016. El documento de ajuste revisado presenta las generalidades de los eventos de avenidas torrenciales. Las escalas sugeridas para los mapas resultantes se indican en 1:25000 para la zona rural y 1:5000 para la zona urbana y de expansión. Menciona que los eventos de avenidas torrenciales son inherentes a cuencas pequeñas, de alta pendiente y representan una amenaza para la vida y la infraestructura. Presenta la caracterización de la quebrada Honda, ubicada en jurisdicción del municipio, evalúa los parámetros morfométricos de la cuenca y asigna factores de ponderación a cada una de las características analizadas concluyendo que la amenaza para el municipio por este tipo de eventos es BAJA.

5.5 INFORMACIÓN GENERADA POR LA EAB

El documento *Metodología para la Evaluación Regional del Agua (ERA) Documento síntesis*, emitido por la EAB en el año 2013, presenta los lineamientos para evaluar los niveles de oferta y demanda del recurso hídrico, realizar la evaluación de la calidad del agua y el análisis del riesgo en la ERA. Finalizando con la presentación de los lineamientos para los indicadores y los sistemas de información del recurso hídrico. Sobre las avenidas torrenciales el documento presenta su relación con la vulnerabilidad del

recurso hídrico, las condiciones de las cuencas susceptibles de experimentar el evento. El indicador de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) de la cuenca es el que representa la susceptibilidad de la misma a experimentar el fenómeno y en el documento se presenta su procedimiento de cálculo.

5.6 INFORMACIÓN GENERADA POR LA SDA

La secretaría distrital de ambiente no posee documentos en los cuales el fenómeno de avenidas torrenciales esté cubierto. Sin embargo, el documento *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles* publicado en 2011 tiene la estructura de un documento técnico de soporte en una estructura más básica que el presente documento.

5.7 FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) HOY INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER).

Se revisó el documento titulado: “MODELOS CONCEPTUALES, METODOLOGÍAS E INSUMOS PARA LA DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES DE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO, EVENTOS TORRENCIALES Y VULNERABILIDAD DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE PRODUCCIÓN DE AGUA. PRODUCTO 3”, Este informe constituye el Producto 3 del Contrato No 644 de 2013, cuyo objeto es la “Elaboración de las metodologías, procedimientos para la medición y seguimiento de los aspectos identificados en el componente riesgos en la evaluación regional del agua para Bogotá-Región, que son de competencia de la entidad, que alimenten el SIRH en coordinación con las demás entidades del Distrito Capital”. En este, en el numeral 3.2.3 (Pág. 55) se presenta la Amenaza de eventos Torrenciales cuyo Indicador de vulnerabilidad a eventos torrenciales IVET modificado (IAETM) es desarrollado a través del cálculo de 2 Indicadores, El índice de Torrencialidad y el Índice de Vulnerabilidad; Para el primero, se tienen en cuenta 3 parámetros morfométricos fundamentales que son la Densidad de Drenaje, El coeficiente de compacidad y la pendiente media de la cuenca, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y la capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación, y por otra parte el Índice de Variabilidad: se obtiene de la curva de duración de caudales; el muestra cómo es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca (IDEAM, Lineamientos conceptuales y metodológicos para los estudios de la ERA, 2013). Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad en sus registros de caudales. Para este índice, la curva de duración de caudales se construye en escala logarítmica.

5.8 INFORMACIÓN GENERADA POR EL GRUPO DE ESTUDIOS SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS – DPAE EN EL AÑO 2007.

Se revisó el documento titulado “CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS DEL DISTRITO CAPITAL Y PRIORIZACIÓN PARA ESTUDIOS DE AMENAZA Y SISTEMAS DE ALERTA

TEMPRANA DE INUNDACIONES CONTRATO PS 17 DE 2007” elaborado por la Ing. María Carolina Rogelis, en donde se presenta la respectiva metodología la cual se basa en la utilización de imágenes raster que representan las características fisiográficas que tienen influencia en la respuesta hidrológica de las cuencas de la ciudad de Bogotá y en su susceptibilidad a generar eventos de avenida torrencial, así como para determinar la vulnerabilidad de las mismas.

Las etapas marcadas en esta metodología son La Recopilación y estructura de la información: Información Base EAAB, posteriormente, Procesamiento de información geográfica y análisis: Modelo Digital de Terreno (Componentes de Hidrología, Geología y Geomorfología)(Coberturas Coordinación Informática del FOPAE):a, Cobertura de deslizamientos, diagnósticos técnicos de inundación, usos del suelo, Predios, Equipamientos, Curvas de nivel .Además de lo anterior, se obtuvo información de Incendios, y por último, el Análisis multicriterio. El estudio comienza por realizar la respectiva morfometría de Cuencas, donde se evalúan varios parámetros como: Área, Perímetro, Pendiente, Longitud de la cuenca, Relación de circularidad, Parámetro de forma, densidad de drenaje, Número de Melton. Con base en los parámetros anteriormente relacionados, se realiza posteriormente el respectivo análisis multicriterio para indicar que tan vulnerable es una cuenca dada para que se presentes eventos de Avenidas Torrenciales.

5.9 CONCEPTOS TÉCNICOS EMITIDOS PARA EL PROGRAMA DE REASENTAMIENTO - AVENIDAS TORRENCIALES (2013-2015) POR EL INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO (IDIGER)

En el periodo 2013 – 2015 el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) emitió 18 conceptos técnicos en el cual se analizaron las condiciones de susceptibilidad por avenidas torrenciales de algunas quebradas de importancia en el Distrito Capital y se realizaron recomendaciones para el programa de reasentamiento, los conceptos técnicos con sus respectivas quebradas se presenta en la Tabla 5-1.

El número total de viviendas/familias recomendadas para incluir en el programa de acuerdo al número de concepto se presenta en la Tabla 5-2 el total de viviendas/familias es de 3413 en el cual se destaca la quebradas Chiguaza, Limas, Trompeta y Peña Colorada con el mayor número de viviendas/familias recomendadas.

Tabla 5-1: Conceptos técnicos emitidos para el programa de reasentamiento

ID	NUMERO CT	ADENDA	FECHA	QUEBRADA	LOCALIDAD
1	CT-6948		23-Jul-13	BAUL	CIUDAD BOLIVAR
2	CT-6962		30-Jul-13	GALINDO	CIUDAD BOLIVAR
3	CT-6963		26-Jul-13	INFIERNO	CIUDAD BOLIVAR
4	CT-6964	Adenda CT-7943 (11-JUN-15)	13-Aug-13	TROMPETA	CIUDAD BOLIVAR
5	CT-6971		30-Jul-13	ZANJÓN DE LA ESTRELLA	CIUDAD BOLIVAR
6	CT-6975	Adenda CT-7954 (04-JUN-15)	5-Aug-13	HONDA	CIUDAD BOLIVAR
7	CT-6976	Adenda CT-7984 (15-JUL-15)	20-Aug-13	ZANJÓN DEL AHORACADO	CIUDAD BOLIVAR
8	CT-6977	Adenda CT-8005 (15-JUL-15)	23-Aug-13	ZANJÓN DE LAMURALLA	CIUDAD BOLIVAR
9	CT-7003	Adenda CT-7983 (15-JUL-15)	21-Aug-13	HOYA DEL RAMO	USME
10	CT-7004	Adenda CT-7946 (10-JUN-15)	23-Aug-13	VEREJONES	SAN CRISTOBAL USME
11	CT-7005	Adenda CT-7980 (15-JUL-15)	23-Aug-13	PEÑA COLORADA	CIUDAD BOLIVAR
12	CT-7086	Adenda CT-7930 (10-MAR-15)	21-Nov-13	BRAZO DERECHO DE LIMAS	CIUDAD BOLIVAR
13	CT-7528	Adenda CT-8035 (08-JUN-16)	21-Aug-14	LIMAS	CIUDAD BOLIVAR
14	CT-7663	Adenda CT-8133 (02 FEB-16)	11-Nov-14	CHIGUAZA	RAFAEL URIBE URIBE
15	CT-7725		13-Nov-14	TROMPETICA	CIUDAD BOLIVAR
16	CT-7904		29-Dec-14	PIEDRA DEL MUERTO O PIEDRA DEL ANGEL	CIUDAD BOLIVAR
17	CT-7979		28-Aug-15	QUEBRADA SAN BRUNO	SANTA FÉ Y CANDELARIA
18	DI-8441/ DI-7027		26-Sep-15	RÍO FUCHA	SAN CRISTOBAL

Tabla 5-2: Total Viviendas/Familias recomendadas por el programa

ID	NUMERO CT	Adenda	FECHA	QUEBRADA	LOCALIDAD	TOTAL DE VIVIENDAS/FAMILIAS RECOMENDADOS AL PROGRAMA
1	CT-6948		23-jul-13	BAUL	CIUDAD BOLIVAR	27
2	CT-6962		30-jul-13	GALINDO	CIUDAD BOLIVAR	46
3	CT-6963		26-jul-13	INFIERNO	CIUDAD BOLIVAR	88
4	CT-6964	Adenda CT-7943 (11-JUN-15)	13-ago-13	TROMPETA	CIUDAD BOLIVAR	478
5	CT-6971		30-jul-13	ZANJÓN DE LA ESTRELLA	CIUDAD BOLIVAR	16
6	CT-6975	Adenda CT-7954 (04-JUN-15)	05-ago-13	HONDA	CIUDAD BOLIVAR	30
7	CT-6976	Adenda CT-7984 (15-JUL-15)	20-ago-13	ZANJÓN DEL AHORACADO	CIUDAD BOLIVAR	21
8	CT-6977	Adenda CT-8005 (15-JUL-15)	23-ago-13	ZANJÓN DE LAMURALLA	CIUDAD BOLIVAR	88
9	CT-7003	Adenda CT-7983 (15-JUL-15)	21-ago-13	HOYA DEL RAMO	USME	128
10	CT-7004	Adenda CT-7946 (10-JUN-15)	23-ago-13	VEREJONES	SAN CRISTOBAL USME	198
11	CT-7005	Adenda CT-7980 (15-JUL-15)	23-ago-13	PEÑA COLORADA	CIUDAD BOLIVAR	418
12	CT-7086	Adenda CT-7930 (10-MAZ-15)	21-nov-13	BRAZO DERECHO DE LIMAS	CIUDAD BOLIVAR	201
13	CT-7528	Adenda CT-8035 (08-jun-16)	21-ago-14	LIMAS	CIUDAD BOLIVAR	426
14	CT-7663	Adenda CT-8133 (02 FEB-16)	11-nov-14	CHIGUAZA	RAFAEL URIBE URIBE	571
15	CT-7725		13-nov-14	TROMPETICA	CIUDAD BOLIVAR	49
16	CT-7904		29-dic-14	PIEDRA DEL MUERTO O PIEDRA DEL ANGEL	CIUDAD BOLIVAR	27
17	CT-7979		28-ago-15	QUEBRADA SAN BRUNO	SANTA FÉ Y CANDELARIA	33
18	DI-8441/ DI-7027		26-sep-15	RÍO FUCHA	SAN CRISTOBAL	79
Total						2924

5.10 INFORMACIÓN GENERADA POR OTRAS ENTIDADES

De la *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS. Anexo B. Gestión del Riesgo* emitido por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2014, se tiene la identificación de los eventos de Avenidas Torrenciales como procesos que representan amenazas por geodinámica externa y deben ser evaluados dentro del ejercicio de formulación de los POMCA, estos eventos pueden ser generados por eventos sísmicos, aunque generalmente ocurren por saturación de los suelos y el tránsito de crecientes. El numeral 2.2.3.1 presenta la descripción de las avenidas torrenciales y menciona que su ocurrencia se localiza en las cuencas pequeñas de alta pendiente con capacidad para generar altos caudales en muy poco tiempo. Señala que es importante, una vez se ha determinado la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento, indicar cuál es la zona que se estima puede resultar afectada por el evento. El documento concluye que la identificación de amenazas de la cuenca debe ser el resultado de la ponderación de los distintos eventos que tienen posibilidad de ocurrir en la cuenca estudiada.

6 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

6.1 ESTADO DEL ARTE

Para establecer el estado del arte de la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales se realizó una revisión extensa de la literatura especializada en la cual se destacan algunos artículos de referencia que se presentan a continuación.

6.1.1 INFORMACIÓN GENERADA PARA INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES VOLUME 2, NO 2, 2011 POR KOSHAK.N, DAWOD.G 2011

Documento titulado “*A GIS morphometric analysis of hydrological catchments within Makkah Metropolitan area, Saudi Arabia*”. En este documento, se intenta mostrar el apoyo de las tecnologías de la información espacial, en particular los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y como estos representan herramientas eficaces en la determinación de las propiedades morfométricas de las respectivas cuencas de drenaje. Se calculan determinados parámetros morfométricos los cuales son la base para calcular que tan propensas son determinadas cuencas a eventos de inundación y avenidas torrenciales. Se encontró en este estudio, que de acuerdo a estos parámetros se puede identificar que

tan vulnerable es una cuenca a que se genere un evento de avenida torrencial o inundación. (Koshak & Dawod, 2011)

6.1.2 INFORMACIÓN GENERADA PARA EL ARABIAN JOURNAL OF GEOSCIENCE (2014), POR S. BAJABAA, M. MASOUD, N. AL-AMRI (2013)

Documento titulado *"Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia)"* En este documento se encuentra la respectiva Información guía para la Base de cálculo de parámetros Morfométricos con Herramientas SIG. En este, se implementa el análisis y la combinación de los distintos parámetros descritos que constituyen el recurso para el análisis de la ocurrencia de las Avenidas Torrenciales. Los parámetros a calcular acordes con la metodología son: el Área(A), Perímetro (Pr), Orden de la corriente(u), Longitud Máxima de la corriente principal (Lu), Longitud máxima de recorrido del flujo en la cuenca (LB), Pendiente media de la cuenca (Slope), Diferencia de Nivel ente el punto más alto y el más bajo de la cuenca (Rf), Dirección de Flujo, Ancho de la cuenca(W), Relación de Compacidad (Sh), Relación de Textura (Rt), Sinuosidad (Si), Densidad de Drenaje(D), Coeficiente de Compacidad(Kc), Frecuencia de Drenaje (F). De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta la geomorfología de la zona como entrada básica, se relacionan estos parámetros para identificar la ocurrencia de avenidas torrenciales. (Bajabaa, Masoud, & Al-Amri, 2014)

6.1.3 INFORMACIÓN GENERADA PARA EL OPEN JOURNAL OF MODERN HYDROLOGY, 2016, 6, 79-100, POR YAHYA FARHAN, OMAR ANABA (2016)

Documento titulado *"Flash Flood Risk Estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS Based Morphometric Analysis and Remote Sensing Techniques"* el cual sirve como guía para la Base de cálculo de parámetros Morfométricos Y Geomorfológicos con Herramientas SIG. En el respectivo documento, se implementa el análisis y la combinación de los distintos parámetros que constituyen el recurso para análisis de inundaciones. En esta metodología, se propone dar pesos a los diferentes parámetros y luego realizar una sumatoria por subcuenca, de la cual se entra a clasificar en 3 distintas clases las cuencas, que sería: (Farhan & Anaba, 2016)

1. Susceptibilidad baja inundaciones (30 - 40)
2. Susceptibilidad intermedia inundaciones (41 a 49)
3. Susceptibilidad alta inundaciones (50 - 60)

6.2 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales; (Ver Figura 6-1)

1. Análisis Hidrológico
2. Análisis Sedimentos
3. Análisis Hidráulico

El primer paso del análisis hidrológico es delimitar las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se desea analizar a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual será el insumo de entrada del modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de río o quebrada que se desea analizar, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo a la literatura especializada asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de río o quebrada que se desea analizar, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

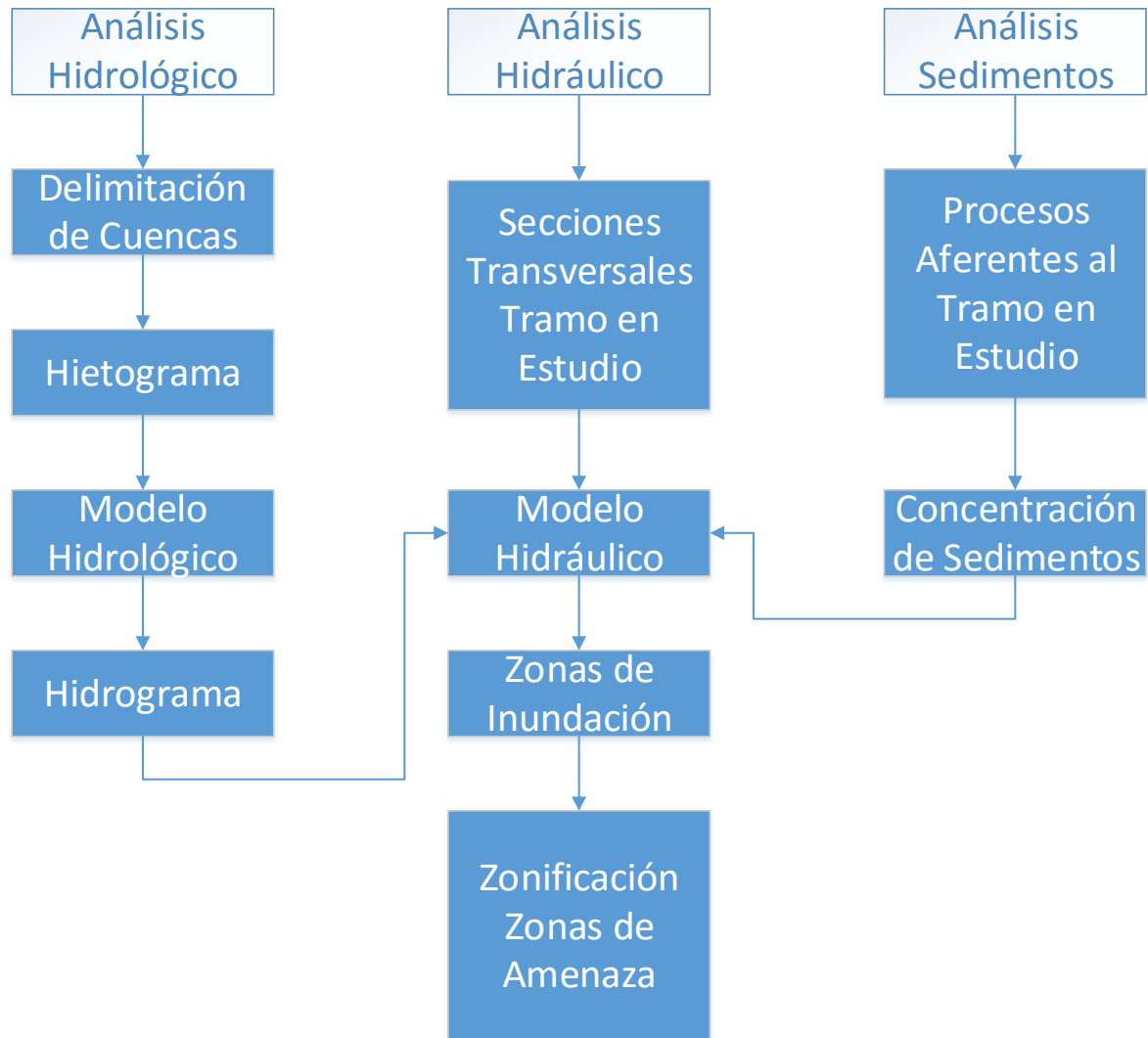


Figura 6-1: Esquema metodológico

7 INSUMOS

7.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

7.1.1 SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1

Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

7.1.2 ESCALA

De acuerdo al artículo 10 del decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) *La base cartográfica que se emplee en la zonificación corresponderá a una escala 1:2.000, sin embargo dado que la información en esta escala para la zona de estudio es insuficiente se adopta la escala de trabajo para el área urbana y de expansión de 1:5000 y de 1:25000 para el área rural, teniendo en cuenta que en el mencionado artículo se establece “En todo caso, los análisis se realizan en función de la magnitud de la amenaza, su intensidad, consecuencias y la disponibilidad de información”.*

7.1.3 GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

7.1.4 MODELO DIGITAL DEL TERRENO

1. Modelo digital proporcionado por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
2. Tamaño de pixel: 5 metros
3. Sistema de Coordenadas: GCS_MAGNA
4. Reporta alturas desde 2504,03 hasta 3337,08
5. Con este modelo se han generado las curvas de nivel a 1 metro, 2 metros y 2.5 metros; el raster de pendientes (con la clasificación del IGAC) para la edición de la geología urbana; al igual que se ha utilizado para generar la red hídrica del área urbana.

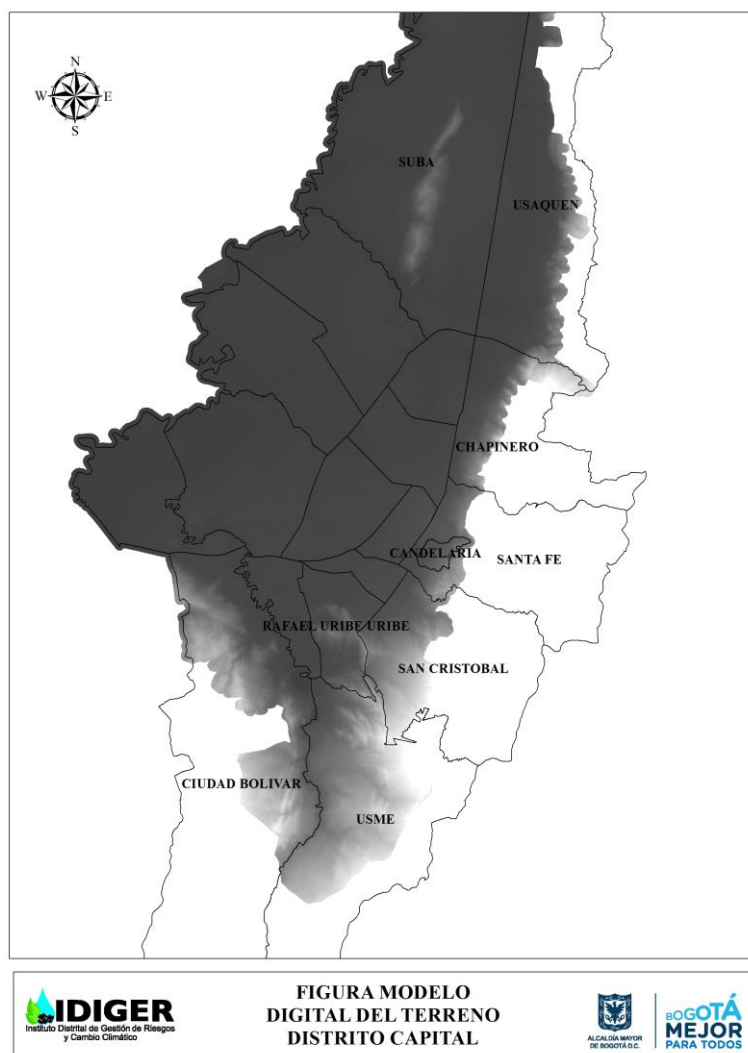


Figura 7.1. Modelo Digital del Terreno



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Se tomó como base el Modelo Digital de Terreno de 2009 entregado por Catastro Distrital, se realizaron las modificaciones sobre el modelo donde se presentaban mejoras y/o complementos de acuerdo con las fotografías tomadas en el año 2014. Se elaboró con precisión altimétrica de 0,15 m.

Escala 1:2000

La precisión altimétrica=un cuarto de la equidistancia de las curvas de nivel $=0.25 \times 1 \text{ m} = 0.25 \text{ m}$

La precisión planimétrica =límite de percepción visual*escala= $0.2 \text{ mm} \times 2000 = 400 \text{ mm} = .4 \text{ m}$

Fuente <http://metadatos.ideca.gov.co/geoportal/catalog/search/search.page>

7.2 GEOLOGÍA

Ver Documento Técnico de Soporte PARTE I MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN ESCALA 1:5000 y Documento Técnico de Soporte PARTE II

MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA RURAL ESCALA 1:25000

7.3 GEOMORFOLOGÍA

Ver Documento Técnico de Soporte PARTE I MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN ESCALA 1:5000 y Documento Técnico de Soporte PARTE II

MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA RURAL ESCALA 1:25000

7.4 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Ver Documento Técnico de Soporte PARTE I MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN ESCALA 1:5000 y Documento Técnico de Soporte PARTE II

MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ZONA RURAL ESCALA 1:25000

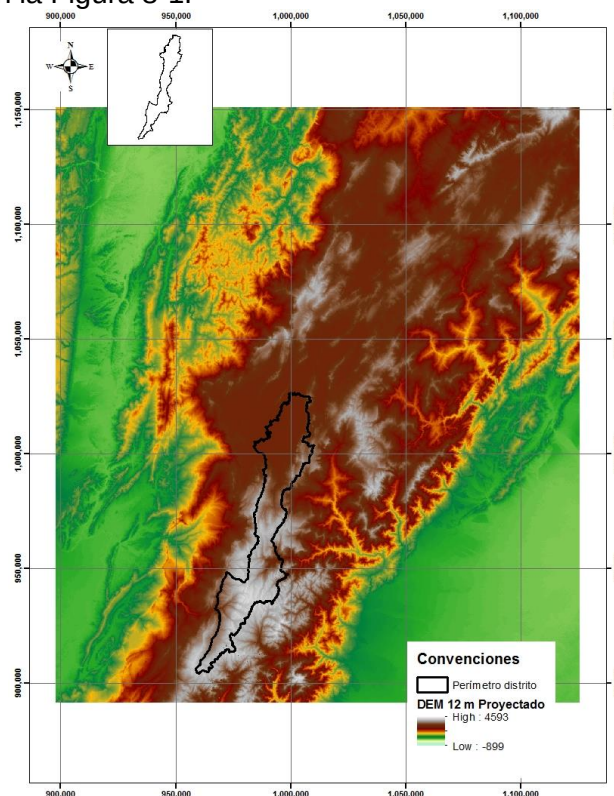
8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Las avenidas torrenciales son crecidas repentinas producto de fuertes precipitaciones que causan aumentos rápidos del nivel de agua de los ríos y quebradas de alta pendiente. Estas crecientes pueden ser acompañadas por flujo de detritos de acuerdo a las condiciones de la cuenca. El flujo de detritos se define como un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce empinado. Adaptado de: (Gemma, 2007) Página 140

8.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda el modelo lluvia escurrimiento que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM tamaño de celda 12 m proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas, la proyección del DEM del área de estudio se puede observar en la Figura 8-1.





ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 8-1: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 12 m Proyectado
El DEM proyectado cubre un área mucho mayor al área de estudio. Con el fin de generar solamente las cuencas del área de estudio se generó un buffer de 10 kilómetros del perímetro del distrito capital (Figura 8-2) que permite cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito capital. Con el buffer de 10 kilómetros del perímetro distrital se realizó la extracción del DEM tamaño de celda 12 m proyectado (Ver Figura 8-3). Con este nuevo DEM del área de estudio se puede realizar la delimitación de cuencas.

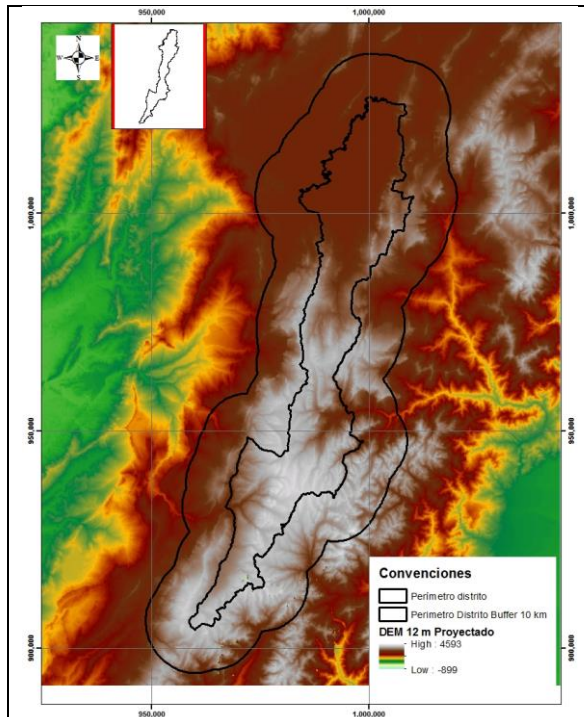


Figura 8-2: Buffer de 10 kilómetros del perímetro del distrito capital

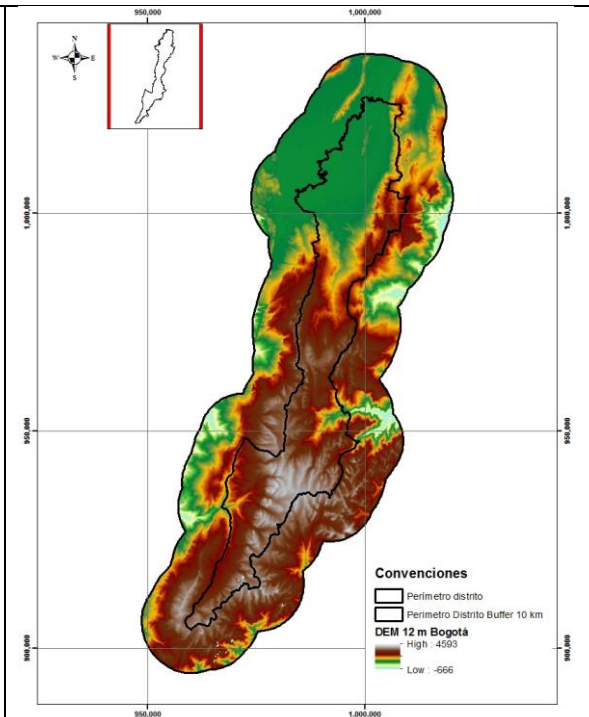


Figura 8-3: Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 12 m Proyectado extraído con buffer de 10 kilómetros del perímetro del distrito capital

El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM se realiza la proyección del sistema hídrico (ver Figura 8-4) y se extrae la red hídrica con el buffer de 10 km del perímetro distrital. Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea se puede observar en la Figura 8-5.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

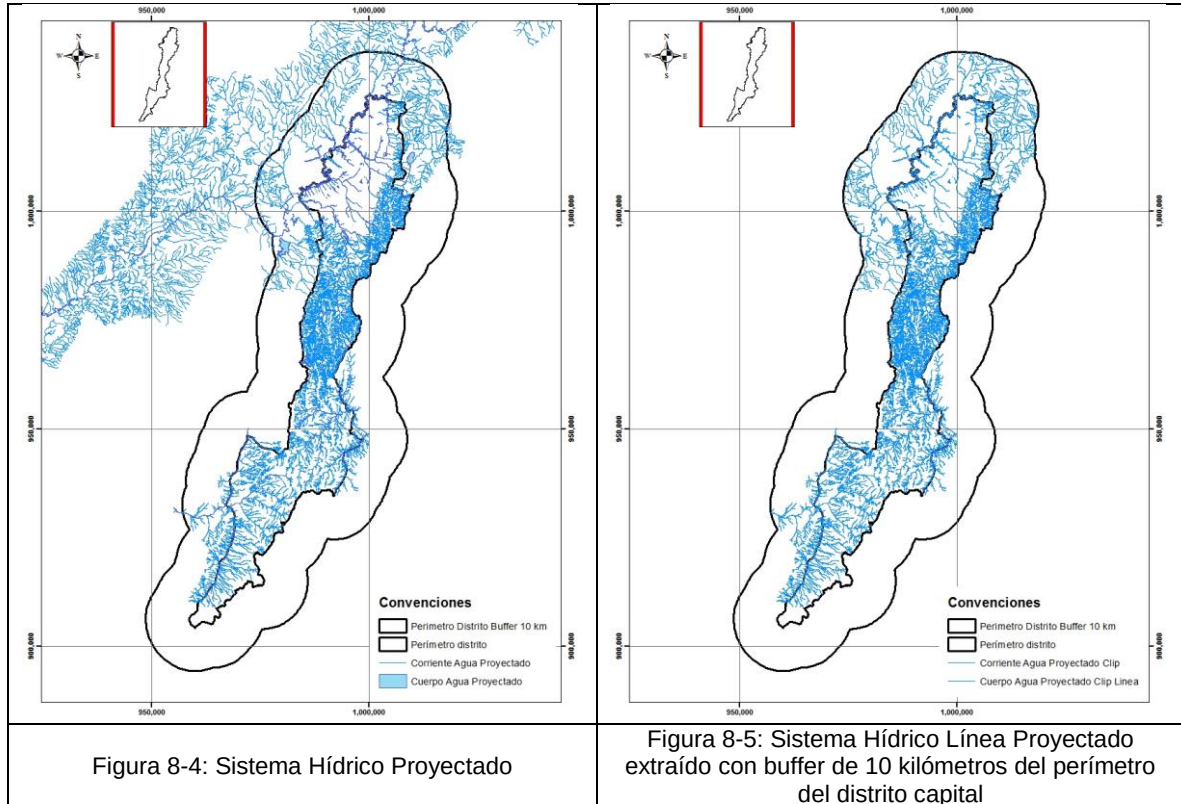


Figura 8-4: Sistema Hídrico Proyectado

Figura 8-5: Sistema Hídrico Línea Proyectado
extraído con buffer de 10 kilómetros del perímetro
del distrito capital

8.1.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las cuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso se realizó esta profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea. (Figura 8-6)
2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas. (Figura 8-7)
3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje (Figura 8-8)

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM (Figura 8-9)
5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada celda, don estos valores se genera el Raster de acumulación de flujo (Figura 8-10).
6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un río, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km² como el valor en el cual se genera una corriente (Figura 8-11)
7. En este paso se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes (Figura 8-12)
8. De acuerdo a los tramos de ríos generados en el paso anterior se genera la delimitación automática de cuencas (Figura 8-13)
9. El Raster generado en el paso anterior se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores (Figura 8-14)
10. La segmentación de corrientes se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores (Figura 8-15)
11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la generación de cuencas hidrográficas del área de estudio (Figura 8-16)

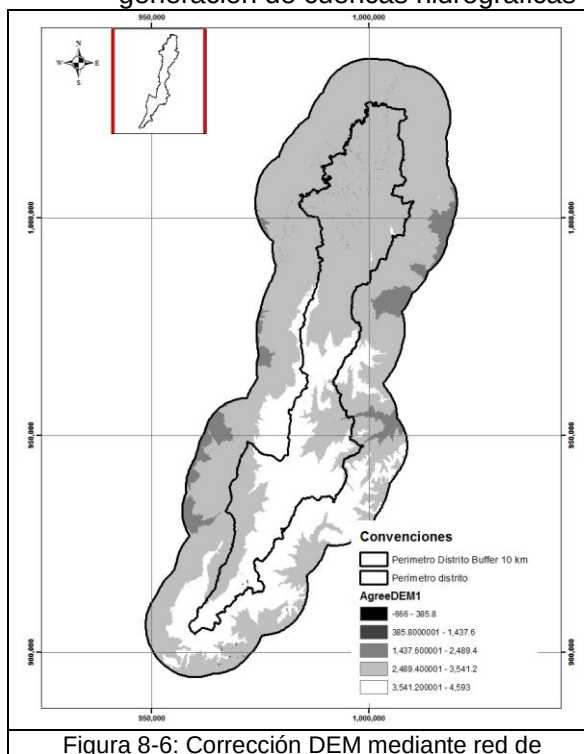


Figura 8-6: Corrección DEM mediante red de

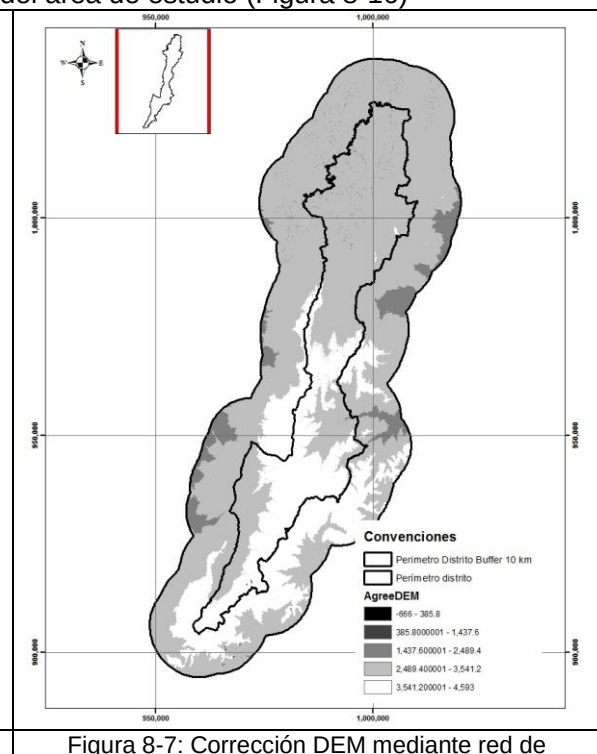


Figura 8-7: Corrección DEM mediante red de



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

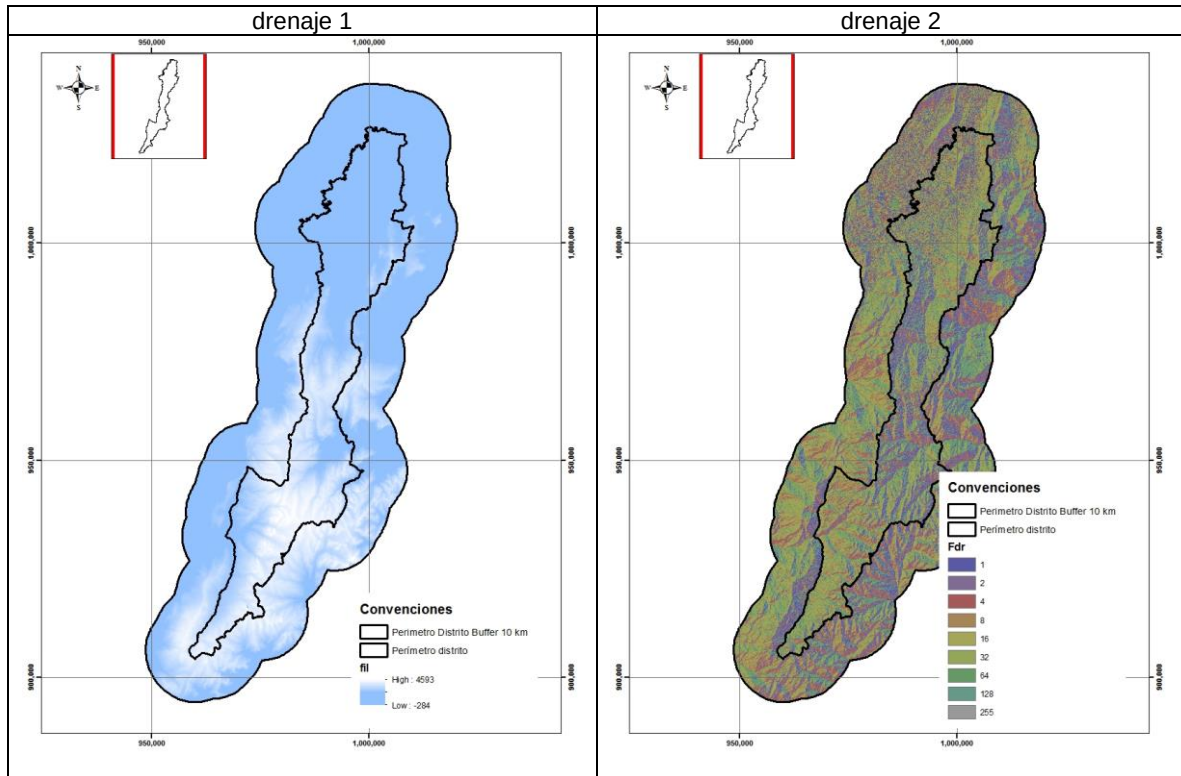
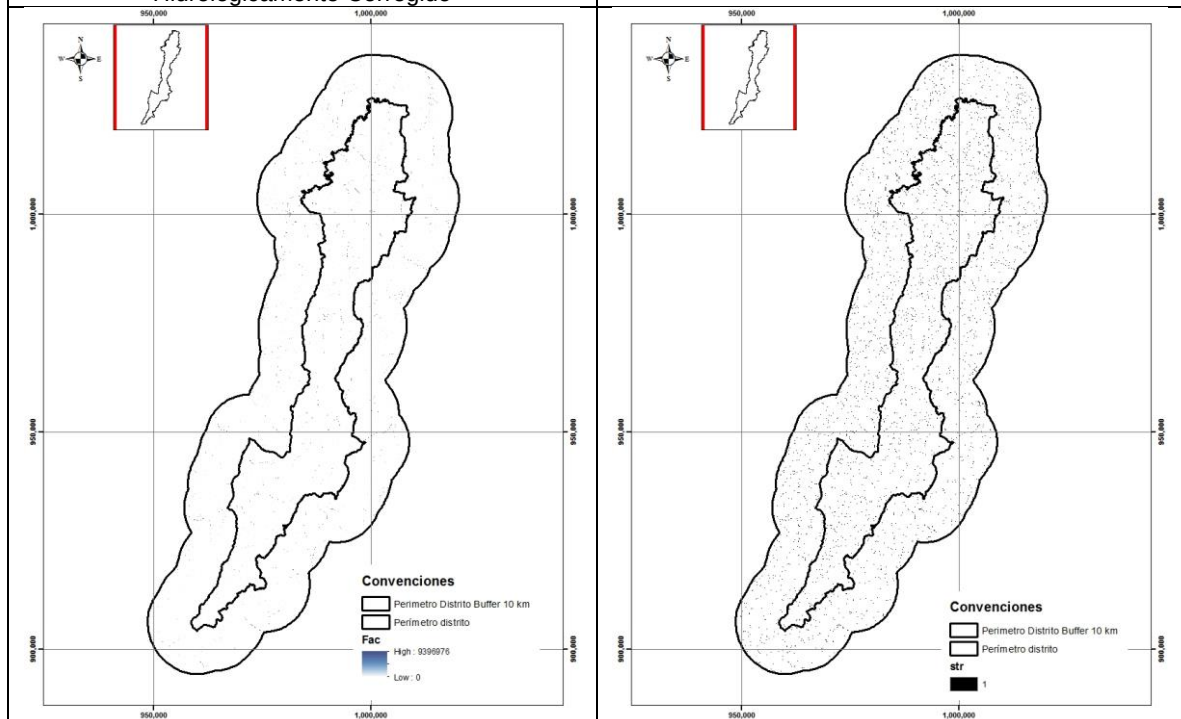


Figura 8-8: Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido

Figura 8-9: Dirección de Flujo



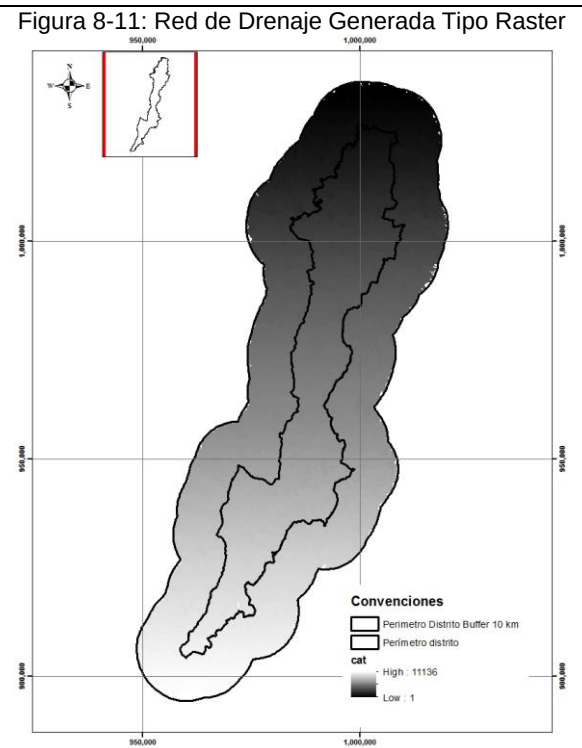
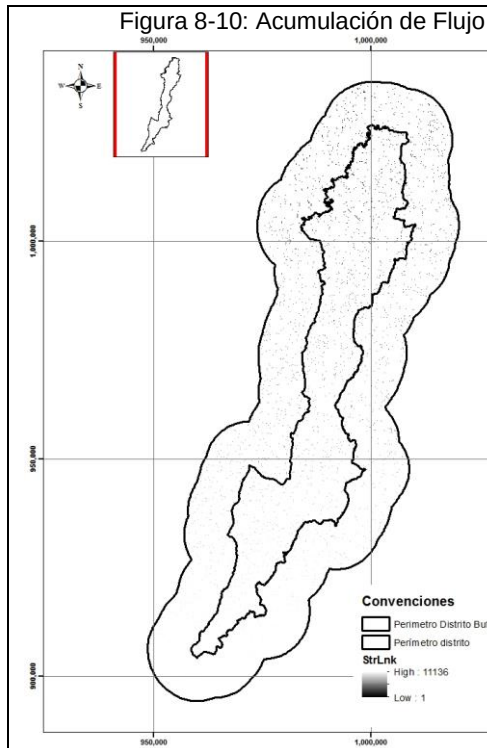


Figura 8-12: Red de Drenaje Generada Tipo Raster Vinculada

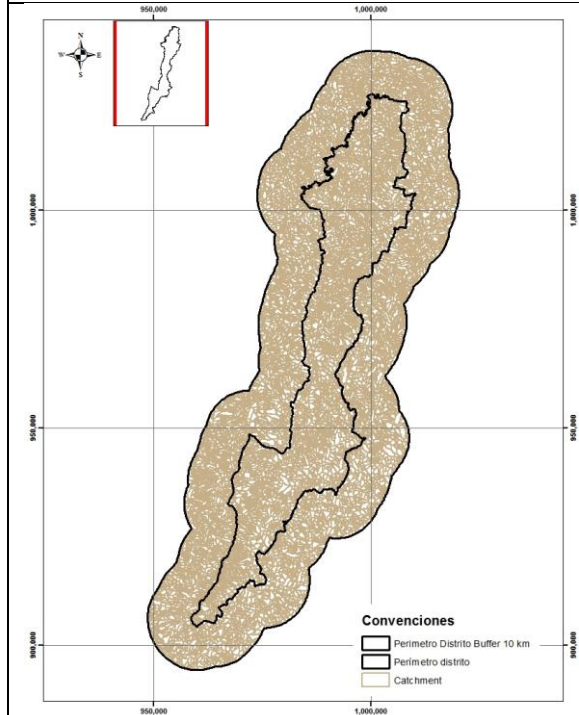


Figura 8-13: Cuencas hidrográficas Tipo Raster

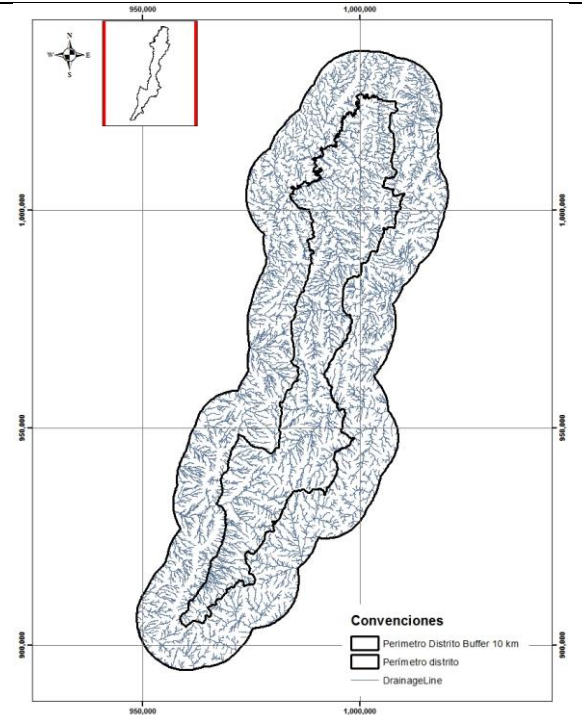


Figura 8-14: Cuencas hidrográficas Tipo Polígono

Figura 8-15: Red de Drenaje Generada Tipo Línea



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

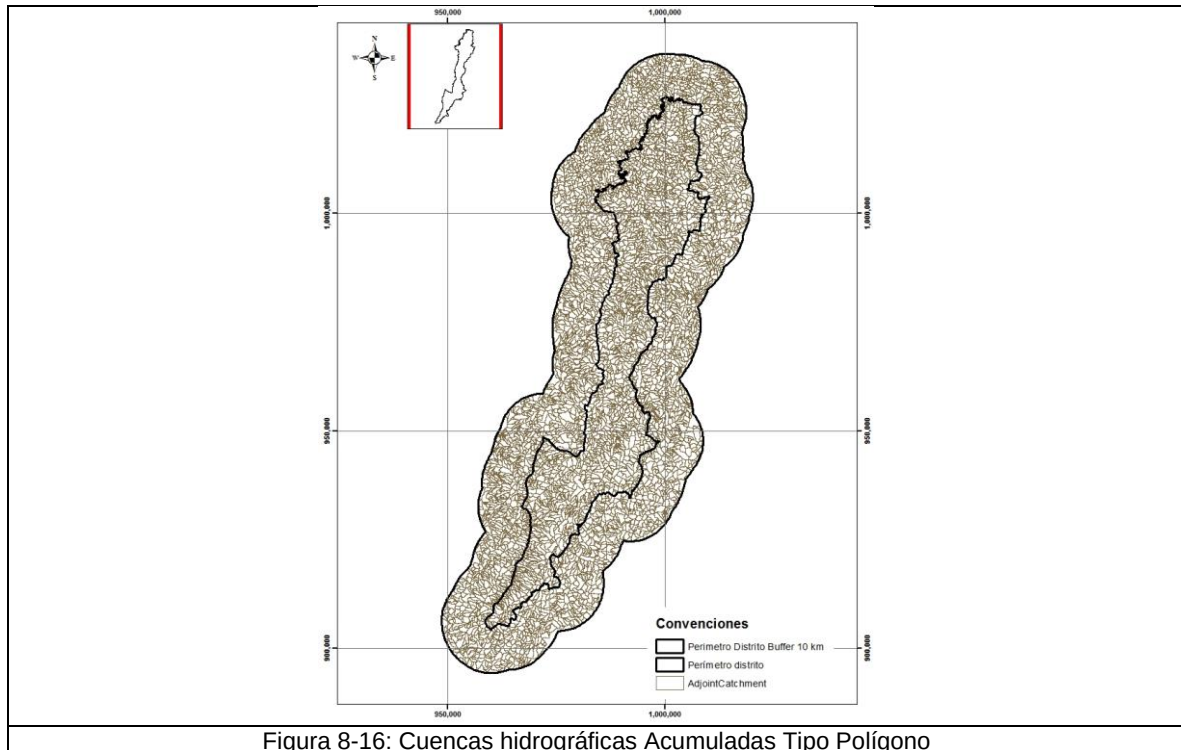


Figura 8-16: Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono

Para realizar el análisis solo en las cuencas que se encuentran en el perímetro distrital y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas rurales en el límite urbano (Ver Figura 8-17 y Figura 8-18)



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

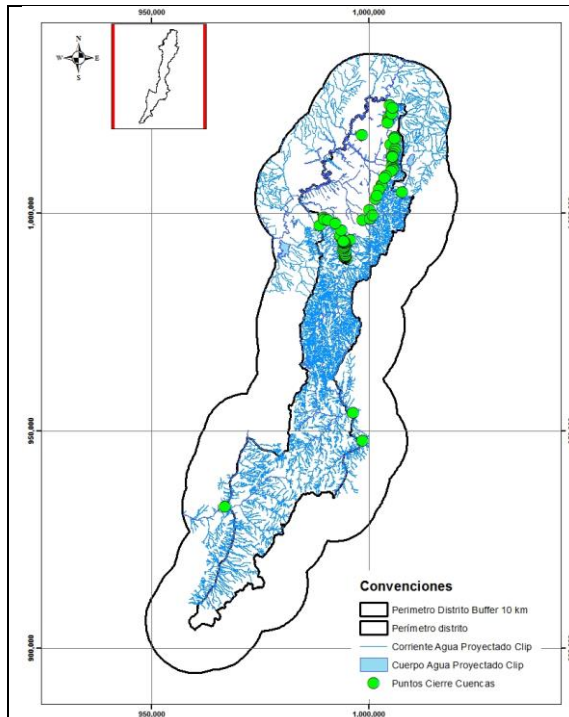


Figura 8-17: Puntos de cierre de cuencas Rurales en límite urbano

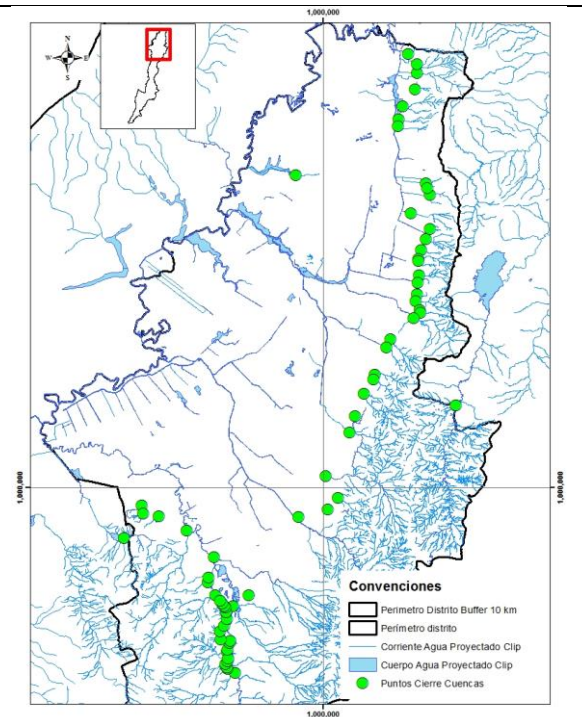


Figura 8-18: Puntos de cierre de cuencas Rurales en límite urbano

Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el Raster de acumulación de flujo generado anteriormente (Ver Figura 8-19)
2. De acuerdo al Raster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Raster (Figura 8-20)
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos (Figura 8-21)
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el Raster de cuencas a polígono.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

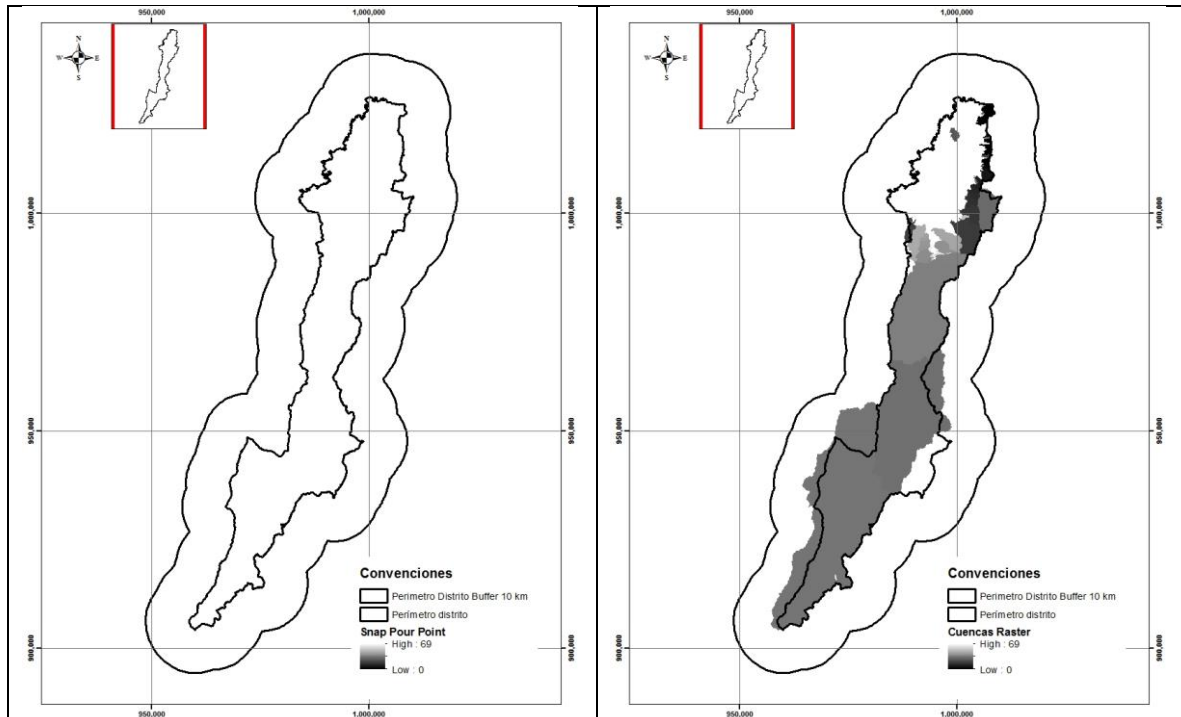


Figura 8-19: Vinculación Puntos de Cierre Con Acumulación de Flujo

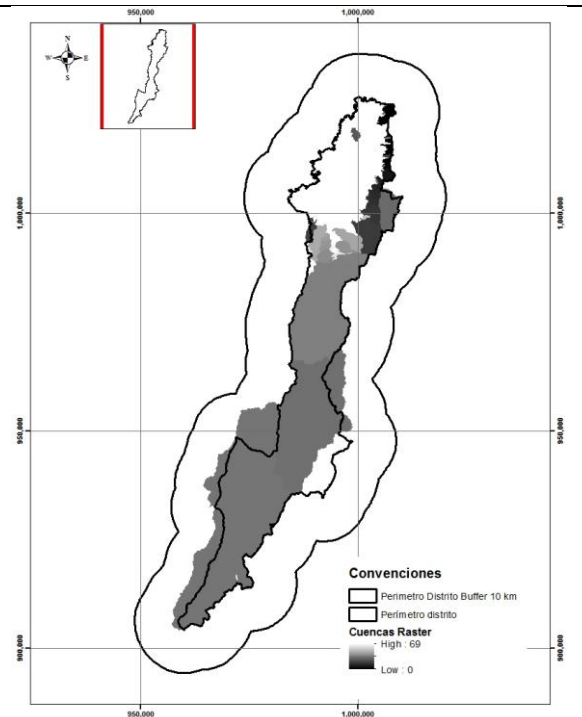


Figura 8-20: Cuencas tipo Raster

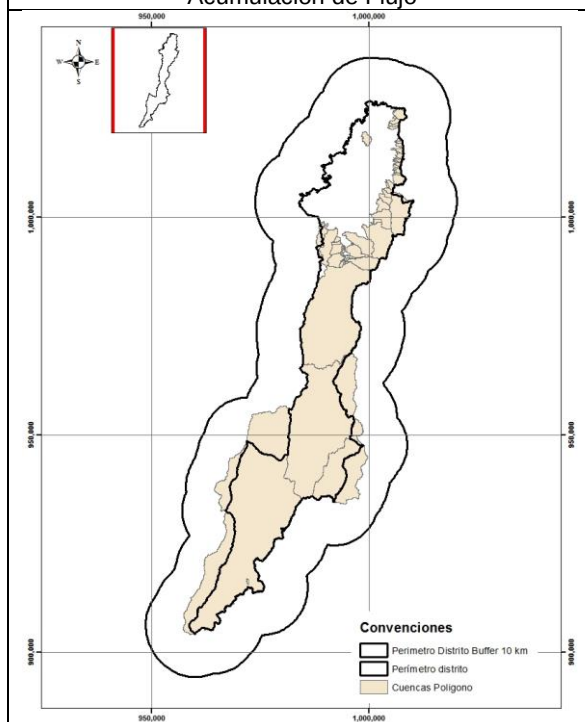


Figura 8-21: Cuencas tipo Polígono

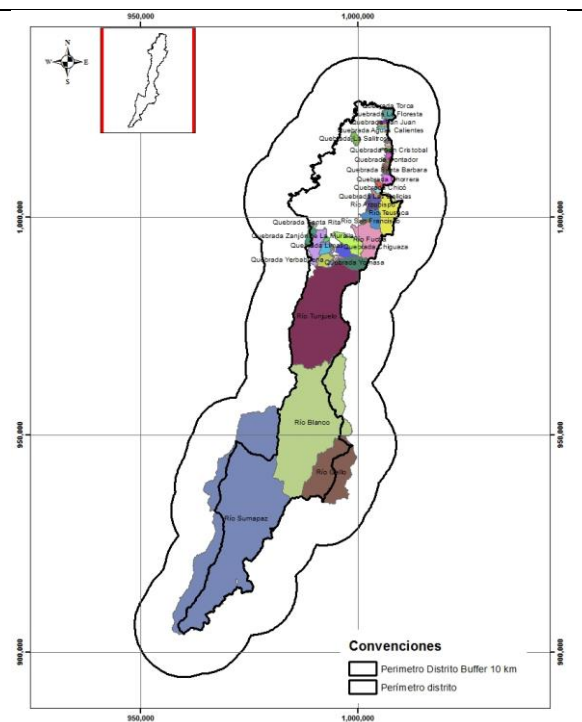


Figura 8-22: Cuencas tipo Polígono Nombres de Corriente Principal

Mapa de Quebradas de la Cordillera Occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. El mapa muestra la distribución geográfica de 30 quebradas, cada una coloreada y etiquetada. Incluye una escala de 1,000,000 metros, una brújula y un recuadro rojo que indica la ubicación de la zona de estudio en el norte de Colombia. Una leyenda titulada 'Convenciones' define los símbolos para el perímetro del distrito buffer de 10 km, el perímetro del distrito, los corrientes de agua proyectados y los cuerpos de agua proyectados.

Convenciones

- Perímetro Distrito Buffer 10 km
- Perímetro distrito
- Corriente Agua Proyectado Clip
- Cuerpo Agua Proyectado Clip

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital tamaño de celda 12 m proyectado extraído con las 70 cuencas que abracan el área de estudio se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos que son descritos anteriormente.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

1. Corrección DEM mediante red de drenaje 1
2. Corrección DEM mediante red de drenaje 2
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido
4. Dirección de Flujo
5. Acumulación de Flujo
6. Red de Drenaje Generada Tipo Raster
7. Red de Drenaje Generada Tipo Raster Vinculada
8. Cuencas hidrográficas Tipo Raster
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un río, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km² como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de 1663 subcuencas que cubren el área del perímetro distrital. (Ver Figura 8-24)

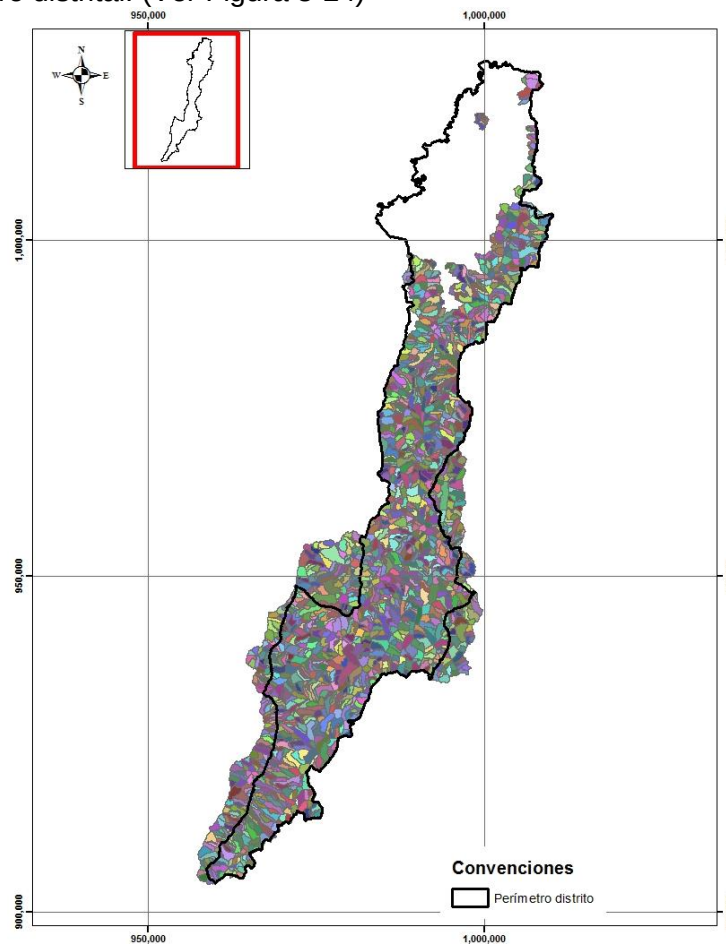


Figura 8-24: Cuencas hidrográficas Seleccionadas

Como ejemplo de la generación de cuencas y la red de drenaje generada en la Figura 8-25 se muestra la cuenca alta del Río Fucha las Subcuencas a modelar hidrológicamente y los tramos a modelar hidráulicamente se presenta en las (Figura 8-26 y Figura 8-27) respectivamente, así como el Orden de Drenaje de los tramos a modelar hidráulicamente (Figura 8-28).

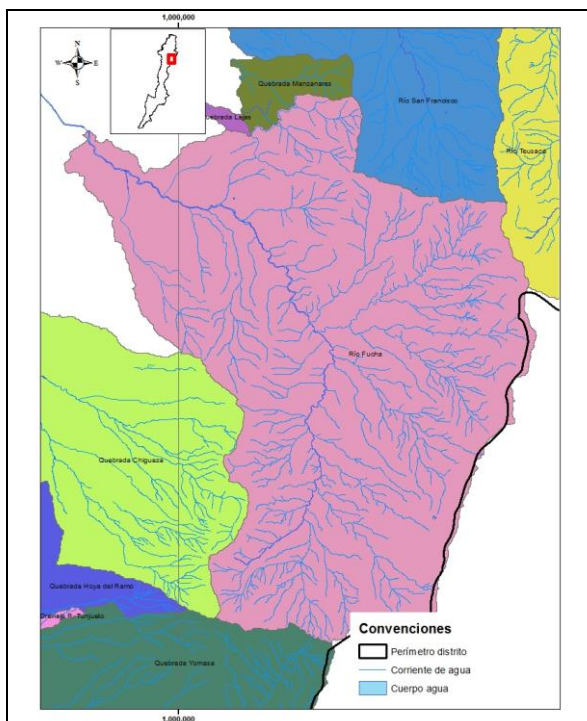


Figura 8-25: Cuenca Río Fucha

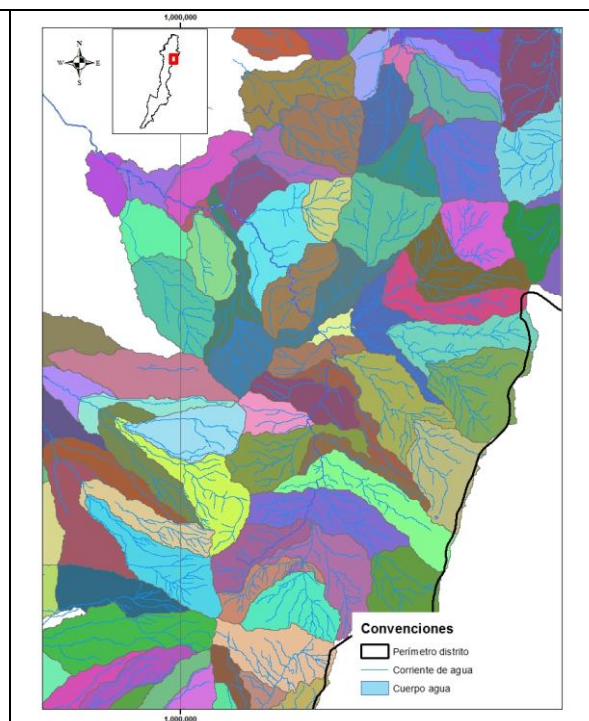


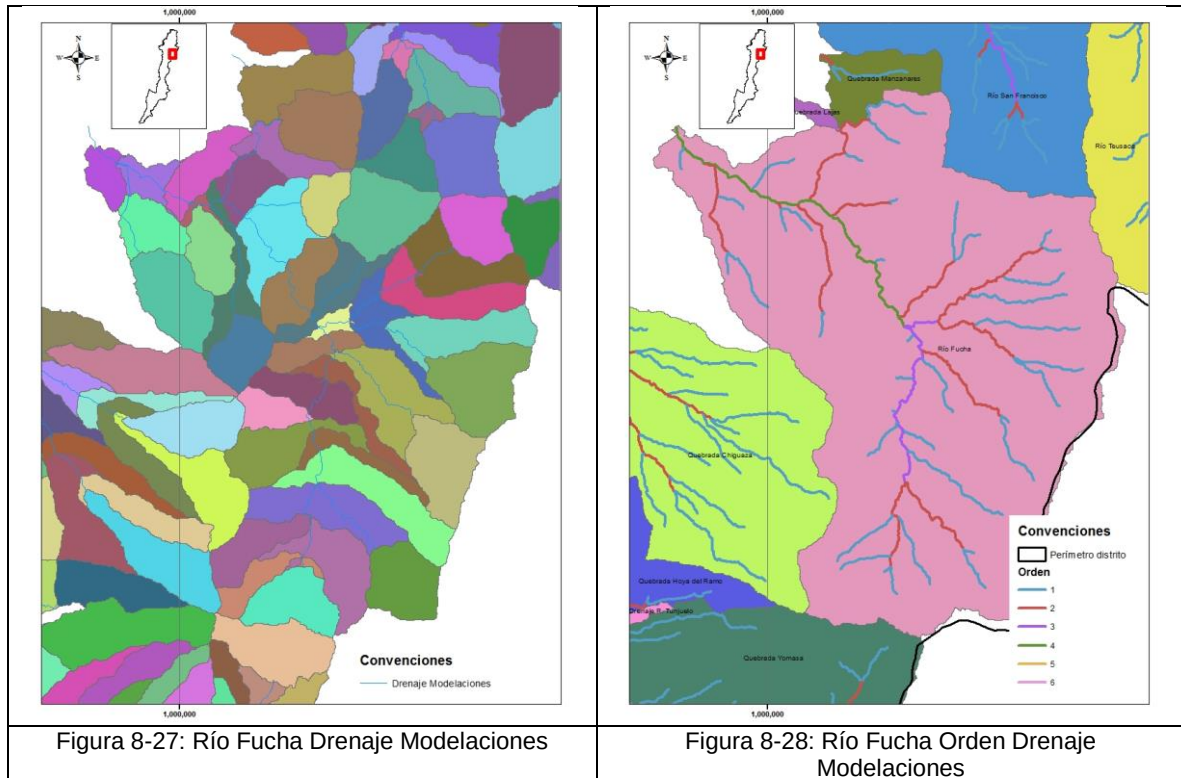
Figura 8-26: Río Fucha Cuencas Modelaciones



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático



8.1.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométrico, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

8.1.2.1 Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que requiere el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

En la Figura 8-29 se presenta el raster de pendientes calculado por medio de la herramienta ArcGIS.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

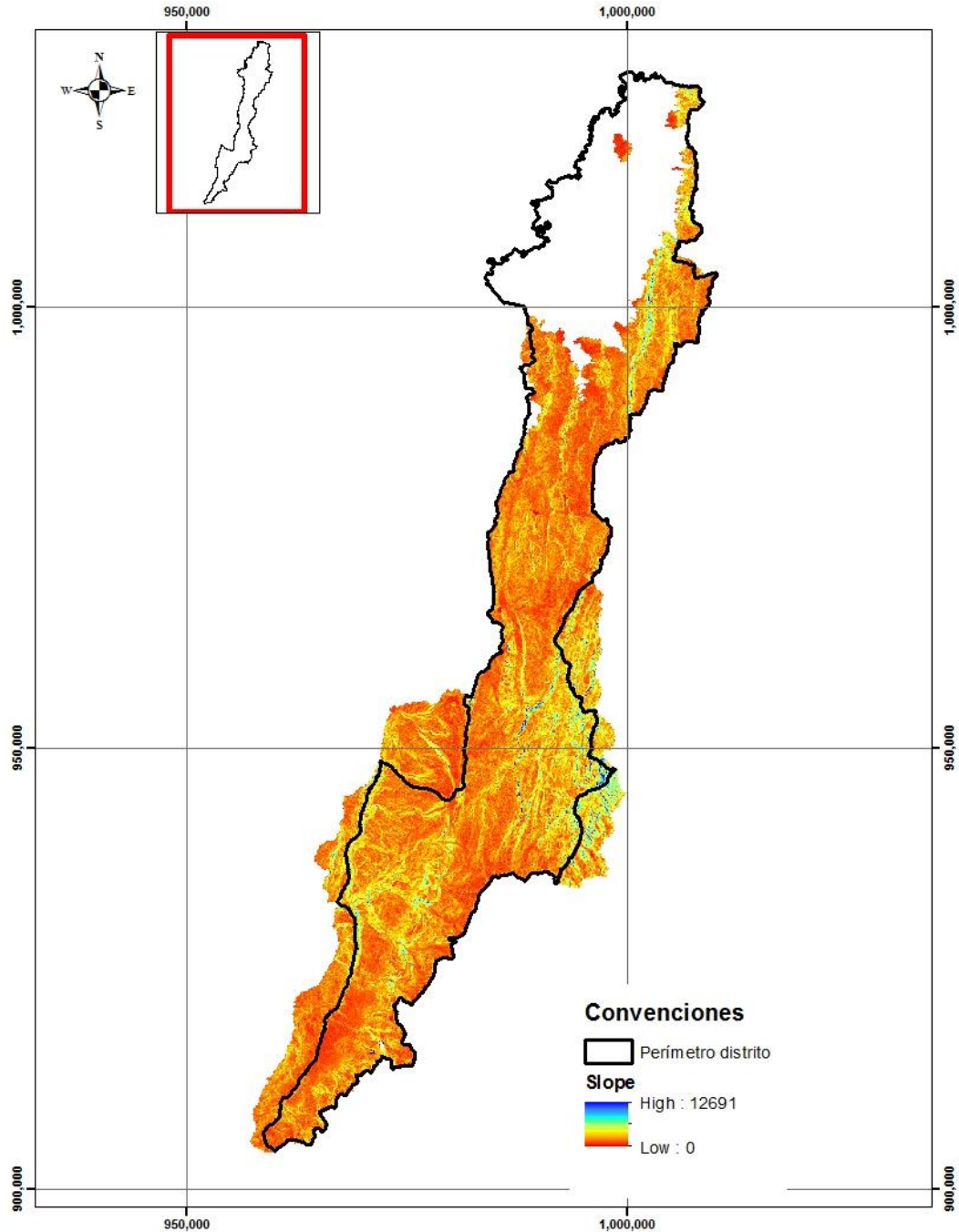


Figura 8-29: Raster de Pendientes

8.1.2.2 Orden de corriente

En orden de corrientes depende del nmero de afluente que contenga el cauce principal por lo tanto los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

En la Figura 8-30 se presenta los resultados obtenidos:

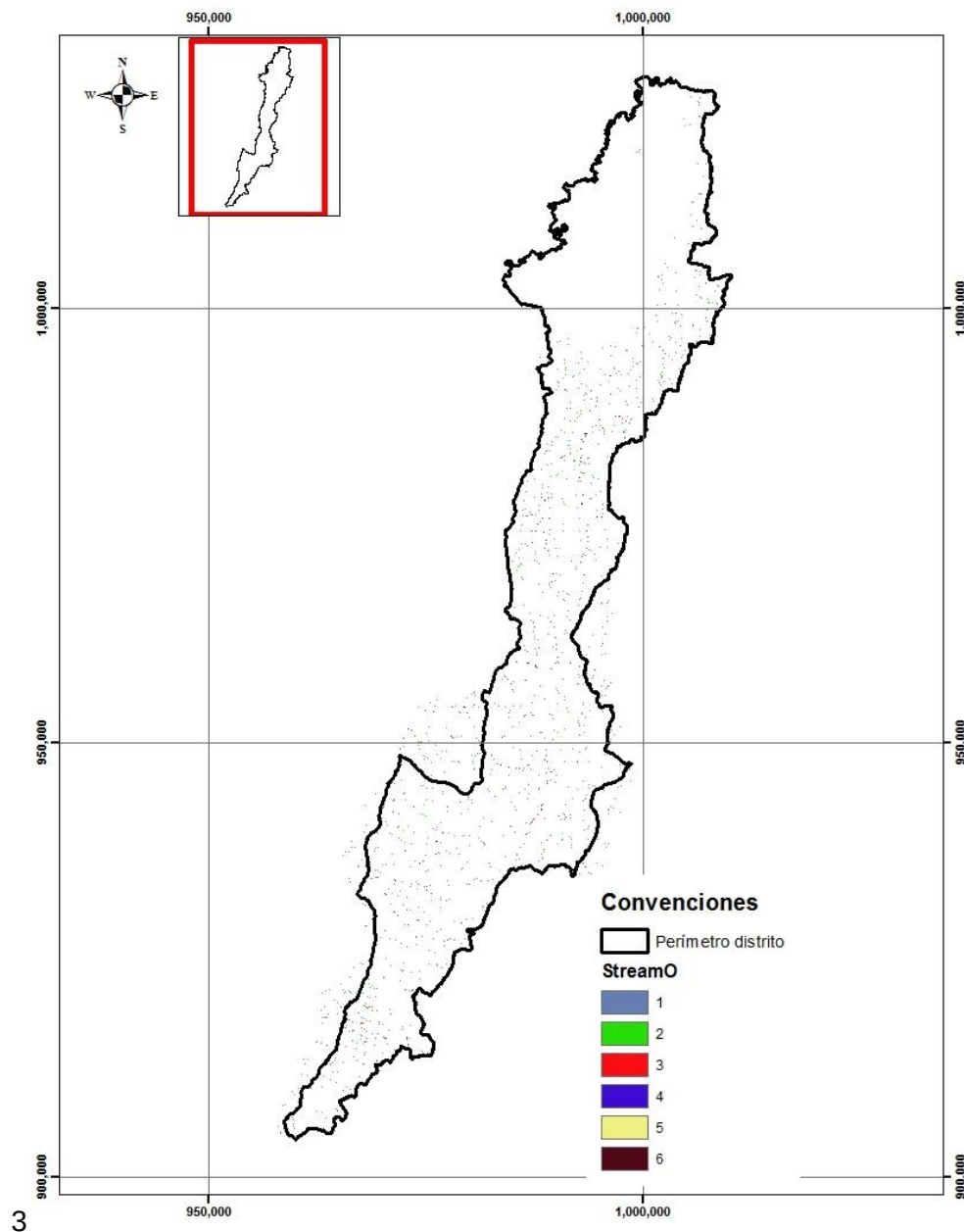


Figura 8-30: Raster de Orden de la Corriente

8.1.2.3 Longitud de Flujo

La Longitud de flujo es esta definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el Punto de salida de la Cuenca y el límite definido para la cuenca.

En la Figura 8-31 se presenta los resultados obtenidos:

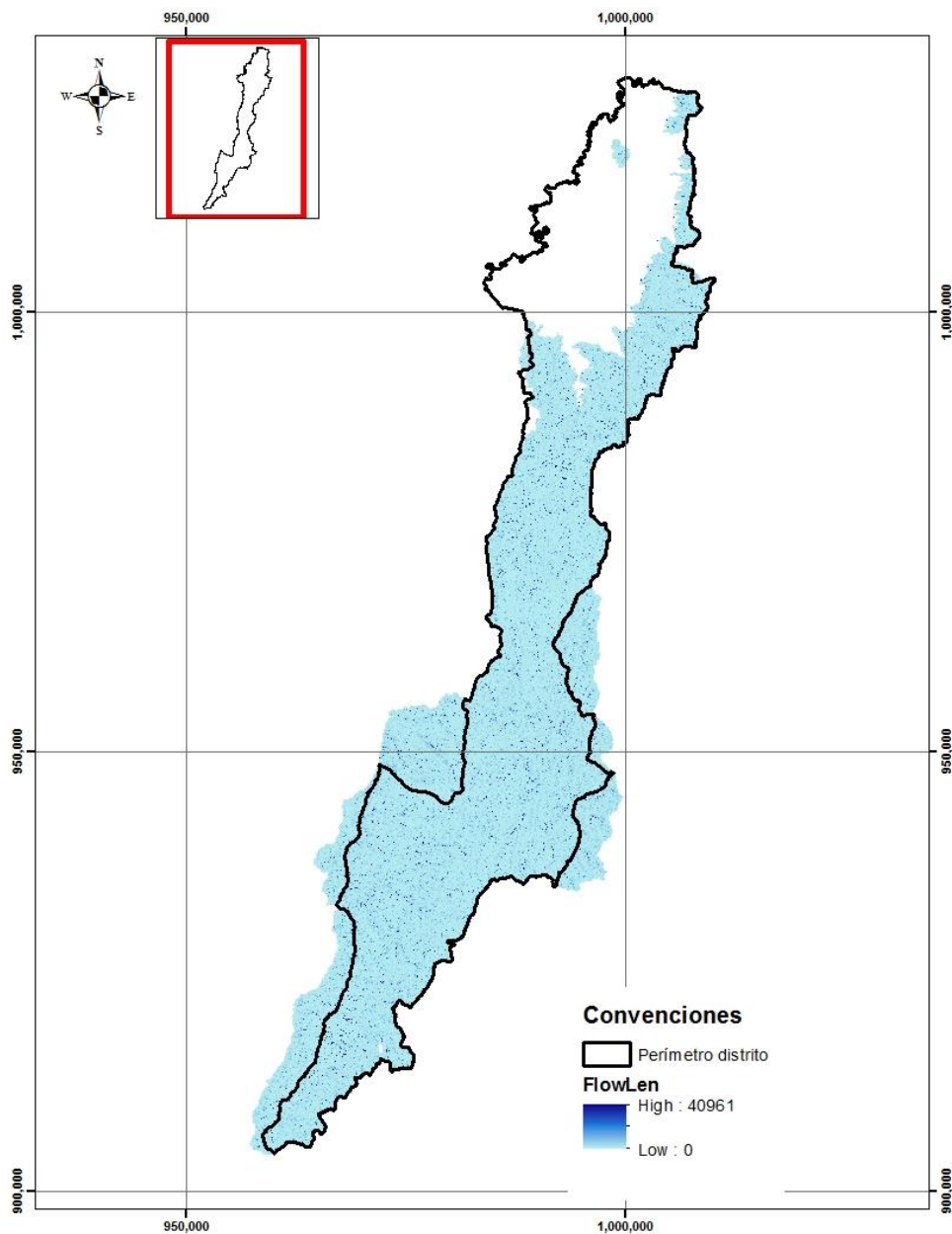


Figura 8-31: Raster de Longitud de Flujo

8.1.3 Susceptibilidad a un evento torrencial

Con base en los parámetros morfométricos calculados en el numeral 8.1.2. Se calcula el tiempo de concentración y el tiempo al pico de las cuencas hidrográficas, con estos dos parámetros se obtiene los indicadores de crecidas torrenciales.

- **Tiempo de concentración:** Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. En la Figura 8-32 se presenta los tiempos de concentración obtenidos para las cuencas hidrográficas en estudio.

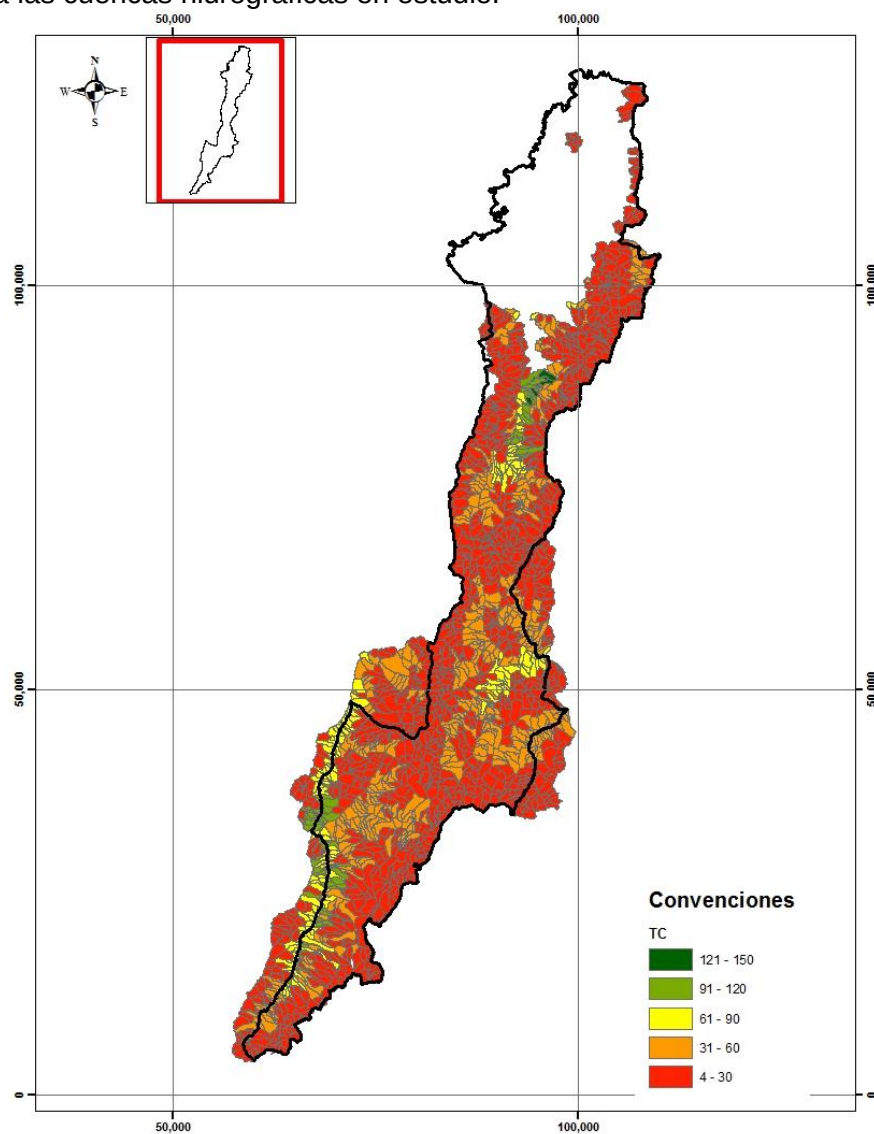


Figura 8-32: Tiempo de concentración (minutos) Cuencas hidrográficas Seleccionadas

Con base es estos parámetros se obtienes los siguientes indicadores de crecientes

1. Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo de concentración (IACTC) Figura 8-34

Tabla 8-1: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo de concentración (IACTC)

Tiempo de concentración	Índice de amenaza IACTC	Amenaza
$T_c \geq 2,0$ horas	$IACTC \geq 1$	Muy Baja
$1,5 \text{ horas} \leq T_c < 2,0 \text{ horas}$	$0,75 \leq IACTC < 1,0$	Baja
$1,0 \text{ horas} \leq T_c < 1,5 \text{ horas}$	$0,50 \leq IACTC < 0,75$	Media
$0,5 \text{ horas} \leq T_c < 1,0 \text{ horas}$	$0,25 \leq IACTC < 0,50$	Alta
$T_c < 0,5 \text{ horas}$	$IACTC < 0,25$	Muy Alta
Rango	2	

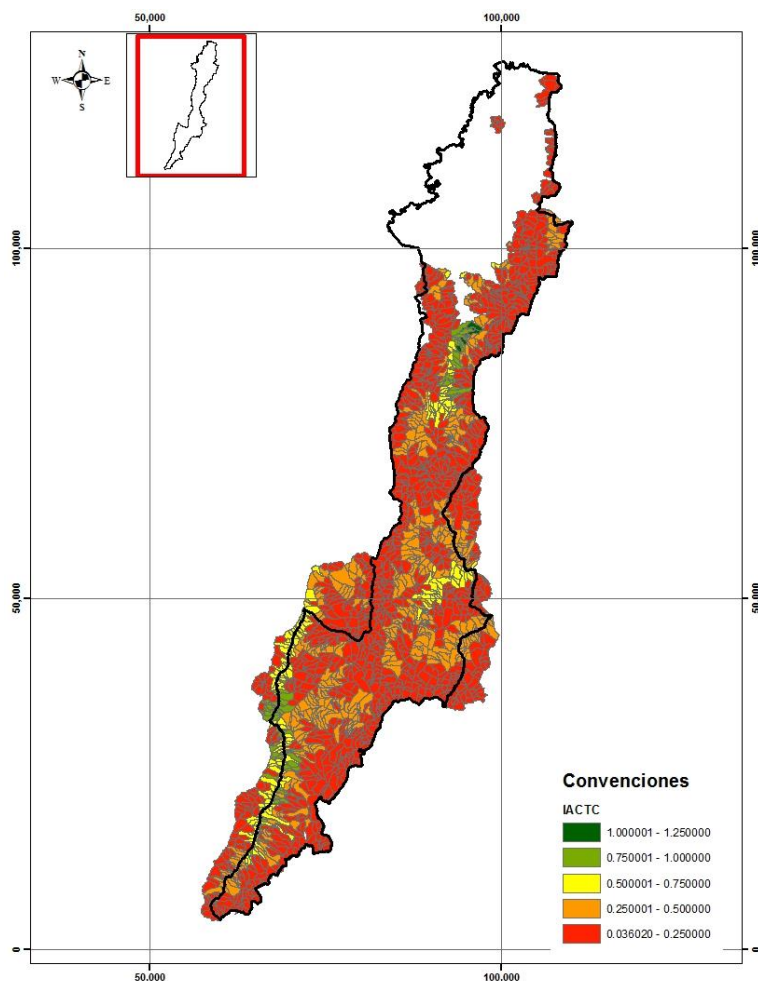


Figura 8-34: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo de concentración (IACTC) cuencas hidrográficas seleccionadas



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

2. Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo al pico (IACTP) Figura 8-35

Tabla 8-2: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo al pico (IACTP)

Tiempo al pico	Índice de amenaza IACTP	Amenaza
$T_p \geq 2,0$ horas	$IACTP \geq 1$	Muy Baja
$1,5 \text{ horas} \leq T_p < 2,0 \text{ horas}$	$0,75 \leq IACTP < 1,0$	Baja
$1,0 \text{ horas} \leq T_p < 1,5 \text{ horas}$	$0,50 \leq IACTP < 0,75$	Media
$0,5 \text{ horas} \leq T_p < 1,0 \text{ horas}$	$0,25 \leq IACTP < 0,50$	Alta
$T_p < 0,5$ horas	$IACTP < 0,25$	Muy Alta
Rango	2	

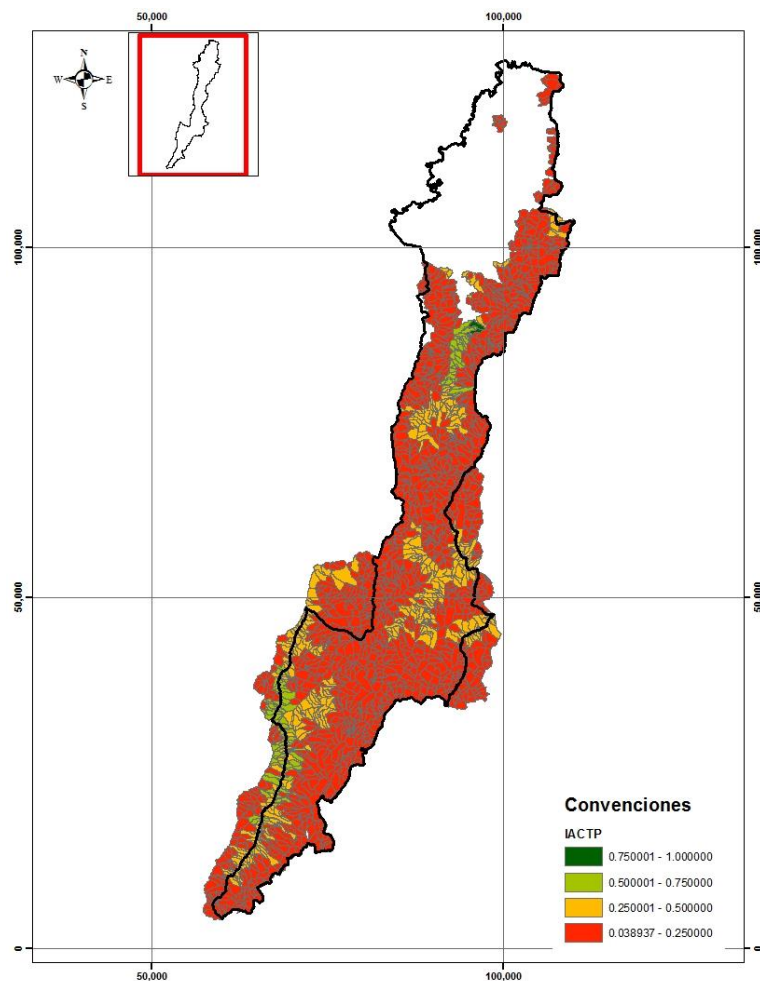


Figura 8-35: Indicador de amenaza de crecidas torrenciales con base en tiempo al pico (IACTP) cuencas hidrográficas seleccionadas

Como se observa en los resultados obtenidos las 1663 cuencas presentan índice de torrencialidad de alto a muy alto, por tanto los análisis hidrológicos e hidráulicos son desarrollados sobre todas las cuencas generadas en el área de estudio.

8.1.4 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este Hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de intensidad duración frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (Ver Figura 8-36).

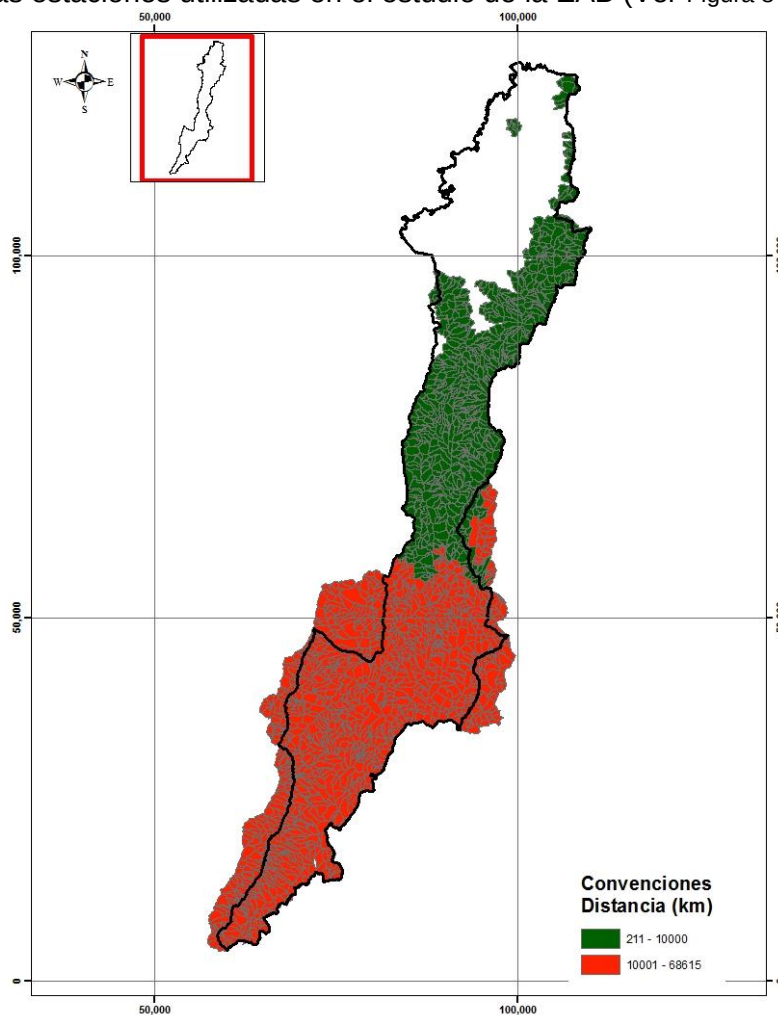
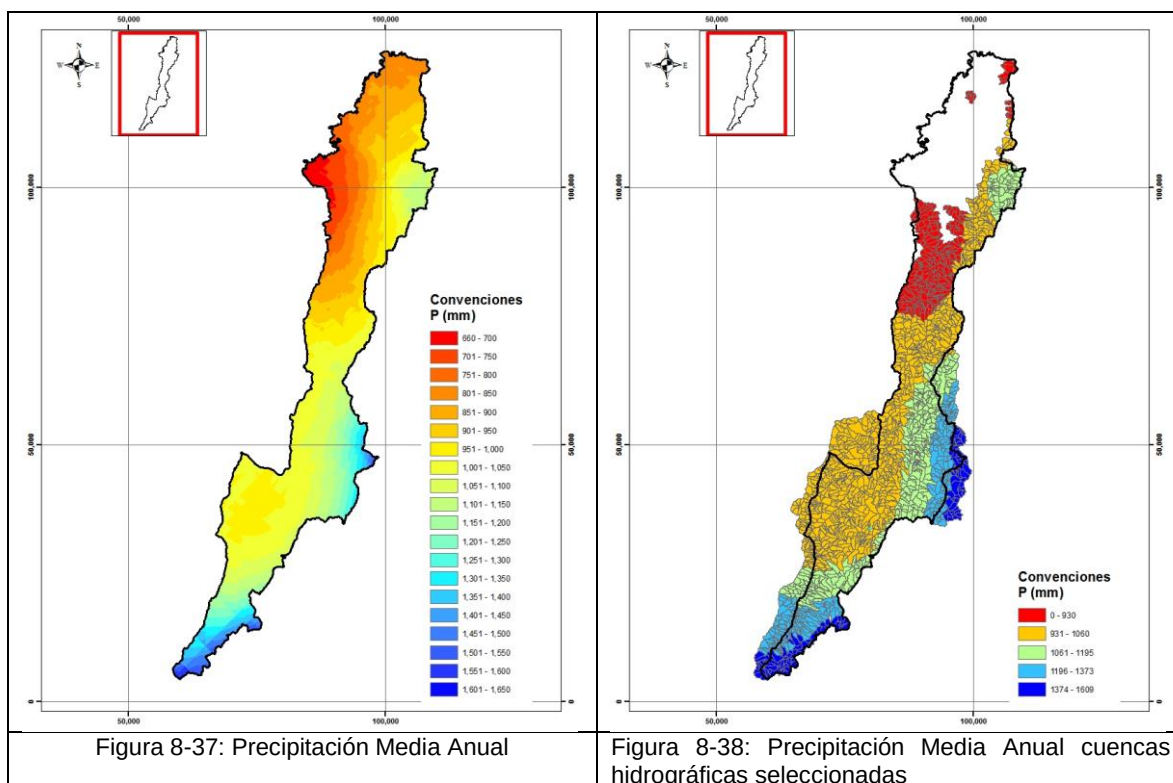


Figura 8-36: Distancia centroide cuencas hidrográficas seleccionadas a estaciones con IDF estudio de tormentas EAB

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca. Para el segundo grupo se calculó las curvas sintéticas IDF del centroide de la cuenca a partir del cálculo de la Precipitación Media Anual (Figura 8-37 y Figura 8-38) la Precipitación máxima en 24 horas (Figura 8-39 y Figura 8-40) y el Número de días de precipitación medio anual (Figura 8-41 y Figura 8-42).





ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

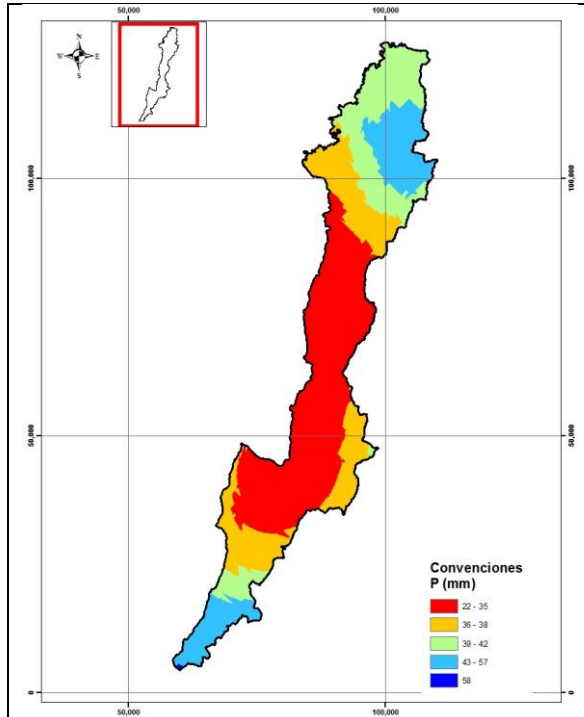


Figura 8-39: Precipitación máxima en 24 horas

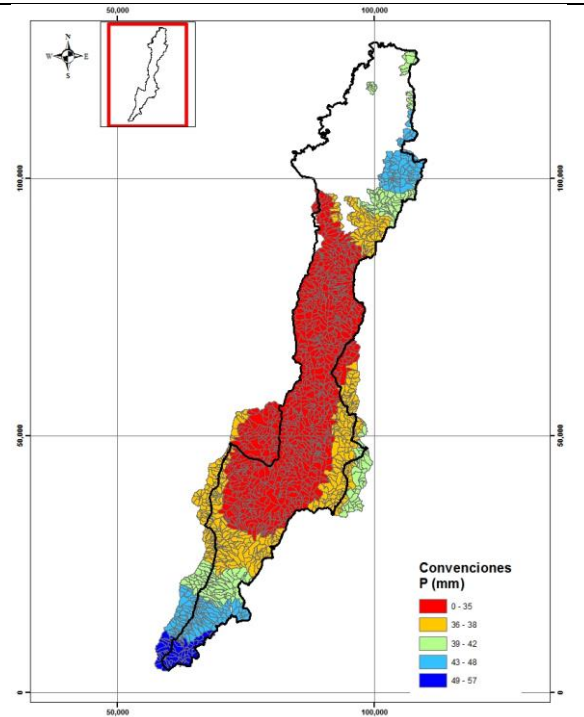


Figura 8-40: Precipitación máxima en 24 horas
cuencas hidrográficas seleccionadas

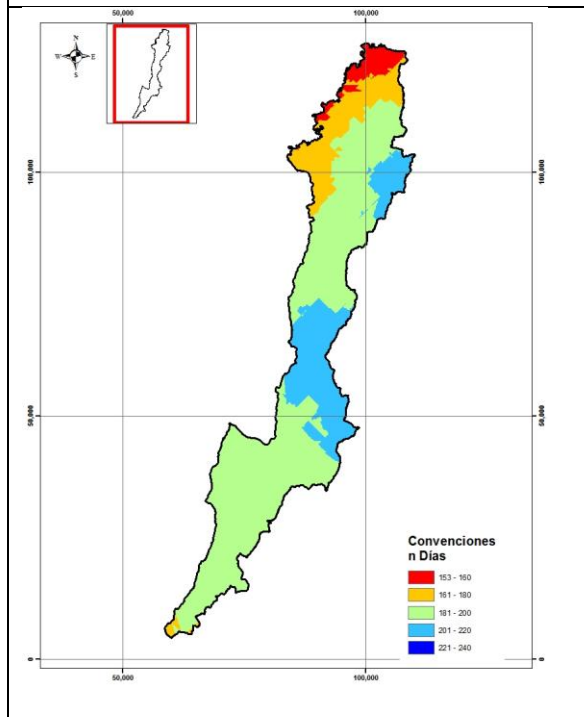


Figura 8-41: Número de días de precipitación medio
anual

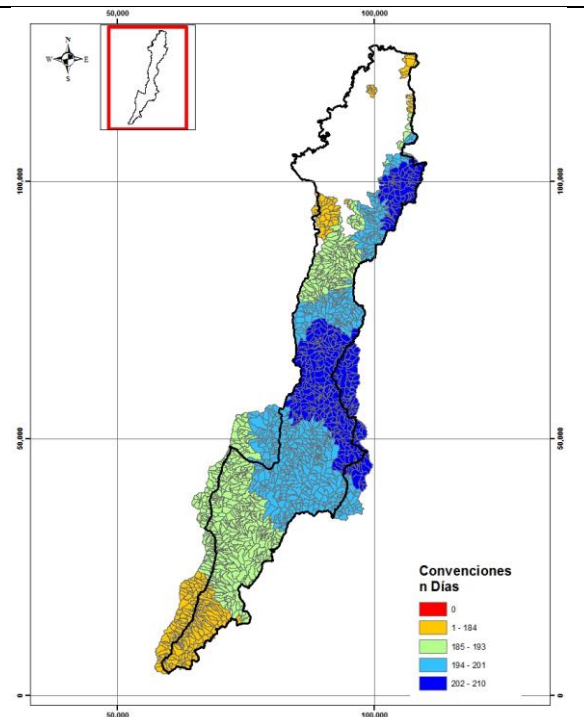
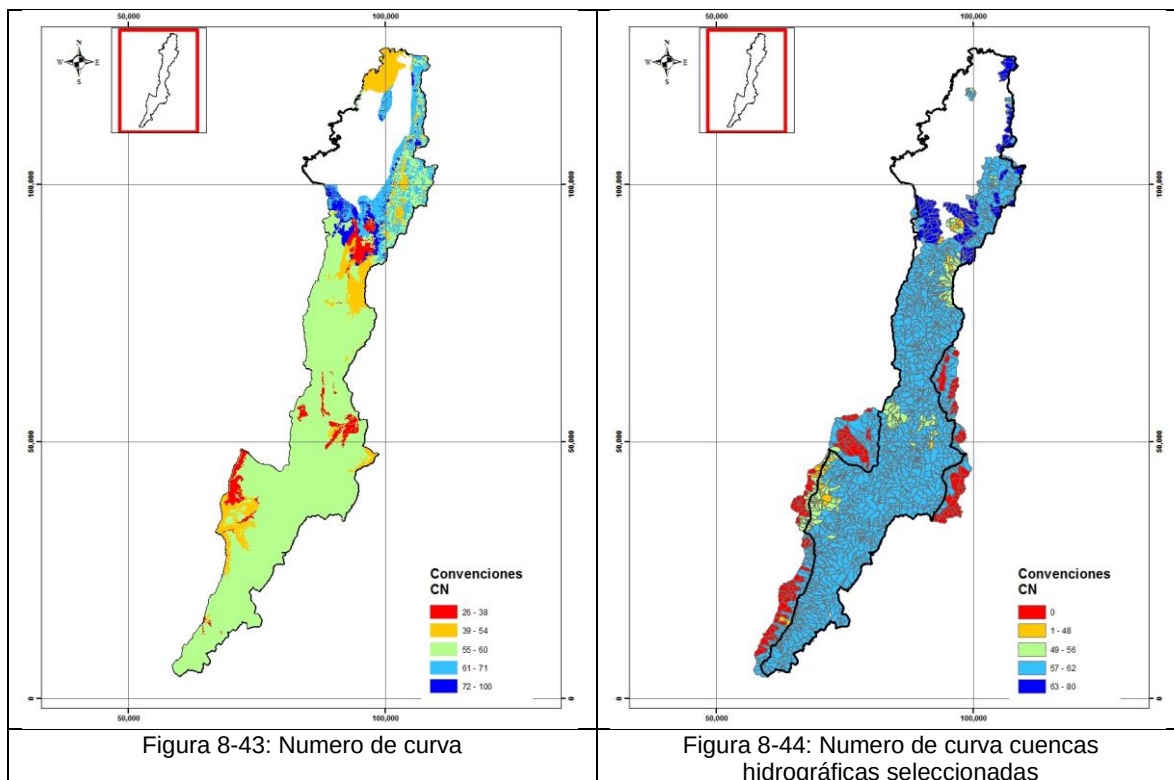
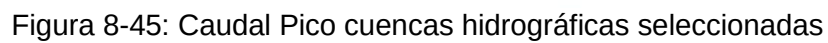


Figura 8-42: Número de días de precipitación medio
anual cuencas hidrográficas seleccionadas

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Numero de curva, el número de curva utilizado por cuenca se presenta en la Figura 8-43 y la Figura 8-44.



Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas se presenta en la Figura 8-45.





Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, en la Figura 8-46 se presenta el mapa de procesos. Las cuencas y la concentración media asociada a cada tipo de proceso de acuerdo a la Tabla 8-3 se presentan en la Figura 8-47. Los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones se presentan en la Tabla 8-4.

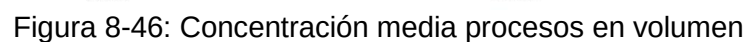




Tabla 8-3: Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Mudflow Behavior as a Function of Sediment Concentration			
	Sediment Concentration		Flow Characteristics
	by Volume	by Weight	
Landslide	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	Will not flow; failure by block sliding
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Block sliding failure with internal deformation during the slide; slow creep prior to failure
Mudflow	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flow evident; slow creep sustained mudflow; plastic deformation under its own weight; cohesive; will not spread on level surface
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	Flow spreading on level surface; cohesive flow; some mixing
Mud Flood	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	Flow mixes easily; shows fluid properties in deformation; spreads on horizontal surface but maintains an inclined fluid surface; large particle (boulder) setting; waves appear but dissipate rapidly
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marked settling of gravels and cobbles; spreading nearly complete on horizontal surface; liquid surface with two fluid phases appears; waves travel on surface
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Separation of water on surface; waves travel easily; most sand and gravel has settled out and moves as bedload
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Distinct wave action; fluid surface; all particles resting on bed in quiescent fluid condition
Water Flood	< 0.20	< 0.41	Water flood with conventional suspended load and bedload



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

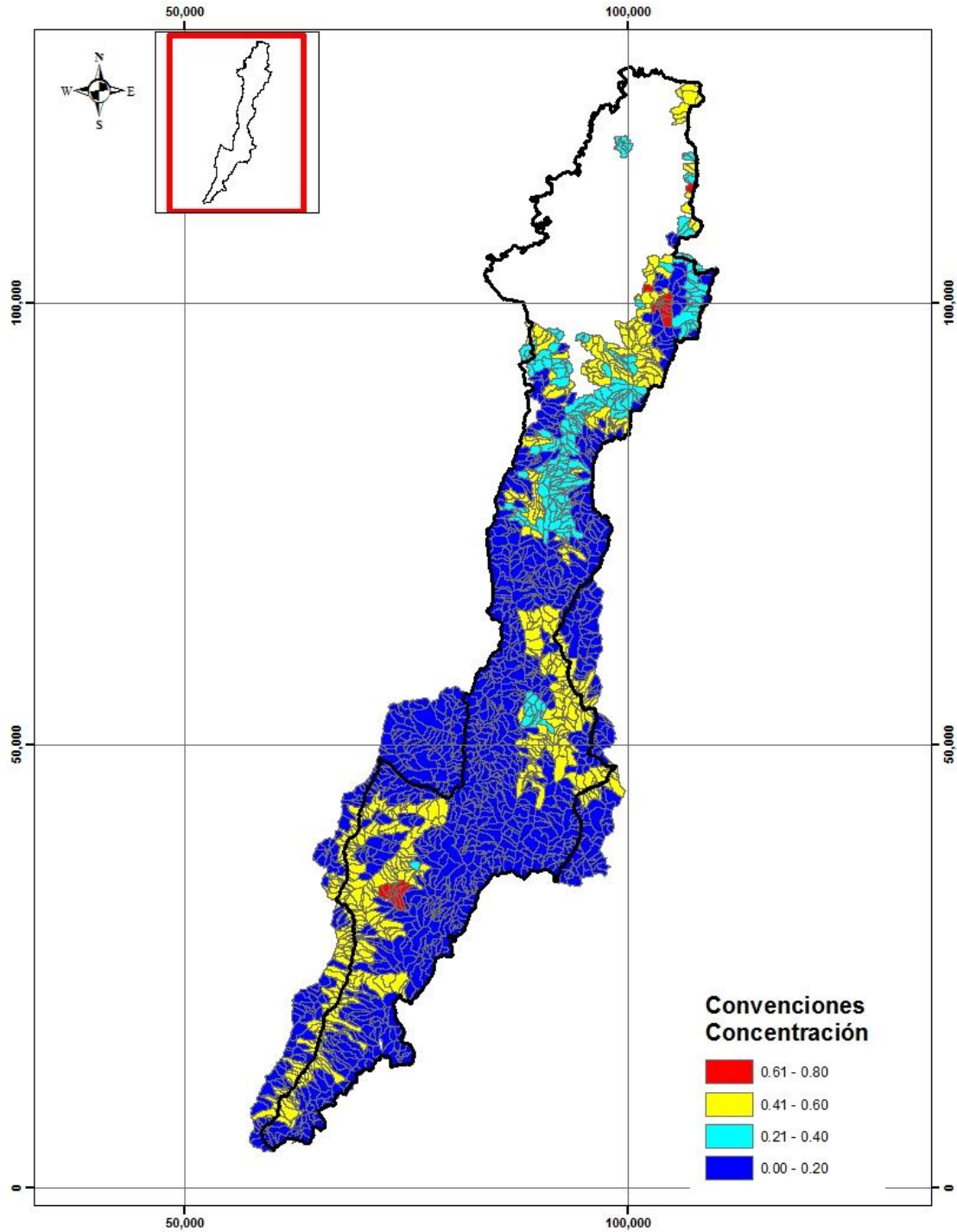


Figura 8-47: Concentración media procesos en volumen, cuencas hidrográficas seleccionadas



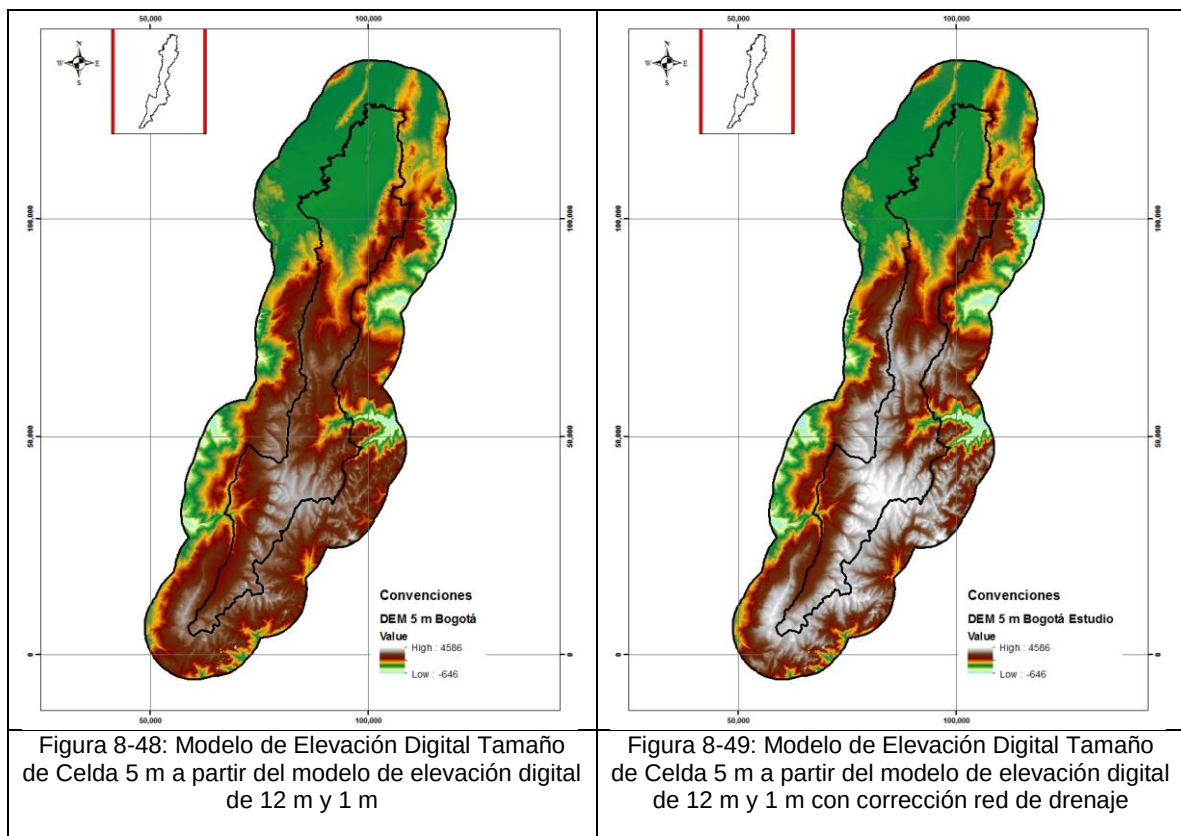
Tabla 8-4: Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

8.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO

8.3.1 Modelo Digital de terreno I

Para generar el modelo hidráulico bidimensional es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, dado la escasa información en este aspecto se ha utilizado una adecuación al convertir el DEM de tamaño de celda 12 m a un DEM de tamaño de celda 5 m. Para la zona del perímetro urbano se cuenta con la información de un DEM con tamaño de celda 1 m que al ser proyectado complementa y mejora la resolución del DEM de 12 m, sin embargo dado el volumen de información para simular todos los tramos de corrientes de la red de drenaje en celdas de 1 m se ha optado por reorganizar el DEM de tamaño de celda de 1 m a un DEM de tamaño de celda de 5 m, la unión del DEM de 5 m proveniente del DEM de 12 m y el DEM de 5 m proveniente del DEM de 1 m dando prioridad a este último se presenta en la Figura 8-48 la corrección del DEM de 5 m con la red de drenaje se presenta en la Figura 8-49. Dado lo anterior es claro que el DEM no representa fielmente el terreno e implica que el mapa generado con la información actualmente disponible es un mapa indicativo de amenaza.

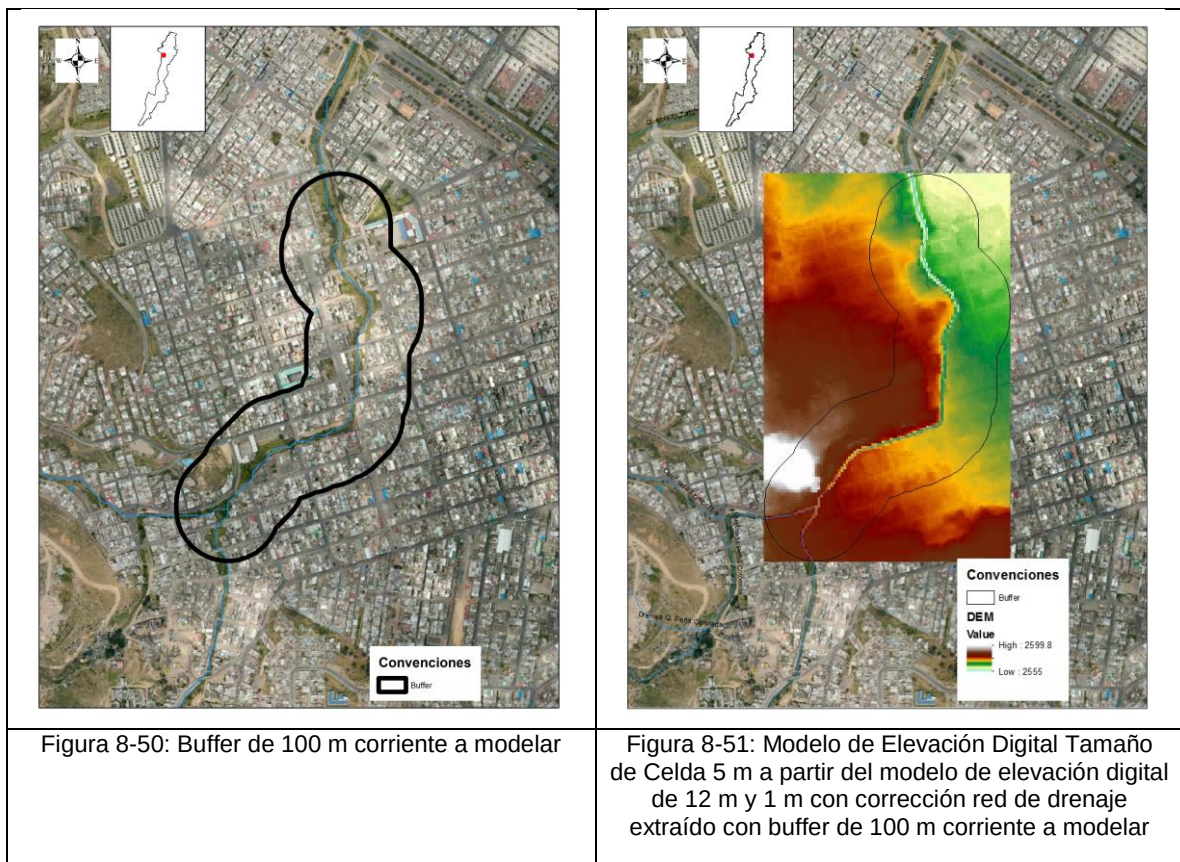


Teniendo como entrada el DEM de 5 m se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

3. Buffer de 100 m de la corriente a modelar
4. Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 5 m a partir del modelo de elevación digital de 12 m y 1 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar
5. Modelo de Elevación Digital Tamaño de Celda 5 m

El anterior procedimiento se realizó para las 1663 cuencas delimitadas.

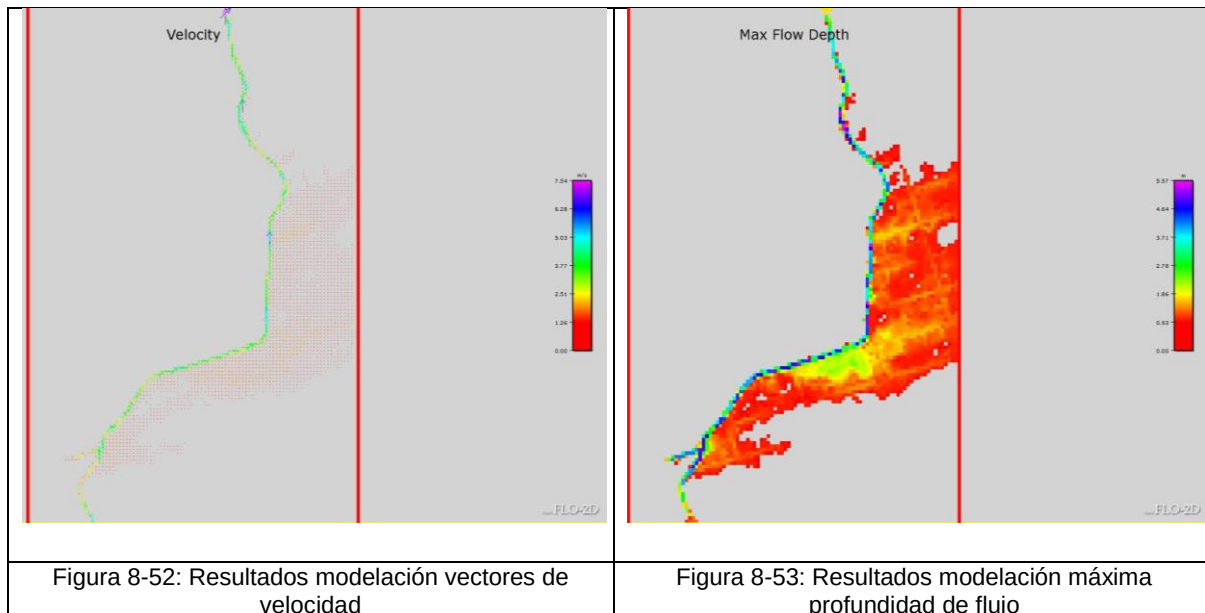
En las Figura 8-50 y Figura 8-51 se presenta gráficamente el procedimiento utilizado para una de las Cuencas analizadas



8.3.2 Resultados de Modelación

Se obtuvieron como resultados de modelación los vectores de velocidades y máxima profundidad de flujo para cada uno de los cuerpos de agua modelados.

Los vectores de velocidad como resultado de la modelación del tramo de ejemplo de la Quebrada Limas se presentan en la Figura 8-52. Así como los resultados de la máxima profundidad de flujo (Figura 8-53).



8.4 ANÁLISIS DE AMENAZA

A partir de los resultados de altura de lámina de agua y velocidades obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo a la categorización presentada en la Tabla 8-5.

Tabla 8-5: Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, <i>P</i>		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, <i>I</i>	$h > 1.0 \text{ m}$ and $v > 1.0 \text{ m/s}$	$h > 1.0 \text{ m}$ or $v > 1.5 \text{ m/s}$	High	High	High	Moderate
	$h < 1.0 \text{ m}$ or $v < 1.0 \text{ m/s}$	$h < 1.0 \text{ m}$ and $0.4 \text{ m/s} < v < 1.5 \text{ m/s}$	Medium	Moderate	Moderate	Low
	non existent	$h < 0.4 \text{ m}$ and $v < 0.4 \text{ m/s}$	Low	Low	Low	Very Low
Not affected areas				Very Low	Very Low	Very Low

8.4.1 Resultados de Amenaza

De acuerdo con los resultados de modelación presentados en este ítem 8.3 y teniendo en cuenta la metodología descrita anteriormente, se obtuvo la zonificación de amenaza para las 1663 cuencas analizadas.

Como ejemplo la zonificación de amenaza del tramo de la quebrada Limas se presenta en la Figura 8-54.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

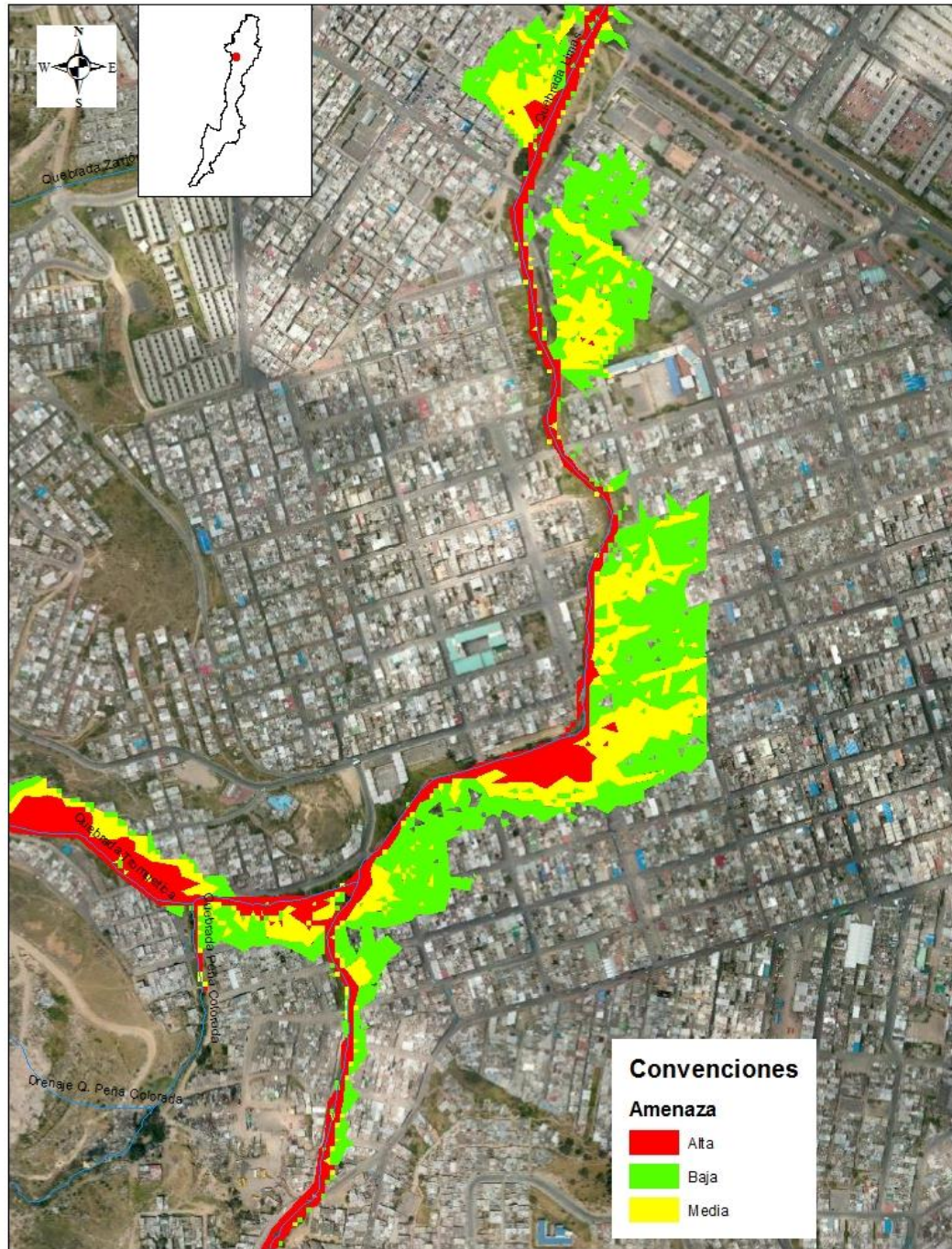


Figura 8-54: Zonificación de amenaza

9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

De acuerdo a los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías de la siguiente manera.

1. Amenaza Alta: Alturas de lámina de agua mayores a 1 m o velocidades mayores a 1.5 m/s.
2. Amenaza Media: Alturas de lámina de agua menores a 1 m y velocidades mayores a 0.4 m/s y menores a 1.5 m/s.
3. Amenaza Baja: Alturas de lámina de agua menores a 0.4 m y velocidades menores 0.4 m/s.

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa para las áreas objeto de desarrollo que se encuentren en zonas de amenaza Alta, Media y Baja y dado el alcance de los estudios básicos a escala 1:5.000 para zona urbana y de expansión y escala 1:25.000 en zona rural estas zonas deben ser condicionadas a los estudios detallados que se adelanten con el fin de identificar las zonas de amenaza a una escala más detallada.

En la Tabla 9-1 se presenta el área total del distrito que se encuentra en amenaza por avenidas torrenciales; 1062 ha en amenaza baja, 853 ha en amenaza media y 2017 ha en amenaza alta.

Tabla 9-1: Área de amenaza en del perímetro distrital

Perímetro Distrito	
Amenaza	Area (ha)
Baja	1,062
Media	853
Alta	2,017

La Tabla 9-2, Tabla 9-3 y Tabla 9-4 muestran el área total de amenaza de acuerdo a la clasificación de uso de suelo Urbano, Expansión y Rural respectivamente.

Tabla 9-2: Área de amenaza en suelo Urbano



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Suelo Urbano	
Amenaza	Area (ha)
Baja	86
Media	88
Alta	129

Tabla 9-3: Área de amenaza en suelo Expansión

Suelo Expansión	
Amenaza	Area (ha)
Baja	23
Media	17
Alta	28

Tabla 9-4: Área de amenaza en suelo Rural

Suelo Rural	
Amenaza	Area (ha)
Baja	953
Media	748
Alta	1,859

El área de amenaza por localidades se presenta en la Tabla 9-5, Tabla 9-6 y Tabla 9-7 para la amenaza alta, media y baja respectivamente. En estas se destacan las localidades de Sumapaz, Usme, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Santa Fe como las localidades con mayor área de amenaza por avenidas torrenciales.

Tabla 9-5: Área de amenaza alta por localidad



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Amenaza Alta por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Sumapaz	1,423	71
Usme	263	13
Ciudad Bolívar	101	5
San Cristóbal	66	3
Santa Fe	64	3
Chapinero	32	2
Usaquén	28	1
Rafael Uribe Uribe	18	1
Tunjuelito	12	1
Candelaria	5	0
Suba	3	0
Antonio Nariño	1	0
Total	2,017	100

Tabla 9-6: Área de amenaza media por localidad

Amenaza Media por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Sumapaz	591	69
Usme	97	11
Ciudad Bolívar	43	5
San Cristóbal	30	4
Santa Fe	27	3
Usaquén	20	2
Rafael Uribe Uribe	18	2
Tunjuelito	13	2
Chapinero	9	1
Candelaria	3	0
Suba	1	0
Antonio Nariño	0	0
Total	853	100

Tabla 9-7: Área de amenaza baja por localidad

Amenaza Baja por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Sumapaz	719	68
Usme	154	15
Ciudad Bolívar	72	7
San Cristóbal	34	3
Santa Fe	30	3
Usaquén	17	2
Rafael Uribe Uribe	13	1
Tunjuelito	10	1
Chapinero	9	1
Candelaria	2	0
Suba	1	0
Antonio Nariño	0	0
Total	1,062	100

Tabla 9-8, Tabla 9-9 y Tabla 9-10 presenta el área de amenaza alta, media y baja respectivamente en suelo urbano por localidad.

Tabla 9-8: Área de amenaza alta suelo urbano por localidad

Amenaza Alta Suelo Urbano por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Usme	28	21
San Cristóbal	21	17
Rafael Uribe Uribe	18	14
Ciudad Bolívar	17	13
Tunjuelito	12	10
Usaquén	12	10
Santa Fe	10	8
Candelaria	5	4
Chapinero	3	2
Antonio Nariño	1	1
Suba	1	0
Total	129	100

Tabla 9-9: Área de amenaza media suelo urbano por localidad

Amenaza Media Suelo Urbano por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Rafael Uribe Uribe	18	20
Tunjuelito	13	15
Usme	12	14
San Cristóbal	12	14
Usaquén	11	13
Ciudad Bolívar	8	9
Santa Fe	7	8
Candelaria	3	4
Chapinero	2	2
Suba	0	0
Antonio Nariño	0	0
Total	88	100

Tabla 9-10: Área de amenaza baja suelo urbano por localidad

Amenaza Baja Suelo Urbano por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Usme	19	22
San Cristóbal	14	16
Rafael Uribe Uribe	13	15
Ciudad Bolívar	12	14
Tunjuelito	10	12
Usaquén	9	10
Santa Fe	5	6
Candelaria	2	2
Chapinero	2	2
Suba	1	1
Antonio Nariño	0	0
Total	86	100

La Tabla 9-11, Tabla 9-12, Tabla 9-13 presenta el área de amenaza alta, media y baja respectivamente en suelo expansión por localidad.

Tabla 9-11: Área de amenaza alta suelo expansión por localidad

Amenaza Alta Suelo Expansión por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Usme	24	86
Usaquén	3	11
Ciudad Bolívar	1	3
Total	28	100

Tabla 9-12: Área de amenaza media suelo expansión por localidad

Amenaza Media Suelo Expansión por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Usme	14	79
Usaquén	3	19
Ciudad Bolívar	0	1
Total	17	100

Tabla 9-13: Área de amenaza baja suelo expansión por localidad

Amenaza Baja Suelo Expansión por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Usme	21	88
Usaquén	3	12
Ciudad Bolívar	0	0
Total	23	100

La Tabla 9-14, Tabla 9-15, Tabla 9-16 presenta el área de amenaza alta, media y baja respectivamente en suelo rural por localidad.

Tabla 9-14: Área de amenaza alta suelo rural por localidad

Amenaza Alta Suelo Rural por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Sumapaz	1,423	77
Usme	211	11
Ciudad Bolívar	83	4
Santa Fe	54	3
San Cristóbal	45	2
Chapinero	29	2
Usaquén	12	1
Suba	2	0
Total	1,859	100

Tabla 9-15: Área de amenaza media suelo rural por localidad

Amenaza Media Suelo Rural por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Sumapaz	591	79
Usme	71	10
Ciudad Bolívar	34	5
Santa Fe	20	3
San Cristóbal	18	2
Chapinero	7	1
Usaquén	6	1
Suba	0	0
Total	748	100

Tabla 9-16: Área de amenaza baja suelo rural por localidad

Amenaza Baja Suelo Rural por Localidad		
Localidad	Area (ha)	% Respecto al Total
Sumapaz	719	75
Usme	115	12
Ciudad Bolívar	60	6
Santa Fe	25	3
San Cristóbal	21	2
Chapinero	7	1
Usaquén	5	1
Suba	0	0
Total	953	100

10 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE RIESGO

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa para las zonas ocupadas que se encuentren en zonas de amenaza Alta, Media y Baja y dado el alcance de los estudios básicos a escala 1:5.000 para zona urbana y de expansión y escala 1:25.000 en zona rural esta zonas debe restringir su uso urbano; sin embargo si se requiere información de mayor precisión deben ser condicionadas a los estudios detallados que se adelanten con el fin de identificar las zonas de amenaza a una escala más detallada.

11 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE SUELOS DE PROTECCIÓN

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa para las áreas que se encuentren en zonas de amenaza Alta, Media y Baja y dado el alcance de los estudios básicos a escala 1:5.000 para zona urbana y de expansión y escala 1:25.000 en zona rural estas zonas deben ser incorporadas como suelo de protección por riesgo ya que hacen parte de las rondas hídricas de los cuerpos de agua, sin embargo pueden realizarse estudios detallados que se adelantarían con el fin de identificar las zonas de amenaza a una escala más detallada.

La Tabla 11-1 presenta el porcentaje del área de amenaza incluida en las ZMPAs definidas por la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá.

Tabla 11-1: Área de amenaza alta suelo urbano y ZMPA



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Suelo Urbano en Amenaza y ZMPA		
Amenaza	Area (ha)	% Respecto al Total
Baja	24	29
Media	26	29
Alta	81	63

12 DEFINICIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS POR AVENIDAS TORRENCIALES

Aunque se considera que con los estudios básicos se cuenta con información adecuada a escala 1:5000, si se define la necesidad de adelantar estudios detallados a escala 1:2000 y de acuerdo con los resultados de los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales, tomando como criterio de priorización en área en amenaza alta por cuenca, se presenta la siguiente priorización de cuencas.

Zona Urbana y de Expansión

1. Quebrada Chiguaza
2. Quebrada Limas
3. Quebrada Yomasa
4. Río San Francisco
5. Quebrada Hoya del Ramo
6. Quebrada Yerbabuena
7. Quebrada Zanjón de La Muralla
8. Quebrada Chorrera
9. Río Arzobispo
10. Quebrada La Floresta
11. Quebrada Trompeta
12. Quebrada Las Delicias
13. Quebrada Chicó
14. Quebrada La Vieja
15. Quebrada San Juan
16. Quebrada San Cristóbal
17. Quebrada Rosales
18. Quebrada Bosque de Pinos
19. Quebrada Santa Bárbara
20. Quebrada Serrezuela
21. Quebrada Manzanares
22. Quebrada Contador
23. Quebrada El Baúl
24. Quebrada Torca
25. Quebrada Zanjón de La Estrella
26. Quebrada Patiño
27. Quebrada Aguas Calientes
28. Drenajes Directos Río Tunjuelo (8)



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

29. Quebrada La Yerbabuena
30. Quebrada Trujillo
31. Quebrada La Cita
32. Quebrada Callejas o Delicias del Carmen
33. Quebrada Aguanica
34. Quebrada Santa Ana
35. Quebrada Santa Rita
36. Canal El Virrey
37. Quebrada El Espino o Santo Domingo
38. Quebrada Zanjón El Cortijo
39. Quebrada La Cañada
40. Drenajes Menores (10)
41. Quebrada Valmaria
42. Quebrada Bosque Medina
43. Quebrada El Cedro
44. Quebrada Lajas
45. Quebrada Moraji
46. Quebrada La Olla
47. Quebrada Pardo Rubio
48. Río Fucha

Las quebradas Chiguaza y Limas, junto con el río Fucha ya han sido estudiadas; sin embargo se considera que en función de su ocupación si se requieren realizar estudios de detalle en función del índice de ocupación.

Zona Rural

49. Río Sumapaz (Cuerpos de Agua Aferentes a Centros Poblados; Río San Juan, Quebrada Granada, Quebrada El Cementerio)
50. Río Blanco (Cuerpos de Agua Aferentes a Centros Poblados; Río Portezuela, Río Santa Rosa, Río Chochal)
51. Río Tunjuelo (Cuerpos de Agua Aferentes a Centros Poblados; Quebrada El Chuscal, Quebrada Saltonal)
52. Río Gallo (Cuerpos de Agua Aferentes a Centros Poblados)
53. Río Teusaca (Cuerpos de Agua Aferentes a Centros Poblados)

Si se define realizar estudios detallados estos deben adelantarse con los requisitos del capítulo 2 del decreto 1807 de 2014 y se deben usar como mínimo los siguientes insumos.

1. Modelo hidrológico que incluya escenarios de variabilidad climática y cambio climático y el estudio de las subcuencas mayores a 30 ha.
2. Modelo hidráulico que incluya la información topográfica y batimétrica detallada de los cauces con una aferencia mínima de 500 m a cada costado del eje del cauce principal, se deben tener en cuenta dentro del modelo las redes de aguas lluvias y sanitarias de la cuenca.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

3. Modelo de Sedimentos que incluya la caracterización de procesos morfo dinámicos de las cuencas y su caracterización reológica que pueden aportar la carga de sedimentos a la avenida torrencial.

La Tabla 12-1, Tabla 12-2 y Tabla 12-3 presenta las áreas de amenaza de acuerdo a las cuencas analizadas en los estudios básicos.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453495



CO-SA-CER366134

Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Tabla 12-1: Área de amenaza alta por cuenca

Amenaza Alta por Cuenca		
Cuenca	Area (ha)	% Respecto al Total
Río Sumapaz	867	43
Río Blanco	459	23
Río Tunjuelo	297	15
Río Gallo	99	5
Río Teusaca	60	3
Río Fucha	57	3
Quebrada Chiguaza	37	2
Río San Francisco	25	1
Quebrada Yomasa	19	1
Quebrada Limas	17	1
Quebrada Hoya del Ramo	9	0
Quebrada Yerbabuena	9	0
Quebrada Chorrera	7	0
Quebrada Trompeta	6	0
Quebrada La Floresta	5	0
Río Arzobispo	5	0
Quebrada La Salitrosa	3	0
Quebrada Las Delicias	3	0
Quebrada Chicó	2	0
Quebrada La Vieja	2	0
Quebrada Aguas Calientes	2	0
Quebrada San Cristóbal	2	0
Quebrada Contador	2	0
Quebrada San Juan	1	0
Quebrada Patiño	1	0
Quebrada Santa Bárbara	1	0
Quebrada Trujillo	1	0
Quebrada Zanjón de La Muralla	1	0
Quebrada Bosque de Pinos	1	0
Quebrada Manzanares	1	0
Quebrada El Baúl	1	0
Quebrada Serrezuela	0	0
Quebrada Zanjón de La Estrella	0	0
Quebrada La Yerbabuena	0	0
Drenaje R. Tunjuelo	0	0
Total	2,004	100



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Tabla 12-2: Área de amenaza media por cuenca

Amenaza Media por Cuenca		
Cuenca	Area (ha)	% Respecto al Total
Río Sumapaz	380	46
Río Blanco	169	20
Río Tunjuelo	117	14
Río Gallo	42	5
Quebrada Chiguaza	32	4
Río Fucha	26	3
Río Teusaca	19	2
Río San Francisco	12	1
Quebrada Limas	7	1
Quebrada Yomasa	6	1
Quebrada Hoya del Ramo	3	0
Quebrada Chorrera	3	0
Quebrada La Floresta	3	0
Quebrada Trompeta	2	0
Quebrada Yerbabuena	2	0
Quebrada Patiño	2	0
Quebrada El Baúl	2	0
Quebrada San Juan	1	0
Quebrada Aguas Calientes	1	0
Quebrada San Cristóbal	1	0
Río Arzobispo	1	0
Quebrada Chicó	1	0
Quebrada Las Delicias	1	0
Quebrada La Salitrosa	1	0
Quebrada La Vieja	1	0
Quebrada Santa Bárbara	1	0
Quebrada Manzanares	1	0
Quebrada Contador	0	0
Quebrada Zanjón de La Estrella	0	0
Quebrada Serrezuela	0	0
Quebrada Trujillo	0	0
Quebrada Bosque de Pinos	0	0
Quebrada Zanjón de La Muralla	0	0
Drenaje R. Tunjuelo	0	0
Total	835	100

Tabla 12-3: Área de amenaza baja por cuenca

Página 85 de 88



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Amenaza baja por Cuenca		
Cuenca	Area (ha)	% Respecto al Total
Río Sumapaz	455	43
Río Blanco	217	21
Río Tunjuelo	197	19
Río Gallo	48	5
Río Fucha	30	3
Quebrada Chiguaza	24	2
Río Teusaca	23	2
Río San Francisco	12	1
Quebrada Limas	11	1
Quebrada Yomasa	6	1
Quebrada Hoya del Ramo	4	0
Quebrada Yerbabuena	4	0
Quebrada La Floresta	3	0
Quebrada Chorrera	2	0
Quebrada Trompeta	2	0
Quebrada Patiño	2	0
Quebrada San Cristóbal	2	0
Quebrada El Baúl	1	0
Quebrada Aguas Calientes	1	0
Quebrada Chicó	1	0
Río Arzobispo	1	0
Quebrada La Salitrosa	1	0
Quebrada Las Delicias	1	0
Quebrada La Vieja	1	0
Quebrada Zanjón de La Estrella	1	0
Quebrada Santa Bárbara	0	0
Quebrada San Juan	0	0
Quebrada Serrezuela	0	0
Quebrada Manzanares	0	0
Quebrada Contador	0	0
Quebrada Trujillo	0	0
Quebrada Bosque de Pinos	0	0
Quebrada Zanjón de La Muralla	0	0
Quebrada Callejas o Delicias del Carmen	0	0
Drenaje R. Tunjuelo	0	0
Total	1,049	100





13 BIBLIOGRAFÍA

- Bajabaa, S., Masoud, M., & Al-Amri, N. (2014). Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences*, 7(6), 2469–2481. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0941-2>
- Farhan, Y., & Anaba, O. (2016). Flash Flood Risk Estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS Based Morphometric Analysis and Remote Sensing Techniques, (April), 79–100. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/25321>
- Gemma, G. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. *Publicación Geológica Multinacional*, 4(0717–3733), 432. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Movimientos+en+Masa+en+la+Regi?n+Andina:+Una+gu?a+para+la+evaluaci?n+de+amenazas#5>
- Koshak, N., & Dawod, G. (2011). A GIS morphometric analysis of hydrological catchments within Makkah Metropolitan area , Saudi Arabia. *Journal Of Geomatics*, 2(2), 544–554.
- Matjaž, M. (2013). Risk Management and Mountain Natural, (September 2013).
- O'Brien, J. (2014). FLO-2D Webinar Hyperconcentrated Sediment Flows - Mud and Debris Flows. FLO-2D Software, Inc.
- WMO, W. M. O., & UNESCO, U. N. E. and S. O. (1998). *International Glossary of Hydrology*. IHP/OHP-Berichte. Retrieved from http://www.wmo.int/pages/prog/hwrr/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

14 ANEXOS

14.1 TABLA INFORMACIÓN DISPONIBLE

14.2 INVENTARIO DE CUENCAS

14.3 PRIORIZACIÓN DE CUENCAS

14.4 ESTACIONES IDF



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453495



CO-SA-CER366134

Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la construcción de obras e implementación de acciones dirigidas a la mitigación de riesgos de desastres y de emergencias, promoción, educación y comunicación para la apropiación de los procesos de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático, dirección, coordinación y desarrollo de actividades operativas e institucionales y del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC), relacionadas con la planificación, preparación y logística para la activación de los sistemas de alerta temprana y respuesta integral de emergencias en la ciudad de Bogotá, D.C.